Haditechnikai összefoglaló

Légi harcászatról és légvédelmi eszközökről

Tartalomjegyzék

1. Jelölésrendszer, típusjelzés, NATO kód, orosz elnevezések, főbb eszközök 10
2. Repülőgépek osztályozása, repülőgépek feladatköre, célpontok 19
2.1. Bevezető 19
2.2. Csapásmérők, vadászbombázók, bombázók és interkontinentális (hadászati) bombázók 19
2.3. Vadászgépek, többfeladatos vadászgépek 25
2.4. Elfogóvadászgépek, honi légvédelmi vadászok, nehézvadászgépek, ... 39
2.5. Teherszállító- és légi utántöltő gépek 48
2.6. Felderítő repülőgépek 52
2.6.1. Az U-2, 1960. május 1. 58
2.6.2. Az SR-71 Blackbird 60
2.6.2.1. Az A-12, kezdetek 61
2.6.2.2. Az YF-12 felemelkedése 61
2.6.2.3. Az M-21 és a D-21 62
2.6.2.4. Az "A-11"-es bemutatkozása 64
2.6.2.5. Az R-12, RS-71, SR-71, vagy akármicsoda... 65
2.6.2.6. Az SR-71 kontra A-12, az YF-12 és az A-12 program vége 65
2.6.2.7. Az SR-71 szolgálatának évei 66
2.7. Légtérellenőrző gépek (AWACS / AEW&C), vezetési pontok 70
2.8. Elektronikai felderítő- és zavaró repülőgépek és helikopterek 77
2.9. Egyéb 81
2.10. Célpontok besorolása 82
3. Bevetések típusai, bevetési profilok 86
4. Az elektronikus csatatér 93
4.1. Radarok és radarvezérlésű légiharc-rakéták 93
4.1.1. Repülőgép-fedélzeti radarok, alapvető jellemzők és képességek 93
4.1.1.1. Légi célok felderítése, követése és azonosítása 93
4.1.1.2. A nyalábformálás és távolságmérés korlátai 107
4.1.1.3. Szárazföldi és vízfelszíni célok felderítése és azonosítása 108
4.1.2. Légiharc-rakéták vezérlési vagy irányítási módjai (radar) 110
4.1.2.1. A vezérlés / irányítás módja 110
4.1.2.2. A légvédelmi- és légiharc-rakéta pályája 119
4.2. Légvédelmi rakétarendszerek és csöves légvédelmi tüzérség 125
4.2.1. Rádiótechnikai vezérlés / irányítás korlátai, megsemmisítési zóna 125

4.2.2. Légvédelmi rakéta-rendszerek képességeinek osztályozása ... 128
4.2.3. Légvédelmi rendszerek célfelderítő-követő és tűzvezető radarok alap jellemzői ... 129
4.2.3.1. Frekvencia / hullámhossz szerint ... 129
4.2.3.2. Az alkalmazott jelforma, vevő- és adó antennák szerint ... 131
4.2.3.3. Antenna nyalábformálás szerint ... 135
4.2.4. Légvédelmi rakéta vezérlési módszerek (radar) ... 136
4.3. Infravörös vezérlésű rakéták és elektro-optikai célkereső rendszerek ... 139
4.3.1. Infravörös (IR), optikai és UV vezérlésű rakéták, alapszintű összefoglalás ... 139
4.3.2. Infravörös vezérlés részletesebb ismertetése ... 153
4.3.2.1. Fizikai háttér ... 153
4.3.2.2. Általános műszaki felépítés ... 160
4.3.2.2.1. Amplitúdó-modulált vezérlés (spin scan tracker) ... 161
4.3.2.2.2. Frekvencia-modulált vezérlés (conical scan tracker) ... 163
4.3.2.2.3. Linear reticle ... 163
4.3.2.2.4. Crossed linear array tracker ... 164
4.3.2.2.5. Kettős detektoros vezérlés ... 166
4.3.2.2.6. Rozetta pásztázás, pszeudo képalkotás IR+UV érzékelővel (rosette scan tracker) ... 167
4.3.2.2.7. Képalkotós érzékelők, infrakamerás vezérlés ... 168
4.3.2.2.8. Elektro-optikai / foto-kontrasztos vezérlés ... 169
4.3.3. Infravörös- és elektro-optikai vezérlés összefoglaló táblázata ... 169
4.3.4. Infravörös- és elektro-optikai célkereső és célkövető rendszerek ... 171
4.4. Repülőgép-fedélzeti önvédelmi rendszerek, radarkeresztmetszet ... 182
4.4.1. Önvédelmi módszerek és rendszerek, passzív- és aktív módszerek ... 182
4.4.1.1. Repülési profil ... 182
4.4.1.2. Elektronikai zavarás ... 184
4.4.1.3. Vontatott csali (elektronikai zavarás) ... 187
4.4.1.4. Radar besugárzásjelző-rendszerek, ... 193
4.4.1.5. Infravörös rakétaindításra figyelmeztető rendszerek ... 201
4.4.1.6. Passzív infravörös- és radarzavaró eszközök ... 205
4.4.1.7. Aktív infravörös védelmi eszközök ... 213
4.4.2. Elektronikai zavarás néhány konkrét példán keresztül ... 217
4.4.3. Radarkeresztmetszet, csökkentett és alacsony észlelhetőség ... 227
4.4.4. F-117 és a „láthatatlanság” mítosza, gyakori téveszmék ... 238
5. Légvédelmi, légiharc és levegő-föld rakéták „hatótávolsága” ... 243
5.1. Légvédelmi rakéta-rendszerek ... 243

5.2. Légiharc-rakéták ... 249
5.3. Levegő-föld, levegő felszín rakéták és robotrepülőgépek ... 264
6. Légvédelmi rendszerek alapvető felépítése és képességeik ... 265
6.1. Vadászgép rávezető-rendszerek, bevezetés ... 265
6.2. Légvédelmi eszközök a fegyveres erők szervezeti struktúrájában ... 270
6.2.1. Honi légvédelem ... 270
6.2.1.1. USA honi légvédelmi rakéta-rendszerei ... 270
6.2.1.1.1. MIM-3 Nike Ajax ,MIM-14 Nike Hercules CIM-10 BOMARC ... 270
6.2.1.1.2. MIM-23 HAWK ... 281
6.2.1.1.3. MIM-104 Patriot ... 286
6.2.1.2. A Szovjetunió honi légvédelmi rakéta-rendszerei ... 302
6.2.1.2.1. Sz-25 Berkut (SA-1 Guild) ... 302
6.2.1.2.2. Sz-75 Volhov/SzA-75 Dvina (SA-2 Guideline) légvédelmi rakétarendszer ... 310
6.2.1.2.3. Sz-125 Nyeva/ SA-3 Goa légvédelmi rakétarendszer ... 334
6.2.1.2.4. Sz-200 Vega/Dubna (SA-5 Gammon) légvédelmi rakétarendszer ... 342
6.2.1.2.5. Sz-300 (SA-10/SA-20) légvédelmi rakétarendszer család ... 366
6.2.1.2.6. A hiányzó láncszemek ... 404
6.2.2. XXI. századi megoldások, a jövő útja? ... 405
6.2.3. Automatizált vezetési rendszerek ... 420
6.2.4. Csapatlégvédelem ... 430
6.2.4.1. Bevezetés ... 430
6.2.4.2. Szovjet mintájú csapatlégvédelem felépítése ... 435
6.2.4.3. A csapatlégvédelem rétegződése és lefedettsége ... 458
6.2.4.3.1. Mennyiségi és minőségi eloszlás ... 458
6.2.4.3.2. Eltérések a szovjet mintájú légvédelemhez képest a VSz tagországokban ... 465
6.2.4.3.3. Egyéb országok csapatlégvédelme ... 470
6.2.4.3.4. További megjegyezések, magyar vonatkozások ... 474
6.2.4.4. A csapatlégvédelem eszközei ... 478
6.2.4.4.1. 9K32 Sztrela-2 (SA-7 Grail) ... 478
6.2.4.4.2. FIM-43 Redeye ... 479
6.2.4.4.3. 9K34 Sztrela-3 (SA-14 Gremlin) ... 480
6.2.4.4.4. 9K310 Igla-1 (SA-16 Gimlet) ... 480
6.2.4.4.5. 9K38 Igla (SA-18 Grouse) ... 481
6.2.4.4.6. FIM-92 Stinger ... 481
6.2.4.4.7. Mistral ... 482

6.2.4.4.8. RBS-70 ... 483
6.2.4.4.9. Vállról indítható légvédelmi rakéták összesítő táblázata ... 484
6.2.4.4.10. 9K31 Sztrela-1 (SA-9 Gaskin) ... 485
6.2.4.4.11. 9K35 Sztrela-10 (SA-13 Gropher) ... 485
6.2.4.4.12. ZSzU-23-4 Silka ... 487
6.2.4.4.13. 2K22M Tunguszka (SA-15 Grison) ... 489
6.2.4.4.14. 2K12 Kub (SA-6 Gainful) ... 492
6.2.4.4.15. 9K33 Osza (SA-8 Gecko) ... 496
6.2.4.4.16. 9K331 Tor-M1, 9K332 Tor-M2 (SA-15 Gauntlet) ... 501
6.2.4.4.17. 2K11 Krug (SA-4) ... 505
6.2.4.5. 9K37M1 Buk-M1, 9K37M1-2 Buk-M1-2, 9K317 Buk-M2 (SA-11 Gadfly, SA-17 Grizzly) 510
6.2.4.5.1. 9K81-1 Sz-300V1, 9K81 Sz-300V, 9K81M Sz-300VM (SA-12A/B Gladiator, SA-23 Giant) ... 519
6.2.4.6. „Double digit” SAM rendszerek ... 527
6.2.4.7. Csapatlégvédelmi AVR-ek ... 528
6.2.4.8. Csapatlégvédelem, a jövő útjain, a drónok fenyegető árnyéka ... 532
6.3. Haditengerészeti légvédelmi rendszerek ... 539
6.3.1. Légvédelem a II. világháborúban ... 539
6.3.2. Légvédelem a II. világháborúi után, új szelek ... 541
6.3.3. Haditengerészeti légvédelem kihívásai az 1960-as évektől ... 543
6.3.4. Az Egyesült Államok haditengerészeti légvédelmi rendszerei ... 545
6.3.4.1. A „három T”, Talos, Terrier, Tartar ... 545
6.3.4.2. RIM-7 Sea Sparrow, RIM-162 ESSM (Evolved Sea Sparrow Missile) ... 549
6.3.4.3. Út az AEGIS-hez – A Typhoon, a SCANFAR és a Standard Missile megjelenése ... 553
6.3.4.4. Az AEGIS rendszer ... 557
6.3.4.5. A Standard Missile család folyományai ... 564
6.3.5. Szovjet-orosz haditengerészeti légvédelmi rakéta-rendszerek ... 570
6.3.6. Európai PAAMS/SAAM (Aster) és Izraeli/Indiai Barak-8 légvédelmi rendszerek ... 572
6.3.7. Pontvédelmi, közel-körzeti (CIWS) légvédelmi rendszerek ... 576
6.3.8. A haditengerészeti légvédelem alternatív lehetőségei. ... 583
6.3.9. Gondolatok a haditengerészeti légvédelem jövőjéről ... 586
6.3.10. Hajófedélzeti légvédelmi rendszerek rövid összegzése ... 592
6.4. Légvédelmi rakéta-rendszerek összefoglaló táblázata ... 596
7. Levegő-föld fegyverzet típusai, vezérlések fajtái ... 603
7.1. Nem irányított fegyverek ... 603
7.1.1. Tűzfegyverek, géppuskák, gépágyúk, ágyúk ... 603

7.1.1.1. Gunship koncepció 610
7.1.1.2. GAU-8 Avenger 613
7.1.2. Szabadeséső bombák 616
7.1.3. Nemirányított rakéták 625
7.1.4. Torpedók, aknák 627
7.2. Irányított csapásmérő fegyverek 628
7.2.1. CLOS 629
7.2.2. Elektro-optikai, TV, infravörös képalkotásos vezérlés 631
7.2.3. Passzív „radar”, (anti-radiation missiles, ARM) 634
7.2.4. Aktív radarvezérlés 637
7.2.5. Lézervezérlés (félaktív) 639
7.2.6. GPS/műholdas vezérlés 647
7.2.7. TERCOM és DSMAC 649
8. A navigáció története, módszerei, repülőgép-fedélzeti rendszerek 652
8.1. A navigáció alapjai 652
8.2. Navigáció a repülés hajnalán 657
8.3. Navigáció a két világháború között 660
8.4. Fejlesztések a II. világháború alatt 662
8.5. Navigáció a II. világháború után 667
8.6. A műholdak korszaka 672
9. Légi tankolás 683
10. Vadászgépek generációs besorolása, költségeik, használatuk 688
10.1. Generáció besorolás 688
10.2. Problémák a generációs besorolással 702
10.3. Vadászgépek fejlesztési, üzemeltetési költsége, élettartama 705
10.4. Vadászgépek repülésbiztonsági mutatói, hadrafoghatóság 710
10.5. A technika és az ember 716
11. Repülési teljesítmény, aerodinamika, hatósugár 718
11.1. Bevezetés 718
11.2. Tolóerő 718
11.3. Légellenállás, hullámellenállás, területszabály 721
11.4. A repülőgép pályája 726
11.5. A repülőgépre ható erők, a repülőgép helyzete 728
11.6. Fajlagos paraméterek 735
11.7. A repülési teljesítményt bemutató diagramok, adatok 736

11.7.1. Repülési sebesség definiálása ... 736
11.7.2. Fajlagos teljesítményfelesleg, diagramok típusai ... 740
11.8. Tolóerő-vektorálás (TVC, thrust vector control) ... 756
12. Fenyegetések és ellenlépések ... 759
12.1. Légiharc-rakéták ... 759
12.2. Szárazföldi vagy hajóra telepített légvédelmi rakéta-rendszerek ... 760
12.3. Ellentevékenységek lehetséges módozatai ... 760
12.4. Védekező manőverek ... 761
12.5. Védekező manőverek, a manőverező légiharc élettani hatásai ... 765
13. Irányított rakéta-fegyverzetek eredményessége és azok korlátai ... 768
13.1. A légvédelem és a légiharc gyakorlati tapasztalatai ... 768
13.1.1. Vietnami háború (1962-1973) ... 768
13.1.2. Izrael-Egyiptom/Szíria (Jom Kippuri háború - 1973) ... 775
13.1.3. Falklandi-háború (1982) ... 776
13.1.4. Sivatagi Pajzs és Sivatagi Vihar (1990-91) ... 779
13.1.5. Szerbiai légi háború, Allied Force hadművelet (1999) ... 782
13.1.6. Konklúzió ... 785
14. További források, linkek ... 790

Előszó

Az összefoglaló azok számára készült, akik érdeklődnek a haditechnika, elsősorban a katonai repülés, a légvédelmi eszközök és az azokkal kapcsolatos témák iránt. Az írás célja, hogy segítsen képbe kerülni a (főleg angolszász) terminológiával, elnevezésekkel, repülőgéptípusokkal, típusjelzésekkel, természet-tudományos alapelvekkel, harcászati és technikai alapokkal.

Az összefoglaló többször hivatkozik a HTKA.hu és más weboldalakon megjelent tartalomra. A hivatkozott és linkelt témákat nem fejti ki részletesen az anyag, ha azokban ez megtörténik. Az írás terjedelme elérte azt a léptéket, hogy mellékletek használata vált szükségessé, a teljes háttér-információ mennyiséget nagyobb mélységben ezek szolgáltatják, ez szintén igaz a linkelt anyagokra és videókra. Érdemes rászánni az időt azok megtekintésére, csak azokkal teljes anyag. Ez hatványozottan igaz a lábjegyzetekben található videó anyagokra, számtalan dolgot nehéz írásban vagy akár csak képpel/ábrával elmagyarázni, viszont egy jó videó többet ér ezer szónál is.

A kék keretes részek az aktuális fejezet témáját érintik, de általában típus-specifikus dolgokat vagy mellékes, de kapcsolódó témával foglalkoznak, adott esetben személyes vélemény található bennük.

Nehéz teljes vagy részletekbe menő képet adni a téma terjedelme miatt. A évtizedek alatt megszerzett ismeretek és a lektorok hatalmas tudásbázisának rendszerezése volt a cél, szem előtt tartva a terjedelmi korlátokat és az érthetőséget egyaránt. Terjedelmi okok miatt sok helyen leegyszerűsítve kerülnek bemutatásra a fizikai vagy egyéb magyarázatok, különben kezelhetetlenül hosszúvá vált volna az írás; a terjedelem így is majdnem eléri a 800 oldalt.

A természettudományokban és műszaki területen kevésbé jártasak számára egyébként sem lenne érthető, ha ennél nagyobb mélységben menne bele egyes témákba az összefoglaló. Ettől függetlenül a alapok megértéséhez jellemzően középiskolás szintű fizika elégséges, de bizonyos témakörökhöz ennél magasabb szintű természettudományos és műszaki ismeretek szükségesek a tartalom teljes mélységének megértéshez.

Az összefoglaló alapvetően a „nagy összkép” megértéséhez nyújt segítséget, ennek ellenére az egyes harceszközök működési elve és képességei részletesebben kerülnek bemutatásra, mivel azokon keresztül lehetséges ismertetni az adott korszak jellemző technikai színvonalát, az akkor elérhető harcászati paramétereket, illetve a fegyverrendszerek képességeinek és műszaki hátterének evolúcióját.

Az összefoglalóban fellelhető tartalommal megfelelő alapot lehet szerezni a további tanuláshoz, amennyiben kitart a lelkesedés és az érdeklődés, az írás ehhez ad egy masszív kezdő löketet.

Többször előfordul témák között beszúrás illetve előre- és visszautalás is, a téma komplexitása miatt ez egész egyszerűen elkerülhetetlen, emiatt egy dolgok több helyen és többször is szerepelhetnek.

Aerodinamikáról, hajtóművekről és sok egyéb rendszerről, amitől egy repülőgép repülőgép, nagyon kevés szó esik, és a légvédelmi rendszerek műszaki hátterének ismertetése is viszonylag korlátozott. Az összefoglaló esősorban a fegyverrendszerek megvalósított képességeivel és az általuk biztosított lehetőségekkel foglalkozik, nem pedig azok egzakt műszaki és természettudományos hátterének ismertetésével, de ez nem jelenti azt, hogy a műszaki háttér vagy az okok összegzése nem történik meg, ha azok alapvető fontossággal bírnak.

Egyes területek kevésbé részletesnek vagy kidolgozottnak tűnhetnek a téma átfogó jellege miatt. Előfordulhat, hogy egy szakember a saját szűk szakterületén belül hiányosnak talál bizonyos részeket vagy pontatlannak a használt terminológiát. Az összefoglalónak nem célja a végtelenül részletekbe belemenés, nem ilyen szakmai mélységet céloz meg, ennek ellenére kiemelt szempont a lehető legmagasabb szakmai színvonal és a minél pontosabb terminológia használata. Számtalan téma, amelyről szó esik titkosnak minősül, vagy csak becsléseken, közvetett bizonyítékokon, kiszivárgott információkon, esetleg szóbeszédeken alapul, mégis érdemes velük tisztában lenni.

A cirill betűs ábécéből való átírások néhol pontatlanok lehetnek, és a közismertebb angol átírást követik a magyarral szemben. Pl. levegő-föld rakéta esetében a magyar „H-31" átírás helyett az angol nyelvterületen használt „Kh-31" forma szerepel az eredeti cirill betűs „X-31" átírásaként.

Ez immáron a negyedik bővített változata az összefoglalónak, de azoknak is ajánlott elolvasása, akik már a korábbi változatát (és az előzetes különkiadást) is olvasták. Mivel a szerző sem tévedhetetlen a korábbi változatban levő pontatlanságok javítva lettek, de leginkább a jelentős tartalmi bővülés miatt. Az új változat több, mint hatszor hosszabb a korábbinál, a tartalom mennyisége és minősége minden téren messze felülmúlja a korábbi változatét. Az összefoglaló felépítése logikusabb, több fejezet struktúrája és azok sorrendje is megváltozott igazodva a bővebb tartalomhoz.

A korábbi kiadás nagyjából a vietnámi háború elején használt rendszereknél vette fel a fonalat és az azóta eltelt időszakra fókuszált főleg a többfeladatú harci gépekre. Ez a felbővített kiadás már komolyabb technikatörténeti felvezetést tartalmaz, hogy világosabbá váljon a műszaki fejlődés és azok háttere. A légvédelmi rendszerek legalább akkora, hanem hangsúlyosabb figyelmet kaptak, mint a repülőeszközök.

Több területen a szerzőnél tájékozottabb emberektől kaphat választ számtalan témában, szívesen válaszolnak az SG.hu Haditechnika topikjában[1] és az index.hu légvédelmi rakétás fórumában,[2] de az összefoglaló végén található link gyűjtemény további helyekre mutat, ahol a közösség kollektív tudása sokszor elegendő a kérdések megválaszolására vagy legalább értelmes megvitatására, ahogy természetesen a HTKA.hu fórumán is van erre lehetőség.

Az írást nyelvtani szempontból is többen átnézték, de a téma sajátossága miatt a szövegben elforduló vitatott, többféleképpen is használt kifejezéseknél nem feltétlen sikerülhetett minden esetben a magyar helyesírás szabályait megfelelően vagy konzekvensen alkalmazni.

Az összefoglalóban, annak hossza miatt a többszöri átolvasás és javítások ellenére is maradhattak elütések, nehezen érthető, stilisztikailag esetleg kifogásolható szövegrészek. Minden tőlem telhetőt megtettem ezek javítására, de ettől függetlenül az írás ezen szempontok szerint nem teljesen tekinthető egyenszilárdnak.

Végezetül egy személyes megjegyzés. A Haditechnikai összefoglalóban leírtak nem azért vannak úgy ahogy, „mert csak", vagy mert ez személyes véleményem és punktum, ahol személyes véleményt fogalmazok meg, azt feltüntetem. Az összefoglaló az elérhető forrásokra, természettudományos és műszaki tényekre, illetve levezetésekre támaszkodik, megírásában számtalan szakember és a témában jártas személy volt segítségemre. Az ezen emberek kollektív tudásbázisának, illetve a lektorok forrásainak összefoglalása és tálalása, az azokból levezethető, de sokszor nem kimondott következményei. Az írás nem egy „one man show" produkció eredménye. A lektorok aktív közreműködése nélkül az összefoglaló soha nem érhette volna el azt a színvonalat és terjedelmet, amit sikerült megvalósítani.

[1] http://www.sg.hu/listazas.php3?id=1074537255
[2] http://forum.index.hu/Article/showArticle?t=9120320

1. Jelölésrendszer, típusjelzés, NATO kód, orosz elnevezések, főbb eszközök

Az összefoglalóban számtalan repülőgépről, fegyverről és egyéb harceszközről esik szó, ezért a további keresgéléshez és az eligazodáshoz nem árt, ha képesek vagyunk nevén nevezni a gyereket. A cél az, hogy típusjelzés alapján is azonnal világos legyen legalább az, hogy milyen kategóriájú eszközről beszélünk.

A hidegháború idején a Szovjetunióban a legegyszerűbb harceszközök is titkosnak minősültek, mindennek a nevét és típusjelzését betegesen titkolták. A helyzetet tovább bonyolította, hogy pl. egy harci repülőgépnek volt gyártmány jelölése, a csapatoknál is volt egy jelölése, illetve a tervezőirodában is volt egy megnevezése.[3]

További bonyolító tényező a GRAU kód.[4] A GRAU kód a Tüzér Főcsoportfőnökség által kiadott elnevezés. Például a Sztrela-2 vállról indítható légvédelmi rakéta GRAU kód szerinti neve a 9K32 (szám – betű – szám), de ilyet csak a szárazföldi, illetve az ebből kifejlesztett légi és vízi eszközök kaptak a légiharc-rakéták nem,[5] ez valamennyire megborítja a logikus típusjel kialakítást.

Az USA és a NATO is fenntart egy (majdnem teljesen)[6] logikus kódrendszert a szovjet-orosz fegyverrendszerek azonosítására, de ettől néha eltértek.[7] Ez az egységes jelzés/jelölés rendszer a rádiókommunikációt és azonosítást segíti. Az USA csak típus megjelölést használt, angol rövidítésből és sorszámozásból álló rendszert hozott létre. A NATO kód minden egyes szovjet (és kínai) repülőgép kategóriához vagy fegyverfajtához hozzárendelt egy kezdőbetűt, ez alapján adtak kódnevet mindennek. Persze ma már többnyire ismertek az szovjet-orosz megnevezések is.[8]

Mivel részletes és pontos információkat sokszor nem mindig sikerült szerezni még a hírszerző ügynökségeknek sem, ezért egyes esetekben több altípust könyveltek el, mint ami a valóságban létezett, de fordított eset is előfordult, hogy nem sikerült minden altípust beazonosítani és megkülönböztetni egymástól.

A nyolcvanas években ideiglenesen az első észlelés alapján neveztek el gépeket az USA-ban. A ramenszkojei[9] műholdfelvételek alapján először a Szu-25 Ram-J, Szu-27 Ram-K, Mig-29 Ram-L elnevezéssel jelent meg a nyugati sajtóban. Voltak téves azonosítások is, pl. a Szu-24-ről nyugaton először Szu-19 jelzés jelent meg.

A szovjetek és az amerikaiak is többnyire „butított” (degradált) változatokat adtak el különféle repülőgépekből és légvédelmi rendszerekből, legalábbis egyes részegységek, rendszerek tekintetében. Ez legtöbbször azt jelentette, hogy eltérő elektronikai (harcászati és navigációs) rendszerekkel adták a külsőleg egyező vagy majdnem azonos gépeket. A kavarodás akkora, hogy egyes típusokról ma már kideríthetetlen,

---

[3] *Pl. a MiG-21F-13 az MiG-21 család egy változatának rendszeresített típusjelzése volt. A tervezőirodai jelzése Je-6T volt, ipari jelzése pedig „74-es gyártmány”.*

[4] https://en.wikipedia.org/wiki/GRAU

[5] *Nem biztos, de valószínűleg igaz. (Tarr Gábor megjegyzése.)*

[6] *Saját megjegyzésem.*

[7] *A Kh-41 levegő-felszín rakéta nem ’K’ kezdőbetűs nevet kapott, ahogy elődei, hanem a Sunburn elnevezést kapta. A Moszkit / Sunburn azért lett "S" kezdőbetűs, mert hajó-hajó rakétaként indult. A hajóról indítható rakéták/robotrepülőgépek pedig "S" kezdőbetűsek. Nem hoztak létre külön jelölés/besorolást a légi indítású változatra, hanem megtartották azt.(Cifka Miklós kiegészítése.)*

[8] http://en.wikipedia.org/wiki/NATO_reporting_name

[9] http://www.globalsecurity.org/military/world/russia/zhukovsky.htm

hogy valójában pontosan milyen verziót milyen harcászati elektronikai rendszerekkel szállítottak le, emiatt született több tucat alváltozat és sokszor igen kacifántos típusjelzés.

Az eltérő speciális változatra jó példa a magyar Szu-22M3 flotta és a Gripenek is. A Magyarország által rendszeresített Szu-22 változat nem a típushoz általánosan használt Ljulka AL–21, hanem a Tumanszkij R–29BSz–300 hajtóművel készült, a Magyar Légierőben szintén (kis darabszámban) rendszeresített MiG-23MF vadászrepülőgépekkel való közös alkatrészbázis biztosítása érdekében. Ez azonban csak részben valósult meg, mert a Szuhoj hajtóműve nem volt csereszabatos a MiG–23MF R-29B-300 típusú hajtóművével, csak egyes fődarabjaik voltak azonosak.

A magyar Gripen szerződés módosítása miatt a rendszeresített változat hibrid lett. A gépek a levegőben történő üzemanyag felvétel (légi tankolás) új gyártású törzset kaptak, a C/D változatoknál használtat, de a szárnyaik a korábbi A/B változatú használt repülőgépekről származnak, miközben a fedélzeti rendszerei (avionika)[10] a C/D változaton alapulnak. Ezen felül a magyar Gripenek a NATO kompatibilitás miatt olyan elektronikai rendszerrel is rendelkeznek, amivel a svéd C/D változatok nem. Tehát az EBS HU változat közeli rokona a svéd C/D változatoknak, de mégsem teljesen azonosak.

Következzen néhány példa a jelölésekre és elnevezésekre, az USA kód és NATO kód egyszerre van feltüntetve, egymás után a szovjet-orosz harceszközökre.

- helikopter, (helicopter), **H** – Mi-24 Hind, Mi-8 Hip.
- vadászgép, (fighter), **F** – MiG-29 Fulcrum, Szu-27 Flanker. A jelölés már az ’50-es években sem volt teljesen következetes, mert a vadászgép méretű alacsonytámadó (attack) és csapásmérő (strike) gépeket is ebbe az osztályba sorolta. Ilyen pl. az ’50es évek végi Szu-7 Fitter, ahogy a ’70-es évek végi Szu-24 Fencer sőt a Szu-25, Frogfoot, ami még a hangsebesség elérése sem volt képes, mégis ’F’ kezdőbetűs nevet kapott.
- bombázó, (bomber), **B** – Tu-22M Backfire, Tu-16 Badger, Il-28 Beagle. A hadászatitól egészen a stratégiai bombázóig találhatóak itt típusok. (A „stratégiai” terminológia magyarázatát lásd a 2.10. fejezetben.)
- föld-levegő légvédelemi rakéta, (surface to air missile), a gyakrabban használt rövidítésük a SAM, **G.** SA-2 Guideline (Sz-75 család), SA-6 Gainful, SA-9 Gaskin. A nevükben szereplő ’G’ kezdőbetű a „guided” angol szóra utal, ami irányított rakéta-rendszert jelöl. Az SA rövidítés a „surface to air” szavakat takarja, tehát szárazföldi telepítésű rendszerekről van szó. Több szovjet-orosz légvédelmi rakéta-rendszernek van haditengerészeti, hajóra telepített verziója, ezek rövidítése SA-N (surface to air-naval). Pl. az SA-10B, orosz Sz-300 légvédelmi rakéta-rendszer család egyik változata, annak haditengerészi változata az SA-N-6.

*A szovjet **honi légvédelmi** rakétarendszereket jellemzően folyókról nevezték el, például. Nyeva/Néva (Sz-125M1 / SA-3B), Angara (Sz-200 / SA-5).*

[10] *Avionika lényegben a gép összes érzékelőjét (radar, besugárzásjelző, infravörös érzékelők, terepkövető radar), műszerezését (kijelzők a kabinban, stb.) és elektronikájának) összefoglaló neve. Minden olyan műszaki megoldás, ami gép tájékozódását, kommunikációját, illetve a fegyvereinek eredményes alkalmazását segíti.*

*A **csapatlégvédelmi** rendszereket geometriai alakzatokról, avagy ahhoz köthető formákról nevezték el, egy kivétellel. Példák erre a szabályra a „Kocka" (2K12 Kub/SA-6), „Kör" (2K11 Krug/SA-4), „Nyíl" (Sztrela/SA-7) rendszerek. A fenti „szabály" alól kivétel a 9K33 Osza/SA-8, mert a honi légvédelmi rakétarendszereket tervező iroda segített gatyába rázni és hadrendbe állítható formába áttervezni a korábbi „Ellipszis" elnevezésű rendszert. Emiatt amolyan „odaszúrásként" a honi légvédelemnél használt elnevezési „szabály" szerint kapta a nevét a csapatlégvédelemnél használt helyett, lásd 6.2.4.4.15. fejezetben.*

A legtöbb légvédelmi rakéta-rendszernek továbbfejlesztett változata is létezik, ezért a különféle variánsok eltérő típusjelzést és nevet is kapta. Például az Sz-75 két eltérő fejlődési ágán levő rendszerek eltérő típusjelzéssel és elnevezéssel bírtak. Az SzA-75 Dvina 10 cm-es hullámhosszon üzemelt (SA-2A, SA-2B, és SA-2F típusjelzés nyugaton), az Sz-75 Gyeszna és Sz-75V Volhov 6 cm-es hullámhosszon (SA-2C és SA-2E változatok)

- levegő-felszín rakéta, (air to surface), **K** – AS-6 Kingfish, AS-14 Kedge, AS-10 Karen.[11] A szárazföldi és haditengerészeti (hajó) ellen tervezett eszközöket nem különböztette meg az USA, ahogy a saját gyártású fegyvereknél sem. A harckocsik és egyéb „kemény" célok ellen használt AGM-65 Maverick és a hajók ellen használt AGM-84 Harpoon is ugyanazt a három karakteres rövidítést kapta.

- levegő-levegő légiharc-rakéta,(air to air), **A** – AA-2 Atoll, AA-11 Archer, AA-10 Alamo, AA-7 Apex.

- szállító repülőgép (cargo), **C** – Il-76 Candide, An-72 Coaler, An-24 Coke, An-2 Colt. Még a legkisebb kétfedeles kávédarálót is ugyanúgy besorolták, mint a hatalmas szállító gépeket.

Az USA vadász- (fighter), támadó/csapásmérő- (attack/strike) és bombázó (bomber) repülőgépeinél is néha kavarodás van a jelölések között, mert egyes gépeket vadászgépnek kezdtek fejleszteni, de aztán mégsem az lett belőlük. Ilyen pl. a csapásmérő/bombázógépek egykori nagyágyúja, a '60-as évek végén szolgálatba álló az F-111 és az FB-111. Az F-111-et még a SAC[12] (Strategic Air Command) is rendszeresítette, mint nagy hatótávolságú stratégiai atomfegyver hordozót (némi átalakítást követően), holott eredetileg vadászgépnek tervezték. A módosított gépek típusjelzése F-111-ről FB-111-re változott.[13] Az F-111 többi változata a TAC (Tactical Air Command) legnagyobb hatósugarú és legpotensebb csapásmérői voltak az egész hidegháború alatt, gyakorlatilag légiharc képesség nélkül.

Az F-117 estében más a helyzet a félrevezető típusjelzéssel. Az első alacsony észlelhetőségű[14] repülőgép volt, de csakis csapásmérésre tervezték. Megtévesztés céljából kapta ezt a típusjelzést, ezzel is védték a titkot, ha netán egyáltalán a típusjelzése kiszivárgott volna a gépnek, mert sokáig még az sem volt ismert.[15]

Az európai nemzetek néha csak neveket adtak harci gépeiknek, de típusjelzést nem, csak az altípusokat különböztették meg, ilyen például az Angol Királyi Légierőben a Panavia Tornado és annak különféle változatai. (GR.1, ADV), de ilyen volt a SEPECAT Jaguar típus is.

---

[11] *Nem tudom, hogy miért K betűkódot kaptak ezek, wiki szerint az orosz típusjelzés Kh angol átirata miatt.*

[12] *A SAC '92-ben megszűnt és a stratégiai bombázógépek az USAF egységes szervezeti egységén belül szolgáltak tovább.*

[13] *Lásd az F-111 csapásmérő gépről szóló írásomban.*
http://htka.hu/2010/04/11/general-dynamics-f-111-aardvark-avagy-a-rettegett-foldimalac/

[14] *Magyar sajtóban leggyakrabban „lopakodó", angolul „stealth".*

[15] *Ebből született meg az F-19 Ghostraider fantáziagép, mert az alacsony észlelhetőségű repülőgép létezését mégis megsejtették, de a nyilvánosság számára 1988-ig az F-117 létezése ismeretlen volt. Teljes titoktartás övezte a típust a B-2-vel szemben, amit nyilvánosan a nagyközönség számára is bemutattak. Az F-19 Tom Clancy Red Storm Rising (magyar kiadás a Vörös Vihar címet kapta) című könyvében is szerepel, de ez képzelet szülte repülőgép.*

Néhány példa a repülőgép típusjelzésekre az USA légierejénél és haditengerészeténél:

- Támadó/csapásmérő gépek (attack), **A** – A-10 Thunderbolt II, A-4 Skyhawk, A-6 Intruder, A-7 Corsair II, A-1 Skyraider. Itt a két kakukktojás F-111 és az F-117, mindkettő csapásmérő. Az AV-8 Harrier II[16] típusnál a 'V' betű a vertical szóra utal, függőleges fel- és leszállásra képes a típus. Az AV-8 típusjelzés idővel túlhaladottá vált, mert a kezdetben egyfeladatos csapásmérő látótávolságon túl vívott légiharcra is alkalmassá vált AIM-120 légiharc rakétával az Amerikai Tengerészgyalogság kötelékében (USMC).

- Bombázó repülőgépek (bomber), **B** – B-52 Stratofortress, B-1B Lancer, B-2 Spirit. Félig kakukktojás az FB-111, mert bár az alaptípust nem interkontinentális bombázónak tervezték, de azért a taktikai csapásmérőkhöz képest jóval nagyobb harcászati hatósugárral rendelkezett. A „felpumpált" változat többszöri légi utántöltéssel alkalmas volt interkontinentális csapásmérésre is. (A stratégiai bombázóknak egy légi utántöltés is elég.)

- Vadászrepülőgépek (fighter), később többfeladatos vadászgépek (multirole fighter), **F** – F-86 Sabre, F-100 Super Sabre, F-104, az '50-es évek típusai, F-15 Eagle, F-16 Fighting Falcon, F-14 Tomcat, F/A-18 Hornet, a „tinédzser" széria gépei a '70-es évek közepétől. Az F-111 tervezése után újrakezdték a számozást az összes repülőgépnél (harcjárműveknél is), az egységesítés jegyében,[17] de a '70-es évek végi F-117 itt is kilóg a sorból.

- Elektronikai zavaró / elektronikai felderítő gépek (electronic warfare), **E** – EF-111A Raven, EA-6B Prowler, EA—18G Growler, EC-135. Ezeknek is vannak különféle típusai eltérő feladatkörrel, a típusjelzésben szereplő kiegészítő karakterek ezekre utalnak.[18]

- Légtérellenőrző gépek (AWACS, airborne warning & control system), **E** – E-2 Hawkeye, E-3 Sentry, bár ide tartozik az E-8 Joint STARS. Ez az AWACS szárazföldi célok elleni változata, földi és vízfelszíni célokat felderítése és követése a feladata. Újabban az AWACS kifejezés helyett az AEW&C (airborne early warning & control) kezd megszokottá válni, pl. a Saab 340 típusból kialakított légtérellenőrző gépnél is ezt használják, ahogy az E-7A Wedgetail típus esetében is.

- Légi utántöltő gépek (kerosene cargo), **KC** – KC-135 Stratotanker, KC-10 Extender

- Szállító gépek (cargo), **C** – C-130 Hercules, C-5 Galaxy, C-17 Globemaster, C-141 Starlifter

A függesztmények (fegyverek, konténerek, egyéb eszközök) jelölése is logikus, a lenti linken elérhető az egyik legnagyobb adatbázis a témában.[19] Mindig egy előtag utal a fegyver alapvető kategóriájára, aztán egy számsor következik, ami a konkrét típust azonosítja. A légiharc-rakétáknál ez pl. AIM (air intercept missile) előtag és számozás. A típusjelzés után az altípusokat további számokkal és betűkkel különböztetik meg. Például az AIM-9 Sidewinder légiharc rakétából az idők során létezett már B, D, E, G, H, J, L, M, N, P, S és X

[16] *A Harrier az angol változat neve volt, az AV-8 a USA által gyártott variáns típusjelzése, de ettől függetlenül a Harrier nevet is használják.*

[17] *http://www.joebaugher.com/Fnavydesig.html Az 1962 Unified Designation System résznél van a történet, amikor Robert McNamara (az USA akkori védelmi minisztere) kiakadt attól teljes logikátlan rendszertől.*

[18] *Első karakter a specializált feladatkört mutatja, a többi része az alaptípusra utal.*

[19] *http://www.designation-systems.net/usmilav/aerosupport.html#_ASETDS_Listings*
http://www.designation-systems.net/usmilav/jetds/an-aa2ad.html
http://www.designation-systems.net/usmilav/asetds/u-c.html
Az oldal tetején lehet végigmenni ABC sorrendben típusjelzések szerint.

változat, de még ezeknek is voltak eltérő modifikációi, például a Sidewinder M változatának kései variánsa az AIM-9M10. Az egyes változatok ráadásul időrendben nem feltétlen ABC sorrendben követték egymást.[20]

A hagyományos szabadeséső bombák harci része lehet többféle is, de általában nagy erejű robbanóanyag (HE, high expolsive) vagy napalm / gyújtó (incendiary) de léteznek egyes bombáknak páncéltörő verziói „kemény" célok, pl. betonbunkerek ellen. Ezek típusjelzése még az USA haderőnemeinél sem volt teljesen egységes a történelem során. Példák a HE bombákra a ma használatos Mk-82, Mk-83 vagy Mk-84 típusok, de ugyanilyen szerepben használatos hagyományos bomba volt az M117 is. Látható, hogy tökéletesen azonos kategória ellenére a típusjelzés nem egységes.

A kisebb résztölteteket tartalmazó fegyverek jelzése CBU (Cluster Bomb Unit). Ezeket kazettás vagy fürtös[21] bombának is hívják a magyar terminológiában, de az utóbbi kifejezés erősen kikopóban van. itt is előfordul kivétel a típusjelzés terén, erre példa az Mk-20 Rockeye kazettás bomba, pedig a típusjelzése az Mk-82/83/84 típusokhoz hasonló HE bombákra utal. A résztöltetek sokféle változatban és méretben léteznek az eltérő kazettás bombákon belül is, ezeket betű-szám(betű) kombinációval tüntetik fel. Pl.: CBU-58A, CBU-58B vagy CBU-58A/B.

A kazettás bombáknál további bonyolító tényező, hogy az azokban levő szóró rendszereknek és a bombatestnek is külön elnevezése van az amerikai fegyveres erőkben. A kazettás bombáknál az adott BLU (résztöltet, bomblet) adott SUU-val (Stores Release and Suspension Units, szóró rendszer) kombinálva ad ki egy konkrét bombát. Például a CBU-97 kazettás bomba SUU-66/B tactical munition dispenser és 10 db BLU-108 töltet együtteséből tevődik össze (természetesen a bomba testtel együtt.)

A Haditengerészet viszont az Mk-82/83/84 bombákra használja a BLU jelölést (BLU-111/110/109), holott lényegében a fenti bomba családról van szó, csak speciális tűzálló bevonattal vannak ellátva.[22] Történelmi okokból ezekre is használatos az Mk-82/83/84 jelölés több helyen is, csak a rendkívül precíz oldalak „szőröznek" a fenti megkülönböztetéssel. (Egyes napalm töltetű bombák is BLU jelöléssel rendelkeztek.)

A levegő-föld (levegő-felszín)[23] rakéták az AGM (air to ground missile) előtaggal és számozással jelöltek, (A levegő-föld fegyverek típusaival ás vezérléseivel a 6. fejezet foglalkozik.)

A lézerirányítású bombákra gyakran használt rövidítés az LGB (laser guided bomb), de a típusjelzésük GBU (guided bomb unit). Érdekesség, hogy a siklóbombák is GBU típusjelzéssel bírnak, a rakéta póthajtással induló, de amúgy siklóbomba AGM-130 viszont nem GBU típusjelzést, hanem a rakétákra használt AGM jelzést kapta. A sikló bombák attól térnek el a rakétáktól és lézervezérlésű bombáktól, hogy a vezérsíkok a bombán nem síklapok, hanem repülőgépekhez hasonlóan profilozott szárnyakkal bírnak, amik számottevően nagyobb felhajtóerőt termelnek, ezáltal a bombák indítás után sokkal messzebbre siklanak el.

[20] http://www.designation-systems.net/dusrm/m-9.html
http://wiki.scramble.nl/index.php/Raytheon_AIM-9_Sidewinder

[21] *Az altöltetek szőlőfürt-szerűen vannak a bombatestben felfüggesztve.*

[22] https://goo.gl/ufh2Xq *A speciális bevonat miatt rücskös a bomba felszíne.*

[23] *Érdekes, hogy a szovjet levegő-föld rakéták AS (air to surface) rövidítést kaptak az amerikaiaktól, de a saját ugyanilyen kategóriájú fegyverek típusjelzése AGM. (air to ground missiles)*

Az újabb GPS vezérlésű bombák is GBU kódot kaptak (JDAM család) viszont érdekes módon a siklóbomba JSOW család az AGM-154 jelöléssel bír, mint a levegő-föld rakéták, pedig nincs hajtóműve a bombának.[24]

A különféle elektronikai hadviselésre használatos konténerek és berendezések típus jele AN/ALQ, az elektronikai védelmi rendszerek, radar besugárzásjelző és zavarótöltet szórók az AN/ALE kódolással jelöltek. Nem függesztmény, de ide sorolható a vadászgépek fedélzeti radarjainak jelölése is, ezek AN/APG előtaggal rendelkeznek.

A repülőgépek, fegyverek, fegyvercsaládok a típusjelzésen kívül rendelkezhetnek hivatalosan is névvel. Az USA lézerirányítású bombái a Paveway családnevet kapták, ennek már a negyedik generációja van gyártásban.[25]

Egyes gépekre a sajtó vagy az üzemeltető személyzet által ráaggatott becenevek is léteznek. Az F-117 esetében a Nighthawk név csak úgy ráragadt, nem hivatalos elnevezés, de a típust karbantartói „Toxic Avenger" névvel is illették annak mérgező festése miatt, amihez védőfelszerelés nélkül nem volt szabad közelíteni.

Az A-10 típust gyakran hívják varacskos disznónak (Warthog), pedig a típus hivatalos neve Thunderbolt II. Ennek oka az, hogy egyesek szerint annyira elegáns repülőgép, mint egy disznó.[26] Az F-16 vadászgép hivatalos neve Fighting Falcon, azonban az amerikai pilóták legalább olyan gyakran illetik Viper néven, az eredeti Falcon elnevezés használata az öreg kontinensen dívik inkább. (A repülőgép előrenyúló szárnytő része hasonlít a vipera fejére.)[27] A B-52 interkontinentális bombázót sokszor csak „BUFF" néven emlegetik, jelentése nyomdafestéket nemigen tűr, erősen utal arra, hogy mit is gondol a technikát üzemeltető és repülő személyzet a vasmadárról.

Vannak viccesebb becenevek vagy csak olyanok, amik a gép szerepkörére utalnak, de ragadványnevet sokszor ellenfelek is adtak harceszközöknek. Az afgán mudzsahedinek a Mi-24 harci helikoptert ördögszekérnek „becézték", de az A-10 típust hívták már „suttogó halálnak", mert csendes hajóműveit 1-2 km távolságból már nem hallani.

Az ötvenes évekig a Magyar Légierőben (talán titoktartási okokból), de minden gép kapott a típusjelzése után elnevezést, pl. az Il-10 „Párduc", a Jak-11 „Ölyv", a Li-2 „Teve", a MiG-15 „Sas", de későbbi gépek már nem rendelkeztek állat vagy semmilyen névvel sem hivatalosan. A MiG-29-est a hazai közösség leginkább csak „Nagyvas" néven emlegeti, a korábbi MiG-21-hez képes sokkal nagyobb méretére utalva.

A szovjet-orosz fegyverek jelölése is követi nagyjából a fenti a logikai elveket. A légiharc-rakétákat típus-szám és betű jelöléssel látták el, a csapatoknál is ez a jelölésforma használatos. Amelyik rakétából létezik infravörös és radarvezérlésű verzió is, ott R jelöli a radaros változatot és T az infravöröset, ilyen pl. R-23R és az R-23T. A NATO kódban a számok után alfanumerikus karakterekkel jelölik az egyes altípusokat,

[24] *A JSOW program eredetileg egy stand-off fegyverről szólt, külön kiemelték, hogy önirányítónak kell lennie, kiváltva a AGM-12 Bullpup és AGM-65 Maverick rakétákat. A Haditengerészet, hogy egyértelművé tegye, hogy itt önirányító stand-off fegyverről, és nem lézeres-rávezetésű bombáról van szó, AGM jelöléssel illette, ebből a szempontból egyedülálló kakukktojás. (Cifka Miklós kiegészítése.)*

[25] *Ennek nincs köze a vadászgépek generációs besorolásához, egyszerűen Paveway I, II, III, IV a megnevezése az egyre fejlettebb lézervezérlésű bomba változatainak.*

[26] *Szerintem kifejezetten szép repülőgép, de kinek mi tetszik...*

[27] *http://www.f-16.net/articles_article10.html*

tehát az R-23 két eltérő verziója AA-7A és AA-7B Apex vagy az R-27 Alamo különböző típusai az R-27R és R-27ER esetén AA-10A és AA-10C. (GRAU kódjuk a légiharc-rakétáknak nincs.)

A bombáknál és rakétáknál hatalmas a variációs lehetőség és az ebből adódó kavarodás. Vannak főbb alap bombatípusok, további rövidítésekkel különböztetik meg azok speciális változatait. A főbb bombatípusok jelzései egyben más bombák résztölteteit is jelölhetik vagy például azt, hogy rakéta póthajtásúak, ernyős fékezésűek illetve más egyedi képességgel vagy jellemzővel rendelkeznek. Következzenek a főbb szovjet-orosz típusok, latin betűs majd orosz rövidítésekkel, és végül latin betűs fonetikus írásmóddal:

- FAB, ФАБ – Fugasznaja Aviacionnaja Bomba. Repülőgép-fedélzeti rombolóbomba. Nagyjából az USA Mk-82/83/84 bombacsaládjának megfelelő eszközök kivéve, hogy a napalm / foszfor töltetű bombák azok külön kategóriát képeznek az oroszoknál.
- OFAB, ОФАБ – Oszkolacsnaja Fugasznaja Aviacionnaja Bomba. Repesz-romboló bomba.
- BetAB, БетАБ –Betonbojnaja Aviacionnaja Bomba. Betonromboló légibomba, kifejezetten kifutópályák ellen.
- ODAB, ОдАБ– Objemno Detoniaujuscsaja Aviacionnaja Bomba. Aeroszolos töltetű bomba.
- KAB, КАБ – Korrektijemaja Aviacionnaja Bomba. Korrigált zuhanású légibomba. Ez lehet infravörös, TV, rádió-parancsvezérelt vagy lézeres vezérlésű is, lényeg az, hogy precíziós.
- PTAB, ПТАБ– Protyivo Tankovaja Aviacionnaja Bomba. Páncéltörő bomba.
- KMGU, КМГУ–Kontejnyeri Malogabaritnih Gruzov. Mini bombák / kiskaliberű töltetek szórására alkalmas eszköz, a bombák / töltetek kiszórása után a konténer a repülőgépen marad függesztve. Lényegében a kazettás bombákhoz hasonló eszköz, csak nem egyszer használatos, és jobban variálhatóak a résztöltetek. Ehhez hasonló eszköz volt Tornado csapásmérőkön JP-233 (angol) vagy MW-1 (német) konténer.
- RBK, РБК– Razovaja Bombovaja Kaszeta; Egyszer használatos kazettás bomba, az amerikai CBU bombák orosz megfelelői.
- ZAB, ЗАБ – Zazsigatyelnaja Aviacionnaja Bomba; Gyújtótartály, gyakorlatilag napalmbomba.

A fentiek alapján az FAB-250 UKB például 250 kg-os bomba, az UKB a speciális, fékernyővel fékezett változata alacsonytámadáshoz. A fékezett bomba lényege, hogy oldás után lemarad a géphez képest, így a robbanás kismagasságú bombaoldásnál nem okoz kárt a hordozó gépben. (Nagyobb magasságbó ezek a bombák használhatatlanok.)

A FAB-250 UKB az amerikai BSU bombákhoz hasonló eszköz. A lenti képeken amerikai fékezett bombák közül látható két típus, az 500 fontos kategóriában. Vannak még egyéb speciális rendeltetésű bombák is (pl. világító, füst, gyakorló, agitációs/propaganda/röplap szóró), de ezek nem túl lényegesek az összefoglaló szempontjából.

Baloldalt a kinyíló féklapos Mk-82 Snakeye, jobboldalt ernyővel fékezett BSU-49 bombák láthatóak

A szovjet-orosz levegő-föld irányított rakéták nagy része Kh-szám (H-szám vagy X-szám magyar illetve cirill ábécével) jelzéssel vannak ellátva. Ez alól kivétel pl. a Tu-22M gépek fő fegyvere a KSR-5 levegő-felszín rakéta. A szovjet-orosz levegő-föld rakéták NATO kódjele „AS-szám", a KSR-5 például AS-6 Kingfish típusjelzést és megnevezést kapta USA-NATO oldalon, a nagytestvére a Kh-22/H-22, AS-4 Kitchen.

A függesztmények nagy csoportja a különleges rendeletetésű fotó és elektronikai felderítő konténerek. Ezekbe különböző kamerarendszerek vannak beépítve, amik adott esetben nem csak a látható fény, de infravörös tartományában készítenek felvételeket. A fotó-felderítő eszközök filmre dolgoztak, de a digitális korszak beköszöntével már repülés közben, akár élőben is lehetséges a felderítési adatokat továbbítani, film használata nélkül a digitális képmegjelenítési és adatátviteli technológiának köszönhetően.

Fotó-felderítő konténerek mellett rádióelektronikai felderítő konténereket is ki fejlesztettek, illetve egyes eszközök oldalra néző felderítő radarral oldják meg a célfelderítést.

A lézervezérlésű bombák célba juttatásához szükséges célfelderítő és megvilágító rendszerek is jellemzően konténerekben kaptak helyet, legalábbis nyugaton, az szovjet-orosz gépeknél ettől eltérő koncepció alakult ki a hidegháború alatt, lásd később a 7. fejezetben.

A függesztmények utolsó nagy csoportja a ledobható tüzelőanyag tartályok, gyakrabban használt nevük póttartályok. A hatótávolság megnövelése céljából a fegyverzet mellett vagy akár azok rovására lehet ezeket a gépekre függeszteni.

Egy nagyon fontos dolog maradt még hátra a típusjelzések témakörének lezárásához. Számtalanszor lehet találkozni olyan megjegyzésekkel, hogy „MiG-29 ezt és ezt tudja" vagy, hogy az „F-16 negyven éves", illetve további hasonló sztereotip, de teljesen értelmetlen kijelentésekkel. Ezeket a típusjelzéseket ebben a formában így ostobaság használni, mert ebben a formában egész egyszerűen megtévesztőek, félrevezetőek és emiatt lényegében alkalmatlanok. Az alváltozat megjelölése nélkül ezek csak az alaptípusra utalnak, de semmi többre.

Egy '80-as években gyártott MiG-29 9.12 és egy MiG-29SzMT vagy az első F-16A Block 1 és a 30 évvel későbbi Block 50+ változat képességei között hatalmas szakadék tátong annak ellenére, hogy külsőleg egy laikus számára a festést leszámítva első pillantásra szinte azonosnak a gépek. Egy igen egyszerű és hétköznapi példán keresztül jobban érthetővé válik a probléma.

Amikor bárki kijelenti, hogy például egy Volkswagen Golf jobb, mint egy Opel Astra, akkor konkrétan mire gondol? A ’70-es években gyártott Volkswagen Golf-ot veti össze egy 2015-ös Opel Astrával, esetleg fordítva, vagy mindkettőből a legújabb modellt? És ez csak az alapokra vonatkozik, mert még egy autó is rendelkezik alapfelszereltséggel és extrákkal, ahogy a repülőgépeknél is értelmezhetőek ezek a kitételek.

A fenti megjegyzése nem csak repülőgépekre igaz, hanem gyakorlatilag minden komolyabb fegyverrendszerre. Az M1 Abrams harckocsi[28] ’70-es évek végi alap változata és a XXI. századi M1A2 SEP, vagy az Irakban használt export és butított T-72 (például a magyar T-72M1) változata és a T-72BU közötti hasonlóság annyi, hogy nagyon távoli közös ősük van, de az eltérő technikai felszereltségük miatt képességek terén ég és föld a különbség. A T-72BU-t az Irakban használt sokkal primitívebb T-72-esek lemészárlása után keresztelték át T-90-re, de ennél messze több téren eltérnek egymástól. Ezért azzal érvelni, hogy a T-72 egy ócskavas, mert Irakban „ez és az történt” nagyon botor dolog. Ebből levonni bármiféle következtetést az egyéb T-72 változtok vagy a T-90 képességeire vonatkozólag egyszerűen nevetséges.

Mire a szárazföldi hadműveletekre sor került Irak ellen 1991-ben a hathetes légi offenzívát követően, addigra a légierő olyan komoly pusztítást végzett az iraki erők között, hogy a harci szellem egy-két alakulatot leszámítva gyakorlatilag nem is létezett. A szárazföldi hadművelet már „lejátszott meccs” volt a Sivatagi Vihar hadművelet végén. Na nem mintha a légi háború nagyon más lett volna, csak utólag állították be annak a Sivatagi Vihart, aminek, lásd az F-15-ről szóló írás idevágó részét.[29]

Légvédelmi rendszereknél ugyanez a helyzet. A MIM-23 HAWK majdnem 60 éves múltra tekint vissza és a rendszer egyes képességeinél ez valóban korlátozó tényező marad, pl. a rakéta mérete és annak változatlan hajtóműve behatárolja a rendszer megsemmisítési zónáját (hatótávolságát). Csak éppen ma olyan elektronikával és adatkapcsolattal rendelkezik a rendszer legkorszerűbb változata, amiről az ős változat tervezésekor álmodni sem mertek. A rendszer több elemét, a radarokat és a mögötte levő számítástechnikát teljesen kicseréltek, nagyjából a rakéta meghajtása és a rávezetési alapelv maradt azonos.

Szovjet-orosz oldalon az Sz-300 családnak is több eltérő képességgel bíró tagja van, hogy ez típusjelzés nagyjából arra elégséges, hogy az összes Sz-300 változatot azt megelőző légvédelmi rakéta- rendszerektől megkülönböztesse, de családon belüli képesség differenciák ettől még léteznek és számottevőek. Egy Sz-300PSz képességei közelében nincsenek egy Sz-300PM2-nek, a két változatot több mint 20 év választja el egymástól.

Még „földhözragadtabb” példa az M16 és AK-47 esete. Ezen kézifegyverek megítélésben sokak fejében még mindig a legelső vietnámi tapasztalatok élnek, és ez alapján kerek perec ki merik jelenteni, hogy az M16 egy „használhatatlan műanyag vacak”, holott azóta eltelt több, mint 50 év. Mindkét gépkarabélyból azóta annyi féle változat terveztek és gyártotta le, mint égen a csillag. Természetesen a használat közben felmerülő problémákat orvosolták mind az M16, mind az AK-47 esetében is, mert senki ne gondolja azt, hogy lerombolhatatlan renoméja ellenére a Kalasnyikov hibátlan volt és mai napig ugyanabban a formában gyártják, mint 50 évvel ezelőtt. (AK-74 típusjelzéssel még a lényegesen kisebb kaliberű, 5,45 mm-es lőszert használó változatot is kifejlesztettek.)

Ezekből a példákból remélhetőleg világos, hogy miért fontos az altípus konkrét megnevezése egy fegyver esetén.

---

[28] *A köznyelv ezeket legtöbbször csak tanknak hívja, de a szakmailag korrekt megnevezésük a harckocsi.*
[29] *http://htka.hu/2012/12/04/mcdonnell-douglas-f-15-eagle/ 8.2.3 fejezet.*

2. Repülőgépek osztályozása, repülőgépek feladatköre, célpontok

2.1. Bevezető

Előre bocsátom, a besorolási mizéria őrületbe fogja kergetni a kedves olvasót. A repülőgépek evolúciója, azok feladatköre közötti határ részleges elmosódása, az internetes írások számottevő részében országonként eltérő terminológia használata megnehezíti a helyzet tisztázását. Ez a fejezet részben történeti áttekintés is, a zavart részben mára már kihalt kategóriájú repülőgéptípusok okozzák, azonban érdemes néhány szót szólni ezekről is, mert a harci repülőgépek evolúciójának szerves részét képezik. A lenti besorolás az angolszász, és abból részben származó ma használatos magyar terminológiát követi.

2.2. Csapásmérők, vadászbombázók, bombázók és interkontinentális (hadászati)[30] bombázók

Első lépésként ismerkedjünk meg vadászbombázó kategóriával. Ma már ritkán használatos fogalom ez, mert mára általánosan elterjedtek a többfeladatos (multirole) vadászgépek, aminek feladatkörében benne van a vadászbombázó feladata is. Azonban a hidegháború alatt megalkotott, ebbe a kategóriába tartozó egyfeladatos típusok közül számos még a XXI. század második étvizedében is aktív szolgálatot teljesít. Az egyfeladatú, szuperszonikus sebességre képes, elsősorban nem légiharcra kifejlesztett repülőgépekből egyre kevesebb van, ezért azokat gyakran pontatlanul vadászgépnek vagy bombázónak titulálják egyesek, amiből legfeljebb a második igaz, de az is csak részlegesen.

A vadászbombázó kifejezés régen azokra az egyfeladatos típusokra volt használatos jellemzően – de nem kizárólagosan – amik a „vadászgép méretben” valósították meg a csapásmérő / bombázó / támadó feladatkört. Az adott korszak csúcskategóriás vadászgépeinek maximális sebességét elérték bombafegyverzet nélkül, de minimum szuperszonikus sebességre képes típusok voltak. Ebbe a kategóriába tartozott a Szu-7 Fitter a ’60-as években, a MiG-27 Flogger, Szu-17/22 Fitter vagy a Szu-24 Fencer a ’70-es évektől a Szovjetunióban, az F-111 a ’60-as évek végétől az USA-ban, továbbá az európai Panavia Tornado is a ’70-es évek végétől. A „vadászgép méret” egy igen tág fogalom, a 7-8 tonna (üres) tömegű gépektől kezdve a 22 tonna tömegű[31] F-111 vagy Szu-24-ig bezárólag – de már kéthajtóműves gépek – voltak és vannak gépek ebben a kategóriában.

Balra az F-111, jobbra a Szu-7 vadászbombázók (vagy csapásmérők, ahogy tetszik).

Az egyfeladatos vadászbombázókat csapásmérőknek is szokták titulálni, de ezzel megint csak a nő kavarodás, mert a hangsebesség alatti (szubszonikus) csatarepülő, és egyes országokban a könnyű bombázógépekre is ez a kifejezés használatos sőt, a Szu-25 és A-10 gépek feladatköre annyira speciális,

[30] *A terminológia értelmezését lásd 2.2. fejezetben.*

[31] *Üres tömeg alatt a repülőgép szerkezeti tömegét értjük úgy, hogy semmivel nincs a gép feltöltve, továbbá pilóta nélkül.*

hogy azokra is külön kategória megnevezés használatos, ezek a „támadó" gépek.[32] Ez lényegében az angol tükör fordítás eredménye (*„attack"*), csatarepülőgépeknek is szokták ezeket néha hívni magyarul,[33] ahogy a II. világháborús Il-2 Strumovikot, a hasonló feladatkörük és páncélozott voltuk miatt.[34] Talán úgy lehetne összefésülni elegánsan ezt, hogy miden vadászbombázó csapásmérő, de nem minden csapásmérő vadászbombázó.

Még az angol terminológia sem teljesen egyértelmű, mert ott is használatos (volt?) a „*tactical fighter*", *„fighter bombe*r", *„strike fighter"* és *„attack"* kifejezések a feladatkör leírására. A *„fighter bomber"* és *„strike fighter"* kategória gépei jellemzően szuperszonikus repülőgépek, de érdekes módon az *„attack"* kategóriába sorolja néha a szubszonikus csapásmérőket is, mint pl. az A-6 Intruder vagy A-7 Corsair, pedig azok jellemzően az „attack" besorolásba eső géptípusoktól eltérő célokat támadtak.

A csapásmérő és támadó gép közötti vékony határvonal részben az általuk jellemzően támadott célokban jelentkezik. Az A-10 gépeket szinte kizárólag harcjárművek leküzdésére tervezték, és bár semmi sem gátolná meg az A-6 Intrudert ilyen célok támadásában, azt jellemzően mégis statikus célpontok ellen használták (hidak, repterek, épületek, stb). A többfeladatú vadászgépeknél azért nem szerencsés, amikor pongyolán bombázónak titulálja azokat bárki, mert bár tény, hogy bombázni is képesek, de nem csak bombafegyverzet használatával képesek szárazföldi vagy vízfelszíni célok támadására, ezért szerencsésebb szóhasználat a csapásmérés. Persze később meg látni fogjuk, hogy az a kevés típus, ami valaha bombázó volt, ma már nem csak bombafegyverzet használatára képes.

Mi a fenti zavaros fejtegetés lényege? Bárki, aki „csapásmérő" vagy a „vadászbombázó" terminológiát használja általánosan, akkor a fenti említett, az azokhoz hasonló típusok által lefedett méretű, tömegű, sebességű és feladatkörű gépekre gondol, szubszonikus társaikkal kiegészítve, egyedül az A-10 és Szu-25 jelent külön kategóriát.[35] A később bemutatásra kerülő többfeladatos gépeknél egyszerűen csak a „vadászgép" terminológia a bevett, az összefoglaló is jellemzően ezt fogja használni. Az egyfeladatos típusoknál mindig megtörténik a gép feladatkörének kiemelése egyértelművé téve a helyzetet.

Balra az A-6 Intruder szubszonikus csapásmérő, jobbra az A-10 Thunderbolt támadó/csatarepülőgép.

[32] *Ami elég furcsa valljuk be, mert melyik fegyverzettel ellátott gép az, ami támadásra nem alkalmas...?*
[33] *Ilyen terminológiát az angol nem is ismer, ez inkább bulváros besorolás.*
[34] *Tudtommal semmilyen más merevszárnyú repülőgépen nem használnak ma már páncélzatot, csak ezen a két típuson, egyetlen kivétel van a MiG-23 specializált csapásmérő változatáé (MiG-23BN) és esetleg annak leszármazottjában a MiG-27-en, de ezek is eltűnőben, kihalófélben levő típusok.*
[35] *http://katpol.blog.hu/2008/11/21/coin_repulogepek_part_1 Kiegészítve a COIN célra használt vagy tervezett gépekkel.*

A II. világháború alatt vadászgépekkel is láttak el támadó („attack") feladatkört, de akkor még nem ilyen kategorizálás volt, ezért az '50-es éveket megelőző időszakkal nem foglalkozom a továbbiakban. Ma már nem releváns, csak történeti szempontból érdekes ez a korszak. Akkor ami csak bombázni tudott az bombázó volt. Ez lehetett kétmotoros közepes (német He-111 vagy az amerikai A-20 Havoc) vagy stratégiai (B-17 Flying Fortress), harcászati (Pe-2) stb. előtaggal díszítve, a lényegen nem változtatott.

A vadászgép meg vadászgép volt akkor is, ha akár bombával, akár gépágyúval, akár nem irányított rakétával támadott földi célokat vagy ellenséges csapatokat, mint pl. tette a P-51 Mustang vagy a P-47 Thunderbolt is.

Támadó feladatkörre specializált típus volt az szovjet Il-2 Sturmovik, vagy pl. az angol Hawker Typhoon. (Az utóbbit vadászgépnek szánták, de ahhoz teljesítménye elégtelen volt, ezért használták másra az eredeti célhoz képest.) Ez a felállás és kategorizálás a II. világháborút követő időszakra is igaz volt az '50-es évek közepéig, utána változott meg a felállás.

Az attack / fighter-bomber / strike elnevezési különbségek a különböző országok és vagy haderőnemek sajátosságaiból is adódik. Attack = US Navy, Fighter-bomber = USAF, Strike = Royal Air Force / Royal Navy.(Tarr Gábor kiegészítése.)

A fentiek miatt lehet az, hogy a US Navy A-6 Intruder és A-7 Corsair gépei valamint USAF gépe az A-10, mind A = attack típusjelzéssel szerepelnek, pedig nem azonos feladatkörre tervezték azokat. Az első kettő inkább komoly hatótávolságú csapásmérő és bombázó, az A-6 Intruder ráadásul minden idős/éjszakai bevetésre is alkalmas navigációs és célzó rendszerekkel. Ezzel szemben az A-10A szigorúan frontkörzeti és nappali bevetésekre épült repülőgép. (Molnár László kiegészítése)

A II. Világháború, és az azt követő átmeneti időszak klasszikus közepes szubszonikus bombázógépei mára gyakorlatilag teljesen eltűntek minden ország arzenáljából. Ma már csak a stratégiai bombázókat és nagy hatósugarú haditengerészeti csapásmérőket hívják bombázónak, amik a kategória leszármazottai. Közepes bombázó volt például az amerikai B-45 Tornado, az angol Canberra vagy a szovjet IL-28 Beagle. Ennek a kategóriának a felső végét jelentette a Tu-16 Badger, de ez már abban is eltért az előző két példaként felhozott típustól, hogy nyilazott szárnyú volt, emiatt gyorsabb volt azoknál, továbbá egy „fél kategóriával" nagyobb ezeknél. Az erőforrás lecserélésén túl már aerodinamikailag is egy másik korszakot jelentettek. A maguk korában ezek a bombázók sokkal nehezebbek voltak, mint az akkori vadászgépek, de azoknál mégis lassabbak, emiatt voltak bombázók, de méretükből és hatósugaruknál fogva nem a stratégiai bombázó kategóriába tartoztak. (A Tu-16 legfeljebb regionális szinten stratégiai támadófegyver.)

Balra a B-45 Tornado, jobbra az Il-28. Ezek az '40-es végén megjelent átmeneti bombázógépek, a nagyobb sebességhez szükséges nyilazott szárnyú aerodinamikai kialakítás nélkül.

A későbbi, a fenti bombázókhoz hasonló tömegű F-111 miért vadászbombázó és nem bombázó? Bár a korábbi bombázógépek üres tömegével azonos kategória volt, de ettől a régi gépek még nem lettek

vadászbombázók, hiszen ahhoz lassúak voltak. Az F-111 azért sem volt bombázó, mert a kortárs B-52 stratégiai bombázóval nem volt egy kategória, sem sebességben (annál gyorsabb volt, kétszeres hangsebességre is képes volt), sem méretben (sokkal kisebb), sem tömegben (negyedakkora üres tömeg), sem hatósugárban (interkontinentális közelébe nem volt). Ennek fényében valószínűleg már tisztább a kép, hogy a „bombázó" kategória mit jelent a „vadászbombázóhoz" képest.

A bombázó megnevezés a II. Világháború öröksége, ezért az '50-es évek nagyobb bombázógépei is ezt a besorolást kapták és használatos maradt még akkor is, amikor már lényegesen többre voltak képesek, mint pusztán bombafegyverzet használatára, ezek az amúgy igen hosszú ideig hadrendben tartott gépek.

Az Il-28 – pontosabban annak kínai másolata, a H-5 – ma egyetlen országban teljesít aktív szolgálatot nagyobb mennyiségben, ez Észak-Korea, Kínában 2011-ben vonták ki a hadrendből az utolsó példányt. (Lehet, hogy még akad papíron néhány repülőképes darab afrikai országokban, de ezek mennyisége nem oszt, nem szoroz.) A múzeumba való típus az utolsó túlélője az '50-es évek elejéig tervezett közepes bombázóknak.

A másik nagy túlélő a Tu-16, melynek kínai másolata a H-6 típusjelzéssel sokáig gyártásban maradt, de a '90-es és 2000-es évek korszerűsítéseit követően nem lehet azokra immár klasszikus bombázóként tekinteni. Ma már ezek is robotrepülőgépekkel / „cirkálórakétákkal" teljesítenek szolgálatot akár haditengerészeti, akár szárazföldi célok ellen, továbbá esetleg nagy hatósugarú atomfegyver hordozóként jön számításba, de ez sem feltétlen bombafegyverzet formájában juttatná célba. [36] A Szovjetunió a típus pályafutása végig is csak ehhez hasonló korszerűsített harci változatokat tartott rendszerben, a specializált tanker, elektronikai zavaró változatai mellett, de a '90-es évek elején ezek is elbúcsúztak az aktív szolgálattól.

Ma a *„bombázó"* kategóriát marginális mennyiségű észak-koreai H-5 és kínai H-6 gépeket leszámítva kizárólag az interkontinentális stratégiai (hadászati) bombázógépek képviselik, annak ellenére, hogy a hagyományos bombafegyverzet tömeges bevetésével már nemigen operálnak, legfeljebb demonstrációs célzattal nyílt napon a sajtónak és a témában járatlan civileknek, mert rendkívül látványos. Ma már egyre nehezebb olyan harcászati helyzetet elképzelni, ahol erre a képességre szükség lenne és képes is a gép végrehajtani úgy, hogy az ne öngyilkos vállalkozás legyen.[37] (A gravitációs nukleáris bombák már régen ódivatúnak minősülnek, de az USA azért még rendszerben tart legalább egy ilyen típust, a B-61-et sőt, azon még korszerűsítési programot is hajtottak végre.)[38]

Az amerikai és orosz bombázógépeken is használatosak a nagy hatótávolságú robotrepülőgépek akár szárazföldi, akár haditengerészeti célpontok ellen, ilyen például az AGM-86[39] vagy az AGM-158 JASSM[40] az amerikai repülőgépeken. Az orosz gépeken ilyenek például a Kh-55/Kh-555 vagy a 3M-54 Kalibr.[41] A precíziós bombafegyverzetet a GPS vezérlésű bombák jelentik (JDAM család) az amerikai gépeken, a B-1B és B-52H gépekre még a vadászgépeken használt lézeres célmegjelölő konténereket is integrálták, ezáltal a lézervezérlésű bombákkal pontcélok támadására is képessé váltak.

---

[36] *cruise missile. Magyar „fordítása" nagyon pontatlan „cirkáló rakéta", de bevett terminológia sajnos, az írás erre visszatér az ilyen kategóriájú egyverek vezérlését bemutató fejezetben.*

[37] https://www.youtube.com/watch?v=yj88woDXaHI

[38] https://www.youtube.com/watch?v=L14GMtf8Vwk

[39] http://fas.org/man/dod-101/sys/smart/agm-86c.htm

[40] http://www.defenseindustrydaily.com/agm-158-jassm-lockheeds-family-of-stealthy-cruise-missiles-014343/

[41] http://defense-update.com/20130706_russian_cruise_missiles.html#.VXhFMPntlBc

Az orosz bombázógépeken a GLONASS rendszer[42] nem teljes kiépítettsége egy ideig gátat szabott a műholdas vezérlésű fegyverzet megjelenésének, de mára már az orosz műholdas navigációs rendszer kiépítettsége is teljes. A újabb, korszerű precíziós fegyverzet hiányának valószínű oka a forráshiány, emiatt a hadrendben álló robotrepülőgépek / haditengerészeti levegő-föld rakéták a '80-as évek típusai vagy azok közvetlen leszármazottjai a Kalibr-ot leszámítva. A precíziós bombafegyverzet az Orosz Légierőben elterjedtségében még a 2010-es évek végén sincs közelében sem az amerikai, de még a nyugat-európai szintnek sem nemcsak az bombázókon, de harcászati gépeken sem. (Az USA-ban a precíziós fegyverek használatának aránya mára már a 100% -hoz közelít.)

Az interkontinentális (hadászati) bombázók az amerikai B-1B, B-2, B-52H, illetve az orosz Tu-95/142 (haditengerészeti célú gépek) és Tu-160 típusok. Ebben az esetben a példák le is fedik az összes jelenleg is szolgálatot teljesítő típust (2017).

A Tu-22M Backfire-t is itt kerül említésre annak ellenére, hogy az interkontinentális kategóriától elmarad hatósugár tekintetében. Mivel a legnagyobb vadászbombázókhoz (Szu-24, Szu-34) vagy többfeladatos szuperszonikus vadászgéphez képest (F-15E vagy Szu-30MK változatok) számottevően nagyobb tömegű fegyverzettel és hatósugárral rendelkezik, azoktól eltér. A Backfire lényegében a régi Tu-16 kategória a ma szolgálatot teljesítő gépek között. Interkontinentális kategóriához túl kicsi, de minden más, de kisebb típushoz képest sokkal méretesebb. Lényegében egy kategória egyedüli tagjának tekinthető ma, főleg a szuperszonikus képességét is számításba véve.[43] Ettől függetlenül egyesek interkontinentális típusnak tekintik a Tu-22M-et, mert elvi szinten légi tankolásra alkalmassá tehető az arra szolgáló eszközök visszaépítésével, ezeket a fegyverkorlátozási egyezmények miatt távolították el. Emiatt valójában csak elvi szinten lehet vele interkontinentális léptékben is operálni, ha éenne erre kiképzett és gyakorlott pilótaállomány, illetve elegendő tankergép ehhez.

Az persze más kérdés, hogy a személyzet mennyi idő alatt sajátítaná el a levegőben történő üzemanyag felvételt. Egy gép képességét a műszaki és személyzeti háttér együttese biztosítja.

Balra a B-52H Stratofortress, jobbra a T-22M Backfire. A B-52 ilyen jellegű szőnyegbombázást évtizedek óta nem végez, ezen túllépett már a technológiai fejlődés. Jobb oldalt a Tu-22M két Kh-22 (AS-6 Kingfish) hajók ellen használatos nagy hatótávolságú szuperszonikus rakétát hordoz.

[42] *Az amerikai GPS-nek megfelelő orosz műholdas navigációs rendszer.*
[43] *Legalábbis szerintem.*

Az Egyesült Államokat és Oroszországot leszámítva egyetlen más állam sem rendelkezik valódi interkontinentális stratégiai bombázógépekkel, a kínai H-6 csak regionális szinten számít stratégiai fegyverrendszernek. A Tu-22M és Tu-160 szuperszonikus típusok, és bár a B-1B is képes elérni a M1,2 sebességet, ezt lényegében nem használják ki és szubszonikus típusként üzemel.[44] A csupaszárny kialakítású B-2 jelenleg az egyetlen alacsony észlelhetőségű (stealth / „lopakodó", lásd később) interkontinentális bombázó.

Az összes interkontinentális bombázó közös jellemzője, hogy még mai szemmel nézve is igencsak benne vannak a korban, az összes típus hidegháborús múlttal bír. A B-52 első változatai a '50-es évek elején álltak szolgálatba, a ma aktív szolgálatot teljesítő B-52H változatok legutolsó példányait is 1962-63-ban gyártották le. Persze ezeket a gépeket többször is korszerűsítették pályafutásuk során – az elektronikát és a fegyverzetet – , de a gép egyes részei, például a hajtóművei „kőkorszakinak" számítanak, alacsony teljesítményűek és gazdaságtalanok. Ezek cseréje többször is felmerült az elmúlt évtizedekben, de költségvetési okok ez idáig midig elvetették, 2016/17-ben ismételten felmerült a gépek új, vagy legalább komolyan korszerűsített hajtóművekkel való átépítése. (Amennyiben a '90-es évek elején meglépték volna ezt, a befektetés költsége már régen megtérült volna.)

A Tu-95 első példányai az '50-es évek végén / közepén álltak szolgáltba, a ma még repülő Tu-95/142 gépek újabb gyártásúak, de ezek átlagéletkora is bőven 30 év felett van. A B-1B a '80-as évek közepén állt szolgálatba, a kevés Tu-160 ezt követően a '80-as évek végén és a '90-es évek legelején. A B-2 típus a legfiatalabb, de ezek utolsó példányát is 2000 körül szállították le. A B-2 típusból olyan kevés készült, hogy még a prototípust is bevethető szériagéppé építették át a berepülési program végét követően.

Miért tartanak rendszerben a mai napig bombázógépeket akkor, amikor már régóta a szárazföldi- és tengeralattjárókról indított interkontinentális ballisztikus rakéták jelentik a fő nukleáris ütőerőt? Valószínűleg azért, mert ezek nem visszahívható fegyverek. Egy ballisztikus rakétát az indítás után nem lehetséges leállítani, ellenben a bombázógépek az utolsó pillanatig visszahívhatóak, ameddig útjára nem indítják a robotrepülőgépeket sőt, ma már azt követően is egyes típusoknál, mert kétutas adatkapcsolattal még ekkor is módosítható a fegyverek célpontja.

A B-52H flotta bár képes atomfegyver hordozására is, de mára ez már kis túlzással csak huszadrangú feladata. A B-1B gépeket a hidegháború vége után átalakították és már nincs szerepük a nukleáris elrettentésben. Nagyjából ez igaz a megmaradó orosz bombázókra is, bár azok hagyományos fegyverzettel meglévő képességei elmaradnak az amerikai bombázókétól. Szíria felett a Tu-22M gépek hagyományos bombafegyverzettel végeztek közepes magasságból szőnyegbombázást.[45]

A rendszerben tartásuk másik oka, hogy nem nukleáris fegyverzettel is páratlan, legfeljebb rakétás cirkáló méretű hadihajókkal elérhető csapásmérő és tűzerő koncentrációt lehet ezekkel elérni. A manőverező robotrepülőgépeket hatalmas távolságra és mennyiségben képesek eljuttatni, majd rövid idő alatt útnak indítani azokat, a hajóknál lényegesen gyorsabban. Néhány bombázó akár félszáz manőverező robotrepülőgép hordozására is képes. Persze ez nagyhatalmak terepe, erre lényegében csak az USA, Oroszország, illetve regionális szinten Kína képes.

[44] https://htka.hu/2016/10/14/ostrava-2016-nato-day/
Lásd a B-1-es személyzettel történt beszélgetés összefoglalóját.
[45] https://www.youtube.com/watch?v=CtrcQ48nvc8

Nem két fillér ilyen kategóriájú gépeket kifejleszteni, legyártani és rendszerben tartani, illetve lecserélni korszerűbbre, ezért a meglevő gépek jelen állás szerint nagyon sokáig fognak még szolgálni sőt, Oroszország a Tu-160 típus újragyártását határozta el a meglevő 16 db gép korszerűsítése mellett.

Az, hogy ezek a gépek egyáltalán ekkora mennyiségben léteznek, az csakis a hidegháborúnak köszönhető, és annak vége ellenére az USA és Oroszország változatlanul a képesség megtartása sőt, fejlesztése mellett döntött. Az USA alacsony észlelhetőségű bombázóval tervezi (B-21 Raider) kiegészíteni, illetve idővel lecserélni az összes korábbi típusát, Oroszország is tervezi alacsony észlelhetőségű interkontinentális bombázó fejlesztését, ez lesz a PAK-DA (amennyiben megvalósul.)[46]

2.3. Vadászgépek, többfeladatos vadászgépek

Térjünk vissza az írás egyik fő témájához a vadászgépekhez. Egészen a ’70-es évek elejéig a vadászgép méretű harci repülőgépek egy adott célra voltak tervezve, egyetlen célra voltak csak igazán alkalmasak, arra az egy feladatkörre voltak kihegyezve. Vadász feladatokra, csapásmérésre, felderítésre különféle géptípusok voltak tervezve és rendszeresítve, vagy lehetettek egy azonos típus specializált alváltozatai. Ez nem jelenti azt, hogy a vadász feladatokra tervezett vadászgépek másra nem voltak használhatóak, csak annak ésszerűsége erősen megkérdőjelezhető, sokszor inkább csak elméleti lehetőség volt. Az egyfeladatos és többfeladatos gépek közötti különbség néhány konkrét géptípuson keresztül kerül bemutatásra.

A bombázóknál fel sem merül a többfeladatúság, minimális mértékben képesek rá. Ilyennek tekinthető, pl. a B-52 vízi aknatelepítési képessége, de ezt barokkos túlzás többfeladatúságnak nevezni, ahogy azt is, hogy a Tu-22M képes bombafegyverzet vagy hajók ellen használatos irányított rakétafegyverzet használatára is. Alig tekinthető eltérésnek az, hogy éppen bombát, rakétát vagy aknát dobnak ki a bombatérből ahhoz képest, hogy egy vadászgép képes légiharcot vívni ellenséges vadászgépekkel (akár azonos vagy magasabb színvonalon is, mint ellenfele), csapást mérni szükség esetén a megerősített betonfedezéktől, a harckocsiig vagy akár hajókig bezárólag bármilyen célpontra, de a légvédelmi rakéta-rendszerek elleni dedikált fegyverzet és elektronikai eszközök alkalmazására is képesek akár egyes típusok.

Egyfeladatos vadászgép volt az pl. F-100 Super Sabre és a MiG-21 és MiG-23 különféle vadászgép változatai és ezek kortársai. Természetesen ezekre is lehetett csapásmérő fegyverzetet függeszteni (nem irányított bombákat és rakétákat), de azokat olyan gyenge hatásfokkal voltak képesek használni, hogy ennek értelme erősen megkérdőjelezhető volt egy idő után adott környezetben, a túlélőképességet is szem előtt tartva. Csapásmérő fegyverzettel a repülési teljesítmény nagyobb mértékben csökken, mint légiharc fegyverzettel, tehát ez számottevően rontotta a gépek hatósugarát, a kisebb vadászgépeknél ez a hatás még hangsúlyosabb, mint a nagyobbaknál. (Ennek bővebb magyarázata az aerodinamikával és repülési teljesítménnyel foglalkozó 11. fejezetben található.)

A vadász feladatokra szánt repülőgépeket elsődlegesen vadászgépnek tervezték, csak másodlagosan szánták csapásmérő feladatot, vagy még úgy sem és csak utólag tukmálták rájuk. Ezért a levegő-föld fegyverek célba juttatásának pontossága jellemzően elmaradt az azonos korszakban létrehozott dedikált csapásmérő gépekéhez képest, a későbbi dedikált csapásmérő gépekkel összevetve már egészen biztosan alul maradtak minőség terén. Ezért is nem hívja ezeket a vadászgépeket a szakirodalom (és épeszű ember sem) valódi többfeladatú vadászgépeknek, bár később látni fogjuk, hogy egy gép kategorizálását még az is

[46] *Véleményem szerint ez csak álom, Oroszország gazdasági lehetőségi nem elégségesek ennyire drága és speciális típus kifejlesztéséhez és értelmes darabszámú rendszeresítéséhez. Az alacsony észlelhetőségű vadászgép, a PAK-FA program is egy fagyott gleccser sebességével halad.*

képes megváltoztatni, hogy mire használják. Ez alól persze kivétel, ha atomfegyverrel látják el a feladatot a nem dedikált csapásmérők, akkor bombavetési pontosságuk megfelelő a célnak.[47]

Kicsit fals példával. Egy kisteherautóval is lehet elszállítani fél tonna dinnyét és egy Opel Astrával is, ha elfér benne. Azért az ember logikusan gondolkodva mégis a kisteherautóra szavaz a dinnye fuvarozáskor, személyfuvarozáskor meg az Opelre és nem a kisteherautó platójára, még ha az utóbbinak nagyobb a belső tere és/vagy több ember elfér rajta, csak hát annak komfort és biztonsági fokozata...

Az 1960-as évekig a vadászgépek többsége képes volt földi célpontok támadására is légibombákkal vagy irányítatlan rakétákkal, ez alól kivételek voltak a szovjet és az amerikai honi légvédelem elfogóvadászgépei, amelynek dedikáltan csak légi célok, interkontinentális bombázók elfogására készültek. A vadászgépek és dedikált csapásmérők között inkább csak repülési teljesítményben és hatósugárban, tehát méretben volt eltérés, elég csak ránézni a MiG-21-re és a Szu-7-re vagy az F-4 és F-111 típusokra, a dedikált csapásmérők jellemzően nagyobbak és nehezebbek voltak. Az 1960-as évektől kezdve az F-4 Phantom II típussal kezdve egyre inkább előtérbe került, hogy a vadászgépek egyaránt képesek legyenek földi és légi célpontok ellen hatásosan harcolni, ez lett a „többfeladatú" (multirole) terminológiával leírt képesség. Az ilyen gépek földi célpontok ellen közel ugyanolyan hatásosak, mint a célirányosan földi célokat támadó gépek, de ellenséges vadászgépek elleni harcban sem maradnak alul amennyiben csak könnyebb légiharc-fegyverzettel repülnek.

A 4. generációs vadászgépek megjelenésével a többfeladatúság elvárása még hangsúlyosabb lett. A '80-as évek végétől már olyan eszközök jelentek meg a többfeladatú gépeken, amik nemcsak a nappali, jó időben használható csapásmérőkkel azonos, hanem királykategóriát jelentő és specializált gépek képességeit is elérhették sőt, helyenként túl is szárnyalták azokat. Ilyen például az F-15E és F-16C/D Block 40/42 gépek precíziós csapásmérő képessége lézervezérlésű bombákkal a LANTIRN rendszerrel, addig precíziós csapásmérésre kizárólag az F-111F volt képes az USAF-on belül illetve az F-117,[48] a Haditengerészetnél akkor csak A-6E TRAM típus rendelkezett az ehhez szükséges eszközökkel és fegyverzettel.

Ezen egyfeladatosság alól első komoly kivételnek tekinthető típus az F-4 Phantom II volt, bár sokoldalúságban nem volt egy szinten a későbbi 4. vagy 4+ generációs vadászgépekkel. Ennek ellenére az első olyan vadászgép volt, amit szívbaj nélkül is lehetett csapásmérő feladatkörben használni számottevő levegő-föld fegyverzettel, de egyben a korszak csúcsvadászgépe is volt, megvolt ehhez a megfelelő repülési teljesítménye. Az F-4 korának legsokoldalúbb gépe volt, több országban, kisebb vagy nagyon komoly mértékben korszerűsítve még a 2000-es években is első vonalbeli szolgálatot teljesített.[49]

Az F-4 Phantom II többfeladatúsága nem jelentette azt, hogy az csapásmérő képessége csúcskategóriás volt, nem rendelkezett az A-6 Intruder (DIANE navigációs rendszerrel) vagy az F-111 gépek „vakbombázó" képességével,[50] de „jó idős" csapásmérőként hozta azok szintjét. (Azonos korszakban szolgáló típusok összehasonlítása történt itt.) Ellenben a dedikált csapásmérők nem rendelkeztek szinte semmilyen légiharc képességgel. Az F-111-en vagy A-7-en szökőévenként hordozott AIM-9 kis hatótávolságú infravörös

[47] http://szextant.blogspot.hu/2014/10/141-bulgaria-nuklearis-csapasmero.html

[48] *Elhanyagolható számú F-4 Phantom II is képes volt erre az F-111-en használt Pave Tack célmegjelölővel, de az F-4 teljesítmény paraméterei csapásmérőként messze elmaradtak az F-111F-től.* https://htka.hu/2010/04/11/general-dynamics-f-111-aardvark-avagy-a-rettegett-foldimalac/

[49] *Gondolok itt a német F-4F ICE és modernizált görög és török gépekre, az iráni F-4 változatok képességei valószínűleg azon a szinten vannak, mint amikor beszerezték őket. A német F-4 Phantom II gépek 2013-ban búcsúztak el az aktív szolgálattól.* http://iho.hu/hir/fantom-bucsu-a-nemeteknel-130701

[50] https://www.intruderassociation.org/history.html
http://htka.hu/2010/04/11/general-dynamics-f-111-aardvark-avagy-a-rettegett-foldimalac/

légiharc-rakéta nem teszi ezeket többfeladatossá, ezen gépek repülési teljesítménye és levegő-levegő üzemmódra képtelen radar hiánya miatt. Ezekhez a típusokhoz képest messze sokoldalúbb az F-4 Phantom II, ami még látótávolságon túl használható légiharcra is képes volt AIM-7 Sparrow rakétával, de csapásmérés és hatósugár területén az F-4 képességeinek maximuma alacsonyabban volt, mint az F-111-nek.[51]

Azért az megjegyezendő, hogy bár F-105 Thunderchief sem vadászgépnek készült és Vietnám felett kb. 30 légi győzelmet értek el velük, de azok 90%-át gépágyúval, a maradékot légiharc rakétával. Nem dedikált vadászgépként érte el azt, hanem „úgy alakult" és úgy sikerült a harcokba bocsátkozni és azokból sikeresen kijött, az F-105 sokoldalúsága nem érte el az F-4 Phantom II-ét.

Az erősen specializált feladatkörök betöltésére ismét kiváló példa az F-4 Phantom II, az alap vadászváltozat átalakításával speciális feladatkörök betöltésére létrehozott altípusokat hoztak lére, ilyen volt az RF-4 és az F-4G.

Az RF-4 változat csak fotó-felderítő bevetésre volt alkalmas az alap típuson végzett átalakításoknak köszönhetően, a felderítő rendszerek a gép orr részében voltak elhelyezhetőek. Az alap változat módosításának köszönhetően az adott feladatkörben lényegesen hatékonyabb volt, mintha csak konténerrel „rátukmálva" látta volna el a feladatot a módosítások nélküli vadászgép. A légellenállása is így sokkal kisebb volt, nagy magasságban repülve a legveszélyesebb zónában számottevően hosszabb ideig volt képes szuperszonikus sebességet tartani.

Egy F-4G Phantom II. Első pillantásra nem tér el az átlagos F-4 Phantom II-től, de az orr alatt levő érzékelők egyedi elhelyezése, a gépágyú hiánya és a szárnyak alatt hordozott fegyverzet igen könnyen felismerhetővé teszik. A képen ritkán látott fegyverzet függesztéssel látható, AGM-78 és AGM-45 rakétákkal.

Az F-4 egy másik specializált változata az F-4G Wild Weasel volt, amit kifejezetten az ellenséges radarvezérlésű légvédelemi rakéta-rendszerek ellen fejlesztettek ki. Bár továbbra is képes volt légiharc és hagyományos csapásmérő fegyverek hordozására is a típus, ettől függetlenül a légiharc-rakéták már csak önvédelmi célokra maradtak meg a gépen, úgymond „végszükség esetére", a csapásmérő fegyverzetet

[51] *Az F-111 gépek elméletileg hordozhattak két darab kis hatótávolságú AIM-9P légiharc rakétát, de ennek sikeres alkalmazására az esély közelített szinte a nullához, nem is nagyon szerelték fel ezeket. A Sivatagi Vihar hadművelet alatt az első pár nap után fel sem szerelték a gépekre a rakétákat. Még szemből indítható változat sikeres alkalmazásának esélye is zéróhoz közeli az F-111 kabin kialakítása, fedélzeti rendszerei és a gép gyenge manőverező képessége miatt,ráadásul csak a legutolsó AIM-9P variáns volt szemből indítható. Az A-7 Corsair II csapásmérőn az AIM-9L/M jelentette a szemből is indítható légiharc rakétát, viszont az AIM-9L/M nem fért el az F-111 függesztő pontján a szárny alatt annak nagyobb méretű vezérsíkjai miatt.*

jellemzően csak a „radargyilkos” rakéták jelentették.[52] Az F-4G hagyományos csapásmérő-képességét nem használták ki a szó klasszikus értelmében az átalakítás után.

Az F-4 Phantom II több féle alváltozata mutatja, hogy mennyire sikeres alaptípus (platform) volt, azonban a korszak technikai színvonala még szükségessé tette a specializált típusváltozatok kifejlesztését.

Később a 4. generációs vadászgépeknél specifikus feladatokra való alkalmasság a vadászgépek függesztési pontjaira felszerelhető konténerekkel is megoldható lett, nem volt szükséges egy specifikusan átalakított új alváltozat kifejlesztésére. Természetesen az új eszközök integrációja és azok függesztése nem minden esetben kompromisszumok nélküli dolog, egyáltalán nem filléres mulatság, de még mindig kifizetődőbb, mint számtalan specializált egyfeladatos repülőgéptípus párhuzamos üzemeltetése.

A fenti említett F-4G haszontalan, ha éppen korszerű csúcskategóriás vadászgépből van hiány és nem alkalmas precíziós csapásmérése sem, ha éppen arra lenne igény. Ellenben egy korszerű 4. generációs vadászgép, például egy F-16C Block 52 hordozhatja a két fenti feladathoz szükséges konténereket és fegyverzetet (akár együtt is), továbbá vadászgépként is tökéletesen megállja a helyét amikor nem csapásmérő fegyverzettel leterhelten repül. Nem szükséges három különböző típust, a hozzá való személyzettel és kiszolgáló infrastruktúrával hadrendben tartani, rugalmasan alkalmazható a típus. Természetesen egy darab repülőgép nem képes három helyen jelen lenni és mennyiségileg pótolni, de az látható, hogy megfelelő számú „kiegészítővel” (konténerek és fegyverek) kevesebb számú repülőgéppel is összességében magasabb harcértékű és rugalmasabban használható légierő hozható létre többfeladatos típus használatával a számtalan specializált alváltozat helyett.

Az F-4 Phantom II minden idők egyik legsikeresebb szuperszonikus vadászgépe, több mint 5000 darabot gyártottak különféle változataiból. Csak a MiG-21 különféle változataiból készült ennél több a szuperszonikus gépek közül, de azt hozzá kell tenni, hogy jóval egyszerűbb, kisebb, tehát olcsóbb volt a MiG-21.

Az F-4 volt az első vadászgép, amit az USA mindhárom haderőneme (USAF, US Navy, USMC)[53] is rendszeresített. Bár eredetileg a US Navy számára tervezték repülőgép-hordozóra, de annyira kiváló paraméterekkel (hordozható fegyverzet, repülési teljesítmény) rendelkezett, hogy az akkor szolgálatban álló összes szárazföldi bázisú vadászgépnél is nagyobb teljesítményű volt.

Bár az USAF eleinte tiltakozott a rendszeresítése ellen – a haderőnemek közötti rivalizálás nem egyszer félelmetesen ostoba történésekhez vezetett a történelemben, nem csak az USA-ban –, ironikus módon végül a legnagyobb alkalmazója lett az típusnak. Még exportváltozatok nélkül is sokkal több „szárazföldi” F-4 Phantom II változat került legyártásra, mint haditengerészeti változat.

A ‘70-es évektől kezdve néhány vadászgépet és különleges repülőgépet (F-117) leszámítva nyugaton véget ért a fent említett egyfeladatos felfogás, vagy legalábbis ez volt az alapvető megközelítés, amit nem mindig sikerült megvalósítani. (Az „eurokacsa” gépek, a Gripen, Rafale és Eurofighter Typhoon gyökerei a ’80-as évek elejére tehetőek, de az amerikai gépekhez képest sokkal később álltak rendszerbe, lásd később).

[52] *Jellemzően csak 2 db AIM-7 Sparrow légiharc rakétát hordozott a 4+4 db AIM-9+AIM-7 helyett. Csapásmérő fegyverként a radargyilkos rakéták mellett kevés kazettás bomba vagy AGM-65 Maverick volt a jellemző radar nélkül maradt rakétaindító-állványok elpusztítására. Nem volt értelme bombákkal agyonpakolva repülnie, hiszen a 4. generációs vadászgépekkel is lépést kellett tartania. A légvédelmi rakéta-rendszerek tűzvezető radarjainak megsemmisítéséhez (vagy elnyomásához) elégségesek a radarok elleni rakéták.*

[53] *A továbbiakban nagy kezdőbetűvel „Légierő”, a „Haditengerészet” és „Tengerészgyalogság” abban az esetben, amikor az USA haderőnemeiről van szó.*

Ma már gyakorlatilag minden komoly többfeladatos (multirole) vadászgép felé elvárás a precíziós csapásmérő-képesség, bár ennek a kitételnek a megvalósítása több esetben nagyon döcögősre sikeredett, főleg az európai típusoknál. Ezeknél kezdetben a vadász feladatkör hangsúlyosabb volt, mint a csapásmérés, főleg a forráshiánynak köszönhetően. Lássuk, hogy hogyan is kezdődött a többfeladatú vadászgépek története.

(A többfeladatúságnak anyagi vonzata is volt, minden feladatkörre specializált gép fenntartása annyi repteret, pilótát és kiszolgáló személyzetet igényelt volna, amit Isten sem bírt volna pénzzel. Igaz, hogy a többfeladatú gépek egyre bonyolultabbak lettek, de ezekkel rugalmasabban használható légierő volt kialakítható, mert az igények szerint volt alakítható azok képessége.)

A vadászgépeknek tehát univerzálisaknak, azaz többfeladatúnak kellett lenniük. Ez azt jelentette, hogy klasszikus vadászgépként és legalább nem precíziós csapásmérőként helyt kellett állniuk, továbbá a közvetlen légi támogatásra is képesnek kellett lenniük bizonyos korlátozásokkal.[54] Tehát ezek a kor szintjén többfeladatos gépek voltak, azonban a csapásmérő képességük nem volt mérhető egy éjszakai vagy rossz idős „vakbombázásra” is képes F-111D, vagy akár megfelelő időjárási viszonyok között lézervezérlésű bombával precíziós csapásmérésre is alkalmas F-111F-hez. Csak jó látási viszonyok között volt elvárás a csapásmérő feladatkörben való használhatóság. A mai többfeladatú vadászgépeknél az elvárás ennél magasabb, a precíziós csapásmérő képesség ma már alapkövetelménynek számít, egyes országokban a légvédelmi rakéta-rendszerek elleni képesség csomag (SEAD feladatkör, lásd később) sem maradhat ki.

A ’70-es években jelent meg a 4. generációs vadászgépek első valódi képviselője az F-15 Eagle,[55] amit egy évtizeden belül további két típus követett, az F-16 Fighting Falcon és az F/A-18 Hornet. A 4. generációs gépek alapvető teljesítmény és képesség paramétereinek meghatározásakor vietnámi háború tapasztalatait vették alapul, az ott tapaszalt hiányosságok megszüntetése alapvető cél volt. Eszerint tervezték meg mindhárom típust, ettől függetlenül koncepcionális eltérések azért voltak a fenti triónál a tervezés során.

Az F-15-öt elsődlegesen az USAF csúcsvadászának szánták, kiemelt fontosságú volt az F-4 Phantom II típust messze túlszárnyaló manőverező légiharc teljesítmény, de a látóhatáron túli légiharc[56] képességek terén is az akkor racionálisan elérhető maximumot várták el. Bár az USAF és a legtöbb alkalmazó mai napig egyfeladatos vadászgépként használja az A/B/C/D és azok export változatait, ennek ellenére az Eagle alaptípusa is képes volt szabadesésű nem precíziós csapásmérésre nem irányított („buta”) bombákkal, sőt konténerrel még a precíziós GBU-8 alkalmazása is lehetséges volt.

Balra az F-15 Eagle, jobbra az F-16 Fighting Falcon. (Alváltozat megjelölés nélkül.)

[54] *CAS –close air support*

[55] *A legtöbb forrás 4. generációsként kezeli az F-14 Tomcat típust, pedig az alap F-14A változata szerintem nem volt az egyes képességei és műszaki megoldásai miatt, lásd később a generációs besorolással foglalkozó fejezetben.*

[56] *BVR – beyond visual range*

Az F-15 Eagle típusnál láthatjuk azt a korábbiakban említett hatást, hogy egy repülőgép besorolását részben az is befolyásolja, hogy mire használják. Az F-15 Eagle alap változatait egyfeladatos vadászgépként kezeli minden forrás (air superiority fighter), holott a '70-es évek szintjén, az akkori elvárásokhoz mérten nagyon is potens csapásmérő képességgel rendelkezett. Az F-15A a kortárs A-7 Corsair II dedikált csapásmérőnek megfelelő, azonos szintű csapásmérő avionikával rendelkezett. Az élet viszont úgy hozta, hogy Izraelt leszámítva soha senki nem használta ezen változatokat élesben csapásmérésre, sőt, még a személyzeteket sem képezték ki erre a feladatkörre soha.[57] Az USAF kötelékében a pilóták első csoportját leszámítva nem képezték ki a pilótákat csapásmérésre, az USAF csak vadász feladatokra használta a típust. Emiatt a többség egyfeladatos vadászgépként kezeli/kezelte a gépet, holott technikailag sokkal többre lenne képes a hardver.

Az F-15 koncepciójának sikere után született meg a könnyű vadászgép ötlete, amely végül a „Könnyűvadász Programhoz" vezetett (Lightweight Fighter program), aminek győztese az YF-16 koncepció volt, amely az YF-17 technológiai demonstrátorral szemben került kiválasztásra.[58] Az YF-17[59] számos paraméterben felülmúlta az YF-16-ot, de a Légierőnek az YF-16-os kompaktsága vonzóbb volt, illetve az is, hogy az YF-16 hajtóműve azonos volt az F-15-be építettel, még ha az éppen a gyermekbetegségekkel teli időszakát élte is.[60] Az YF-17-es YJ-101-es hajtóműve új konstrukció volt, emellett két hajtóműves repülőgépről beszélünk, amellyel szemben bizalmatlanok lehettek a döntnökök, már csak az ár szempontjából is.[61] Az USAF-nak az F-4 Phantom II-vel addig szerzett tapasztalatai után az F-15 mellé pénzügyi szempontból valószínűleg nem volt vonzó egy másik kéthajtóműves típus, ráadásul eltérő hajtóművel.

Az F-16-ra azért volt szükség, mert a bár az F-15 képességei fantasztikusak voltak, de a Sas túlságosan drága lett ahhoz, hogy minden alakulatot arra fegyverezzenek át. Ez a látótávolságon túli légiharc képességének (BVR), repülőgép méretének, a nagyon drága titán szerkezeti anyag nagyon magas arányának, illetve kéthajtóműves voltának volt köszönhető. A Légierő (egyes) teoretikusai szerint ideálisabb volt F-16 / F-15 párossal megteremteni a megfelelő szintű légiharc kapacitást kb. 2:1 mennyiség aránnyal az olcsóbb F-16 javára, mint tisztán kevesebb F-15-re alapozni. Az F-16-nak manőverező légiharcra kihegyezett vadászgépként másodlagosan képesnek kellett lennie csapásmérésre az F-15-höz hasonlóan, de látóhatáron túli légiharc fegyverzete (akkor még) nem volt.

Az F-16 az F-15-tel összevetve egy jóval kisebb egyhajtóműves vadászgép volt, tervezésekor a manőverező légiharcra történő alkalmasság kiemelten fontos szempont volt, eszerint tervezték meg. Ennek köszönhető a 30 fokban hátradöntött katapultülés is, ami a nagy túlterhelésű manőverek közben fellépő erők elviselését teszi könnyebbé a pilóták számára. [62]A Sólymot annyira könnyűre tervezték, amennyire csak lehetett az ésszerűség határán belül, de az F-15-höz képest kevesebb titán szerkezeti anyag használatával, ezzel (is) lett olcsóbb. Ironikus módon a kiemelkedő manőverező légiharc teljesítmény

[57] *A „not a pound for air to ground" szlogen tehát jól hangzik, csak nem igaz az F-15-re. Egyesek próbálták a gép tervezése során elérni, hogy ne áldozzanak semmit a csapásmérő képesség megteremtésére, így a Sas olcsóbb és könnyebb lehetett volna. Tekintve, hogy soha ki nem használt képességről van szó, az utólagos bölcsesség kényelmével belátható, hogy igazuk volt, lásd a típusról készült bemutató írást.*
http://htka.hu/2012/12/04/mcdonnell-douglas-f-15-eagle/

[58] *https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1a/YF-16_and_YF-17_in_flight.jpg*

[59] *https://www.youtube.com/watch?v=dw8HVjOjR2E*

[60] *http://htka.hu/2012/12/04/mcdonnell-douglas-f-15-eagle/ Lásd az 5.3. fejezetben.*

[61] *https://goo.gl/xR93m9*

[62] *Ez később a pilótáknál kimutatható arányban növelte meg a nyakizom problémákat és fájdalmakat, mert normál repülés esetén a pilótának ez a dőlést kompenzálnia kell. Az F-22 típuson 22 fokos döntésű a katapult ülés, az F-15-ön 16 fok.*

hajszolása ellenére F-16 mégis egy csapásmérő bevetéssel szerzett magának hírnevet, még 1981-ben. Izrael F-16A gépekkel rombolta le Bagdad közelében az épülő oziraki iraki atomerőművet, de az 5. arab-izraeli háborúban (Békét Galileának hadművelet, 1982) már vadászgépként is domboríthatott. Elsődlegesen csapásmérőként használta az Izraeli Légierő, de a bombateher leoldása után a szír gépek ellen számtalan légi győzelmet értek el velük. Az F-16 típuscsapád a legsikeresebb 4. generációs vadászgépnek tekinthető a szolgálati idejét, az alkalmazó országok számát és a legyártott darabszámot nézve köszönhetően az alapkoncepció tovább fejlesztésének, az összes változatát nézve több mint 4000 db készült a típusból.

Balra az F/A-18 Hornet, jobbra az elől, az YF-17 Cobra.

A korábban említett YF-17 Cobra nem tűnt el nyom nélkül a történelem süllyesztőjében, annak áttervezésével a Haditengerészet igényei szerint született meg az F/A-18 Hornet, a 4. generációs amerikai vadászgép triójának utolsó tagja.[63] Miután a Légierő megkapta az F-15 + F-16 párost ezek után a Haditengerészet sem maradhatott ki a „tutiból", ott is igény volt egy valódi többfeladatú vadászgépre, ami leválthatja az F-4 Phantom II-őt és kiegészítheti az F-14 Tomcat típust. A sztereotípiákkal ellentétben, a nem túl acélos repülési teljesítménnyel bíró F-14A Tomcat mellé szükség volt egy valódi többfeladatú vadászgépre. Ennek a vadászgépnek képesnek kellett lennie a klasszikus manőverező légiharcra, illetve csapásmérőként is bevethetőnek kellett lennie, de ennek a típusnak nem volt elsődleges feladata a flotta védelme a szovjet haditengerészeti légierő levegő-felszín rakétával támadó bombázói ellen.

Az F-14B változat repülési teljesítményén a '80-as években az új, digitális vezérlésű GE F110 hajtóműve sokat javított, de az F-15/F-16-hoz képest még mindig elmaradt. Az F-14 típus is képes volt csapásmérésre buta bombákkal, de pontosan ugyanúgy járt, mint az F-15, erre soha nem használták. Túlságosan drága és speciális vadászgép volt ilyesféle feladatokra használni.

Mindhárom 4. generációs vadászgép – ezeket szokták a „tinédzser-széria" tagjainak hívni a típusjelzésük miatt, bár egyesek az F-14-et is ide sorolják – közös jellemzője volt, hogy a vietnámi tapasztalatoknak megfelelően a manőverező légiharc-képességüket fejlesztették elsősorban, de a digitális technikának, az egyre nagyobb teljesítményű és kisebb méretű számítógépekkel egyéb területeken is felülmúlták a korábbi típusokat.

A 4. generációs trió mindhárom tagja sikeresnek bizonyult, ezért ezek egyike sem kerülhette el a továbbfejlesztést, nagyon hosszú ideig gyártásban maradtak az egyre korszerűbb változataik. Az F-15 vadász-változatának továbbgondolásával és áttervezésével született meg a '80-as évek közepén az F-15E Strike Eagle, ami az F-111 váltótípusa lett. Ez megtartotta a vadász változat légiharc képességét, a repülési

[63] *Amennyiben nem számítjuk a Super Hornet típust, ami egy áttervezett és „felskálázott", de alapvetően „csak" egy szuperfejlett Hornet.*

teljesítmény romlását leszámítva, ellenben képes volt precíziós csapásérésre az F-111 gépekhez hasonlóan, csak éppen magasabb szinten.

F-16 feladatköre és képességei is később lettek kibővítve. Eleinte csak a NATO univerzális könnyű vadászgépének szánták, de mára már a vadászrepülőgépek igazi „svájci bicskája" lett. A F-16C Block 25 változattól[64] kezdve kezdték igazi csapásmérővé formálni, ekkor kapta meg a szintetikus apertúrájú levegő-föld radar üzemmódot,[65] amivel a dedikált egyfeladatos csapásmérőkhöz hasonló éjszakai csapásmérő képesség is biztosítottá vált. A radar levegő-levegő üzemmódja is bővült (raid cluster resolution, TWS mód),[66] ezen felül ez a változat kapta meg azt kabin-elrendezést elsőként, ami gyakorlatilag általánossá vált a mai 4. generációs vadászgépeken. Az összes 4. generációs vadászgép kabin elrendezése mind a Block 25-ön alkalmazott elrendezés leszármazottjának tekinthető, még ha azoktól kismértékben eltérnek.[67]

A Block 25 változattól kezdve az F-16 összes variáns alkalmassá vált az akkor még fejlesztés alatt álló AIM-120 AMRAAM légiharc-rakéta alkalmazására, ami a '90-es évek elejétől alapjaiban változtatta meg a légiharcot. Ezzel már nem csak a közeli, de látótávolságon túli légiharcra is alkalmassá vált az F-16 méghozzá a félaktív légharc rakétákat alkalmazó vadászokat felülmúló módon. (Az USAF újabb gyártású/korszerűsített F-16 flottáján és korszerűsített F-15A/B/C/D gépein egyszerre jelent meg és terjedt el az AIM-120). Addig kevés kivételtől eltekintve (F-16 Block 15 ADF)[68] csak az AIM-9 Sidewinder típuscsalád különféle változatai alkották a légiharc fegyverzetet.

A Block 40/42 változattól a Falcon kezdve képessé vált precíziós csapásmérésre is. Kezdetben a LANTIRN[69] rendszer lézeres célmegjelölő konténerével (AN/AAQ-14) és lézervezérlésű bombákkal, azóta már a lézeres célmegjelölő konténerek későbbi generációja is rendelkezésre áll a típus számára (AN/AAQ-28 LITENING és AN/AAQ-33, Sniper). A Block 40/42 változat a többitől eltérő különleges HUD-ja (lásd balra) lehetővé tette, hogy a LANTIRN rendszer FLIR konténere által készített videó kép megjeleníthető legyen azon és nem csak a többfunkciós kijelzőkön.

A Block 50/52 változat speciális konténerrel (AN/ASQ-213, HARM Targeting Systems) képes légvédelmi eszközök elleni harc, a' SEAD[70] feladatkör ellátására is, azonban mindemellett precíziós csapásmérő képességgel is felruházható, szintén konténerekkel, de ezt jellemzően a Block 40/42 gépek látták/látják el az USAF flottájában.

---

[64] http://www.f-16.net/f-16_versions.html

[65] *Lásd a 4.1.1. fejezetben és a következő lábjegyzet videójában.*

[66] https://youtu.be/BCq7Rip3emU?t=5m13s *A módszer neve magyarul impulzus-kompresszió.*

[67] http://www.stclairphoto-imaging.com/360/aircraft/F16-Cockpit/F16_swf.html

[68] *Az F-16 ADF az F-106 típus kivonása után a honi légvédelmi feladatokra készült, ezért kapta meg az AIM-7M rakétát és egyéb fejlesztéseket. A hidegháború vége elkaszálta a programot, kevés gép készült el és azok szinte azonnal tartalékállományba kerültek a híres sivatagi létesítményre. (AMARC, ma AMARG, népszerűbb nevén Boneyard.) A 90-es évek során ezeket a gépeket kínálták fel Magyarországnak is megvételre.*
http://www.amarcexperience.com/ui/index.php?option=com_content&view=article&id=2&Itemid=213

[69] https://www.youtube.com/watch?v=0WsebiYf8YI

[70] *suppression ofenemy air defenses*

A 4. generációs vadászok között a légvédelmi rendszerek elleni harc még mindig egy külön kategória, legmagasabb szinten csak a géppark kis része képes rá, egyes országok és géptípusok esetén nem is áll rendelkezésre ez a lehetőség, mert annyira specializált és drága képesség.

Az F/A-18 Hornet is az F-16-hoz hasonló képesség bővülésen esett át, de ezen túl az alap változat újragondolásával született meg a F/A-18E/F Super Hornet a '90-es évek közepén. A „Szuperdarázs" külsőleg nagyon hasonló az elődhöz, de annál kb. 25%-kal nagyobb és természetesen a korszaknak megfelelő fedélzeti elektronikát és műszaki megoldásokat kapott, alapvetően az öregedő Hornet flotta és F-14 Tomcat flotta leváltására szánták.

Látható, hogy sikeres és kellően nagy teljesítményű platformok használatával számottevő képességnövelés érhető el, amennyiben a megfelelő harcászati elektronikát biztosítják a hozzájuk való fegyverzettel. Ezt a mikroelektronika és a digitális eszközök hatalmas és robbanásszerű fejlődése tette lehetővé. Egyre kisebb térfogatba, egyre kisebb tömeggel sikerült egyre több képességet belezsúfolni egy eszközbe úgy, hogy sokszor ezt fajlagosan még olcsóbban is tették, mint a régebbi gépek estén.

A többfeladatúság alól részlegesen kivételnek számít az F-22 Raptor, amit eredetileg egyfeladatos vadászgépnek szántak. Az ATF program[71] indulásakor a '80-as évek elején az F-15 váltótípusa lett volna 700 darab feletti tervezett legyártott mennyiséggel, gyakorlatilag a teljes F-15 flottát ezzel tervezték lecserélni. Ezt az elvárt minőségi ugrást az USAF részéről a szovjet 4. generációs vadászgépek várható elterjedése indokolta, amit a '80-as évek végére prognosztizáltak. Akkor azok valós technikai képességeit még nem ismerték, némileg túlbecsülték azokat, illetve azt is, hogy milyen mértékben terjedhetnek el a Szovjetunióban illetve a Varsói Szerződés (továbbiakban VSz) országaiban.

A Szovjetunió és a Varsói Szerződés (továbbiakban VSz) szétesése, a kétpólusú világ megszűnése, illetve az orosz gazdaság megrogyása miatt az szovjet-orosz 4. generációs gépek elterjedése komolyan megbicsaklott (nem csak Oroszországban, azon kívül is), jóval kisebb mennyiséggel kellett számolni, ami nem tette indokolttá a hatalmas F-22 flotta hadrendbe állítását. Másrészt kiderült, hogy a szovjet-orosz 4. generációs gépek nem voltak teljesen egyenrangú ellenfélnek tekinthetőek a csúcs amerikai vadászgépekkel még félaktív légiharc-rakéták korszakában sem, csakhogy az AIM-120 AMRAAM elterjedése gyökeresen megváltoztatta a helyzetet. Az amerikai és NATO államok meglévő és korszerűsített vadászgépeit az aktív radarvezérlésű AIM-120 olyan mértékű előnyhöz juttatta a félaktív vezérlésű légiharc-rakétákkal operáló szovjet-orosz vadászgépekkel szemben a látótávolságon túl vívott légi harcban, ami középtávon is értelmetlenné tette 700 gépes Raptor flotta legyártását és rendszerbe állítását a '90-es években

A '90-es években a fentiek miatt még olyan vad ötlet is felmerült, hogy a csökkentett darabszámban legyártott Raptor flottát ne állítsák hadrendbe, hanem konzerválják le azokat és akkor vegyék elő és állítsák rendszerbe azokat, amikor már szükség lesz rájuk.A fenti furcsa (és elég vad) ötletet végül elvetették, de legyártandó F-22 gépek darabszámát radikálisan csökkentették, a fejlesztést lassították és a célokat módosították. Néhány év alatt a tervezett darabszám kb. a harmadára lett módosítva. A kb. 280 darabos a tervezett darabszám kb. egy évtizedig tarhatónak tűnt, de a 2008-as gazdasági válság a Raptor programot sem kerülte el, a típus gyártását a 187. gépnél 2012 májusában befejezték.[72]

[71] http://yf-23.net/ATFprogramme.html
[72] http://defense-update.com/20120502_last_raptor_delivere.html

A legyártott mennyiségen kívül azonban más változás is történt, immár nem egyfeladatos gépként képzelték el a típust. Egy ideig F/A-22-nek volt a gép típusjelzése feltüntetve, de ezt egy rövid periódust követően nem erőltették. Ennek kozmetikai változtatásnak valószínűleg politikai természete volt, pénzszerzés céljából a program további finanszírozása érdekében kapta ezt a típusjelzést a Raptor. A 2010-es évek közepére realizálódott a Raptor flotta legalább egy részén csapásmérő képesség JDAM bombacsaládd al, használták is már élesben ezt a képességüket 2014 őszén az ISIS elleni hadműveletek során.[73]

A 2010-es évekre kezdett a helyzet megváltozni, de nem Oroszország, hanem a Kínában százas nagyságrendben hadrendbe állított 4+ generációs vadászgépek miatt

Érdekesség, hogy az F/A-18 típusnál a Haditengerészet kihangsúlyozta a típusjelzéssel, hogy milyen feladatkört szánt új Hornet vadászgépnek (fighter/attack). A Hornet csak kicsit volt többre képes minőségileg, mint egy F-16A Block 1 vagy F-15A, figyelembe véve a légiharc és csapásmérő képességet és a az integrált fegyverzetet. Tehát hasonló „nagyzoló" (?) módon az F-15 és F-16 is kaphatott volna F/A-15 és F/A-16 típusjelzést, csak a Légierő nem alkalmazza a típusjelzések használatánál ezt a megközelítést, az F-22-nél említett rövid és átmeneti esetet leszámítva. Emiatt sok helyen nem is vesződnek az F/A-18 típusjelzéssel egyszerűen csak F-18-at használnak.

Kivétel a többfeladatúság alól az F-117. Ez egyfeladatos, szubszonikus csapásmérő gépnek készült a '70-as évek legvégén, arra viszont nem is akárhogy volt képes. A világ első alacsony észlelhetőségű szolgálatba állított gépe volt, a korszak legütősebb autonóm precíziós csapásmérő-képességével (saját magának megvilágította a célt minden gép) lézervezérlésű bombákkal.

A '90-es években egyes forrásokban tévesen szerepelt, hogy az F-117 bármilyen fegyver használatára képes, ami elfér a bombakamrában. A gép pályafutása során csak lézer- vagy GPS vezérlésű bombák speciális változatait használhatta, vagy nukleáris harci részel bíró B61 bombát. A GBU-10/24 helyett GBU-27 változatot volt a Nigthhawk csapásmérő fegyvere a '80-as és '90-es években, mert a hagyományos gépeken használt 2000 fontos lézervezérlésű bombák nem fértek el a belső fegyvertérben. A 2000-es évek során a JDAM bombacsalád használatára is képessé tették az F-117-es gépek legalább egy részét.

Dióhéjban így írható le a többfeladatú vadászgépek története az USA-ból kiindulva a néhány kivétellel kiegészítve. Minden más nemzet csak az Egyesült Államokat követve kezdte követni ezt a koncepciót, több kevesebb sikerrel. Ennek a lemaradásnak az oka részben a megfelelő technológia hiánya, illetve a hidegháború után az alaposan megnyirbált védelmi kiadások. Több nyugati-európai országban is megvolt a technikai és ipari háttér ilyen gépek kifejlesztésére és gyártására, de a politika nem biztosította az ezekhez szükséges forrásokat, ami hátráltatta a gépek kifejlesztését, hadrendbe állítását, illetve azok tervezett darabszámát is radikálisan csökkentették, ahogy az az USA-ban a Raptorokkal történt.

A többfeladatúság megvalósítása elég döcögősen történt a Eurofighter és a Rafale vadászgépeknél, de ez igaz a másik európai vadászgépre, a Gripenre is. Az első kettő esetén azok rendszeresítése után több mint egy évtizeddel is alig volt valódi többfeladatú képességekkel megáldott változat hadrendben.

Anglia kevesebb, mint 20 év szolgálat után leselejtezi az első szériás, csak vadászgép feladatkör betöltésére képes Eurofighter változatokat azok korszerűsítése helyett. (Manapság egy 20 éves vadászgép rendkívül fiatal gépet jelent.) Ez azért történik, hogy a 2010-es években legyártott valódi többfeladatos

[73] http://theaviationist.com/2014/09/23/f-22-isis-compound/

gépekre legyen pénz – a kivont gépeket nem kell tovább üzemeltetni – másrészt ne vegye el a munkát a gyártósortól, új gépek gyártása történik a meglevők korszerűsítése helyett. A nagy „spórolás" a fegyverfejlesztések és beszerzések terén odáig fajult, hogy ilyen húzással szükséges megtámogatni a hi-tech ipart. Egyetlen pozitív hozadéka ennek a folyamatnak az, hogy az angol Typhoon flotta életkora alacsonyabb lesz, de ennek igen komoly ára van. (A kivont gépek talán még pótalkatrészként, „donorként" használhatóak egy ideig.)

Az Eurofighter Typhoon arra példa, hogy az eredetileg többfeladatos gépnek készült gépek egy része soha nem érhette el ezt a szintet, amire szánták azokat, csak egyfeladatos vadászgépként került legyártásra és rendszeresítésre a források szűkössége miatt. A Tranche 1 változat csapásmérő képessége a jó idős szintre korlátozódott vagy a legfeljebb a SAR radar üzemmódra képes F-16 Block 25 szintjén volt, de valódi precíziós csapásmérő képességük nem volt ezeknek a gépeknek. 2014-ben súlyos gyártási hiba borzolta a kedélyeket, komoly ráfordítás nélkül a Typhoon géppark egy részének tervezett élettartama komoly mértékben csökkenni fog.[74] A Typhoon flottából csak Tranche 3 illetve FGR konfigurációnak megfelelő változatok rendelkeznek a valódi többfeladatúsághoz szükséges berendezésekkel és szoftverekkel. Még a Líbia felett repülő angol Typhoon gépek is csak a „teherautó" szerepét töltötték be, a Tornado GR.4 gépek világították meg a célokat azokat számára.

A Gripen esetében a valódi többfeladatúság gátja, hogy kevés az integrált fegyverzet típus. Ennek részben az az oka, hogy azokat saját, svéd használatra fejlesztették ki, ha a külföldi vevő nem fizeti meg, akkor addig fegyverzet / eszköz integráció sincs, hacsak a gyártó nem teszi meg azt saját kockázatára (költségre). A reklámanyagokban feltüntetett fegyverzet integrációja többnyire nem történt meg, annak csak töredéke a jelenleg is alkalmazható fegyverzet. Ezzel a korlátozott választékkal is rendelkezik már precíziós csapásmérő képességgel, de a Gripennek sem a svéd sem egyetlen más exportált változata sem rendelkezik SEAD képességgel, tehát az alkalmazható fegyverzet skálája nem éri el az F-16 Block 50 típusét. A francia Rafale esetén jobb a helyzet, mert a hazai gyártású mellett több amerikai fegyverz integrációja is megtörtént.

A szovjet-orosz vadászgépek egészen a hidegháború végig egyfeladatosnak voltak tekinthetőek. A Szu-27Sz és MiG-29 9.12/9.13 (a '80-as évek közepének és végének alap változatai) a buta bombák és nem irányított rakéták használatával legfeljebb csak arra lettek volna képesek, amire az F-16A és F-15A kb. 10-12 évvel korábban, vagy még arra sem. Szintetikus apertúra üzemmódra képes radarjuk nem volt, így az amerikai gépekhez hasonlóan pontos bombacélzó üzemmódok nem álltak rendelkezésre hidegháborús szovjet vadászgépeken. Kihasználni ezen képességüket nemigen lehetett és értelme sem lett volna a Varsó Szerződés haditechnikájának mennyiségi és minőségi összetétele miatt. Vétek lett volna ilyen feladatkörben alkalmazni a legkorszerűbb vadászgépet.[75]

1989-ig kb. 70 db Szu-27Sz és 400 db MiG-29 9.12 és 9.13 leszállítása történt meg, legfeljebb ennyi volt a reálisan a rendelkezésre álló mennyiség, amelyek ráadásul nem feltétlen mind a Szovjetunió európai területén állomásoztak vagy a VSz tagországokban. Ezzel szemben az USAF és az európai NATO államok teljes F-16 állománya meghaladta a 2000[76] darabot, ehhez jött még az USAF számára legyártott kb. 900 db F-15A/B/C/D mínusz az addig lezuhant és elvesztett példányok.

[74] http://www.janes.com/article/44037/eurofighters-hit-by-manufacturing-issue
http://htka.hu/2014/10/02/felfuggesztettek-az-eurofighter-szallitasokat/

[75] *A Szu-27 vadászgépnek még a korlátozott csapásmérő-képessége is meg lett szüntetve a CFE szerződés miatt.*
http://en.wikipedia.org/wiki/Treaty_on_Conventional_Armed_Forces_in_Europe

[76] http://www.f-16.net/fleet-reports_article9.html

Ha csak ezek töredékével számolunk – az USA légtérvédelmére maradnak otthon alakulatok és Csendes-óceánon is szükségesek erők – akkor is nyilvánvaló az erők aránytalansága 4. generációs harci vadászgépek terén a VSz és a NATO között. (A NATO ezeken a vadászgépeken felül is rendelkezett korszerűnek számító vadászgéppel, pl. a francia Mirage-2000-rel.)

Ennek fényében (ez a szerző magánvéleménye), csapásmérő feladatkörben elpazarolni a két legkorszerűbb szovjet vadászgépet egész egyszerűen értelmetlen. A VSz országai rendelkeztek hatalmas mennyiségű csapásmérő repülőgépparkkal is amik megfeleltek volna a célnak főleg, ha atomfegyverek célba juttatásáról van szó, ahol nagy pontosság nemigen szükségeltetik.

Ez igaz volt az USAF F-15 flottára is, valószínűleg ezért nem használták soha csapásmérése. (Részleteket lásd az F-15-ről szóló korábban linkelt írásban.) Egyszerűen nem volt értelme a legnagyobb harcértékű vadászgépet csapásmérő bevetésre küldeni, ahol a csapatlégvédelem több vagy akár összes eszközének is megsemmisítési zónájában repült volna, ráadásul korlátozottabb repülési teljesítménnyel a csapásmérő fegyverzet miatt.

Az első nyugati szemmel is többfeladatú gépek a Szu-27 és MiG-29 továbbfejlesztésén alapuló újabb változatok lettek volna, de a Szovjetunió összeomlása ezek elterjedését hosszú ideig meggátolta, legalábbis Oroszországban. Számottevő mennyiségben többfeladatú orosz gyártású vadászgép Indiában és Kínában lett rendszeresítve a 2000-es évek elejétől kezdve. India és Kína is a Szu-27 alapjain Szu-30MK változatból kifejlesztett többfeladatú vadászgépet favorizálta, ezek voltak a Szu-30MKI (India) és MKK (Kína) változatok.[77] Kisebb mennyiségben vásárolt, Algéria (44 db), Venezuela (24 db), Vietnám (48 db), Indonézia (17 db), Uganda (6 db) és Kazahsztán (4 db) különféle Szu-30 változatokat. Oroszország, csak a 2010-es évek elejétől szerzett be Szu-30SzM és M2 változatú gépekből kb. 60 darabot.

Balra a Szu-27 jobbra a MiG-29.

A MiG-29 típuscsalád nem volt ilyen szerencsés a hidegháború utáni időszakban. Az 2000-es évek végéig olyan kevés megrendelést kapott a tervező iroda, hogy már-már a megszűnés fenyegette a nagy múltú tervezőintézetet, ráadásul a cég renoméját megtépázta egy arcpirító eset is. Az Algériának eladott MiG-29SzMT gépekbe használt alkatrészeket, illetve fődarabokat építettek be, annak ellenére, hogy Algéria új gyártású gépekért fizetett. A megrendelő természetesen a gépeket visszaküldte és helyette a felajánlott Szu-30MKA gépeket állította hadrendbe. (A visszaadott gépeket hadrendbe állította az Orosz Légierő, de csak tessék-lássék módon használják azokat.) A MiG-29 alapjain fejlesztett MiG-35-re is csak igen hosszú huzavona után érkezett legalább szándéknyilatkozat beszerzésre, ami logisztikai szempontból nem tűnik ésszerűnek. A prototípus építés alatt áll, az indiai tenderre összerakott típus továbbfejlesztése lesz az orosz MiG-35. (Boki kiegészítése, 2016 vége.)

[77] *Ez India és Kína „baráti" viszonyát nézve azért morálisan elég „vicces", de a fegyveripar már csak így működik...*

A repülőgép-hordozós üzemre kifejlesztett MiG-29K változatra végül 2004-ben érkezett megrendelés Indiából.[78] Kezdetben 12 db együléses K és 4 db KUB kétüléses változatra szólt a vásárlási szándék, majd később, a korábban megkötött opcióval élve további 29 darabot rendeltek a Vikramaditija repülőgép-hordozóhoz. 2009 végén Oroszországból is érkezett 20+4 db egy- és kétüléses változatra megrendelés. A repülőgép-hordozós üzemre alkalmas MiG-29 és Szu-27 változatok kifejlesztése még a '80-as évek végén történt meg, de az oroszok csak a Szu-33-ast (korábbi típusjelzése Szu-27K) rendszeresítették a '80-as évek végén és a '90-es évek elején kis mennyiségben.

A Szu-33 (Szu-27K) hajófedélzeti üzemre nehezen használható igen nagy mérete és tömege miatt, maximális képességei nem aknázhatóak ki hajófedélzeti üzemmel. Csak azért állították hadrendbe a '80-as években nagy sietséggel, mert közelebb volt a sorozatgyártáshoz, mint a MiG-29K. Utólag belátva ez nagy hiba volt, azonban Oroszország pénzügyi lehetőségei évtizedekig nem tették lehetővé ennek a hibának a korrigálását. Megjegyzendő, hogy sem a MiG-29K sem a Szu-33 nem alkalmas gőzkatapultos indításra (CATOBAR),[79] ami alapvetően más kategóriába sorolja ezeket a gépeket, mint a gőzkatapultos indítással üzemelő amerikai vagy a francia Rafale haditengerészeti vadászgépeket. A két orosz gép síugrósáncos (STOBAR)[80] megoldással képes felszállásra, de emiatt kevésbé rugalmasan használhatóak. Maximális nekifutási hossz esetén is korlátozott a Szu-33 fegyver és üzemanyag terhelése (a MiG-29K-é nem), viszont felszálláskor ezek blokkolják a leszálló fedélzetet.[81]

A MiG-29-ről egyesek azt vallják, hogy a típus balszerencséje, hogy nem az USA-ban született meg, akkor nagyobb karriert tudhatna magáénak, az F-16-hoz hasonlót. Ahhoz képest, hogy a hidegháború alatt a szovjet / keleti vadászgép szinonimája a „MiG" volt, a '90-es évek Szuhoj export sikerei után a MiG-29 története kudarcként írható le.

A hidegháború vége után a 2000-es években a katonai repülés másik főszereplője Kína lett, ezért érdemes néhány szót ejteni róla. Kína nem csak Szu-30MKK, de az alap Szu-27 változatot is rendszeresítette, még a '90-es évek elején vásárolt kb. 60 darab együléses Szu-27SzK és kétüléses oktató UBK típusú gépeket, ekkor még nem létezett a Szu-30MK alap változatának prototípusa sem. A Szovjetunió összeomlása után a valuta éhség és a hadiipar életben tartása miatt az oroszok a legfejlettebb haditechnika exportjára is nyitottak voltak, „ideológiai különbségek" már nem álltak fent a két ország között. Értsd, a pénz beszél...

Megjegyzem, egyes országok semmiféle politikai gátat nem szabnak a fegyver exportjuknak, erre példa Franciaország. Líbiának is felajánlották a Rafale vadászgépeket aztán rá alig 1-2 évre ők indították meg az ország bombázását, ami végül Khadafi bukásával és halálával ért véget. Erre mondták szarkasztikusan többek, hogy Franciaország csak „ajánlatokkal bombázza" Líbiát, mert a Rafale vadászgépeket is bevetették a hadművelet során.

A Szu-27SzK változatot később licensz alapján gyártottak J-11 típusjelzéssel. Először csak összeszerelték a azokat, de az összeszerelt gépek tanulmányozásával lényegében megteremtették a kínai repülőgép ipar számára a minőségi továbblépés lehetőségét. A kínai repülőgépipar még a '90-es évek elején is csak a legelső MiG-21 változatok alapjain nyugvó sokadik típusváltozat kifejlesztésére volt csak képes, illetve még régebbi, a MiG-17/19 gépeken alapuló fejlesztésük volt. Ezen gépek terveit még a '60-as évek elején,

[78] https://www.defensenews.com/land/2017/08/04/indian-navy-wants-russian-mig-29k-jets-to-be-ruggedized/
A típussal igen komoly problémák merültek fel. https://sg.hu/forum/uzenet/1074537255/83333
[79] *Catapult Assisted Take-Off Barrier Arrested Recovery*
[80] *Short Take-Off But Arrested Recovery*
[81] https://www.youtube.com/watch?v=p9DcPnr9jOQ

szovjetekkel való szakítás előtt kapták meg, néhány egyéb más szovjet harceszközével egyetemben. Szinte minden területen ezekre alapoztak még 30 évvel később is. Nézhettek ki a fejlesztések máshogy az alap változatokhoz képest (kettős nyilazású deltaszárnyú J-7),[82] szerezhettek be egyéb szovjet-orosz gépet tanulmányozásra arab országoktól (pl. MiG-23-at), a gépek alapvető teljesítmény korlátai megmaradtak, mert a hajtóműfejlesztés terén a kínai ipar önerőből képtelen volt előrelépni. A '90-es években bekövetkezett politikai változás miatt lehetségessé vált technológia importja hatalmas löketett adott a kínai gazdaságnak, ezáltal fejlettebb harceszközök beszerzésének is.

A megvásárolt Szu-27 gépekkel elégedettek voltak, ezután azok licensz gyártása mellett döntöttek. Ahogy egyre jobban belejöttek és fejlődtek a gépek gyártásában, úgy a J-11 egyre több elemét volt képes a kínai ipar legyártani, de a főbb kritikus elemek egy részét (radar és különösen a hajtómű) továbbra is az oroszoktól szerezték be. Idővel elérkezett az a pillanat, amikor az oroszok engedélye nélkül lemásolták és gyártották a Szu-27-et, ez okozott némi feszültséget a két ország viszonyában. (A Szu-27Sz korszerűbb kínai változata a J-11B.) A másolás némi botladozás után többnyire jól ment, de a hajtómű terén nagyon sokáig igen komoly minőségbeli és élettartam problémákkal küszködtek, annak ellenére, hogy a '70-es évek végének szintjét képviselő szovjet technológiáról van szó. A részben izraeli Lavi tervein alapuló, de saját fejlesztésű J-10 gépek számára is oroszoktól szerezték be a Szu-27 családon belül használt Al-31FN hajtóműveket.

Kína az Ukrajnától megvett Varjag[83] síugró sáncos repülőgép-hordozó beszerzésekor még nem rendelkezett hajófedélzeti üzemre alkalmas repülőgéppel, célszerűnek látszott azonos típust rendszeresíteni, ami eredetileg is ahhoz készült, ez lett volna a Szu-33 (ex. Szu-27K), annak minden korábban említett hátránya ellenére. A kínaiak szerették volna az oroszoktól megszerezni a Szu-33 licensz gyártásának jogát, de az oroszok a J-11B illegális másolási esete után vonakodtak ebbe beleegyezni, így ez a próbálkozás kútba esett. Így született meg a „saját" fejlesztésű J-15, ami részben az Ukrajnától vásárolt[84] egykori prototípuson alapszik. (Mai napig nem tisztázott a Szovjetunió idején megalkotott szellemi tulajdon jogi helyzete.) A jelenleg ismert kínai elképzelések szerint a jövőben épülő repülőgép-hordozó hajókon már katapultos indításra alkalmas J-15 változatok fognak szolgálni, tehát a hordozó kialakítása is eltérő lesz.[85]

A fentiek alapján úgy tűnik, hogy a kínai ipar előbb utóbb el fog jutni oda, hogy teljesen saját erőből képes legyen élvonalbeli harci repülőgép gyártására is. Már alacsony észlelhetőségű („lopakodó") kialakítással bíró típusokat is fejlesztenek (J-20, J-31), de ezek hajtóművei szintén az oroszoktól ellesett AL-31 és RD-33 hajtóműveken alapulnak, nem mérhetőek az F-22/35 számára kifejlesztett hajtóművek (F119/F135) technológiájához vagy a legkorszerűbb orosz hajtóművekhez.

Hajtómű fejlesztés terén az amerikaiak F119 / F135 párossal nagyjából generációval mindenki előtt járnak, annyival magasabb ezeknél a fajlagos teljesítmény a jóval magasabb turbina forgórész előtti hőmérséklet és egyéb műszaki megoldások miatt. A legközelebb ezekhez az európai EJ200 hajtómű áll fajlagos paraméterekben. (Allesmor Obranna kiegészítése.)

[82] http://www.shape.com.cn/upload/Prod/201212091939186093.jpg

[83] *Az Admiral Kuznyecov soha rendszerbe nem állított, be sem fejezett testvérhajójáról van szó. Eredetileg azzal a céllal vették meg Ukrajnától kvázi roncs áron, hogy úszó szálloda és kaszinó lesz belőle. Teljesen nyilvánvaló volt a kínaiak szándéka, hogy tanulmányozás céljából vették meg, lényegében semennyire sem burkolt haditechnikai importról volt szó. A tanulmányozásnál tovább mentek, a hajót teljesen felújították, korszerűsítették és hadrendbe is állították.*

[84] http://archive.defensenews.com/article/20130928/DEFREG/309280009/Chinese-Media-Takes-Aim-J-15-Fighter
A Szovjetunió felbomlása után Ukrajna sok dolgot örökölt, komplett üzemektől kezdve rendszerben levő cirkálón, bombázókon, vadászgépeken át. Ezek nagy része gyorsan az enyészeté lett forrás nem lévén ezek megtartására.

[85] https://pbs.twimg.com/media/DCwG6JxU0AAx7Ve.jpg *Mellékletek között is elérhető.*

Az F119 / F135 páros hasonló hajtómű az orosz PAK-FA-ban lesz majd, de annak prototípusának beépítse optimális esetben 2017-ben történhet meg, ami nem azonos a napi szintű gyakorlati alkalmazással.

Ezt az első beépítési állapotot az amerikaiak az YF-22 és YF-23-mal a 1990 végén elérték. Akkor már rendelkezésre állt a változtatható kétáramúságú YF-120 hajtómű technológiája is, de az annyira radikális és drága volt, hogy még az USA is elállt a használatától és inkább maradtak az F119-nél. Az F119 és YF120 mind az YF-22, mind az YF-23 technológiai demonstrátor számára rendelkezésre állt. Hatalmas a kontraszt a hajtómű fejlesztés terén (is) az USA és a világ többi része között.

2.4. Elfogóvadászgépek, honi légvédelmi vadászok, nehézvadászgépek,

Már a hidegháború kezdeti szakaszában a ’40-es évek legvégén megjelent az elfogóvadászgép kategória. Mára szinte kihaltnak tekinthető ez az „állatfaj” csak egyetlen ilyen típus, a MiG-31 teljesít aktív szolgálatot, de már nem a régi, klasszikus értelemben vett módon látja el feladatát.

Az elfogóvadászgépek elsődleges és sokáig egyetlen célpontjai az atomfegyver-hordozó interkontinentális (hadászati) bombázógépek, később már az azokról indított nagy hatótávolságú rakéták, illetve a ’80-as évek elejétől a manőverező robotrepülőgépek / cirkálórakéták voltak. Ilyen kategóriájú vadászgépeket a Egyesült Államok és a Szovjetunió fejlesztett nagy számban, illetve az ’50-es évekig még az Egyesült Királyság és Kanada is, de ők végül kidőltek a sorból a műszaki fejlődés, a fejlesztéshez és gyártáshoz szükséges költségek miatt, pontosabban maga az igény is nagyjából megszűnt ezekre, amikor felhagytak ezek fejlesztésével.

A kategóriába tartozó vadászgépek megjelenése szükségszerű volt a nukleáris fegyverekkel támadó bombázófenyegetés miatt, de az elfogóvadászokból legyártott mennyiség az USA-ban és Kanadában talán eltúlzott volt. Ennek oka, hogy az USA-ban nem ismerték pontosan a szovjet interkontinentális bombázó fenyegetés mértékét. Felderítési adatok hiányában a szovjet fenyegetés nagysága egészen 1956-ig nem volt pontosan ismert, az U-2 felderítő (kémrepülő) által szolgáltatott fényképek elemzése után lett csak bizonyos, hogy bár léteztek interkontinentális (hadászati) szovjet bombázók, azok mennyisége sokkal kisebb volt, mint korábban feltételezték. [86] Az pontatlanul felmért fenyegetésnek nem csak az elfogóvadászgépeknél, de a légvédelmi rendszerek fejlesztésénél és telepítésénél is nagyon komoly hatása volt. (Lásd később az 6. fejezetben). Első körben lássuk az amerikai/kanadai elfogóvadászgépeket.

Balra az amerikai F-89 Scorpion, jobbra a kanadai CF-100 Canuck.

[86] *Ez hívták „Bomber Gap”-nek. Az USA-ban azt hitték, hogy a szovjetek még az övéknél is nagyobb interkontinentális bombázó flottát épít ki, holott ennek pont a fordítottja volt igaz, a szovjet és amerikai kapacitás között kb. nagyságrendi (tízszeres) eltérés volt.*

Az elfogóvadászgépek első sugárhajtóműves képviselői voltak pl. az F-89 Scorpion és az F-94 Starfire a ’40-es évek legvégén, illetve a klasszikus F-86 Sabre vadászgép elfogó változata az ’50-es évek elején. (Az F-86 klasszikus vadászgép volt, az elfogóvadász változata specializált altípus volt.) Az első kettő a második világháborús gépek jellemző aerodinamikai kialakításával rendelkezett, gyakorlatilag csak a légcsavaros erőforrást cserélték le gázturbinás sugárhajtóműre. Azon gépek esetén, ahol lehetséges volt radart építettek a gépek orrába, így éjszakai elfogásra is alkalmassá váltak a kor szintjén. (Önálló célkeresésre nem voltak alkalmasak ezek a radarok.)

Az F-86 elfogóvadász változata már nyilazott szárnyú volt, ennek ellenére még az is csak szubszonikus típus volt. A fegyverzetben irányított légiharc rakétának ekkor még híre hamva sem, csak nem irányított kis hatótávolságú rakétákkal rendelkeztek az amerikai gépek. A nem irányított rakéta fegyverzet ötletét a németektől vették át, akik még a II. világháború alatt sikeresen használtak ilyen fegyvereket az amerikai B-17 és B-24 bombázók ellen. Egyes típusokon megtartották a géppuska/gépágyú fegyverzetet is, de az USA-ban nem ez volt a jellemző fegyverzet. A Szovjetunióban az irányított rakétafegyverzet megjelenéséig továbbra is csöves tűzfegyverekkel (gépágyú) szerelték fel gépeiket, például a Jak-25-öt.

A várható fenyegetést az ’50-es évek elején a Tu-4 bombázógép jelentette az USA számára, amit a Szovjetunió a B-29 lemásolásával hozott létre. A Tu-4 légi tankolás nélkül legfeljebb egyirányú úttal érte el volna a célpontokat, de még a későbbi gépek is számtalan célt csak egyirányú repüléssel értek volna el feltételezve, hogy nem térnek vissza a Szovjetunióba és Mexikóban szállnak le a gépek.[87]

B-29-re néhány a Szovjetunióban kényszerleszállt és lezuhant példányok tanulmányozásával tettek szert a szovjetek, amik Japán bombázása után a lehető legközelebbi semleges területen hajtottak végre kényszerleszállást. (Többszöri kérésre sem kaphatták meg a Lend Lease szállítások során.) A csendes-óceáni hadszíntéren a szovjetek ekkor még semlegesek voltak a Japánnal kötött megnemtámadási szerződés értelmében. Ezeket a kényszerleszállt gépeket az USA határozott kérésére sem voltak hajlandók visszaszolgáltatni, a személyzetet internálták és csak hosszas huzavona után engedték hazatérni őket. Ez már előrevetítette a II. Világháborút követő korszak légkörét.

Az ’50-es évek közepétől jelentek meg az első szuperszonikus sebesség elérése képes elfogóvadászgép típusok, ilyen volt például az F-101 Voodoo vagy az F-102 Delta Dagger. Ezek már irányított légiharc rakétával is fel voltak fegyverezhetőek (AIM-4 Falcon), de rendelkezésre állt több elfogóvadászgép típuson a nukleáris robbanófejjel ellátott, 1,5 kt hatóerővel rendelkező légiharc-rakéta, az AIR-2 Genie. [88]

Fontos megérteni, hogy akkoriban városokat hamuvá változtató termonukleáris bombát hordozó bombázó (kötelékek) fenyegető réme lebegett a védekező fél szeme előtt. Az akkori védelmi elképzelésekbe belefért, hogy ilyen rakétákkal oldják meg a támadók megsemmisítését. 10 km magasságban, a nukleáris robbanófejjel rendelkező rakéta használatának mellékhatásai eltörpültek egy sikeres támadás következményeihez képest, a szovjetek több megatonna (Mt) hatóerejű bombákkal tervezték elpusztítani az amerikai nagyvárosokat.[89]

---

[87] *A szovjet bombázók hatósugarára vonatkozó hírszerzési becslés a mellékletek között megtalálható. Ez nem volt reális forgatókönyv, a szovjetek nem számoltak ilyen bevetésekkel.*

[88] *Ez nagyságrendileg a Hirosimára ledobott bomba hatóerejének kb. 1/8-a. Ami figyelemreméltó, hogy alig 10 évvel az első nukleáris fegyver megalkotása után képessé vált az amerikai ipar egy olyan kisméretű nukleáris robbanófej megalkotására, ami elfért az első atombombához képest apró légiharc rakétán is.*

[89] *https://www.youtube.com/watch?v=BlE1BdOAfVc Még közvetlenül a rakéta alatt állva sem okozott a földön kárt a rakéta használata.*

A Genie rakétával egyszerűen csak a bombázó hátsó fél-légterébe kellett elfogáskor kerülni néhány km távolságban, a célzással nem sok teendő volt, több száz méteres mellélövés esetén is garantált volt a megsemmisítés. A szovjet bombázógépek farok részébe épített gépágyúk sem tehettek semmit a támadó vadászgépek ellen, mert messze azok hatásos lőtávolságán kívül volt indítható a Genie rakéta. A Genie összességében megbízhatóbb volt, mint az akkor még szárnyait bontogató irányított légiharc-rakéta, vagy a nem irányított rakéták, ahol utóbbinál a pilóta ügyessége komoly tényező volt a célzás során. A Genie használata esetén, amennyiben műszaki hiba nem lépett fel és a cél közelébe ért az elfogóvadászgép, akkor a megsemmisítés valószínűsége magasnak volt tekinthető.[90] A várható radioaktív szennyezés vállalható volt, mert lakott területektől távol történt volna a használat és nem földközelben.[91]

Ez a fajta készülődés egy apokaliptikus háborúra nagyon sok fegyverrendszer képességét meghatározta. Később, mikor olyan konfliktusokban használták azokat, amikor nem egy minden eldöntő néhány órás vagy legfeljebb egy napos összecsapásokban kellett helyt állni, akkor derültek ki ezek hiányosságai.

F-101 Voodoo AIR-2 Genie rakétát indít (valószínűleg csak gyakorló változatot)

Az ’50-es évek végén már a kétszeres hangsebességű elfogóvadász típusok is megjelentek, ilyen volt például az F-104 Starfighter, az F-106 Delta Dart vagy az angol (English Electric) Lightning. Ezek a vadászgépek gépek a későbbi hatalmas méretű szovjet társaikhoz képest eltörpültek, de ez nem jelentette azt, hogy az Atlanti-óceán túlpartján nem gondolkoztak hasonló gépek kifejlesztésén, ez utóbbi elképzelésekre példák az XF-103 és az XF-108 Rapier.[92]

Kétszeres hangsebességet bőven meghaladó csúcssebességgel számoltak, de ezek végül megrekedtek a koncepció megalkotásának fázisában, még megépült prototípusig sem jutottak el a fejlesztés során. Az akkori technológiával ezek megvalósítása valószínűleg nem sikerült volna, illetve valódi igény sem volna ezekre. Szuperszonikus sebességre képes interkontinentális szovjet bombázót nem állítottak hadrendbe a Tu-160-ig,[93] ami indokolta volna ilyen nagysebességű elfogóvadászok kifejlesztését és hadrendbe állítását, ellenben az elfogóvadászgépek ára a csillagos eget verdeste volna. Olcsóbb és értelmesebb alternatíva volt a kevésbé fejlett elfogóvadászgépekből többet rendszeresíteni.

---

[90] *Legalábbis szerintem.*

[91] https://goo.gl/hQM8S8

[92] https://goo.gl/tS1MMn

[93] *A Tu-160 szintén nem indokolta, mert az arról indítható 2000-2500 km-es hatótávolságú H-55 „cirkáló rakéta” miatt soha nincs szüksége ekkora sebessége a Tu-160-nak. Ekkora indítási távolsággal semmiféle vadászgép elől nem kellett volna „rohangálnia” a szovjet-orosz bombázónak.*

F-106 Delta Dart Genie rakétát indít. A típus különlegessége a belső fegyvertér volt, ami lehetővé tett nagy sebesség elérését, az AIR-2 Genie légellenállása hatalmas lenne külső függesztés esetén. A képen látható póttartályok ledobhatóak, így azok nélkül elérhető végsebesség számottevően nagyobb.

Kanadában is nekifogtak a kétszeres hangsebességet meghaladó hatalmas méretű elfogóvadász kifejlesztésének, de az ambiciózus CF-105 Arrow végül megbukott. A kanadai elfogóvadászgép köré utólag számtalan legenda épült, hogy „mennyire szép és nagyszerű repülőgép lett volna, csak az a szemét USA" tette tönkre szándékosan a kanadai repülő ipart".

Az ikonikus kinézetű F-104 Starfighter. Amerikai szolgálata (USAF) szinte csak lábjegyzet a típus történetében, nem volt sikeres típus. Nagy számban exportálták a NATO és USA-val szövetséges államokba, de klasszikus vadászként vagy a németeknél vadászbombázóként sem volt egy sikertörténet annak ellenére, hogy helyenként meglepően hosszú ideig szolgált. Olaszországban 2004-ben vonták csak ki a korszerűsített ASA változatot.

A valóság ezzel szemben az, hogy már akkor sejthető volt, hogy az Arrow elfogóvadászgépre nem lesz szükség, továbbá annak megálmodott teljes potenciáljának kifejlesztése meghaladta Kanada pénzügyi és technikai lehetőségeit sőt, a kor technológiájának lehetőségeit is, még az USA sem lett volna rá képes. Olyan dolgokat álmodtak meg az Arrow számára, ami kb. 20-30 évvel később lett csak realitás, pl. aktív radaros légiharc-rakéta Sparrow méretben. Amikor a CF-105 fejlesztése még zajlott már megjelentek az első interkontinentális ballisztikus rakéták, ami előrevetítette a jövőt. Számtalan más alternatíva volt a szuperfejlett, de bizonytalan CF-105 helyett az interkontinentális bombázógépek ellen, amik összességében költséghatékonyabbak voltak. A következő oldali ábrán látható a fejlődés üteme, hogy milyen ütemben cserélődtek az elfogóvadászgép típusok az USA-ban.

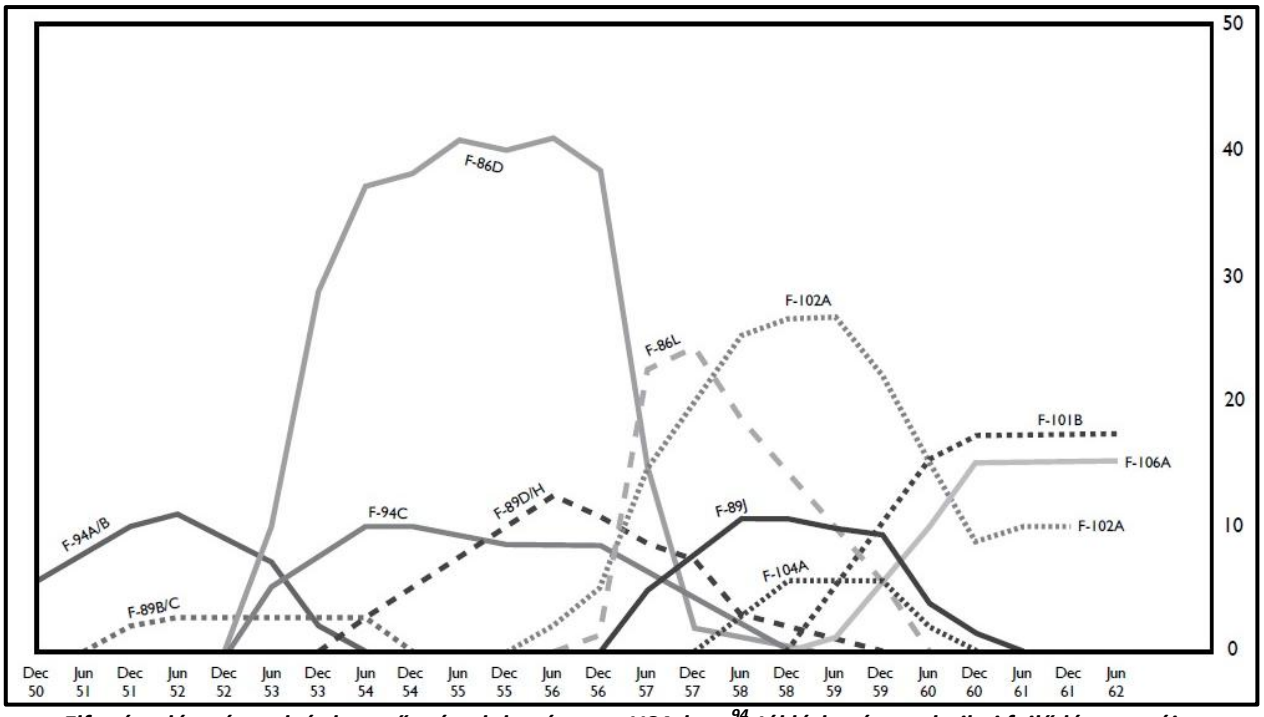
Személyes vélemény, a következőképpen látom a helyzetet. Az CF-105-öt akkor kezdték fejleszteni, amikor a szovjet bombázó fenyegetés még realitás volt, viszont nagyjából akkor állt volna hadrendbe még az optimista forgatókönyv szerint is, amikor már látszott, hogy a interkontinentális ballisztikus rakétáké (ICBM) a jövő a nukleáris elrettentés terén, ami ellen bármilyen vadászgép tehetetlen.

Az USA is leállt az elfogóvadászok fejlesztésével és gyártásával a továbbiakban. Az F-106-ot még rendszeresítették, de itt véget is ért az elfogóvadászok fejlesztésének története az USA-ban. Az USA repülőgép ipara kibírta ezt a változást, gyártottak más korszerű és piacképes katonai repülőgépet. Azonban Kanadában lényegében az egész hi-tech repülőgép ipart erre az egy típusra állították rá, emiatt hatalmasat koppantak, mikor kiderült, hogy erre nem lesz szükség.

A CF-105 annyira speciális volt, hogy semmi másra nem lett volna használható, tehát új feladatkört sem találhattak neki – legfeljebb a MiG-25R-hez hasonló magassági felderítő lehetett volna –, ezért exportálni sem nagyon lehetett volna sehova, mert erre keveseknek lett volna pénze. Amennyiben folytatták volna a fejlesztést és rendszerbe állítják, akkor csak még tovább szórták volna a pénzt, teljesen értelmetlenül.

Az ICBM elterjedést megjósoló szakembereknek lett igazuk, és utólagos bölcsességgel még inkább belátható, hogy a program leállítása indokolt volt. A '60-as évek közepétől a szovjetek lényegében felhagytak azzal, hogy bombázógépekkel próbálják áttörni az erősnek mondható amerikai és kanadai légtérvédelmet. (Ez természetesen atomháborút jelentett volna.)

A gép történetéről szóló film sajnos csak tovább erősítette a géppel kapcsolatos téveszmék és legendák sorát. http://www.imdb.com/title/tt0118641/



Elfogóvadász típusok és bevető századok száma az USA-ban.[94] Jól látható a technikai fejlődés tempója.

A nehéz vadászgépek építését a Szovjetunióban a hatalmas távolságok, az akkori hajtóművek magas fogyasztása, az feladathoz szükséges elektronikai berendezések tömege, illetve azok helyigénye tette szükségessé. Ezek a vadászgépek nevük ellenére nem klasszikus vadászgépek voltak, amelyeknek más vadászgépek elleni harc (is) feladata, hanem kizárólagosan interkontinentális bombázók elfogása volt a cél, klasszikus vadászgépek elleni harcra teljességgel alkalmatlanok voltak. Elfogóvadászgépeket és nehéz vadászgépeket a Szovjetunióban csak a Honi Légvédelem (PVO)[95] használt. Ezeket a típusokat az elhanyagolható mennyiségű export MiG-25-öt változatot leszámítva – azok egészen biztosan eltérőek

[94] *124. oldal, History of Strategic and Ballistic Defense Volume-I 1945-1955*
[95] *Противовоздýшная оборóна = PVO*

voltak a szovjet gépekétől harcászati elektronikában – nem adták el egyetlen országnak sem. Rövid ideig kis számú Szu-15 Egyiptomba települt, de ezt leszámítva csak a Szovjetunió területén állomásoztak a PVO elfogóvadászgépei. Az export tilalom a gépek feladatköréből származott, ezek a legszigorúbb titokvédelem alá esetek.

Tu-128 Fiddler, méretben a nehézvadászgépek királynője.

Az első ilyen típus a nem túl sikeresnek bizonyuló szubszonikus Jak-25 Flashlight volt, utódja a Jak-28 Firebar már szuperszonikus sebességre is képes volt. A kategória akkori királynője azonban a Tu-128 (fent), a mai napig ez a legnehezebb és legnagyobb szolgálatba állított vadászgép volt. A repülőgép hatalmas méretei ellenére mindösszesen négy darab légiharc rakétával indulhatott bevetésre, bár azok hatótávolsága a kor szintjén nagynak számított, ahogy maga a rakéta is. Egy R-4-es rakéta tömege majdnem fél tonna volt, de mai szemmel megmosolyogtató, mindössze 25 km-es maximális megsemmisítési távolsággal bírt még a radarvezérlésű változata is. A hasonló tömegű, de kb. 1,5 évtizeddel későbbi R-33 maximális megsemmisítési távolsága meghaladta a 100 km-et is nagy magasságban.

Léteztek kisebb méretű elfogóvadászgépek (Szu-9, Szu-11, Szu-15), de azok inkább csak pontvédelemre voltak alkalmasak, ilyen volt például a MiG-21P vagy a MiG-23P, ezek klasszikus vadászgépek, (orosz terminológiával frontvadász) specializált változatai voltak.[96] Ezek csak kis terület védelmét látták el a bázisreptér közelében, ez nem volt több 150-250 km-nél, amennyiben maximális sebességgel végrehajtott szuperszonikus elfogásról volt szó. A nagyobb elfogóvadászgépek méretükből kifolyólag még a Szovjetunió kiterjedését nézve is korlátozottan képesek voltak még őrjáratozásra is. (Légi utántöltés nélkül valódi őrjáratot adni csak nagyon korlátozottan lehet.) A kisebb vadászgépek teljesen, de még a nagyobb gépek is nagyon rá voltak utalva a földi radarrendszerre, önálló célkeresésre a kisebb gépek radarjai alkalmatlanok voltak. (Ez egyébként az amerikai elfogóvadászgépekre is igaz.) A MiG-21 akkori radarja (lokátora) mindössze kb. 25-30 km-ről észlelt egy interkontinentális bombázót. (A radarok célkeresési képességeiről a 4. fejezetben esik szó.)

Mi vezetett a kategóriának a kihalásához? Az interkontinentális ballisztikus rakéták (ICBM) elterjedése, ami csökkentette, illetve megváltoztatta a bombázó fenyegetés jellegét mindkét oldal számára, ami természetesen kihatott az ellenük való védekezésre is. Az amerikai oldalon az elfogóvadászok leépülése viszonylag gyorsan bekövetkezett. Bár az F-106 Delta Dagger egészen a ’80-as évekig szolgált, de szerepük csekély volt és nem fejlesztettek ki több specializált elfogóvadász típust az USA-ban, egy korszak ott az F-106-tal lezárult.[97]

[96] *A „P” betű a típusjelzése ezeknél az elfogóvadász változatot jelzi. P = perekvatcsik*
[97] *https://www.youtube.com/watch?v=rUe0ywSoNeU&index=5&list=WL*

A Szovjetunióban belátták, hogy egyszerűen nem volt értelme a továbbiakban bombázókkal próbálkozni az amerikai vadászok és légvédelmi rakéták ellen a várható elviselhetetlenül magas veszteségek miatt. Ellenben az ICBM ellen akkor nem létezett semmiféle védelem sőt, globálisan nézve ma sem. A szovjetek a '60-as évek közepétől a fő ütőerőnek az interkontinentális ballisztikus rakétákat tartották, a bombázó flotta mérete ezután csökkent és alternatív feladatot találtak nekik. A megmaradó bombázógépeket az amerikai repülőgép-hordozó[98] kötelékek ellen tervezték felhasználni az addigra kifejlesztett nagy hatótávolságú K-20 (AS-3 Kangoroo) robotrepülőgépekkel.[99]

Viszonyításképpen a tűzerőről. 1965-re a K-20 hordozására a Tu-95K és a Tu-95KM bombázóból kb. 70 darab állt rendelkezésre, ezek egy darab K-20 rakétát vihettek magukkal, amiknek a szórása 8 km-es nagyságrendű volt, a hatalmas indítási távolság és az akkori térképező radar felbontása mellett. A kanadai + amerikai légvédelmi rendszeren való áttörést ezekkel kellett volna végrehajtani és utánuk érkezhettek volna a termonukleáris bombát hordozó bombázók, mert azokkal reálisan nem volt esély a városokat elérni, ha nem „takarítják le" előttük a légvédelmi rakéta-rendszerek legalább egy részét.

A K-20 600 km-es indítási távolságával a becsapódás pillanatában kb. 360 km-re volt a célponttól a hordozó Tu-95, ami a Nike légvédelmi rakéták ellen megfelelő védelem volt (a BOMARC ellen nem) és adott némi esélyt, hogy sikerül indítani és célba juttatni, mielőtt a vadászok lelövik az azokat irányító bombázókat.

A rakétás Tu-95 gépek mellett kb. 85 darab 3M Bison és kb. 40 db korábbi Tu-95, K-20 nélküli bombázó állt rendelkezésre, de csak gravitációs termonukleáris bombákkal, azokkal lényegben egy város fölé kell repülni a célba juttatáshoz.

Figyelembe véve a több száz amerikai és kanadai elfogóvadászgépet és a nagyvárosok köré épített légvédelmi rendszereket, belátható, hogy nagyon kevés nukleáris fegyver célba juttatására volt reális esélye a szovjet bombázóknak a '60-as évek közepén.

Ezzel szemben 1965 után, amikor feladták a bombázókkal történő csapásmérést a USA (CONUS)[100] ellen, akkor a következő ütőerővel rendelkeztek a Szovjetunó Stratégiai Rakéta Csapatai. '65-ben 226 db interkontinentális ballisztikus rakéta (ICBM), '66-ban 420 db, '67-ben 820 db és '71-re az állomány 1517 darabra nőtt.

Az első generációs ICBM-ek körkörös szórása[101] kb. 6-8 km táján volt, de mivel sok volt ezekből és nem létezett ellenük védelem, ennek fényében érthető, hogy a bombázók kora miért áldozott le, minden későbbi fejlesztés ellenére. A szovjet bombázófenyegetésről és az arra adott amerikai válaszról mellékletek között található részletesebb anyag. A mellékletet Hpasp készítette angolul, a mellékelt anyag annak megformázott és lefordított változata.

Az USA a Szovjetunióval ellentétben nem építette le teljes mértékben az interkontinentális bombázó flottát. Az új B-52-ből az előzőleg tervezettnél kevesebbet gyártottak le, a régebbi B-36 és B-47 gépeket leselejtezték (1959-ig és 1965-ig bezárólag), de még így is több száz különféle változatú B-52-őt tartottak szolgálatban. A szovjet légvédelmi rakéta-rendszerek telepítése ellenére továbbra is ragaszkodtak ezekhez, sőt kétszeres hangsebességre képes bombázót is rendszerbe állítottak (B-58 Hustler) és nekikezdtek a

[98] *Köznyelvben ezeket hívják „anyahajónak", az összefoglaló ragaszkodik a pontos terminológia használathoz.*
[99] *A K-20 ráadió-távirányítású volt, az indító repülőgépről vezérelték, a később robotrepülőgépnek nevezett eszközök azonban önvezérlőek.*
[100] https://en.wikipedia.org/wiki/Contiguous_United_States
[101] *CEP –* https://en.wikipedia.org/wiki/Circular_error_probable

háromszoros hangsebességre képes interkontinentális bombázó fejlesztésének is (XB-70 Valkyrie).[102] Azonban egy idő után be kellett látniuk nekik is, hogy ez tarthatatlan és értelmetlen pazarlás. Az ICBM sokkal olcsóbb és megbízhatóbb megoldás, mint egy kétszeres vagy háromszoros hangsebességre képes bombázó.

A problémás B-58-at alig tíz év szolgálat után nyugdíjazták, a B-70 fejlesztését leállították. A Szovjetunió ennek ellenére befejezte és rendszerbe állította a lehetséges fenyegetés ellen készült MiG-25 elfogóvadászt. Ez első látásra szovjet oldalról pazarlásnak tűnik, de mégis volt értelme. Bár végül a MiG-25-nek végül nem kellett volna hajkurásznia kétszeres és háromszoros hangsebességre képes bombázókat, de a MiG-25 a fegyverzete, a hatósugara és más képességei miatt egymaga leválthatta az összes korábbi elfogóvadászt típust úgy, hogy azok képességeit messze felülmúlta.

Az amerikaiak is terveztek hasonló nagy sebességű vadászgépet, ez volt YF-12, de a szovjet bombázófenyegetés megszűnése után okafogyottá vált – igazából valódi igény sem volt rá soha – így soha nem állt hadrendbe. Ellenben a későbbi legendás felderítő gép az SR-71 lényegében ebből született meg. Az YF-12 volt a valaha tervezett legnagyobb és legnehezebb elfogóvadászgép, kb. a Tu-128 méreteivel rendelkezett, de még annál is nehezebb volt, üres tömege közelített a 28 tonnához.

A MiG-25 a mai napig sebesség rekorder, soha egyetlen más szolgálatban álló (az YF-12 soha nem állt hadrendbe)[103] vadászgép nem volt képes akkora sebességre teljes légiharc fegyverzettel, mint ez az elfogóvadászgép. Képes volt a hangsebesség 2,8-szorosára (M2,8), persze csak nagy magasságban repülve (12 km+), alacsonyabb magasságon a gép repülési teljesítménye elmaradt a kortárs klasszikus vadászgépekétől, nemhogy a későbbi 4. generációs vadászokétól.

Az egyre fejlettebb szovjet elfogóvadászok és légvédelemi rakéta-rendszerek miatt a B-52 bombázók sem gravitációs termonukleáris töltetű bombákkal hajtották volna már végre a csapásmérést a Szovjetuniói és a VSz országok ellen. A ’60-es évek elejétől az AGM-28 Hound Dog nagy hatótávolságú robotrepülőgép szolgált a B-52 kinyújtott hosszú kardjaként, illetve az FB-111 típuson a kisebb indítási távolságú, de háromszoros hangsebességre képes AGM-69 SRAM, végül a ’80-as évek elejétől kezdve az AGM-86 kis magasságon behatoló manőverező robotrepülőgépre alapoztak.[104] Ez utóbbi kategóriájú fegyver képes volt 2000 km-nél nagyobb távolságot is megtenni alacsonyan repülve, ahol felderítése és megsemmisítése különösen nehéz volt akkoriban. (Ma sem könnyű feladat.) A ’80-as években a B-1 program feltámasztásával maga az AGM-86-ot hordozó platform, a B-1B Lancer is alacsonyan történő, kis magasságú behatolásra volt már optimalizálva (60 m repülési magasság). Ez vezetett el az utolsó dedikált elfogóvadász típus kifejlesztéséhez, a MiG-31-hez (illetve az Sz-300 légvédelmi rakéta-rendszer létrehozásához, lásd a 6. fejezetben).

[102] *Természetesen nem a teljes bevetés időtartama alatt repültek volna ilyen gyorsan, hanem a legkritikusabb időszakban, a célpontok megközelítésekor.*

[103] https://goo.gl/qd3w30

[104] *Terveztek légi indítású Tomahawk változatot is (AGM-109), de végül soha nem állították szolgálatba.*

Balra a MiG-25 jobbra a MiG-31. Bár külsőre igen hasonlóak képességek terén az előd egyáltalán nem mérhető az utódhoz a maximális repülési sebességét és magasságát leszámítva.

A MiG-31 aerodinamikai megoldása erősen az előd MiG-25 típusén alapul,[105] és bár a MiG-31 is képes nagy sebességgel repülni, de nem ebben rejlik az igazi ereje. A MiG-31 a fent említett alacsonyan repülő cirkálórakéták és azok hordozó gépeinek (B-1B és B-52) történő levadászására készült. Ehhez hosszú őrjáratozási idő, tehát nagyméretű gép volt szükséges, amiben elfért a szükséges elektronika, a hatalmas fázisvezérelt radar, illetve a nagy hatótávolságú rakéták.

A MiG-31 a ’70-es évek végén teljesen forradalmi és mai napig egyedinek tekinthető radar + légiharc-rakéta kombinációval rendelkezett, amik egy darabig szinte vagy teljesen egyedülállónak tekinthető képességgel ruházták fel a MIG-31-est. Képes volt szimultán célleküzdésre aktív radaros légiharc-rakéta nélkül félaktív vezérlésű rakétákat használva a Zaszlon PESA elven működő radarjának segítségével. A digitális adatkapcsolat segítségével egy négygépes kötelékek vonalba fejlődve kb. 200 km-es szélességű területen volt képes hatékonyon kutatni alacsonyan repülő célok után.

Bármennyire is látványos volt a MiG-25-ösök repülési profilja az elképesztő statikus magassággal és csúcssebességgel, a MiG-31-es jóval gyakorlatiasabb lehetőség volt a korszak fenyegetéseit nézve. A MiG-31-es hatótáv, őrjáratozási idő, rádiólokátor, fegyverzet mennyisége, minősége tekintetében messze felülmúlta a MiG-25PD-t, a legutolsó MiG-25 vadász változatot.

Annyi üzemanyaggal, amivel egy MiG-25P vagy PD egy Mach 2,8-as sebességcsúccsal megspékelt elfogási feladatot be kell fejezzen maximum 40-50 percen belül, azzal a MiG-31-es 2500 km repülési távolságot, vagy akár 2 óra őrjáratozási időt is elér. Erre jött még rá a nagyobb és sokkal fejlettebb radar nagyobb hatótávolsága és szimultán célleküzdési képessége, továbbá a rajkötelékben digitális adatmegosztás és a hangsebesség alatti jobb gyorsulás és fajlagos fogyasztás. A MiG-31DZ megjelenésével pedig légi utántölthetőség végképp feledtetni tudta a PVO-val a MiG-25-ösöket. Ma már MiG-31-essel 7,5 órás repüléseket is végrehajtanak.

(Allesmor Obranna kiegészítése szerkesztve.)

A MiG-31 az elfogó / honi légvédelmi vadászgépek királynője és, ha szabad ilyet mondani, akkor méltó módon zárta le az elfogóvadászok fejlődését. Jelen állás szerint semmiféle realitása nincs ennek a kategória feltámadásának a többfeladatú vadászgépek korában. Oroszország korszerűsítve vagy a nélkül használja a típust ameddig műszakilag lehetséges és racionális, de amikor a típus nyugdíjazására egyszer majd sor kerül, akkor egy kategória utolsó tagja tűnik majd el.

[105] http://i.stack.imgur.com/pSvp9.png

Még egy megjegyzés a fejezet végére. Az egész '50-es és korai '60-es évekre jellemző, hogy mai felfogás szerint csillagászati költségeken (GDP arányosan) fejlesztettek ki harceszközöket vagy teljes fegyverrendszereket, amik félelmetes sebességgel avultak az eszeveszett ütemű fejlesztéseknek köszönhetően. Bár némileg leépítve ezeket sokáig rendszerben tartották, de olyan szinten szórták a pénzt fegyverkezésre arányaiban, ami mai szemmel nézve gyakorlatilag felfoghatatlan.

Az amerikai gazdaság teljesítménye és életszínvonal mellett az '50-es évek elején a védelmi kiadások megközelítették az USA-ban GDP arányosan a 15%-ot és ez csak a '70-es évek elején csökkent 10% alá. A mai 5% körül arány ehhez képest már-már megmosolyogtató, magyar tized %-os arányra meg szavak nincsenek, de fejlett nyugati világ 2% körüli aránya is már-már viccesnek hat a múlttal összevetve.

2.5. Teherszállító- és légi utántöltő gépek

Az összefoglaló egyik fő témáját jelentő harci repülőgépeket követően szükséges az azokat támogató repülőgépekről is szót ejteni. Ezekre általában nem irányul akkora figyelem a telivér harci gépekhez képest, pedig ezek nélkül ütőképes légierő nem létezik középhatalmak és nagyhatalmak szintjén.

A taktikai és stratégiai célok elérését, a harci bevetéseket repülő vadász- és csapásmérő gépeket támogatják a tankerek (légi utántöltő gépek), szállítógépek, elektronikai felderítő és zavaró, továbbá egyéb rendeltetésű repülőgépek. Első körben ismerkedjünk meg a katonai teherszállító gépekkel.

A repülőgépszázadok gyors áttelepülése esetén ezekkel szállítják az üzemeltető személyzetet, a műszaki- és kiszolgáló berendezéseket és a fegyverzetet is, sőt, szükség esetén még a repülőgép üzemanyagot is, de a harcképesség fenntartása szempontjából sürgős berendezéseket is jellemzően ezekkel juttatják célba.

Tankerek például a KC-135 Stratotanker és KC-10 Extender típusok, ezek a polgári légi forgalomban repülő Boeing B707 és DC-10 típusok átalakításából születtek meg, de ez nem jelenti azt, hogy csak civil repülőgépek átalakításával alkottak meg tanker gépeket a történelem során. A C-130 katonai teherszállítónak is létezik tanker változata, továbbá az első tanker gépeket harci repülőgépek átalakításával hozták létre, például a II. világháborús B-29 bombázókból, amiket Koreában már be is vetettek.

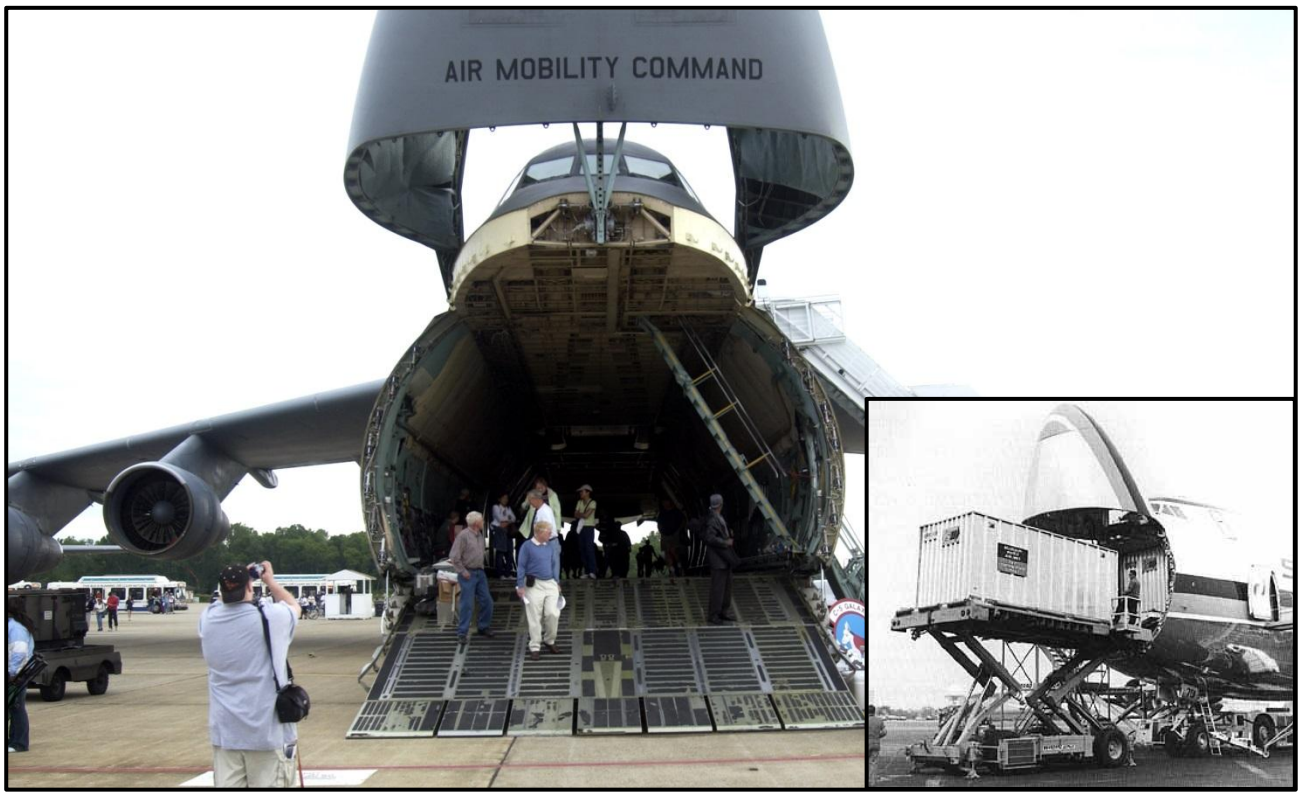
Érdekes módon nehéz/stratégiai katonai szállítógépből az USA nem hozott létre tanker változatot, ellenben a Szovjetunióban az Il-78 Midas az IL-76-os közepes (egyes kategorizálás szerint ez már nehéz kategória) szállítógép módosításával született meg. (A levegőben történő üzemanyag felvétellel az 9. fejezet foglalkozik részletesebben.)

A szállítógépek között a C-5 Galaxy és C-141 Starlifter vitte a prímet még a hidegháború idején a amerikaiaknál, a C-17 fejlesztése még a hidegháború végén kezdődött, de hadrendbe állítása már a '90-es évek elején történt csak meg. A C-141 utolsó példányait 2006 májusában nyugdíjazták, feladatait a C-17 Globemaster III vette át (minden szempontból felülmúlja az elődöt), ez napjaink talán legsikeresebb szállító gépe a nehéz kategóriában. India, Ausztrália, Kanada, az Egyesült Királyság, Kuvait, Egyesült Arab Emirátusok és NATO is rendszeresítette. A közös használatú NATO gépek állomáshelye Pápa, ezek magyar lajstromozással repülnek, de nem magyar gépek, viszont Magyarország is a program része és bérel repidőt. Nehéz (stratégiai) kategóriájú szállítógépeket nagyon kevés ország üzemeltet, a nagy többség a 20-25 tonna teherbírású közepes kategória gépnél nagyobbat nem használ, ilyen például a C-130 Hercules.

A legújabb, papíron nehéz/stratégiai kategóriájú szállítógép az európai fejlesztésű az A400 sajnos a két szék közt a pad alá esés esetének tekinthető.[106] Az A400 közepes szállítógépnek már túl nagy, de a nehéz kategóriához a 35 tonna körüli hasznos teherrel meg túl kicsi és erőtlen, nem csak a maximális tömeg, de a tehertér méretét tekintve is. Az A400 részleges sikertelenségét jól mutatja, hogy nemzeti büszkeség ide vagy oda, de Franciaország és Németország közös üzemeltetésű C-130 szállítógép flotta felállítását tervezi (a francia gépeket már megrendelték), mert az A400 számos célra nem felel meg és problémák vannak a típussal.[107]

A katonai szállítógépek sajátossága a hátul vagy akár az orr felnyitásával is elérhető tehertér, ami sokkal nagyobb méretű rakomány szállítását teszi lehetővé, mint a civil gépeken megszokott szabvány konténerek és raklapok. A civil teherszállító gépeknél kevés kivételtől eltekintve csak oldalsó teherajtók állnak rendelkezésre, még ha nyitható a gépek orr része, akkor sem nyújtanak a katonai szállító gépekkel egyenértékű képességet. A katonai szállítógépek képességei több tekintetben páratlanok a tehertér méretei és rakodhatósága miatt a civil gépekkel összemérve.

A civil teherszállítókon a tehertér méretét alapvetően korlátozza az, hogy osztott, nem használható ki a géptörzs teljes szelvény mérete egyterű tér kialakítására. A gépek szerkezeti szilárdságát az elválasztó padló biztosítja, megbontani emiatt azt nem lehetséges. A legnagyobb katonai szállítógépek leszerelt szárnyakkal és rotor lapátokkal még egyes repülőgépek, helikopterek szállítására is alkalmasak, de 50-60 tonnás harckocsik fuvarozása is megoldható igény esetén.



Egy C-5 Galaxy elöl és hátul is nyitott tehertér ajtókkal. Ahogy kirakodják az egyik oldalon már rakodható is be a másikon, de akár két irányban is lehetséges kipakolni a gépet. A tehertér méretei szemléletesek. A sarokban látható Boeing 747 hiába rendelkezik nyitható orr szekcióval azon nem képes jármű saját erőből behajtani és a tehertér keresztmetszete is jóval kisebb a C-5-höz mérve.

[106] *Legalábbis szerintem, az egész A400 programot alapvetően elhibázottnak tartom.*
[107] https://goo.gl/cGsHHG

A katonai teherszállítók személyszállításra is képesek a tehertérben rögzíthető üléssorok segítségével. Az amerikai gépek tehertere/raktere hermetizálható, ezért nagy magasságban, gazdaságos utazómagasságon és sebességgel közlekedhetnek. Típustól függően deszant (légi szállítás és leszállás nélküli kidobása a szállítmánynak) műveletekre is alkalmasak, ejtőernyős csapatok vagy teherszállításra és deszantolására.[108] Egyes orosz teherszállító gépek személyszállításra csak korlátozottan alkalmasak, mert a tehertér nem hermetizált (nem túlnyomásos), ezért azok maximális repülési magassága korlátozott, ami miatt a hatótávolságuk nagymértékben csökken, mert nem repülhetnek ekkor a gazdaságos utazómagasságon.

Szállító gépek közül repülőgép-hordozóra egyedüliként csak a C-2 Greyhound képes leszállni, elődje a C-1 Trader 1988-ban vonult nyugdíjba a Haditengerészettől. Érdekessége a C-1-nek, hogy az utolsó dugattyúmotoros erőforrással rendelkező repülőgép volt a Haditengerészet állományában.

Balra fent a C-1 Trader, jobbra a C-2 Greyhound.

A 2000-es évektől kezdve jelent meg egy új kategória, a kettős rendeltetésű tanker/szállítógép. A költségvetési megszorítások miatt születtek meg ezek, muszáj volt itt is többfeladatúságot felmutatni annak ellenére, hogy teherszállító képességük nem éri el a katonai célra fejlesztett dedikált szállítókét. Ezek nem rendelkeznek nyitható orr- és farok részen levő rakodó ajtókkal, csak oldalról lehetséges konténerekkel vagy raklapokkal szállítási feladatokra használni a gépeket.

KC-135 nyitott tehertér ajtóval. Bár az ajtó viszonylag nagy méretű, a dedikált katonai tehergépekhez képest belátható, hogy egészen más kategória.

Hasonló a helyzet ahhoz, mint ami a csapásmérő képességgel az első 4. generációs többfeladatos vadászgépeknél a dedikált csapásmérőknél tett összehasonlításkor. Valóban több célra alkalmasak ezek a tanker gépek, de teherszállítás terén a képesség maximuma messze a dedikált szállítógépek alatt marad, ellenben a dedikált teherszállító repülőgépek nem képesek légi utántöltésre. Ilyen kettős célú gép például

[108] http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7a/82nd_Airborne_paratroopers_in_a_C-17.jpg

az A330 MRTT, de az amerikai tankergépek is jellemzően már így üzemelnek és a jövőben beszerzendő típusoknál alapvető elvárás a többfeladatúság.

A szovjet- orosz oldalon az Antonov és Iljusin tervezőirodák által tervezett teherszállító gépek szolgálták és szolgálják ma is a teherszállítási célokat a legkisebb teherszállító gépektől egészen a legnagyobbakig. An-12 a közepes, An-22 és An-124 a nehéz kategóriában, az An-24/26 a könnyű, illetve az Il-76 közepes-nehéz kategóriában.[109] Ezek mind jól sikerült típusok voltak, évtizedekig szolgáltak, az Il-76 korszerűsített változata mai napig gyártásban van.

A valaha épült legnagyobb teljesítményű szállítógép szovjet-orosz fejlesztésű az An-225 Mrija, ebből azonban csak egy példány létezik. Különleges szállítási feladatokra fejlesztették ki még a Szovjetunióban a hidegháború legvégén. A Buran űrsiklót (is) ezzel szállították volna az indítás helyre, ahogy az amerikaiak speciális B747-tel az űrsiklókat. Manapság a civil iparban hasznosítja képességeit, ahol más gépek által nem szállítható terhek szállításával tarolja le a piac egy bizonyos szegmensét hasznot húzva abból, hogy egyterű a tehertere és az amerikai nehéz szállító gépek jogi problémák miatt nem végezhetnek a civil piacon bérfuvarozást.

A szovjet légi utántöltő gépeket kezdetben bombázók (Tu-16, M-4 Bison), később katonai szállítógépek (Il-76) módosításával alkották meg, ma már csak az Il-76-os átalakításából született Il-78 Midas tanker van hadrendben az Orosz Légierőben.[110]

A levegőben történő üzemanyag felvétel a szovjet repülőgépeknél nem volt általánosan elterjedt az amerikai gépekkel ellentétben. (Néhány európai típust is utólag volt szükséges módosítani.) Sokáig csak a Távolsági Légierő (DA, Dálnája Aviácija) nehézbombázói, a Tu-4, Tu-16 és Tu-95 voltak levegőben utántölthetők, az M-4 Bison-ról és Tu-16 tanker változatáról az ’50-es évek közepe-vége táján. A Bison-t eredetileg interkontinentális (hadászati) bombázónak szánták, de az első változata elégtelen hatótávolsága miatt erre a célra alkalmatlanná tette, ezért tankerré alakították át azokat.

Az interkontinentális ballisztikus rakéták elterjedése miatt a távolsági bombázók haditengerészeti csapásmérőként tevékenykedtek tovább, ezért a levegőben történő üzemanyag felvétel képességet ott vették igénybe. Nagyon sokáig csak a haditengerészeti légierő számára volt a levegőben történő üzemanyag felvétel elérhető. A Tu-95/142, Tu-16 (nem az összes változat), Tu-22M és Tu-160 bombázók levegőben utántölthetőek, míg lényegében az összes szovjet vadász- és csapásmérő repülőgép nélkülözte ezt a képességet a hidegháború alatt a Frontrepülő Csapatoknál[111] és a Honi Légvédelemnél is.

Mindösszesen csak két kivétel volt a „vadászgép méretű” repülőgépek között a légi utántölthetőség terén. Az egyik a Frontrepülő Csapatok csapásmérő gépe a Szu-24M, a másik a MiG-31 honi légvédelmi vadászgép, de ez utóbbinak a hidegháború végéig csak kis mennyiségben épült változata volt levegőben üzemanyaggal utántölthet. Ezek a típusok nagyjából a ’80-as évek közepétől kezdve voltak erre képesek. Az

[109] *Az IL-76-ot én nehéz kategóriába sorolom. Ennek oka, hogy a források többsége stratégiai szállítógép kategóriába teszi az A400 típust, aminek szerény 35 tonnás a maximális terhelhetősége. Az Il-76 igaz, hogy komoly hatótávolság korláttal, de akár 50 tonnányi tömeget is képes szállítani. Az A400-zal azonos teher szállítása esetén az IL-76 hatótávolsága is megfelel véleményem szerint a stratégiai követelményeknek még akkor is, ha a típus nem légi utántölthető.*

[110] *Érdekes, hogy ez is ’M’ kezdőbetűs, mint a AWACS verzió, a Mainstay.*

[111] *Egyes helyeken Front Légierő néven szerepel. A hidegháború alatt élesen elvált a két szervezet. A Honi Légvédelem a Szovjetunió elleni stratégiai bombázók és azokról indított fegyverek ellen készült fel, a szárazföldi erőket támogató repülő erők voltak a Frontrepülő Csapatok. Az FM 100-2-3, a hírszerzés által összeállított anyag „Air Forces of the Front” terminológiát használ egy hadseregcsoport (front, lásd 6.2.3. fejezetben) légierejének megnevezésénél.*

újonnan gyártott és a korszerűsített repülőgépeket leszámítva sem a PVO-nál sem a Frontrepülő Csapatoknál nem volt jellemző ez a képesség, a harcászati gépek csak rendkívül szűk köre volt képes csak rá.

A VSz tagállamoknál egyetlen ország sem bírt légi utántöltési képességgel, ami erős kontrasztban áll a NATO államokkal összehasonlítva, bár azt hozzá kell tenni, hogy az európai államok ezen képessége nem biztos, hogy azonosnak tekinthető az amerikai színvonallal. A Sivatagi Vihar hadművelet alatt megtörtént az a csúfság, hogy az egyik éjszaka (rossz idő volt) a 8 db Tornado gépből csak egynek sikerült a levegőben történő üzemanyag felvételt végrehajtani, ami kétségeket ébreszt az iránt, hogy a NATO-n belül mennyire volt egyenszilárd ez a képesség.

2.6. Felderítő repülőgépek

További fontos feladatkör a felderítés, a felderítő repülőgépekből létezett taktikai (harcászati) és stratégiai (hadászati) szintű is. Az elektronikus és foto-felderítőgépek külön kategóriába tartoznak, ebben a fejezetben az utóbbiak bemutatása történik. A felderítő repülőgép típusok többnyire a következő módokon születtek meg:

1. Csúcskategóriás vadászgép/csapásmérő specializált változata, ahol kezdetektől fogva tervezték felderítő változat létrehozását.
2. Sikeres csúcskategóriás vadászgép/csapásmérő specializált változata, de csak a típus sikeressé válását követően születik meg a felderítő változat.
3. Másodvonalas típusok használata, kiöregedett vadászgép/csapásmérő, ami valaha az élvonalat képviselte.
4. Feleslegessé vált típus átalakításával létrehozott specializált felderítő repülőgép.

A korábban már említett RF-4 Phantom II típus példa az első kategóriára, de a svéd Viggen felderítő változata (SF 37) is ilyen volt. Vadászgépből létrehozott specializált, kizárólag felderítésre tervezett egyfeladatos típusváltozat volt mindkettő a korszak csúcskategóriás vadászgépének alapjain.

A másodikra kategóriára példa a Mirage F.1, ebből csak az alap vadász- és vadászbombázó sikere után történt meg a felderítő változat létrehozása. A felderítő változat jellemzően hosszabb ideig szolgált, mint az eredeti vadász- vagy vadászbombázó változatok, azok kivonása után is még hadrendben volt a típus, akár még 10 évvel később is.

Maláj RF-5E felderítő repülőgép, a gép orrán jól kivethetőek a felderít rendszer miatt végrehajtott átalakítások.

Az RF-5 Tigereye részben a harmadikra kategóriába tartozik. Az F-5 soha nem volt élvonalbeli vadászgép, de egyes országok csak ezt az olcsóbb típust engedhették meg maguknak a korszak csúcs vadászgépe, az F-4 Phantom II helyett. Az általános technikai színvonalát nézve nem volt elavult megjelenésekor, csak nem a„királykategóriát” képviselte képességek terén a gép méretéből fakadóan. (Törökország és Irán vegyesen

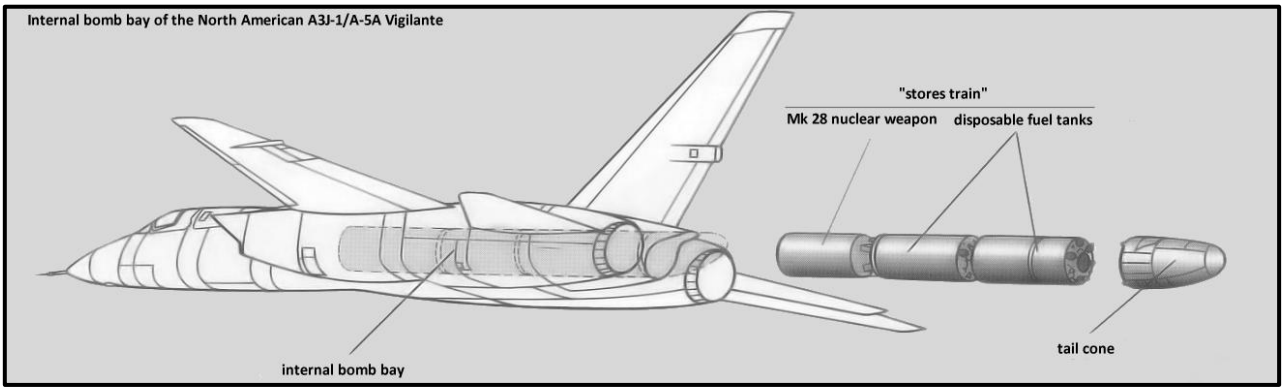
használt F-4 és F-5 gépeket, ez hasonló az USAF F-15 + F-16 vegyes használatához.) Szintén ebbe a csoportba sorolható, az F-8 Crusader típus felderítő változata az RF-8. Bár a típusnak már a kezdetektől létezett felderítő változata, már az 1962-es Kubai Rakétaválság során szerephez is jutott. Az állítás azért igaz rá, mert a felderítő változatát még 10 évvel a legutolsó vadász változat nyugdíjazása után is használták. Az F-8 '50-es évek végén jelentette a csúcskategóriát a vadászgépeknél, de már a '60-as évek végén kiszorította vadászgép feladatkörben a jóval potensebb F-4 Phantom II.

Az RF-4C/F-4E Phantom II változatok abban térnek el történetileg az RF-8/F-8 Crusader párostól, hogy az USA-ban nagyjából néhány év különbséggel vonultak nyugdíjba, de nagyrészt párhuzamosan szolgáltak, kivonásukkor azonban már egyik sem képviselte az élvonalat. A felderítők a Légi Nemzeti Gárdához tartoztak már 1989-ben is, az F-4E gépeket akkor még az USAF repülte de már csak csapásmérőként használva – egy részük már tartalékban volt – az F-15 és F-16 több, mint egy évtizede kiszorította vadász feladatkörből.

Az RF-4C és RF-4E mellett speciális nagy magasságú felderítő változatot is terveztek a Phantom alapjain, ez lett volna az RF-4X, ami képes lett volna a Mach3,2 sebesség és az SR-71-hez hasonló repülési magasság elérésére. Az, hogy a típus nem jött lére, annak több oka is volt. Az egyszerű magyarázat, hogy az USAF, mint megrendelő kihátrált a program mögül és a potenciális megrendelő Izrael nem tudta a továbbiakban egyedül finanszírozni a programot, de ennél azért többről van szó.

Ennyire különleges gépet és a vele járó képességeket nem lehetett csak úgy exportálni. Sokak számára nem tetszett, hogy az USA-n kívül bárki, részben az SR-71 képességeihez közelítő technikával rendelkezzen akár felderítő, akár mint nagy sebességű vadászgép, amennyiben alkalmazzák az RF-4X számára kifejlesztett technikát a vadászgépeken is. Mivel a USAF kihátrált – politikai nyomásra –, emiatt az RF-4X a mock-up stádiumon soha nem jutott túl. [112]

Az RA-5 Vigilante a negyedik kategóriát képviseli, a típus eredetileg a Haditengerészet dedikált atomfegyver hordozója volt A-5 típusjelzéssel. A ballisztikus rakétahordozó atommeghajtású tengeralattjárók megjelenése miatt a US Navy mindössze kb. 3 éves szolgálati idő után már nem tartott igényt a típusra, mint nukleáris csapásmérő.



Az A-5 kialakítása kizárta a hagyományos bombafegyverek használatát, a géptörzsből hátrafelé tolták ki a kiürült tüzelőanyag tartályokkal az Mk 28 gravitációs nukleáris bombát. Ez sem megfelelő mennyiségű, sem megfelelő pontosságú bomba vagy rakéta-fegyverzet hordozását nem tette lehetővé, csak komoly mértékű átalakítással és teljesítmény csökkenés árán lehetett volna hagyományos csapásmérőt faragni a típusból. A gép méretei és teljesítmény paraméterei viszont kézenfekvőé tette, hogy az A-5-öt egy agy

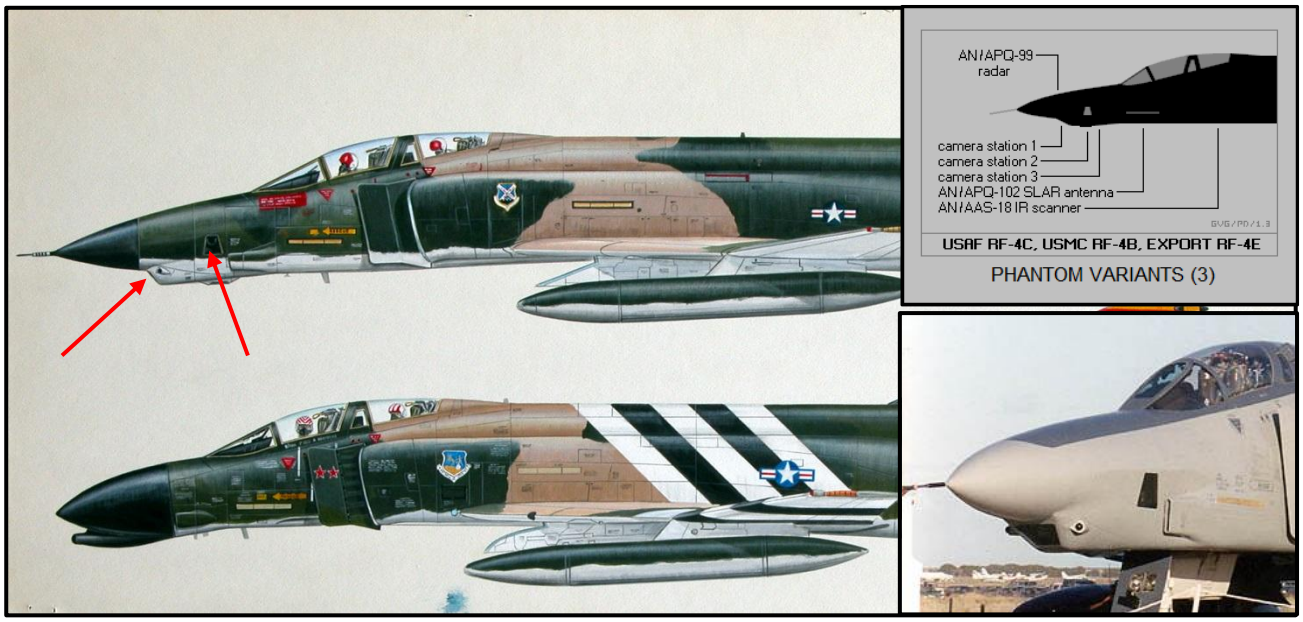
[112] https://tacairnet.com/2015/06/18/redeveloping-the-f-4-phantom-ii-into-a-mach-3-fighterspy-plane/
Cifka Miklós által röviden összefoglalva az RF-4X története. https://sg.hu/forum/uzenet/1074537255/82411

sebességű és hatótávolságú felderítővé építsék át, ehhez nem volt szükséges külső függesztésű eszközökre. Az átalakításokat követően a gép aljára kerültek beépítésre a felderítő eszközök, a repülőgép teljesítménye csak minimálisan romlott.[113] (Az A-5 összesen két-két szárny alatti függesztési ponttal bírt ledobható póttartályok számára.) A felderítő annyira sikeresnek bizonyult, hogy több mint 15 évvel élte túl a tiszavirág életű nukleáris csapásmérő változatot, csak 1979 végén nyugdíjazták a típust.

A régebbi stratégiai (hadászati) bombázókból átalakított nagy hatósugarú felderítő gépek is fenti negyedik kategóriába sorolhatóak, ilyen volt például az RB-36 Peacemaker,[114] RB-47 Stratojet, amikor a B-52 megjelenését és elterjedését követően a régebbi bombázók kiszorultak az eredeti szerepkörükből, a felderítő változatai ezeknek szintén jóval túlélték a bombázó változatokat. (A B-52-nek nem létezett felderítő változata, az egyik variánsa volt képes felderítő konténert használatára.) A fenti felderítő repülőgépek a két interkontinentális bombázó speciális változatait leszámítva a taktikai (harcászati és hadműveleti) felderítő repülőgépek családjába tartoznak.

A felderítő repülőgépek jellemzően fegyvertelenek, legfeljebb önvédelemre hordoztak rövid hatótávolságú infravörös légiharc rakétát, de ez nagyon nem jellemző, mert azok csökkentették a repülőgépek csúcssebességét és gyorsulását, továbbá a hatótávolságukat is. A felderítő rendszereket jellemzően be voltak építve a repülőgépekbe, nem konténerben hordozták, de kombinált megoldással is éltek a tervezők sőt, egyes kisebb méretű gépek kizárólag konténerrel látták el ezt a feladatot annak ellenére, hogy specializált változatok voltak.

A felderítő feladatokhoz szükséges berendezéseket többnyire a radar és/vagy a gépágyú helyére, a gép orrbába kerültek, a bombázógépeknél és az F-111C típusnál a bombakamrába. A repülőgépek így aerodinamikailag „tiszták” maradtak, védelmüket pusztán az elektronikai önvédelmi rendszereik (már, ha rendelkeztek ilyennel) és nagy sebességük biztosította, amennyiben szuperszonikus repülésre alkalmas felderítő típusról van szó.



RF-4C és F-4C változatok. Első látásra is feltűnő a felderítő változat eltérő orrkúpja és az oldal néző kamera „üvegezése”. Az F-4C orra alatti nyúlván infravörös tartományban üzemelő célkereső (IRST) volt. (Lásd később.)

[113] http://www.primeportal.net/hangar/luc_colin/ra-5c/index.php?Page=4

[114] http://modernwartech.blog.hu/2016/06/05/convair_b-36_peacemaker_1_resz *Színvonalas cikksorozat a típusról.*

Még szuperszonikus sebességre képes vadászgépekkel sem volt egyszerű a szuperszonikus sebességre képes felderítő repülőgépek elfogása a látótávolságon túl és szemből is indítható infravörös légiharc-rakéták megjelenéséig. Ezek a felderítők korszak vadászgépeihez képest nem voltak lassabbak sőt, akár gyorsabbak is voltak azoknál mivel egyes típusok külső függesztmények nélkül operáltak, míg a vadászgépeken légiharc-rakétáknak számottevő plusz tömege és légellenállása volt. A szuperszonikus felderítők maximális sebessége felülmúlta, de minimum egyenrangú volt a rájuk pályázó vadászgépekkel összevetve az esetek többségében. (A MiG-25 elfogóvadászgép csúcssebessége nagy magasságban messze meghaladta minden más vadászgépét még teljes légiharc fegyverzet esetén is.)

A célterületet elérve a fényképek készítésekor (vagy más felderítő berendezés használatakor) a felderítő repülőgépek manőverező képessége lényegében nulla. Ebben a rövid időszakban sebezhetőek, hacsak nem szakítják félbe a felderítést és végeztek kitérő manővereket ellentevékenység esetén, például amikor egy légvédelmi rakéta-rendszer rakéta rakétát indít rájuk, vagy kis magasságban a légvédelmi tüzérség tüzel a gépekre. Vietnámban ennek megfelelően alakult a felderítők vesztesége. A nagy magasságban operáló és nagy sebességű felderítő repülőgépek közül összesen egy darabot, egy RA-5-öst sikerült lelőni vadászgéppel, az összes többi harci veszteségét a felderítő gépeknek kis és közepes magasságban a csöves légvédelmi tüzérség (légvédelmi ágyúk), közepes és nagy magasságban a légvédelmi rakéták okozták. Még a lassúbb RF-101 Vodoo típusból is csak egyet vesztettek el légi harcban. (Az amerikai vietnámi veszteségekről mellékletekben található lista.)

A teljesen tiszta aerodinamika azonban nem minden felderítő számára elérhető, számtalan olyan típus volt/van, amik konténerrel látták el ezt a feladatot, például az F-14 a TARPS konténerrel vagy a MiG-21R. Az F-14 hordozhatott légiharc-rakétákat is, továbbá beépített elektronikai zavaró eszközökkel is rendelkezett, ami kicsit egyedivé teszi. Az F-14 és TARPS párosa már azt a korszakot vetítette elő, amikor a többfeladatú vadászgépek konténerekkel látják el a felderítő feladatkört annak ellenére, hogy repülési teljesítményük elmarad az évtizedekkel korábbi dedikált típusokétól.

F-14 TARPS felderítő konténerrel. A konténer 5 méter hosszú és 840 kg tömegű volt, nem véletlenül a hatalmas F-14 hordozta.

A Tomcat különlegessége annak köszönhető, hogy a flotta csúcs elfogó- (és részben légifölény) vadászára integrálták a rendszert az RA-5 Vigilante nyugdíjazása után. Az F-14 a TARPS konténerrel bizonyos

szempontból elmaradt az RA-5-től, nem volt képes hosszú ideig nagy sebességet tartani, ellenben légiharc fegyverzet hordozásakor önvédelmi képességgel is rendelkezett, persze jellemzően nem teljes légiharc fegyverzettel repülte ezeket a bevetéseket az F-14.

A szovjet MiG-21R (R = razvedcsik) felderítő változat is konténeres megoldást használt. A szovjet-orosz oldalon elterjedt felderítő gépek az Il-28, Jak-28 felderítő változatai voltak a Frontrepülő Csapatoknál, ezeknél a felderítő eszközök a gépbe voltak beépítve, a bombázók méret bőven lehetővé tette a konténerek mellőzését. A MiG-21RF, Szu-17/22 Felderítő konténerrel, a Szu-24MR beépített berendezésekkel és konténerrel is rendelkezett.

A Szu-24MR a Mirage F.1-hez hasonló, ami bár megtartotta a támadó változat egyes rendszereit, mint pl. a terepkövető radar, de a csapásmérő feladathoz használ radart, a lézer/TV célmegjelölő rendszert és a gépágyút eltávolították. Ezek helyére kerültek beépítésre a szokásos felderítő rendszerek, de ezen felül még konténert is hordozatott szükség esetén. Ezek az Efir-1M (Ether-1M) sugárzásmérő (jobb szárny tartón), Tangazh elektronikai felderítő (törzs alatt), vagy az utóbbi helyett a Shpil-2M lézer-képleképző konténert ("LIDAR"), szükség esetén a dupla R-60 indítót a külső szárnyfüggesztőn, de ez utóbbi nem volt jellemző a korábban már említett okok miatt A Szu-24MR felderítő képessége ezzel messze a korszak átlaga felett volt. Amennyiben a felsorolt „extrákra” nem tartottak igényt, akkor tiszta konfigurációban is egyszerű fotó-felderítőkét brutális teljesítménye volt a Szuhojnak, mind sebesség, mind hatósugár, mind túlélőképesség terén, az RA-5-höz hasonló nagy sebességre képes felderítő repülőgép volt.

A legnagyobb teljesítményű szovjet-orosz felderítők a MIG-25 felderítő változatai voltak (érdekes módon előbb kerültek hadrendben, mint a vadász változat) ezek teljesítménye alulról közelítette a SR-71-ét. A MiG-25 csúcssebessége M2,83 volt, de éles bevetések során legalább egyszer a 3-szoros hangsebességet is átlépte a gép. (A hajtóművet az üzemi paraméterek túllépése miatt selejtezni kellett.) A MIG-25 felderítő változatát a hadrendbe állítását követően azonnal bevetették a Közel-Keleten és az F-15 Eagle+ AIM-7F páros érkezéséig Izrael lényegében tehetetlen volt a felderítő repülések ellen.

Csehszlovák MiG-21R, a törzs alatt felderítő konténerrel.

A nagy hatósugarú felderítők interkontinentális, vagy nagy hatósugarú bombázók különleges, kis számban épült változatai. Ezek a légvédelmi rakéta-rendszerek és fotófelderítő-műholdak elterjedése miatt teljesen eltűntek a ’70-es évek végére, legalábbis az USA-ban. A Szovjetunió a hidegháború végéig használt ilyen gépeket, az amerikai repülőgéphordó csoportokat főleg a Tu-16, Tu-95/142 és Tu-22 Blinder felderítő variánsai vizslatták árgus (mű)szemekkel (és elektronikus „fülekkel”, lásd később elektronikai felderítők bemutatását.)

A felderítőgépek két különleges képviselője az U-2 és a felderítőgépek királynője, az SR-71. Az előbbit a ’60-as évek elejéig csak a CIA használta, a második a CIA és az USAF közös üzemeltetésében szolgált a ’60-as

évek közepétől a hidegháború végéig. Ez a két típus annyira különleges és annyi téveszme található mindkettőről szerte az Interneten, hogy egy-egy rövid fejezetben alant bővebben kerülnek bemutatásra.

A felderítő gépek képességeinek megértéséhez szükséges azok felderítő berendezéseinek korlátainak megismerése is. Már korai kamerákkal lehetett pontcélokról részletes felvételeket készíteni, de nagyobb látószög használata esetén, nagyobb területről is, az egyik ilyen módszer a „szőnyeg felvétel" készítése volt. A szőnyeg felvétel alatt értjük azt, hogy egy terület felett végigrepül a felderítő gép (vagy műhold) és a kívánt részletességtől (felbontás) függően kilométeres vagy akár több tucat km széles területet lefed egyetlen felvétel. Szőnyeg felvétel készítésekor a felderítők jellemzően közepes és nagy magasságban repültek. A „szőnyeg" módszer előnye, hogy nagyobb területen sok célról készíthető felvétel, de annak felbontása korlátozottabb a pontcélok fotózásával összehasonlítva. A frontvonal egy szakszán vagy álló célok esetén nagyon nagy területről lehetséges adatot szerezni, de az csak egy pillanatnyi állapotot mutat. Ezzel pl. felmérhető, hogy a front egy adott szakaszán milyen csapatmozgások történnek, de részletek nem vehetőek ki. Részletes felvételekhez más fókusztávolsággal és/vagy és repülési magassággal szükséges pontcélokról felvételt készíteni. A módszer másik hátránya, hogy ellenséges ellentevékenység estén hosszú ideig egyenesen repülni nem feltétlen jelent életbiztosítást.

A hidegháború, de még a '90-es évek felderítő berendezéseinél is az adatgyűjtés és kiértékelés között számottevő idő telt el a filmre dolgozás miatt, a korszerű digitális felderítő konténerek megjelenéséig csak filmre tudtak felvételeket rögzíteni. Ma már akár digitálisan is előállítható a szőnyeg felvétel is, de ez akkora mennyiségű adat tárolásával jár – gigabyte nagyságrendben van az adatok mennyisége –, hogy ennek levegőben továbbítása csak a legkorszerűbb adatkapcsolttal rendelkező felderítő berendezésekkel lehetséges.[115] A hidegháború és még a mai napig használt és elterjedt Link 16 vagy régebbi adatkapcsolatok betárcsázós modemhez mérhető adatátviteli sebességeivel ekkora adatmennyiség továbbítása kivitelezhetetlen.

A korszerű lézeres célmegjelölő konténerekkel is lehetséges felderítő tevékenységet végezni, de ezeket felderítő konténereknek nevezni erős eufemizmus a dedikált felderítő berendezések képességeivel összemérve. Az célmegjelölő konténerek erős nagyításra is képes kamerái csak egyes pontcélok ellenőrzésére alkalmasak, de nagy területet lefedő szőnyeg felvétel készítésére nem alkalmasak.

Ennek ellenére a korszerű lézeres célmegjelölő konténerek nagyfelbontású infravörös kamerái egyes esetekben olyan minőségű képet biztosítanak, hogy részben képesek kiváltani a filmre dolgozó rendszereket. Egy konkrét célpont esetén az okozott károk felméréséhez megfelelőek, pl. egy reptér vagy más nem túl nagy kiterjedésű célterület támadása után az okozott károk felmérhetőek, csak egyes becsapódási pontokat kell ellenőrizni és azokról felvételeket készíteni.

A digitális technikának és mai adatkapcsolatoknak hála a lézeres célmegjelölő eszközökkel kapott kép akár élőben is átjátszható (például ROVER[116] terminálok használatával) és néhány felvétel átküldése lényegesen kisebb adatmennyiséget jelent, mint teljes szőnyegfelvételek továbbítása, bár ez nem felderítő feladatkörnél, hanem közeli légi támogatáshoz (CAS) használatos eszköz, de jól mutatja a digitális technikai fejlődését a valós idejű képtovábbítás terén.[117]

[115] https://goo.gl/VpGc1M
[116] *Remotely Operated Video Enhanced Receiver,* http://airbase.blog.hu/2014/09/11/ample_strike
[117] http://www.defenseindustrydaily.com/rover-sics-tacair-on-americas-enemies-updated-01700/

2.6.1. Az U-2, 1960. május 1.

Az U-2-es Francis Gary Powers lelövését követően lett ismert a nyilvánosság számára. A Szovjetunó felett átrepülést végrehajtó gépet az SA-2 (Sz-75) légvédelmi rendszer egy változata lőtte le 1960. május elsején Szverdlovszk (ma Jekatyerinburg) közelében.[118] Ez volt a 24. berepülés a Szovjetunó felett az U-2-vel, addigra már szinte az összes szovjet nagyváros felett végeztek átrepülés, Budapest és Miskolc 1956-ban voltak lefotózva.

Az U-2 koncepciója arra épült, hogy a lehető legmagasabban kell repülni, így elkerülve a légvédelmi rakéta-rendszerek és vadászgépek megsemmisítési zónáját, azok felett átrepülve, ami egy ideig életképes elképzelésnek bizonyult a gyakorlatban is. Az első U-2 berepülésre 1956-ben került sor a Varsói Szerződés légterébe, de már ugyanebben az évben járt a Szovjetunió fölött is.

Bár U-2 gépek átrepüléseit a szovjet légvédelem a kezdetektől képes volt nyomon követni, de a berepülések ellen tehetetlenek voltak, emiatt nem hozták nyilvánosságra ezeket. Politikailag tűrhetetlen lett volna ország-világ előtt beismerni, hogy a magát nagyhatalomként aposztrofáló ország képtelen megakadályozni ezeket.

Az U-2 SzA-75/Sz-75 légvédelmi rakéta-rendszerek korai változatainak maximális megsemmisítési magassága felett repült, a vadászgépek is csak dinamikus emelkedéssel voltak képesek feljutni annak repülési magasságára (22-23 km), ahol lényegében már kormányozhatatlanok voltak, ezért az elfogása az U-2-nek nem volt lehetséges vadászgépekkel sem.

A dinamikus emelkedés azt jelenti, hogy 12-13 km-es magasságon sebességet gyűjt a vadászgép, maximális sebességre gyorsul, majd elindul felfelé az elfogási pont felé. A magasság növekedésével a hajtómű teljesítménye gyakorlatilag nullára csökken és adott magasság felett a levegő alacsony oxigén tartalma miatt le is áll hajtómű. A nagyon ritka levegőben a repülőgép kormányozhatatlanná válik, gyakorlatilag ballisztikus pályán halad a sűrűbb légrétegek eléréséig.

A korabeli infravörös légiharc-rakétákkal ilyen körülmények között lelőni az U-2-őt csodaszámba ment volna, a kis befogási távolság, a nagy relatív sebesség és kis megsemmisítési zóna miatt, ráadásul csak igen kis szögtartományban, a célpont hátsó fél-légteréből volt indítható a rakéta, a célpont hajtóművének turbinájára rá kellett látni. (Lásd a 4.3.2. fejezetben.) Gépágyúval lelőni az U-2-est még ennél is reménytelenebb próbálkozás lett volna, hiszen az akkori vadászgépek lényegében manőverképtelenek voltak 20 km felett. A repülőgépek repülési teljesítményével bővebben a 11. fejezet foglalkozik.

Amikor a CIA U-2 kémrepülőgépe megkezdte a rendszeres felderítő repüléseit a Szovjetunió fölött, mindössze kb. 2-3 ezer méterrel magasabban repült az Sz-75 Dvina a V-750 1D rakéta maximális hatómagasságánál, csakhogy a továbbfejlesztése a légvédelmi rakéta-rendszernek gőzerővel folyt. A második rakéta fokozat tolóerejének növelésével az új V-750V 11D rakéta (Guideline mod.1) hatómagassága 1958-ban 27 kilométerre nőtt, ezzel már lehetséges volt az U-2 leküzdése is. Innentől fogva már csak idő kérdése volt, hogy mikor repül bele olyan légvédelmi rakétaosztály megsemmisítési zónájába az U-2, ami képes lesz azt lelőni, erre végül 1960. május 1-én sor került.

[118] http://www.jetfly.hu/rovatok/jetfly/szverdlovszk_felett_az_eg/

Az U-2 felderítőgép, bár sok szenzációhajhász írás csak kémrepülőnek titulálja.
Tény, hogy végzett ilyen tevékenységet is, de nem csak ilyet.
A gép méretei elég szemléletesek, a mellette álló emberek jó viszonyítási alapot adnak.

Az esetből hatalmas diplomáciai botrány lett, főleg hogy a pilóta túlélte a lelövést, ennek igen messze ható következményei lettek. A Varsói Szerződés országai és a Szovjetunó fölé történő berepüléseknek vége szakadt mindörökre, soha többé nem vállalták fel ezt a kockázatot.

A félreértések elkerülése végett az amerikai U-2 lelövése teljesen jogszerű volt, a berepülések a szovjet légtér igen durva, szándékos és ismétlődő megsértését jelentették. Már az U-2 berepülések előtt is előfordultak olyan esetek az '50-es évek legelején – tehát még jóval az U-2 megjelenése előtt – amikor az RB-47 gépek több száz kilométer mélyen berepültek az északi sarkvidék felől a Szovjetunió légterébe.[119]

Francis Gary Powerst természetesen elítélték kémkedésért, 10 éves büntetéséből két évet sem töltött le, amikor fogolycsere útján szabadult a Szovjetunióból. Egy lebukott szovjet KGB ügynököt, Rudolf Abelt adták át az amerikaiak Powersért és egy másik kémkedésért fogva tartott személyért cserébe 1962 februárjában. Figyelemreméltó, hogy Powers még amerikai szemmel nézve is rendkívül enyhe büntetést kapott, kémkedésért a szovjetek saját állampolgáraikat rendszerint halálra ítélték, de a lebukott és a Szovjetuniónak kémkedő kémek közül több kapott akár életfogytig tartó szabadságvesztést az USA-ban.

Az ítéletnek valószínűleg politikai üzenete volt, a szovjetek is tudták, hogy miután elülnek az eset által keltett politikai hullámok Powerst úgyis kicserélik egy az USA-ban hírszerző tevékenység közben lebukott emberükre. A fenti két eseményből film is készült. http://www.imdb.com/title/tt3682448/

A légtérsértések egyébként rendszeresek voltak a hidegháború során mindkét oldalon, de ezek nem mind voltak szándékosak, az akkori navigációs rendszereknek megvoltak a maguk korlátai. Volt olyan év, mikor a szovjet repülőgépek egy év alatt, csak Japán légterét több mint 400 (!) alkalommal sértették meg kisebb-nagyobb mértékben, de az Északi-tenger felől Norvégia és Anglia légterébe is rendszeresen berepültek a szovjetek. Persze ezek közel sem voltak olyan súlyos estek, mint a fenti U-2-es berepülések, de a szovjet megközelítéssel élve ezeket a gépeket le lehetett volna lőni, amire azonban soha nem került sor.

A Szovjetunió és Észak-Korea több esetben is a nemzetközi légtérben repülő elektronikai- vagy fotófelderítő-gépet is lelőttek, amire ésszerű és elfogadható magyarázatot adni nemigen lehet, főleg hogy fordított eset soha nem fordult elő.

[119] http://www.spyflight.co.uk/rb47.htm

Az U-2 felderítő gépeket a Powers incidens után oldalra néző kamerákkal és felderítő radarral látták el, így a továbbiakban nem volt szükséges légtérsértésekre a felderítő bevetésekhez, de ez nagyon komolyan korlátozta a belátható terület nagyságát. Tajvan kapott néhány példányt a típusból, Kína felett végeztek velük felderítő repüléseket hagyományos módon berepülve Kína fölé, de többet gépet el is vesztettek. A kínaiak szintén légvédelmi rakétákkal érték el a sikereket, a Dvina hazai gyártású változatával.

A szovjet-kínai viszony a '60-as évek legelejéig baráti volt, az 1961 előtti szovjet fejlesztések egy részét megkaphatták licensz gyártáshoz. A MiG-17/19/21, Tu-16, Il-28 repülőgép típusok akkori változatait, az SzA-75 Dvina légvédelmi rakéta-rendszer, illetve egyes harcjárművek dokumentációihoz sikerült így hozzájutni.

A fotó felderítő műholdak (Corona program és későbbi felderítő műholdak)[120] minden hátrányuk ellenére néhány éven belül részben feleslegessé tették a berepüléseket, de addig az U-2 által begyűjtött adatok olyan minőségű és mennyiségű információval látták le az USA-t, amit máshogy nem tudtak volna megszerezni. A szovjetek interkontinentális bombázó programjának valós méreteiről is így szereztek tudomást, hogy a „Bomber Gap" valójában nem létezik. Az U-2 berepülések után lett nyilvánvaló, hogy a Szovjetunó az USA-hoz képest elenyésző mennyiségű interkontinentális stratégiai (hadászati) bombázóval rendelkezett, de számtalan más igen fontos objektumot is lencsevégre kaptak a géppel.

Ilyen volt a Rakétatesztelő központ Tyuratamban, a szemipalatyinszki atomfegyver tesztközpont, a Kaszputyin-Jarban működő rakéta kísérleti telep R-12 rakétával az indító állásban, az R-7 ICBM telemetriai adatait is rögzítette 80 másodperc hosszan az U-2 a berepülései során. A Tu-22 Blinder bombázók első észlelését is Kazanyban az U-2 hajtotta végre, de nem csak a Szovjetunió felett repülve szerzett értékes adatokat, az izraeli Dinomában épülő nukleáris létesítményt is az U-2-vel fotózták le.

A kubai rakétaválság idején is fontos szerepet játszott az U-2, a Kubába telepített légvédelmi rakétákat és a közép-hatótávolságú ballisztikus rakétákat is az U-2-vel kapták lencsevégre. A felderítő bevetések alatt Kuba felett is odaveszett egy példány, itt is szovjet légvédelmi rakéta-rendszerrel lőtték le a gépet. Az U-2 gép pilótája itt nem volt olyan szerencsés, mint Powers, Rudolph Anderson nem élte túl az esetet.

Az U-2 által végrehajtott berepülésekről angol nyelven a mellékletek között található egy hosszabb anyag, melyet Hpasp állított össze.

2.6.2. Az SR-71 Blackbird

Ez fejezet Cifka Miklós együttműködésével készült, a repülőgép múltjának és előzményének felvezetése és több pontatlanság korrigálása is neki köszönhető.

Az SR-71 Blackbird több mint háromszoros hangsebességgel repülő felderítőgép volt, az egyik legkülönlegesebb és legnagyobb teljesítményű repülőgép, amit valaha terveztek. A „Feketerigó" részletes ismertetése meghaladja az írás kereteit, ezért csak a legfontosabb képességekről és tényekről esik szó, a lenti linken található videók megtekintése ajánlott mindenkinek, akit kicsit is érdekel a típus részletesebben.[121]

[120] https://en.wikipedia.org/wiki/Corona_(satellite)
[121] https://www.youtube.com/watch?v=CeBu6mRDaro
https://www.youtube.com/watch?v=tj9UwKQKE3A
https://www.youtube.com/watch?v=F4KD5u-xkik

2.6.2.1. Az A-12, kezdetek

A Blackbird széria (mert bármilyen meglepő, valójában négy típusról beszélünk) nem a Gary Powers-féle U-2 lelövésével kezdődött. Még 1958-ban került be az első ARCHANGEL említés Kelly Johnson naplójába, aki egy nagyon tehetséges repülőgép-tervező mérnök volt a Lockheed cégnél, kinek neve később fogalommá vált. Ez év végén a CIA egy, a hangsebességnél háromszor gyorsabb kémrepülőgépet iránti igényét jelentett be a gyártók felé, hogy azok 1959-ben be is adjanak egy-egy pályázatot (a Lockheed konkurense a Convair volt), amelyből a Lockheed-ét választották ki, és az ARCHANGEL program keretében fejlesztési pénzt utaltak ki részükre. 1960 januárjában meg is rendelnek 12 db „A-12" jelölésű gépet (Powers-t május elsején lövik le). Az „A" jelölés az „Attack", vagyis támadó, direkt félrevezető jelölést alkalmaztak, hogy a gép valódi feladatát elrejtsék. A 12-es szám onnan jött, hogy a végleges, elfogadott terv a tizenkettedik volt Johnson asztaláról, amit erre a célra megrajzolt.

A Lockheed erőt (és pénzt) nem kímélve dolgozott, ennek eredményeként 1962 februárjában fel is szállt az első A-12-es, még J75-ös hajtóművekkel, mert a forradalmi J58 ekkor még nem készültek el. Ez a gép egyetlen pilótát vitt csak magával, és alapvetően az U-2-eshez hasonlón „fentről lefele" néző kamerákkal dolgozott volna, vagyis a cél felett átrepülve készített volna arról fényképeket. Az A-12-őt arra tervezték, hogy a hangsebességnél több mint háromszor (egésze pontosan 3,3-szor) gyorsabban repüljön 23-25 km magasságban. Ekkora sebesség és magasság esetén nemcsak a meglévő, de még a tervezés alatt lévő légvédelmi rendszerek is tehetetlenek lettek volna. Elvileg.

2.6.2.2. Az YF-12 felemelkedése

Az amerikaiaknak volt saját Mach 3 (vagyis a hangsebességnél 3x gyorsabb) bombázó-tervük, az USAF SAC (Stratégiai Légi Parancsnokság) által megálmodott North American XB-70 Valkyre. A Légierőnél elkezdtek gondolkodni, aminek a vége az lett, hogy „ha mi képesek lehetünk rá, akkor bizony a szovjetek is, Ha nekünk lesz Mach 3 bombázógépünk, akkor előbb-utóbb a szovjeteknek is lesz". Vagyis valahogy védekezni kellene egy ilyen fenyegetés ellen. Még tovább gondolva, kell az XB-70 mellé egy kísérő vadászgép is, amelyik képes megvédeni azt az ellenséges elfogóvadászgépektől. A Légierőnek volt egy elképzelése, a North American XF-108 Rapier,[122] egy Mach 3 sebességre elfogóvadászgép, Hughes AGS-18 radarral és GAR-9 rakétákkal, részben az XB-70-nél alkalmazott technológiákkal, a kialakítása is nagyon hasonlított rá, ugyanazokkal a GE YJ-93 hajtóművekkel repült volna.

Csakhogy a Légierő a Rapier-t eredetileg rövid hatótávolságú vadászgépnek álmodta meg, így a Valkyre bombázók kísérésére alkalmatlan volt, ráadásul a várakozásokkal szemben a szovjetek nem nagyon mutattak érdeklődést Mach 3 sebességű interkontinentális bombázókra, inkább az interkontinentális ballisztikus rakéták fejlesztésére koncentráltak, és azok megjelenésével a bombázógépek eladdig sérthetetlennek gondolt pozíciója megingott. Ez a fejlemény az XF-108 programot a padlóra küldte, így végül törölték.

A Lockheed viszont jó érzékkel fogta meg a már félig kész radart és rakétát, majd egy áttervezett A-12-esbe integrálta, amely személyzete bővült egy második fővel, aki a fegyverrendszert kezelte. A felderítő berendezések és helyére helyezték el a tűzvezető rendszert és a 3 db GAR-9-es rakétát. (Ekkor még AF-12-ként hivatkoztak rá). 1962 októberében az akkor már YF-12A-nek nevezett programon való munkát a Lockheed megkezdte az első egymillió USD kifizetése után, majd 1963 augusztus 7-én megtörtént az első vadász változat felszállása.

[122] https://goo.gl/SkXkfY

2.6.2.3. Az M-21 és a D-21

Gary Powers U-2-esének lelövése többszörös csapás volt. Egyrészt követte azt az USA számára megalázó kirakatper, amit a szovjetek fabrikáltak az eset köré, másrészt nyilvánvalóvá vált, hogy a szovjet légvédelem miatt a hasonló repüléseket nem lehet a jövőben kivitelezni, de egyben a politikai kudarc is volt. A két szuperhatalom aláírt egy megegyezést, mely szerint ember vezette járművel nem repülnek be a másik légterébe hívatlanul, kémkedési céllal. Eladdig az amerikai gondolkodásmód szerint az ellenfél légterébe behatolni kém- és felderítőgépekkel nem volt bűn, nem minősült háborús cselekedetnek. Persze azt is hozzá kell tenni, hogy ehhez az is kellett, hogy ekkoriban a szovjetek erre nem voltak képesek, mert ha az USA légterébe hatolt volna be egy szovjet kémrepülőgép, nos, valószínűleg rögtön más szemszögből látták volna a helyzetet...

A megállapodás az U-2-esre hatalmas csapást mért, de a hivatalosan nem is létező A-12-esre még nagyobbat. A repülőgépet még be se vetették, de máris használhatatlanná volt a fő célpont, a Szovjetunió ellen. Persze a szabályok arra jók csak, hogy gondolkodásra ösztönözzék az embert, hogy miként tud az adott szituációból mégis nyertesként távozni.

A szovjet-amerikai kémrepülőgépeket kitiltó egyezményben volt egy apró trükkös szó, ami feltehetően akarattal került bele a szövegbe, mert hát a diplomaták mindig is szerették a kiskapukat. Ez a szó a személyzettel ellátott angol megfelelője, a *„manned”,* vagyis a szerződés hatálya nem terjed ki a pilóta nélküli repülőeszközökre. A feladat tehát adott volt, szükség volt egy olyan repülőeszközre, amin nincs pilóta, de alapjában véve ugyanarra képes, mint az A-12, „csak” ugye szükséges egy hordozó repülőgép, ami elviszi a célzóna közelébe, és ott elindítja ezt az új eszközt.

Végeredményben sikerült az egészet megbonyolítani, ahogy azt csak lehet. Mivel a rádió (akkoriban azért inkább analóg) jelátvitel nem igazán jöhetett szóba (könnyen felderíthető, akár zavarható is), ezért azt a megoldást találták ki, hogy a robotrepülőgép indulás után átrepül a cél felett, majd elrepül egy biztonságos zónába, ahol kidobja a filmszalagot és az irányítórendszert tartalmazó modult, végül pedig a beindítja az önmegsemmisítő rendszerét, és elpusztítja saját magát. A kidobott modult egy speciálisan átalakított C-130-as kapja el a levegőben. Ez annyira azért nem sétagalopp, nem is mindig sikerült végrehajtani, noha például a Corona fotó-felderítő műholdprogram is ezt a megoldást használta.[123]

Az A-12-őn alapuló hordozógép hátáról indult a tervezett D-21 robotrepülőgép, amire azért volt szükség, mert a D-21 hajtóműve csak meglehetősen nagy sebesség mellett volt képes beindulni és üzemelni. A hordozógép ebben az esetben is, ahogy az YF-12-nél kapott egy második főt a személyzetéhez, aki a robotgép elindításáért és szükség esetén átprogramozásáért felel.

A robotgép a Q-21, majd D-21 jelölést kapja (D = Daughter, lánygyermek), a hordozógép az M-21-est (M = Mother, édesanya).

[123] https://en.wikipedia.org/wiki/Mid-air_retrieval, https://en.wikipedia.org/wiki/Corona_(satellite)#Recovery

M-21 D-21 drónnal a hátán

Mellékzönge, hogy az U-2 lelövése után megfogalmazódott a pilótanélküli (UAV – unmanned aerial vehicle) felderítőgépekre az igény, ilyenek voltak a lenti linken található eszközök, az D-21 és a AQM-34 Firebee drónok.[124] Ezek nagyon távoli leszármazottjainak tekinthetők az MQ-1 Predator vagy az RQ-4 Global Hawk repülőgépek, képességeik azonban össze sem hasonlíthatóak az elődökkel, több évtized választja el őket egymástól, emiatt koncepcionálisan is eltérnek egymástól. A mai drónok alapvetően hosszú őrjáratozási időre vannak tervezve, a mai valós idejű nagyfelbontású videó adatátvitel miatt, míg a '60-as években a felderítő rendszerek még filmre dolgoztak, tehát inkább az „egyszer áthúzunk a cél felett" koncepció szerint készültek, ennél többet nem vártak el a drónoktól a sikeres felderítő tevékenységhez.

A Firebee felderítő drónok családja.

Az első pilótanélküli repülőgépeknél az alapvető igény lényegében annyi volt, hogy ha le is lövik az eszközt, az ne kerüljön emberéletbe. Persze a diplomáciai botrány még így is borítékolható lett volna, ha nem háborús övezetben használták volna ezeket az eszközöket, illetve ha a roncsokat megtalálják a Szovjetunió vagy a Varsó Szerződés államainak területén.

A D-21 tesztindítások közül az első sikeres volt, a másodikban meghibásodott a D-21-es egyik hidraulikája, ami miatt idő előtt lezuhant, a harmadik indításnál a repülés fázis rendben lezajlott, de a filmszalagot és az irányítóegységet tartalmazó modult nem dobta ki a gép egy elektromos hiba miatt. A negyedik indításnál immár vízszintes repülésben oldották le a D-21-est (korábban egy hurok manőverben tették), a D-21 hajtómű meghibásodása miatt viszont az M-21 farokrészének csapódott, és mindkét gép

[124] http://en.wikipedia.org/wiki/Lockheed_D-21
http://www.designation-systems.net/dusrm/m-34.html#_Recce_AQM

lezuhant. A pilóták katapultáltak, ám a személyzet egyik tagja megfulladt, ahogy a tengerbe esve nehéz szkafandere megtelt vízzel, és lehúzta a mélységbe...

B-52 szárnya alatt 1-1 darab D-21 drón.

A programot gyorsan áttervezik ezután, a D-21 kapott egy szilárd hajtóanyagú gyorsító rakétát, amely a fő hajtóművének beindításához szükséges sebességre gyorsítja, és átalakított B-52H bombázók szárnya alá függesztik fel. Ám program így is teljes kudarc volt, 1969 és 71 között Kína felett vették be a drónokat, ám négy útból egyetlen egyszer sem sikerül a filmmodult visszaszerezni. Kétszer a gép irányítórendszere hibásodott meg, egyszer a modul ernyője nem nyílt ki, egyszer pedig a levegőben nem sikerült elkapni a modult, a vízen hánykolódó eszközt aztán a kihalászására odaküldött romboló legázolta, ami után elsüllyedt a kapszula.

Az egyik Kína felett felderítő bevetést teljesítő meghibásodott D-21 drón a Szovjetunió területén ért földet, de érdekes módon ebből nem kerekedett probléma, a Szovjetunió inkább titokban tartotta és nem hozta nyilvánosságra az esetet, így viszont lehetőségük volt az amerikaiak tudta nélkül megvizsgálni a drónt a rajta levő felderítő eszközökkel egyetemben.

2.6.2.4. Az "A-11"-es bemutatkozása

Az A-12 fejlesztésében apróbb gikszerek azért történnek, a gép a J58-as hajtóművekkel való repülést csak óvatosan gyakorolta, 1962 októberében még felemás (egy J75 és egy J58-as hajtóművel) felállásban repült, majd 1963 elején már két J58-as hajtóművel is megkezdhették a berepülést. Ez év május 24.-én az első veszteség is bekövetkezett, az egyik A-12-es lezuhant. Novemberben a tesztrepülések folyamán elérték a Mach 3,2 sebességet, vagyis repülőgép bizonyította azt, hogy a kívánt sebességet képes elérni. A típus tehát lépdelt előre szépen a megvalósulás rögös útján.

Mi sem természetesebb, hogy a politikusok itt is sikeresen belekevertek a lecsóba. Johnson elnöknek szüksége volt valami látványos bejelentésre a közelgő választásokra való tekintettel, az A-12 program, ami minden korábbi rekordot megdöntött, pont ideálisnak látszott erre, de akkor már persze inkább a vadász YF-12 változatot megemlítve, ami kapóra is jött a CIA-nak. Az YF-12 elterelheti a figyelmet az A-12-esről, így ha a titkos kémgépet meg is látják valahol, simán ráfogják, hogy az egy YF-12.

Egy félreértésből fakadóan viszont az eredeti, A-12-es jelölés került viszont bele az elnök beszédébe, amit ráadásul ő rosszul olvasott fel 1964. február 29-én, A-11-ként hivatkozva rá, vagyis egy nem is létező jelöléssel illette a gépet, és ejtett mindenkit ámulatba annak Mach 3,2-es végsebességével. A

félrevezetéshez egyébként hozzá kell tenni, hogy a növekvő A-12-es flotta az *Area 51*-ben, Nevada államban állomásozott, míg az YF-12-esek az Edwards támaszponton, Kaliforniában.

2.6.2.5. Az R-12, RS-71, SR-71, vagy akármicsoda…

A drónok által kihasználható jogi kiskapuban nem nagyon bízott a Lockheed, ugyanis előálltak egy „B tervvel" is, hogy egy olyan A-12-est kellene készíteni, amelynek a kamerái nem lefele, hanem oldalra néznek, így aztán az ellenséges légtér határa mellett repülve elég mélyen beláthat ahhoz, hogy hasznos információkat lehessen gyűjteni. Mivel ez sokkal összetettebb változtatásokat igényel a küldetésprofilban, ezért kétszemélyesre bővítenék a gépet, és többször légi utántöltéssel oldanák meg a feladatot. A gépnek nagyobbnak is kell lennie, hogy több üzemanyagot vigyen magával. A tervek szerint először egy bemutató modellt gyártottak volna, amire az USAF és a CIA rábólint, így 1962 decemberében megérkezik a megrendelés az első 6 db, ekkor még R-12-esként emlegetett változatra, ami később az SR-71 megjelölést kapja.

Ennek a története – mint annyi minden ebben a programban – eléggé kacifántosra sikeredett, ugyanis a 12-es számtól szabadulni akartak a Lockheed részéről, illetve a Légierőnél is. 1962-ben a régi, nehezen követhető, és a Légierő valamint a haditengerészetnél eltérő logikát követő jelölésrendszert egy közös, új jelölésrendszerrel váltották le. A „12-es család" megtervezett bombázó változatát így a régi bombázó számozás szerint B-71 (az XB-70 Valkyre után ez jött volna) jelöléssel illették, amikor pedig az új oldalra néző kamerás kémrepülőgép típusjelzésének keresése következett, akkor azt elkeresztelték RS-71-nek, ez állítólag a Reconnaissance Supersonic (Felderítő, Szuperszonikus) rövidítésből eredeztethető. A Légierő vezetése azonban az SR-71 (Strategic Reconnaissance - Stratégiai Felderítő) jelölést szerette volna, és a legenda szerint a Légierő vezére, LeMay tábornok vette rá Johnson elnököt, hogy RS-71 helyett SR-71-et mondjon. A szép a történetben az, hogy az elnök kinyomtatott beszédét változatlanul kapta meg a média, így az ő olvasatukban a korábbi A-11 / YF-12 félreértés után ismét nem azt mondta az elnök, amit az elé tett papírra volt írva, ellátva némi puskaporral a Johnson szellemi képességeit kritizáló újságírókat...

Ekkorra mind a 12 db megrendelt A-12-est leszállították,[125] a gyártósorok pedig már az SR-71-esekre álltak át. Az YF-12-esek nullszériájával, vagyis 3 db példánnyal szintén elkészültek, ezek egyébként eredetileg a 7-es, 8-as és 9-es számú A-12-es sárkányból lettek átalakítva. Az első SR-71 prototípus 1964 októberében lett átadva, és december 22-én szállt fel.

2.6.2.6. Az SR-71 kontra A-12, az YF-12 és az A-12 program vége

1966-ot írunk a naptár szerint, amikor kellemetlen költségvetési kérdések kezdtek záporozni, többek között minek két nagyon hasonló kémrepülőgépet, az A-12-est és az SR-71-est is üzemben tartani. Emiatt kitalálták, hogy legyen egy összehasonlítás, ahol a két típus éles helyzetben nyújtott teljesítményét vethetik össze. 1967 májusában az A-12-esek megérkeznek Okinawára, hogy onnan induljanak Észak-Vietnam fölé kémrepülésekre. Novemberben érkezik pár SR-71-es is, ugyan ezzel a feladattal. A repülések közben jön a hivatalos döntés, az SR-71-es hadrendben marad, az A-12-es kivonásra kerül.

A mai napig nincs pontos és megbízható információ a döntés hátteréről, de akadnak hangok, amelyek egyértelműen azt állítják, hogy az egész egy színjáték volt, az A-12-es sokkal jobb képeket tudott csinálni, hiszen sokkal közelebb (közvetlenül, vagy legalábbis nagyon közel) repült a célterülethez, mint az SR-71-es, így a fotóberendezések is jobb minőségű képeket tudtak nyújtani. Csakhogy éppen az első számú célpont, a Szovjetunió fölé nem repülhettek be vele. Egy kémrepülőgépnek, amely viszont nem képes erre, a CIA

[125] Micsoda számmisztika. :)

számára sok hasznot nem hozhat. Ez a logika állhat azon döntés mögött, hogy 1968 június elsejével az A-12-es gépeket leállították.

Kanyarodjunk vissza egy nagyobb lélegzet erejéig a vadász változathoz. 1965-ben az YF-12A sikeresen indított YAIM-47 rakétát (a GAR-9 új jelölése), és a rendszer sorozatgyártásra érettnek lett nyilvánítva, meg is rendeltek belőle 93 darabot ez év május 14-én, ezek jelölése YF-12B lett volna. Csakhogy Robert McNamara védelmi miniszter három hosszú évig a programra nem adott pénzt a Vietnami háború költségeire hivatkozva, ezért 1968 januárjában hivatalosan is törölték a beszerzést, ami egyben a vadász program végét is jelentette. Ehhez hozzá kell tenni, hogy ekkor már javában folyt az F-X program, amiből végül az F-15 Eagle megszületett, továbbá mivel a szovjet Mach 3 bombázótól való fenyegetettség kezdett nem több, mint vaklármának tűnni a Légierőnél, az YF-12B-re az igény lényegében megszűnt.

A-12-es sorban, a második gép egy kétszemélyes kiképzőgép változat

Érdekesség, hogy 1968 februárjában a Lockheed azt az utasítást kapta, hogy semmisítse meg az összes gyártáshoz használt szerszámot, kvázi felszámolva a lehetőséget arra, hogy további gépeket gyárthasson. Addig 13 darab A-12-est (12 db eredetileg megrendelt, 1 db utólagosan, a tesztrepüléseken lezuhant példány pótlására szolgálóval együtt), 2 db M-21-est, 3 db darab YF-12A-t és 32 db SR-71-est gyártottak le.

Az A-12-essek közül a rövid életük alatt 5 db gép zuhant le (az egyik még a tesztfázis elején), az M-21-esekből még rövidebb életük alatt 1 db. Az YF-12A-k átkerültek a NASA-hoz, hogy a nagy sebességű repüléssel kapcsolatosan végezzenek kísérleteket, illetve a Légierő az AWACS-alapú légi irányítás kidolgozásához használta fel őket. Ezzel a típuscsaládból az SR-71 maradt aktív szolgálatban.

2.6.2.7. Az SR-71 szolgálatának évei

Az SR-71 nagy sebessége a rendkívül nagy repülési magasság eléréséhez volt szükséges. Extrém magasságban a kis sűrűségű légkör miatt ahhoz, hogy a gép egyáltalán vízszintes repülésre és minimális manőverezése legyen képes (felhajtóerő-tartalék), hatalmas repülési sebesség szükséges. A Blackbirdnél a 26 kilométeres magasság elérése a hangsebesség háromszorosánál nagyobb utazósebességet kívánt meg.

Az SR-71 hatalmas sebessége ellenére érdekes módon „csak” kb. 4-6 kilométerrel repült magasabban, mint a sokkal lassabb, de szintén speciális kialakítású U-2. A Feketerigó ezt a magasságot az U-2-hez hasonlóan nem dinamikus emelkedéssel, hanem folyamatosan képes volt tartani (statikus csúcsmagasság). Dinamikus emelkedéssel a típus valószínűleg minden létező magassági repülési rekordot megdöntött volna, de ezt soha nem forszírozták,

repülésbiztonsági szempontok miatt. A titokvédelmi szempontok ellenére FAI[126] adatrögzítő műszereit többször a repülési rekordok hitelesítéséhez hordozták a Feketerigók, mai napig több rekordot az SR-71 tart, ráadásul úgy, hogy azokat módosítás nélküli szériagépekkel érték el.[127]

Az SR-71 koncepciójának a lényege, hogy a lehető legmélyebben képes legyen a Szovjetunió vagy más állam területére belátni anélkül, hogy annak légterének megsértése szükséges legyen, elkerülve így a diplomáciai bonyodalmakat 25-26 km-es magasság esetén a horizont kb. 550-600 km-es felderítési mélységet tett lehetővé. A fotó-felderítő műholdakkal ellentétben tehát nem volt képes mélyen más ország területén felvételeket készíteni és nem felülről, hanem nagy távolság esetén már nagyon oldalról látott rá a vizsgált területre, ellenben más szempontból sokkal rugalmasabban volt használható a műholdaknál.

Az oldalra néző felderítő rendszerek ellenére Vietnám fölé alkalmanként berepültek a minél pontosabb felderítési adatok szerzése érdekében, az akkori légvédelmi rakéta-rendszerek és vadászgépek nem jelentettek rá fenyegetést illetve politikailag sem jelentettek semmiféle komplikációt ezek a bevetések.

Az Sz-300 légvédelmi rakéta-rendszer exportját megelőzően, az Sz-200 Vega (SA-5) légvédelmi rendszert leszámítva egyetlen szovjet légvédelmi rakétarendszer sem volt képes leküzdeni az SR-71-et, amennyiben elektronikai zavarást is alkalmazott,[128] ezért szovjetbarát országok fölött végezhetett átrepüléses felderítő bevetéseket egészen a ’80-as évekig, az Sz-200 Vega exportjára csak ekkor került sor.

Az SR-71 rugalmasabb alkalmazhatósága abból adódik, hogy repülési útvonala a műholdakéhoz képest tetszőlegesen megválasztható. Az alacsony földkörüli pályán (250-400 km) keringő felderítő műholdak kötött pályán haladnak, azok csak meghatározott keringési időközönként látnak rá ugyanarra a területre. (A fotó-felderítő műholdak jellemzően észak-déli pályán keringenek és a Föld elforog alattuk, így látnak rá eltérő területekre.) A műholdak pályájának megváltozatása lehetséges, de ez hajtóanyag felhasználásával jár, aminek elfogyása után a műhold többé nem képes pályamódosításra, továbbá a módosítás mértéke is korlátozott.

Mivel a Földről radarral nyomon követhetőek a műholdak, ezért amit lehetséges elrejteni – pl. repülőgépet betolni a hangárba – azt nem látja meg a műhold. Az SR-71 a műholdakkal szöges ellentétben órákon, de legfeljebb fél napon belül a Föld bármely pontjára képes volt odaérni és láthatta el friss adatokkal az USA vezetését az aktuális helyzetről, persze a felderítő rendszerek korlátait figyelembe véve. A felderítő bevetéseket csak az időjárás és a napszakok korlátozták le, de idővel éjszakai felderítő bevetések teljesítése is lehetségessé vált a típussal.

A felderítő műholdak infravörös tartományban is képesek felvételeket készíteni, ezért a felderítő műholdak érkezése előtt elrejtett mozgatható objektumoknál – például repülőgépeknél – az árnyékoló hatás miatt az elrejtett gépek körvonala részben látható marad az eltérő talaj (felületi) hőmérséklet miatt. Ezért az USA-ban kitalálták, hogy kivágott repülőgép formákkal „hülyítik” a Szovjetuniót, soha nem létező gépek korvonalát kivágva hozták létre fals infravörös lenyomatot a talajon.[129]

Az SR-71 alacsonyabb repülési magassága a műholdakhoz képest jobb felbontást tett lehetővé kisebb felderítési távolság esetén, de a nagyon távoli területek fotózásakor, amikor vastag légkörön kell

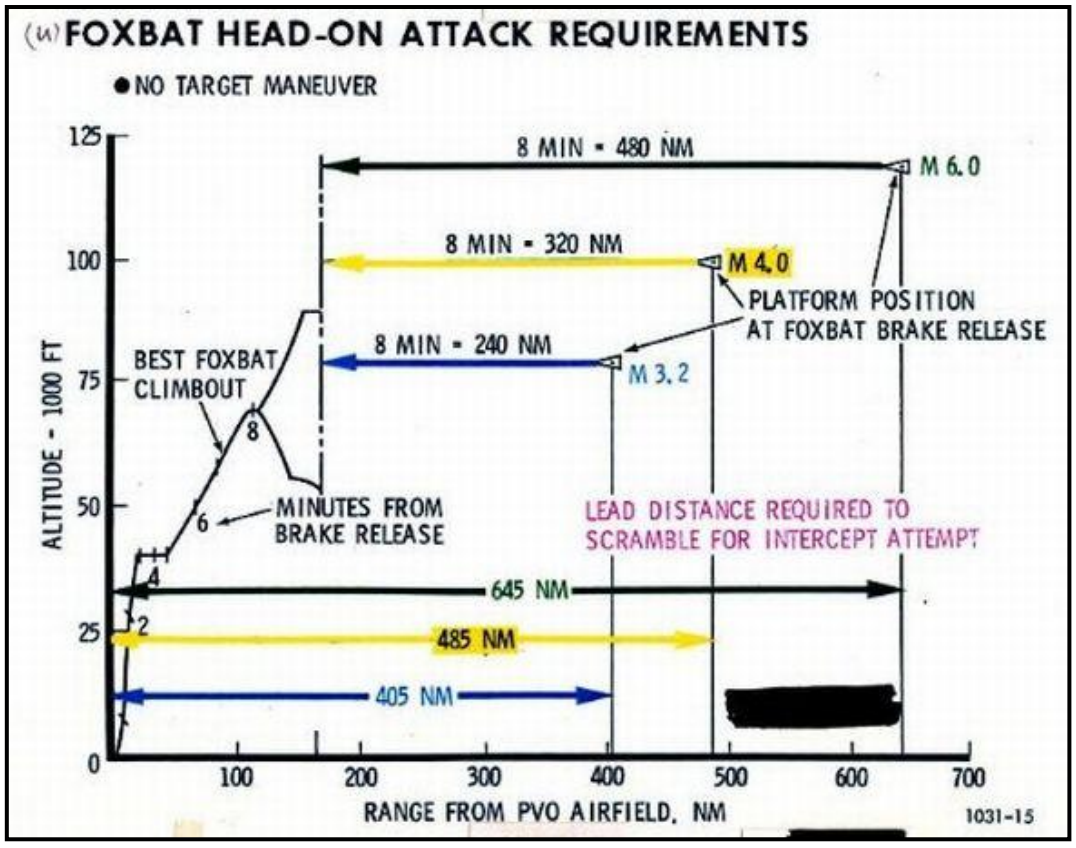
[126] http://www.fai.org/general-aviation
[127] http://jetplanes.blog.hu/2016/11/06/duxford_ekkove_az_sr-71_blackbird
[128] *Amennyiben a távolság információ „megtagadása” sikeres volt zavarás által,. lásd bővebben az elektronikai harcászattal foglalkozó részben.*http://forum.index.hu/Article/viewArticle?a=143698270&t=9120320
[129] https://goo.gl/YDTZUC

„keresztülnézni”, a légkör levegőjének vibrációs hatása (eltérő törésmutatójú légrétegek) komolyan befolyásolhatta a képek minőségét.

Az SR-71 legnagyobb hátránya a műholdakhoz képest az volt, hogy néhány száz km-nél mélyebbre nem látott be a Szovjetunió és Varsói Szerződés területére. Még ha felvállalták volna a korábbi durva légtérsértéssel járó bevetéseket, akkor is legfeljebb kb. 1500 km-es mélységre korlátozódhatott volna a berepülés, ugyanis az SR-71 kb. két óránként légi utántöltésre szorult.

A „Feketerigó” szolgálati csúcsmagasságáról egy ideig 30 km-et elérő vagy azt meghaladó legendák is szóltak, de a ma már elérhető a repülőgép üzemeltetési dokumentációja (flight manual), ami nem igazolja vissza ezeket. Még kismértékben „túlhajtva” is legfeljebb a 27 kilométeres statikus csúcsmagasság volt elérhető a típussal. A maximális sebessége az üzemeltetési utasítás szerint M3,2 a maximális repülési magasság kb. 26 km (85 ezer láb) volt, de az enyhe fordulóban végzett felderítő repülések miatt a szükséges manőverezési tartalék miatt ennél általában kicsivel alacsonyabban repültek.[130]

Egyes forrásokban és a köztudatban az a téveszme él, hogy az SR-71 alacsony észlelhetőségű (stealth) volt, ami gyakorlatban tapasztaltak szerint egész egyszerűen nem igaz, legfeljebb csak a méretéhez képest kisebb radar visszaverő keresztmetszetről lehet szó, de még erről se nagyon. (A radarkeresztmetszetről a 4.4.3. fejezetben esik szó.) Még a civil légi irányítás is képes volt nyomon követni az SR-71-et, nemhogy a VSz vagy a Szovjetunió légvédelme. Már eleve ott megdől az elmélet, hogy az alacsony észlelhetőségű SR-71-re lehetetlen lett volna légvédelmi rakétát indítani vagy készültségi gépeket emelni, ami viszont számtalanszor megtörtént.



Az SR-71 szemből történő elfogásához szükséges feltételek.

[130] *Az SR-71 ettől függetlenül képes volt nagyobb sebességre, de az már a normál üzemelési tartományon kívül esett. Az M3,4 sebességet is elérte egy tesztpilótával a gép de ez nem volt általános.* https://youtu.be/CeBu6mRDaro?t=1h2m45s

A MiG-31-gyel legalább egyszer képesek voltak elfogni a szovjetek a nemzetközi légtérben repülő Feketerigót,[131] erre nem lettek volna képesek, hogy ha az SR-71-et nem tudták volna már 500 kilométerről észlelni, hogy kellő időben tudjanak rá reagálni. Ekkora felderítési távolságot elérni radarral lehetetlen lett volna, ha a Blackbird a legkisebb mértékben is alacsony észlelhetőségű típus lenne. A rideg valóság ezzel szemben az, hogy a felderítő radarok bármi gond nélkül nyomon követték az SR-71-et akár több száz kilométeres távolságból is. Egy ilyen eset bemutatása látható a mellékletek között. Nem mellesleg a svédek a Viggen vadászgépekkel a „Balti Expressz" rutin repüléseit végző SR-71 gépekre rendszeresen hajtottak végre próba elfogásokat. Hogyan lettek volna erre képesek, ha az SR-71 alacsony észlelhetőségű? A válasz igen egyszerű, sehogyan.

Viszonyításképpen néhány érték, hogy az alacsony észlelhetőség mit jelent a valóságban. Az F-117 stealth kialakítása a radarok felderítési távolságát az azonos méretű F-4 Phantom II-höz képest kb. a tizedére csökkentette. Az F-4 Phantom II típust a P-18 radar kb. 260-80 km-ről derítette fel, az F-117-nél ezt a távolságot kb. 25-30 km-re csökkentette.[132] Ha csak töredék mértékben hasonló képességgel bírt volna az SR-71, akkor képtelenség lett volna a korábban említett esetekben a szükséges távolságból radarral észlelni. Több vicces „anekdota" is létezik, ami cáfolja ezt az állítást. Hogy a lent linkelt repülős viccek mennyire igazak vagy csak költötték őket azt nehéz kideríteni, amennyire meg lehet ítélni ezek az esetek valóban megtörténtek.[133]

Az SR-71 karrierje a '80-as évek végén minden átmenet nélkül gyakorlatilag lezárult. Egyesek szerint a MiG-31 képességei miatt vonták ki az Feketerigót, de erre semmiféle konkrét bizonyíték nincs és logikailag nem igazán állja meg a helyét ez a kijelentés a következők miatt:

1. A nemzetközi légtérben végzett felderítő bevetések szempontjából teljesen mindegy, hogy létezett-e a MiG-31 vagy sem, az ott repülő felderítő gépek lelövése jogellenes.
2. A MiG-31 ekkor már majdnem 10 éve végrehajtotta első felszállását és több mint 5 éve csapatszolgálatban volt. Tehát, ha a MiG-31 lenne a kivonás oka, akkor miért vártak ezzel még 5 évet?
3. Bár a HTKA írásban ismertetett elfogásra csak a '80-as évek végén került sor, de a MiG-31 típus képességeinek egy részét ismerték Adolf Tolkacsov kémtevékenysége által.[134]
4. A típus nem csak Szovjetuniót fényképezte. A Varsói Szerződés és a szovjetbarát országok sem rendelkeztek MiG-31 – egyetlen VSz országban sem állomásozott soha MiG-31 – tehát a MiG-31 létezése ebből a szempontból megint csak irreleváns.

Mindenesetre 1989 végén az SR-71 flottát leállották és aktív szolgálatukat befejezték, legalábbis egy időre. 1995-ben reaktiváltak néhány példányt, azonban 2 év múlva végleg nyugdíjazták ezeket is, a kísérletekre használt gép 1999 októberében hajtotta végre utolsó felszállását ezzel végleg lezárva egy fejezetet a repülés történetében.[135]

---

[131] *http://htka.hu/2011/09/02/kopok-es-feketerigok-migek-kontra-sr-71/*

[132] *Dani Zoltántól származik az adat, az 1999 Allied Force hadművelet az ő Nyeva osztálya lőtte le az egyetlen harci bevetésen elvesztett F-117-est.*

[133] *http://www.econrates.com/reality/schul.html*
http://www.businessballs.com/airtrafficcontrollersfunnyquotes.htm

[134] *http://tiboru.blogrepublik.eu/2012/04/11/adolf-tolkacsov/*

[135] *https://www.youtube.com/watch?v=I5URVG8nFBg*

Miért vonták ki az típust? Erre a mai napig nincs igazából hivatalos magyarázat. Ennek oka lehet a csillagászati üzemeltetési költsége. Az SR-71 speciális kerozinnal üzemelt,[136] az SR-71 flotta számára a többitől eltérő tüzelőanyag rendszerű KC-135Q tanker változat volt szükséges, mert a tanker saját üzemanyagát nem adhatta át az Feketerigónak. A másik lehetséges ok az egyéb felderítő rendszerekkel történő helyettesítése. A digitális képrögzítést használó „valós idejű" (real time) felderítő rendszerek felbontóképessége régen elmaradt a filmre dolgozó rendszerekétől még a fotófelderítő-műholdak estében is. Az, hogy még ma is így van-e, az megválaszolatlan kérdés, szigorúan őrzött titok, hogy mi az igazság. A speciális feladatkörű SR-71 felderítő repülőgép nyugdíjazásában az is közrejátszhatott, hogy ez a különbség akkor talán már nem volt olyan drámai, mint régen.

A Google Earth és Google Maps szolgáltatásoknál az átlagember is fogalmat kaphat arról, hogy ideális esetben az alacsony földkörüli pályán keringő műholdak felbontása milyen ma. 250-300 km-es magasságból 1 méter körüli vagy akár az alatt van.

A fenti elméletbe részen a ma használt felderítőgépek által használt eszközök rondítanak bele. A digitális technika és a valós idejű képtovábbítás ellenére még ma is használnak olyan felderítő fotó-berendezéseket, amik filmre rögzítik az képeket. 2011-ben a Líbia felett repülő felderítőgépek hagyományosan filmre dolgozó és digitális adatrögzítésű eszközöket is használtak. A franciák a Reco NG konténerekkel a Rafale típuson, míg a svédek a SAAB moduláris konténerét alkalmazták a Gripeneken, de még a felderítő feladatkörű Mirage F.1CR repülőgépet is rész vett még a hadműveletekben.

Az SR-71-hez még egy további városi legenda is kapcsolódik, miszerint csak nős pilóták repülhettek a géppel. Kezdetekben ez valóban így volt, de ezt később megváltoztatták.[137]

2.7. Légtérellenőrző gépek (AWACS[138] / AEW&C[139]), vezetési pontok

A légtérellenőrző repülőgépek (és helikopterek) a földi telepítésű felderítő radarok korlátainak és hátrányainak kiküszöbölésére épültek, de ez nem jelenti azt, hogy a felderítés pusztán ilyen repülőgépek használatával megoldható és univerzális megoldást jelentenek, ezek a földi illetve hadihajókra telepített felderítő radarok kiegészítésére szolgálnak.

A radarok felderítési távolságát és a felderíthető célok magasságát korlátozza Föld görbülete, a horizont alatt repülő, illetve a domborzat által kitakart repülőeszközök nem deríthetőek fel. Ez a probléma részben kiküszöbölhető azzal, hogy a radart minél magasabban levő helyre telepítik. A felderítő radar repülőgépre, helikopterre esetleg ballonra telepítése – ez nem elterjedt megoldás, de van már rá példa – lényegesen nagyobb magasságra „telepítést" jelent, mint amit a domborzat lehetővé tesz, például egy radar hegytetőre telepítése. Ezért cserébe a légtérellenőrzők üzemeltetése jóval drágább, amennyiben 0-24 órás felderítési képesség biztosítása a cél.

A felderítő radart hordozó repülőeszköz és a célpontok repülési magasságától függően nő a maximális felderítési távolság a földi telepítésű radarokkal összevetve. Kismagasságú célpontok esetén többszörösére – akár tízszeresére is – növelhető a felderítési távolság légtérellenőrző gépek használatával, illetve a domborzat kitakaró hatása lényegesen csökkenthető, vagy adott esetben harcászati értelemben teljesen megszüntethető. (A radarokkal részletesebben a 4. fejezet foglalkozik.)

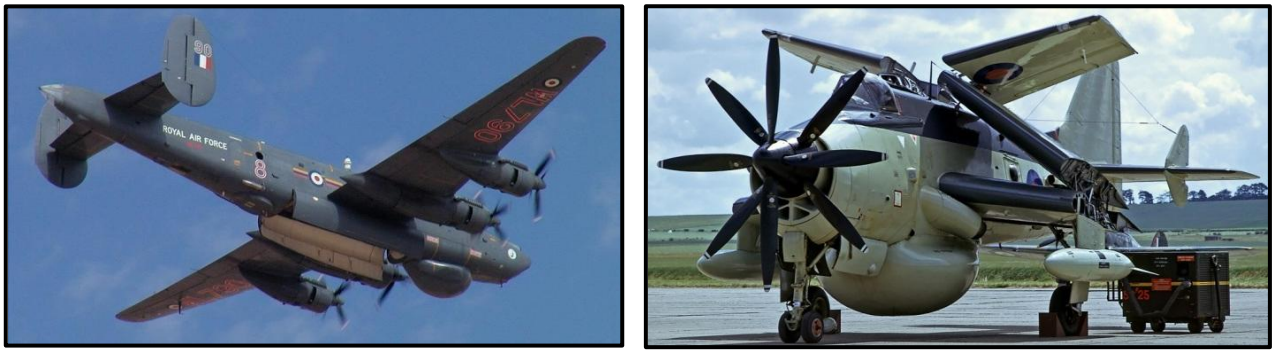
[136] https://en.wikipedia.org/wiki/JP-7
[137] https://www.quora.com/Why-is-there-a-requirement-that-you-should-be-married-to-fly-a-SR-71-blackbird
[138] *Airborne Warning and Control System*
[139] *Airborne Early Warning & Control – levegőbe telepített korai előrejelző és irányító*

Balra E-3 Sentry légtérellenőrző gép, mára már igazi klasszikussá vált AWACS. A szovjet-orosz A-50 is ezzel a klasszikus felső radardóm elrendezéssel bír. Jobbra egy korai E-2A Hawkeye landol egy repülőgép-hordozón.

Az idők során számtalan groteszknek tűnő műszaki megoldás született a felderítő radarok repülőeszközökre történő telepítésének. A vietnámi konfliktus idején az USA az EC-121 Warning Star típus légtérellenőrzőt használta, ez szárazföldről üzemelő típus volt, a Super Constellation utasszállító átalakított változata, de ennek képességei a későbbi gépekhez képest rendkívül korlátozottak voltak.

Az első igazán hatékony légtérellenőrző repülőgépnek az E-3 Sentry és az E-2 Hawkeye[140] típusok tekinthetőek ezek a ’70-es évek elején és közepén álltak hadrendbe. Az előbbi a Légierő, az utóbbi a Haditengerészet által használt típus, a Hawkeye repülőgép-hordozó fedélzetéről is üzemeltethető. (A világon jelenleg az E-2 az egyetlen repülőgép-hordozó fedélzetéről üzemeltethető légtérellenőrző repülőgép.)

Meglepő, hogy a hajdanvolt nagyhatalom Egyesült Királyság egy II. világháború utáni légcsavaros bombázógépből létrehozott típust, az Avro Shackleton AEW.2-őt használta egészen 1991-ig, az E-3 Sentry légtérellenőrzők beszerzése csak a ’80-as évek végén kezdődött meg. A Fairey Gannet AEW.3 az utolsó katapulttal rendelkező brit repülőgép-hordozó kivonásával tűnt el a hadrendből, a Royal Navy használta a típust 1978-ig. A Falkland-szigetek körül vívott harcok során még ilyen korlátozott képességekkel bíró légtérellenőrző repülőgép hiányát is komolyan megérezte a Királyai Haditengerészet.



Balra az Avro Shackleton AEW.2 jobbra a Fairey Gannet AEW.3, a törzs alsó részén levő dudor rejti a radart.

[140] https://www.youtube.com/watch?v=3G3yKAJXh20

A helikopterekre telepített felderítő radarok[141] jellemzően azon országok haditengerészetében használatosak, amelyek nem rendelkeznek akkora méretű repülőgép-hordozóval, ami képes lenne hajófedélzeti üzemre alkalmas légtérellenőrző hordozására. Ilyen típus például orosz Ka-31.

Az egyik nagy műszaki kihívása a légtérellenőrző repülőgépeknek a földháttérben történő célkeresés és célkövetés. Földháttérről akkor beszélünk, amikor a légtérellenőrző gépet és a felderítendő légi célpontot összekötő képzeletbeli vonal meghosszabbítása a földfelszín felé tart, továbbá a földháttér (vagy vízfelület) és a célgép egymással összemérhető távolságban vannak a radarhoz képest. (A földháttér ellenkező esete az égháttér, az nem okoz zavart a földháttérrel szemben.) A földháttér a kismagasságú célok felderítését kezdetben ellehetetlenítette, az ilyen célok követése és felderítése, csak a ’70-es évek közepétől/végétől kezdve volt megoldott a repülőgép-fedélzeti radarok számára, a szárazföldi telepítésű radaroknál ez már korábban megvalósítható volt. (Lásd bővebben lásd a 4. fejezetben.)

A légtérellenőrzők jellemzően nagy magasságban járőröznek (6-10 km), ezért gyakori eset, hogy a célpont földháttérben repül. Addig nem voltak igazán hatékonyak a légtérellenőrző repülőgépek, amíg megfelelő számítástechnikai támogatást nem kaptak a jelanalízishez. Ez a technológia a '70-es évek közepétől többé-kevésbé már rendelkezésre állt, de nem véletlenül került a felderítő radar-rendszer átalakított Boeing 707 gépekre (E-3 Sentry). A nagy teljesítményű elektronikának, kommunikációs berendezéseknek és az akkori számítástechnikai eszközöknek helyigénye tetemes volt, illetve a személyzet számára is biztosítani kellett az elhelyezést a gép fedélzetén.

Az idők folyamán ezeken a gépeket természetesen korszerűsítették . A számítástechnika és a félvezető elektronika robbanásszerű fejlődése egészen ámulatba ejtő képességekkel ruházza fel ma légtérellenőrző gépeket. Ma már a kisebb méretű E-2 Hawkeye legkorszerűbb változata is képes egyszerre akár 2000 darab célpont nyomon követésére is, akár több száz kilométeres távolságban is. Nagyméretű, nagy radarkeresztmetszettel rendelkező gépeket (lásd 4.3.3. fejezetben) interkontinentális (hadászati) bombázógép méretű célokat 400 kilométert meghaladó távolságról is lehetséges felderíteni égháttérben a légtérellenőrző gépekkel.

Ausztrál Királyi Légierő (RAAF) E-7 Wedgetail típusú légtérellenőrzője- és légiirányítója, a Boeing 737 típus alapjain hozták létre.

A digitális forradalom és a radartechnológiában elért fejlődés a légtérellenőrző gépeknél is radikális változásokat hozott, a szárazföldi és hajófedélzeti radarokat követően itt is megjelentek az elektronikus nyalábeltérítéssel működő rendszerek, a hagyományosan körbeforgó (mechanikus pásztázású/legyezésű) radarantennák helyett. Ezeket nagyon könnyű felismerni, a jellegzetes „tányér” helyett a repülőgép tetején egy vagy több hosszúkás antenna van.

[141] https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_airborne_early_warning_aircraft

A „tányéros” légtérellenőrzőkön is használnak elektronikus pásztázású (nyalábeltérítésű) radar-rendszert, de ezeknél csak helyszögben (függőleges irányban) legyeznek elektronikusan a radarnyalábbal, oldalszögben (körkörös irányban) a pásztázás továbbra is mechanikus, körbe forgatják azokat. A légtérellenőrzőkön használt radarok forgási sebessége jellemzően kb. 6 fordulat/perc.

A tisztán elektronikus nyalábeltérítéssel működő radarok mechanikusan egyáltalán nem legyeznek, így nincs forgató mechanizmus, illetve az alkalmazott technológia fejlettsége miatt kisebbek és könnyebbek, emiatt kisebb gépekre is telepíthetővé váltak a nagy hatótávolságú felderítő radarok. Ilyen kisebb platformok például a Boeing 737-es vagy a Saab 340 módosított változata. Az Ausztrál Királyi Légierő (RAAF) E-7 Wedgetail légtérellenőrző típusa is tisztán elektronikus nyalábeltérítéssel működő radart használ, ami lehetővé tette azt – egyéb fejlesztésekkel együtt – , hogy az aktív radarvezérlésű SM-6 légvédelmi rakétának képes legyen pályakorrekciós jeleket kidolgozni, így azzal horizont alatt célpontok is támadhatóak. (Lásd később az 5. fejezet végén a haditengerészeti légvédelmi rendszereknél.)

Az AWACS típusú repülőgépek egyben információs/átjátszó központként is használatosak. Az általuk gyűjtött és a vadászgépek rávezetéshez szükséges adatokat már a ’70-es években is képesek voltak lesugározni vagy továbbítani egyes fogadó állomásoknak. Az US Navy E-2 Hawkeye a repülőgép-hordozó harcászati központjával, illetve az F-14 Tomcat vadászgépekkel is képes volt kommunikálni adatkapcsolaton keresztül, továbbá az E-3 Sentry típus képes a helyzetképet lesugározni a Patriot légvédelmi rakéta-rendszernek. (Az E-3 már a kezdetektől képes volt a Patriottal történő együttműködésre.)

A különböző fegyvernemek és haderőnemek közti kommunikáció a légtérellenőrzőkön keresztül valósult meg talán először nagyobb léptékben. Fegyvernemek közi kommunikáció már II. világháború óta létezett, de ezek erősen lokális jellegűek voltak, nem nagy távolságban levő egységek kommunikáltak egymással. A rendelkezésre álló csapásmérő és vadászrepülőgépek rugalmas erőforrás menedzselése egészen más feladat, mint az addig megszokottak voltak. A közeli-légitámogató bevetések idején előfordulhat, hogy egy légirányító/légi harcálláspont akár több információforrással is kapcsolatban van. A légtérellenőrző gépek operátorai a teljes légi helyzetkép birtokában jelölik ki a célpontokat és továbbítanak parancsokat illetve céladatokat különböző repülőgép kötelékeknek.

A keleti blokk országait részben technikai lehetőségek határolták be, részben maga a szovjet rendszer filozófiája. Összességében elmondható, hogy a szovjet kiképzési rendszer erősen a földi rávezetésre hagyatkozott. Amint képessé váltak légtérellenőrző gépek gyártására a Szovjetunióban természetesen ott is megkezdték gyártásukat, de alkalmazásuk filozófiája nem feltétlen volt azonos az amerikai vagy NATO országok szemléletével. Az A-50 a korábbiakhoz képest páratlan helyzetképet adott a kor színvonalán pusztán szóban, történő rádión történő utasítással is, de az oroszok inkább az irányított elfogás egy fejlettebb eszközeként tekintettek rá. Ezzel szemben az amerikai filozófia szerint a vadászgép pilótát információval kell ellátni, a pilóta a helyzetnek megfelelően dönt.

A honi légvédelmi feladatok és taktikai (hadműveleti és harcászati-) feladatok elkülönülnek, a honi légvédelem esetén kevésbé dinamikus a légi helyzetkép változása és az ebből adódó légiharc jelleg is, ami az eltérő típusú célpontokból következik. Egy manőverező robotrepülőgép vagy egy interkontinentális bombázó egészen más követelmények elé állítja a rendszert és annak végrehajtó elemeit, mint ember vezette vadászgépek és vadászbombázók közötti összecsapás. (Ezen fogalmak magyarázatát lásd a 2.10. fejezetben.)

Az első szovjet légtérellenőrző típus a Tu-126 Moss 1965-1984 között volt szolgálatban. A gép harcértéke csekély volt az későbbi E-2 és E-3 típusokhoz és a szovjet A-50-hez képest. Bombázó ellen is csak kb. 300 km, vadászrepülőgép ellen kb. 100 km-es felderítési távolsággal bírt a radar, ami ráadásul földháttérben repülő célok észlelésére és követésére nem volt alkalmas. A repülőgépen uralkodó munkakörülmények nem kedveztek a hosszú őrjáratozási bevetéseknek sem. [142] A Tu-126-ból igen kevés, alig egy tucatnyi készült, inkább afféle kísérleti típusként fogható fel. Legfeljebb honi légvédelmi feladatok ellátására volt alkalmas a fenti tényezők miatt, de elégtelen mennyisége és képessége miatt erre is csak korlátozottan volt használható, a Frontrepülő Csapatoknál a sokkal dinamikusabb környezetben a Moss használhatatlan volt a kis felderítési távolsága és a földháttérből adódó korlátai miatt, a '80-as évek közepén kivonták a hadrendből a típust.

A később szovjet-orosz légtérellenőrző, az Il-76 szállítógép alapjain létrehozott típus az A-50 Mainstay. Ez már képes volt digitális adatkapcsolatot létesíteni a hidegháború végi Szu-27Sz és valószínűleg a MiG-29 9.13 típussal is,[143] de a MiG-31-el egészen biztosan. Az A-50 összesen 10-12 repülő kötelék rávezetésére volt alkalmas, illetve ballisztikus rakéták célkövetésére is, az A-50 nem csak a Honi Légvédelem, hanem már Frontrepülő Csapatok illetve a csapatlégvédelem igényeit is képes volt kielégíteni, nagyságrendi előrelépést jelentett (papíron) az Tu-126-hoz képest.

Balra a Tu-126 Moss, jobbra az A-50 Mainstay légtérellenőrző repülőgép.

Az A-50M változat 3D-s PESA rendszerű felderítő radarral rendelkezett, ennek teljesítménye már lehetővé tette a Frontrepülő Csapatok számára szükséges célfelderítést is, képes volt földháttérben is célok felderítésére is. Ezen felül az A-50 alkalmas volt a csapatlégvédelem Poljana-D4 járművével is kommunikálni, ezzel az A-50 felderítési adatai a földi telepítésű automatizált vezetési rendszerek felé is továbbítható volt. Pusztán a felderítő és kommunikációs rendszer műszaki paramétereit nézve az A-50M képességei messze meghaladták az Tu-126-ét, ezzel mind a Honi Légvédelem, mind a Frontrepülő Csapatok képességeit nagymértékben növelték.

Azonban a radar felderítő-rendszer megfelelő képességei ellenre maga az A-50M, mint eszköz összességében a hidegháború végén nagyon messze volt még a tökéletestől és jól használható állapottól. Az oroszok saját értékelése az A-50-ről a '90-es években napvilágot látott, amikor már őszintén írhattak erről az Avijacija i koszmonavtika-ban, a légierő lapjában:

- Az A-50 a kívánalmakhoz képest túlsúlyos lett, ennek több oka is volt. Az egyik, hogy a szovjet elektronikai berendezések nehezebbek voltak, mint nyugati megfelelőik az E-3-ban. A másik megrendelő által állított követelmény, miszerint az A-50-nek képesnek kellett lennie mind a hadsereg, mind a flotta, mind a légierő felé a kapcsolattartásra, kommunikációra. Ezek azonban

[142] http://www.airwar.ru/enc/spy/tu126.html

[143] *Magyarországon is járt egy alkalommal A-50, a Déli Hadsereg Csoport Repülő csapatainak MiG-29 9.13. gépeivel gyakorlatozott.*

eltérő rendszereket használtak, ezért az A-50-en triplázott rendszereket kellett alkalmazni a három-irányú kommunikációhoz.

A „Darázs” rádiótechnikai komplexum tömege közel 20 tonna volt, a leggyengébb része a rádiótechnikai komplexumnak az "Argon" számítógép, illetve annak korlátozott kapacitása.

- A fenti berendezések tömege miatt, hogy a futóművek túlterhelését elkerüljék, felszálláskor nem tankolhatták tele üzemanyaggal a gépet, mindössze 30 percnyi repülésre elegendővel szállhattak fel békeidőben. Ez a gyakorlatban azt jelentette, hogy minden felszállás után az utazómagasságon azonnal légi utántöltést kellett végrehajtani, ez viszont az Il-78 tanker és az A-50 kialakítása miatt problémás volt, ugyanis az A-50-nek rendkívül rossz légi tankolási tulajdonságai voltak.

  A tankergép örvénylése szilárdságilag veszélyes volt az antennaszerkezetre – az eleve túlsúlyos állapot miatt nem fért bele a további szerkezeti megerősítés – valamint durván befolyásolta a magasra helyezett T-vezérsíkon a vízszintes vezérsík és a magassági kormányvezérlés hatásosságát. A sikeres tankoláshoz fontos volt a profi személyzet – Oroszország pénztelensége miatt a pilóták extrém keveset repültek minden típuson a 2010-es évtizedig – illetve megfelelő időjárási körülmények kellett.

  Az utántöltő csonk vibrációs problémái miatt a hosszú őrjáratozási idő nem mindig volt biztosítható, ezt csak a 2010-es években megkezdett korszerűsítéssel sikerült megoldani. [144] (Előfordult, hogy az utántöltő csonk letört.)

- Csak korlátozott mértékben tudtak a személyzet számára hosszú időtartamra normális körülményeket biztosítani, ami a bevetési időt nagyban korlátozta még akkor is, ha a légi utántöltés lehetséges volt. A túlsúly és a triplázott kommunikációs rendszerek miatt nem volt hely a gépen sem pihenőfülkének sem WC-nek, így a 15 főnyi személyzet vödröt volt kénytelen használni testi szükségleteik kielégítésére.

- A személyzetek beszámolói szerint, még ha lett volna pihenőfülke a gépen olyan magas volt a zajszint hogy pihenésről és/vagy alvásról szó sem lehetett volna. (A zaj és elektronikai szmog nem egyedi probléma, a Tu-160 típus is ettől szenvedett a korai időszakban sőt, még a ’90-es évek végén is.)

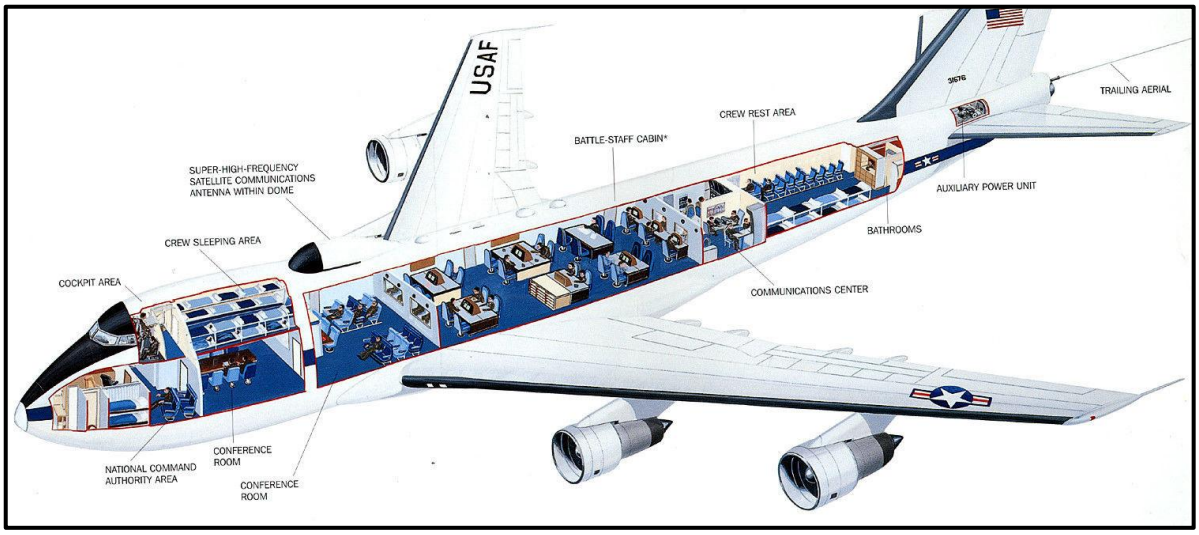
A fenti technikai problémák kiküszöbölését Oroszország gazdasági helyzete évtizedekig gátolta, ezt csak a 2000-2010 közötti években megkezdett korszerűsítési program orvosolta ezek többségét. Erre bizonyíték az, hogy az A-50 utódja, az A-100 típus továbbra is Il-76 alapjain került kifejlesztésre. Az A-50 első változatának létrehozása óta eltelt évtizedek és műszaki fejlődés már lehetővé teszik azt, hogy a típusból valóban használható légtérellenőrzőt hozzanak létre.

[144] https://htka.hu/2011/11/02/atvette-az-elso-a-50u-t-az-orosz-legiero/

E-8 J-STARS. A gép orr részén levő antenna beépítési helye beszédes a feladatkört illetően.

Nem légtérellenőrző repülőgép, de ide kívánkozik az E-8 Joint STARS, ami a földön mozgó célokat követi radarral, a típust az 1991-es Öböl-háborúban vetették be először. Az E-8 a tesztprogramját félbeszakítva repült a harccselekmények helyszínére és debütált élesben, sikerrel. Az E-8 típust természetesen azóta korszerűsítették, a technika fejlődése szemléletesen látható lenti linken elérhető videókon. Az elsőn a '90-es évek eleji J-STAR, a másodikon a XXI. századi változat kialakítása és képességei láthatóak.[145]

Se nem légtérellenőrző, se nem felderítő gépek, de szükséges és fontos feladatokat látnak el a mobil vezetési pontok. Szárazföldi járműveknek is vannak ilyen változataik (harckocsik vagy akár páncélozott szállító járművek), de jelen esetben helikopterekről és repülőgépekről van szó. Ezek a vezetési pontok a jármű méretétől és jellegétől függően képesek hadosztály szintű vezetési feladatoktól ellátásától kezdve egészen a legmagasabb szintig kapcsolatot biztosítani a csapatok és döntéshozók között. A legnagyobb és legmagasabb szintű vezetési pontokon keresztül egy állam felső vezetése képes akár nukleáris csapást elrendelni a stratégiai (hadászati) erőknek is, rendelkeznek az ezzel szükséges kommunikációs berendezésekkel, illetve egyes kiemelt jellegű különleges hadműveletek élőben történő megfigyelése is lehetséges. (Pl. Oszama Bin Laden elleni akciót is élőben követte nyomon az USA elnöke és stábja.)



Metszetrajz az E-4 Nightwatch vezetési központról.

[145] https://www.youtube.com/watch?v=aHlx97_dj1I
https://www.youtube.com/watch?v=dQIO7-n_Bug

Ilyen mobil vezetési pont, például a Mi-9 (vagy Mi–8IV típusjelzéssel), ami képes volt a levegőben is a vezetési feladatok ellátására hadosztály szinten, de a vezetési pont teljes képességeinek kihasználásához le kell szállni, ekkor lehetséges rádióadót telepíteni, illetve aggregátorral üzemelni a vezetési pontot.

A királykategória a vezetési pontként funkcionáló repülőgépeknél az amerikai E-4 Nightwatch és az orosz Il-80, illetve az amerikai VC-25, ez utóbbit csak elnöki különgépként szoktak emlegetni. (Mind az E-4, mind a VC-25 a Boeing 747-200B átalakításával született meg.) Ezeken a repülőgépeken kommunikációs berendezések igen széles spektruma áll rendelkezésre, amerikai részről olyan állítások hangzottak el, hogy gyakorlatilag bárkivel és bármivel kapcsolat létesíthető a gép fedélzetéről, akár még a víz alá merült tengeralattjárókkal való kommunikáció is lehetséges az E-4 farok részén kiengedhető 8 km hosszú antennával.[146]

2.8. Elektronikai felderítő- és zavaró repülőgépek és helikopterek

Elektronikai zavarógépek az ellenfél légvédelmi rendszereit, radarjait és kommunikációs rendszereit zavarják vagy bénítják meg. Az elektronikai felderítő gépek képesek igen széles spektrumban észlelni és analizálni különféle elektromágneses hullámokat, ennek segítségével lehetséges összeállítani elektronikai adatbázist. A két fő funkció jellemzően valamennyire átfed és rendelkezésre áll a kategóriába eső típusok egy részén.

Ezek a felderítő repülőgépek egyfajta „elektronikus porszívók”, a begyűjtött „elektronikus ujjlenyomatokkal” képesek különféle radarokat és repülőgépeket – esetleg azok pozícióját is – beazonosítani, akár igen nagy távolságból is azok elektronikus kisugárzása alapján. Az elektronikai felderítőgépek jellemzően képesek elektronikai lehallgatásra is, illetve más meg nem nevezett felderítő- vagy akár zavarótevékenységre is. Ezekről a képességekről jellemzően igen kevés információ áll rendelkezésre, más harci gépekhez képest komolyabb titokvédelem alá esnek ezek érthető okokból.

Elektronikai felderítőgépek például az EC-135 és EP-3-as (balra), de számtalan eltérő méretű és képességű repülőeszközt rendszeresítettek szerte a világban, ezek jellemzően jól bevált gépek civil vagy katonai repülőgép, illetve helikopter típusokból vannak átépítve. Az említett két példa a Boeing B707-es és a Lockheed Electra L-188 átalakításából született meg. Ez EP-3 (balra) még

[146] *Elképesztően alacsony frekvencián (~80 Hz) lehetséges több száz méter mélyen levő tengeralattjárókkal kommunikálni, azonban az adatátviteli sebesség rendkívül alacsony, kb. 3 karakter (betű) 15 perc alatt, tehát élő szóban történő rádiózásról szó nincs. Ezzel lehet a leggyorsabb módon üzenetet küldeni a tengeralattjáróknak előre meghatározott karaktersorokkal. Ezzel pl. utasítani lehet, hogy emelkedjenek periszkóp magasságra, műholdon keresztül így kaphatnak részletesebb utasításokat, céladatot illetve a tengeralattjáró is üzenhet vissza.*
A linken található orosz rendszer ma is üzemel, az amerikait már leállították. Az amerikai tengeralattjárók valószínűleg már csak a felszínre küldhető kommunikációs bóját használnak, amit készültségi fokozattól függően küldenek fel kisebb-nagyobb rendszerességgel. A mellékletek között megtalálható egy rövid összefoglaló a fent említett kommunikációs rendszerről.
http://www.vlf.it/zevs/zevs.htm
http://www.vox.com/2015/4/10/8381983/project-sanguine
https://en.wikipedia.org/wiki/Project_Sanguine

2001-ben vált ismertté egy ideig az átlagember számára is, amikor egy kínai vadászrepülőgép egy ilyen típusú felderítőgéppel ütközött össze.[147]

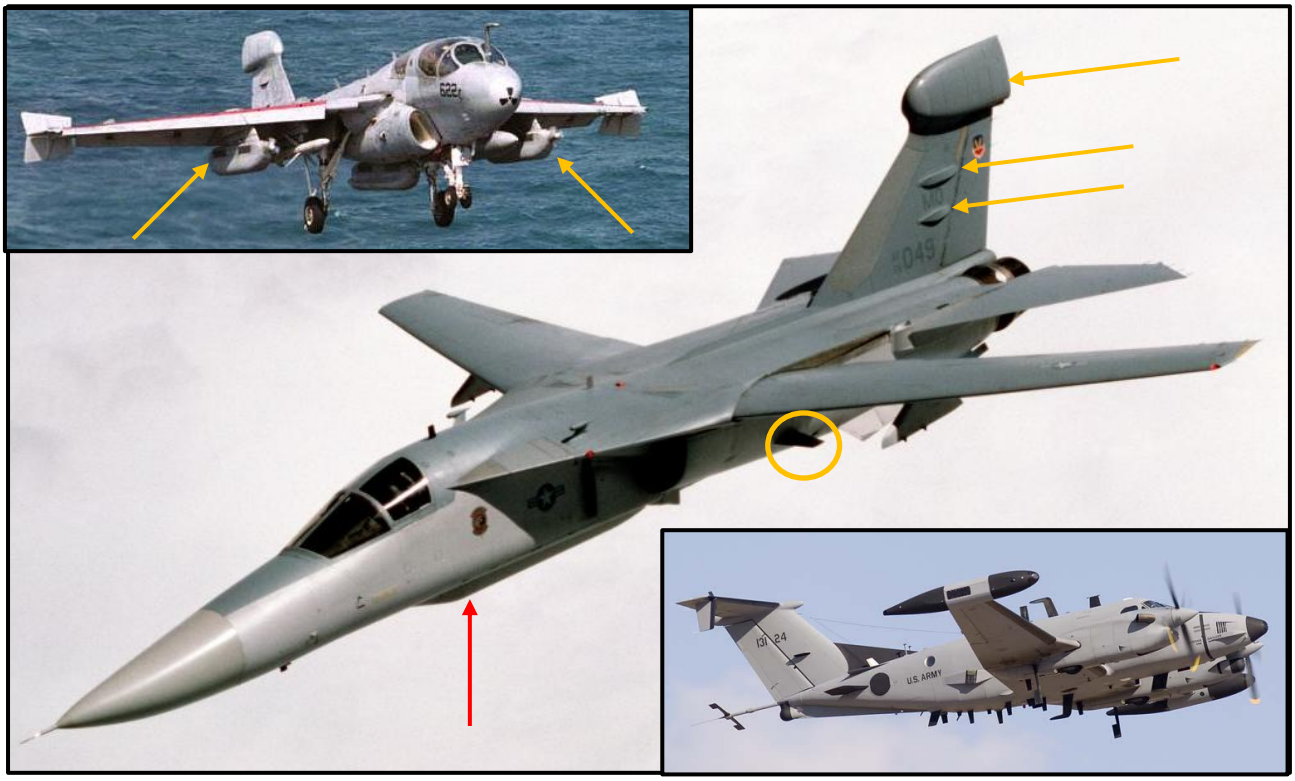
Elektronikai zavaró gépek például amerikai EF-111A Raven és az EA-6B Prowler,[148] ezeket még a hidegháború alatt fejlesztették ki. Légierő EF-111A elektronikai zavaró gépe 1998-ban nyugdíjba vonult a költségvetési megszorítások miatt, így 1998 óta a Haditengerészet biztosítja az elektronikai harcászati támogatást az USA összes haderőneme számára.[149]

Az A-6 Intruder átalakításával létrehozott Prowler típus is végóráit éli, 2017-ben már csak egy maroknyi Prowler repül a Tengerészgyalogságnál, a Haditengerészetnél a típus befejezte aktív szolgálatát 2015-ben,[150] a Tengerészgyalogság 2019-ig tervezi rendszerben tartani a típust. A 2000-es évek végétől a Prowler mellett a Super Hornet alapjain kifejlesztett EA-18 Growler kezdte átvenni a Prowler feladatait. Bár a hagyományos vadászgépek is rendelkeznek adott esetben elektronikai zavaró-rendszerekkel, azok funkcióinak teljesítményük, tehát képességeik összessége eltérőm, elmarad a dedikált elektronikai zavaró gépekhez képest, az utóbbiak sokkal többre képesek zavarható célok számát és hullámhossz tartományát tekintve.

Természetesen a szovjetek is rendelkeztek ilyen kategóriájú repülőeszközökkel, létezett elektronikai zavaró változata például a Szu-24, Jak-28, Tu-16 típusoknak, illetve Mi-8 helikopternek is sok egyéb más típus mellett.

Az ilyen célra készült repülőeszközök igen könnyen azonosíthatóak a rájuk szerelt számtalan jól látható antennáról vagy „dudorról”, amik alatt az elektronikai felderítő eszközök antennái vannak, Az antennák alakja a funkciótól és teljesítménytől függően merőben eltérő lehet, a lenti képen az EF-111A és az RC-12 Huron példáján ez igen szemléletes.

[147] http://en.wikipedia.org/wiki/Hainan_Island_incident *A kínai pilóta hibázott és repült bele a lassabb és kevéssé mozgékony felderítő repülőgépbe.*
[148] http://www.ausairpower.net/TE-Tacjammer.html
https://www.youtube.com/watch?v=ynHHASG66Eg
[149] http://htka.hu/2010/04/11/general-dynamics-f-111-aardvark-avagy-a-rettegett-foldimalac/
[150] http://foxtrotalpha.jalopnik.com/the-navys-ea-6b-prowler-completes-its-final-carrier-cru-1659101419



Bal felső sarokban az EA-6B Prowler, a kép közepén az EF-111A Raven, a jobb alsó sarokban az RC-12 Huron típus látható.

A fenti képen az EF-111 Raven esetében a sárga nyilak és körök a plusz antennákat jelzik (nem minden antenna látható egy képen) a csapásmérő változattal összevetve. A piros nyíl a belső terébe helyezhető elektronikai hadviselésre szolgáló blokkot, a csapásmérő változatnál jellemzően nem használták ki a belső teret, az F-111F a belső térben hordozta Pave Tack lézeres célmegjelölő konténert.

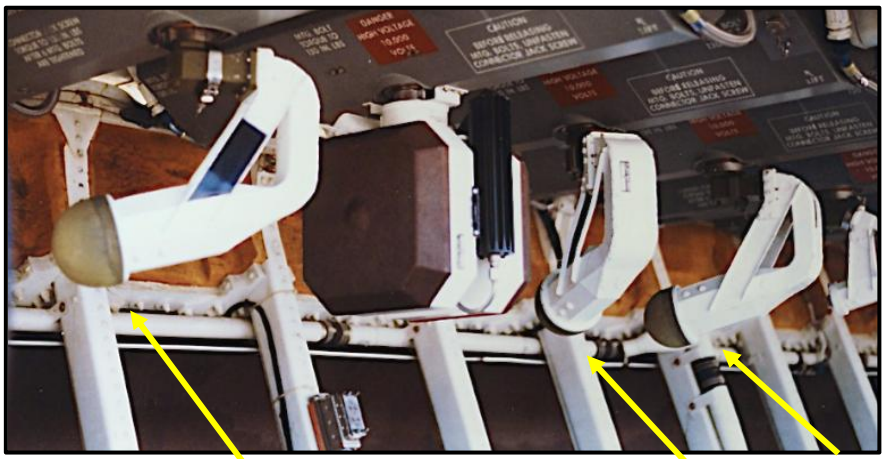
A Raven képességeiről szemléletes képes ad, hogy a ’80-as évek technikai szintjén az elektronikai zavaró rendszer tömege nagyjából 2700 kg volt. Az EF-111A konténer nélkül, az EA-6B Prowler[151] (bal felső sarok) konténerekkel látta el a feladatát, a Raven az automatizáció terén magasabb színvonalat képviselt az utóbbival összevetve, a Raven típuson egyetlen operátor kezelte az elektronikai hadviselési rendszereket, míg a Prowleren 3 fős személyzet.

A Prowler abban is eltér az EF-111-től, hogy nem csak elektronikai zavarásra volt alkalmas, hanem képes radargyilkos rakéták használatára is és ez nem csak elméleti lehetőség, erre éles bevetések során is sor került.

Ennyire specializált és drága típusok kifejlesztése és fenntartása kisebb országoknak nagy falat, többnyire nem engedhették meg maguknak ezt a luxust. A hidegháború alatt NATO-ban és Varsói Szerződésben azok „nehézfiúi”, az USA és a Szovjetunó biztosították ez a hátteret jellemzően, legalábbis a királykategóriában, de néhány VSz tagállam ettől függetlenül rendelkezett elektronikai zavarásra alkalmas Mi-8/17 helikopterekkel.

[151] https://youtu.be/su44ZU7NcQU

EF-111A Raven belső tere kinyitva, látszanak az elektronikai zavaró rendszer antennái.



EF-111A Raven belső tere kinyitva, az egyes antennák forgathatóak, egy Raven több radart is zavarhat.

Mi-8 PPA. A helikopteren az „X" antennák nem szokványos kinézetűek.

. A NATO-ban Az Egyesült Királyság rendelkezett nagy teljesítményű repülőgéppel a kategóriában, ez volt Nimrod, ennek egyes változata képes volt efféle feladatok végrehajtására. Kisebb teljesítményű helikopterek és repülőgépek átalakításával középhatalmak is rendelkezhetnek elektronikai felderítő/hírszerző képességgel.

A Magyar Néphadsereg is rendelkezett két darab Mi-8PP-vel, a VSz feloszlása után a gépeket visszaalakították hagyományos szállító helikopterekké.

2.9. Egyéb

Néhány feladatkör maradt ki a fentiekben felsoroltakon felül, de ezek az összefoglaló témaválasztását tekintve periférikusnak mondhatóak. Az egyik ilyen feladat a tengeralattjárók elleni hadviselés (ASW, anti-submarine warfare). Erre a feladatra is különlegesen átalakított helikoptereket és repülőgépeket használnak. Ilyen típus repülőgép a repülőgép-hordozóról is üzemeltethető S-3 Viking – ezt váltótípus nélkül nyugdíjazta a Haditengerészet –, illetve a szárazföldi bázisokról üzemelő P-3 Orion – ez utóbbi a már korábban említett Lockheed Electra átalakításából született – illetve az SH-60 Seahawk, ami az UH-60 Blackhawk szállító helikopter célzottan átalakított változata, így szállító feladatok ellátására már nem alkalmas.

Vannak még egyéb speciális feladatok ilyen például lelőtt pilóták kimentése, különleges erők helyszínre szállítása, ejtőernyős csapatok és felszerelésük deszantolása, stb., ezeket részben helikopterek, részben katonai teherszállító gépek látják el. A helikopterek a továbbiakban terjedelmi okok miatt csak említés szintjén szerepelnek, egyes légvédelmi rendszereknél és levegő-föld fegyverzetnél.

Itt jegyezném meg, hogy az USA-ban több, egymástól független haderőnem van. US Army (Hadsereg), USAF (Légierő), US Navy (Haditengerészet) és a USMC (Tengerészgyalogság).[152] Ebből tehát az következik, hogy egy helikopter vagy repülőgép pilóta nem feltétlenül a Légierőben szolgál.

A haderőnemek közötti rivalizálás és „civakodás" eredményeképpen a Hadsereg merevszárnyú harci géppel nem, csak harci helikopterekkel (forgószárnyas repülőeszköz) rendelkezik, míg a többi haderőnem mindegyike rendelkezik „telivér", merevszárnyú harci repülőgéppel.

A katonai teherszállítást nagymunkáját a Légierő látja el, közepes és nehéz kategóriájú szállítógépekkel csak az USAF rendelkezik,[153] a Hadsereg teherszállító képessége leépült emiatt a megközelítés miatt.

2009-ben a Hadsereg és a Légierő megállapodott, hogy a Hadsereg kiszáll a C-27 programból azt teljesen az USAF veszi át, a továbbiakban a Légierő biztosítja az „időérzékeny" (Mission Critical & Time Sensitive – MCTS) teherszállítást az előretolt bázisoknak. A C-23 Sherpa típust váltó C-27 Spart szállítógépek így Légierőhöz kerültek, de ott igen rövid életutat írtak le, mivel az USAF nem tartott igényt C-130-nál kisebb teherszállítóra a költségvetési megszorítások miatt. Ezek a gépek a Parti Őrségnél (US Coast Guard) és az US Forest Service-nél kötöttek jobbára ki, a maradék a jól ismert Boneyard-ra[154] került, volt olyan C-27A, ami azonnal oda repült az átvételét követően. Enyhén szólva nem túl dicső életút ez egy vadonatúj repülőgép számára.

Tehát nagyobb teherszállítóval és merevszárnyú harci repülőgéppel nem rendelkezik a Hadsereg, de merevszárnyú repülőgépekkel ettől függetlenül igen. Ilyen például a C-12 Huron, amit különféle célokra (VIP utas szállítás, kisebb terhez szállítása, sebesült evakuálás, stb.) használ a US Army, de a C-12 mellett néhány felderítő/elektronikai harcászatra alkalmas merevszárnyú típussal rendelkezik a Hadsereg.

[152] *A US Coast Guard (Parti Őrség, USCG) független, de háború esetén a Haditengerészet venné át a parancsnokságát. Egyes források szerint a Nemzeti Gárda is független, de eszközparkja nem korlátozódik egyetlen fegyvernemre. Az Nemzeti Gárda rendelkezik repülőgépekkel, helikopterekkel és különféle szárazföldi járművekkel is.*

[153] *Az ötödik fegyvernemként emlegetett USCG, speciális C-130 változatokat használ.*

[154] https://en.wikipedia.org/wiki/309th_Aerospace_Maintenance_and_Regeneration_Group

Ugyan több olyan merevszárnyú repülőgép is létezik, amelyet kettőnél több haderőnem is hosszabb-rövidebb ideig rendszeresített, mint pl. a C-12 Huron, vagy a közismertebb C-130 Hercules, de érdekes módon mindezidáig egyetlen merevszárnyú harci repülőgép típus volt, amit három – valójában négy, ha a Nemzeti Gárdát is ide számítjuk – haderőnem is használt. Ez a már többször emlegetett F-4 Phantom II, illetve a jövőben az F-35 Joint Strike Fighter lesz ilyen, aminek három különböző variánsát fogja rendszeresíteni a USAF, a USMC és a US Navy.[155]

2.10. Célpontok besorolása

Az elérendő célok és célpontok között megkülönböztetünk taktikait és stratégiait a nyugati terminológia szerint. Stratégiai célpontok az ellenfél hátországa, ipari termelése, hátországi raktárai és közlekedési-(logisztika) illetve kommunikációs rendszerének, interkontinentális ballisztikus rakétasilóinak, kikötőinek, stb.. Összegezve azok a stratégiai célpontok, amik nem közvetlenül a hadszíntérhez, front-térségi és harccselekményhez köthető objektumok. (Ez kissé pongyola megfogalmazás, de nagyjából fedi a lényeget.) Ezen célok eléréséhez általában nagy hatósugarú, tehát nagyméretű gépek szükségesek, ilyenek voltak a hidegháború hatalmas, nukleáris fegyverek célba juttatására alkalmas interkontinentális bombázógépei, például a szovjet Tu-95 és Tu-160, az angol Avro Vulcan, az amerikai B-36, B-47, B-52, B-1B, B-2.

Taktikai (harcászati) bevetések kifejezetten az ellenfél harceszközeinek és harcoló alakulatainak elpusztítására illetve azok harcképességének részben indirekt módon történő csökkentésére irányulnak. Fronthoz közeli raktárak, közlekedési csomópontok, radarok, harcjárművek, légvédelmi egységek, kommunikációs központok, parancsnokságok utánpótlási konvojok elpusztítása, repterek megbénítása, hajók elpusztítása és természetesen az ellenfél légierejének pusztítása, ezek kiiktatása mind hátrányosan érintik a szárazföldi csapatok harcértékét. Ezen feladatokra jellemzően különféle „vadászgép méretű" harci repülőgépek és harci helikopterek használatosak. Az A-10 Thunderbolt II például csakis az ellenség különféle páncélos eszközeinek és járműveinek leküzdésére, a saját csapatok közvetlen támogatására lett tervezve, ennek orosz megfelelője a Szu-25. A többi „klasszikus" vadászgép vagy vadászbombázó is ebben a szerepkörben domborít, az elsődlegesen vadászgépnek tervezett F-16 és F/A-18, de az egyfeladatos csapásmérésre alkalmas Szu-17, Szu-24, F-111, A-7 Corsair vagy az európai Jaguar és Tornado is. Helikopterek kizárólag taktikai feladatokat hajtanak végre.

A taktikai célok közül kiemelendő az ellenfél légvédelmi rendszere, főleg légvédelmi rakéta-rendszerei ellen folytatott tevékenység, angol terminológiával ezek a SEAD bevetések (suppression enemy air defenses). Ezek célja az ellenséges légvédelem elnyomása és lehetőleg megsemmisítése is. Ez olyan speciális feladatkör, hogy az USAF[156] speciálisan erre a feladatkörre szánt gépeket szerzett be és üzemeltetett egészen a '90-es évek elejéig, ahogy más országokban is létrehoztak erre specializált típusokat és berendezéseket is, amiket jellemzően konténerben hordoztak a kisebb repülőgépek, a nagyobb gépek esetén is a gépek átalakítása volt szükséges.

Az első erre a célra létrehozott repülőgépek az F-100F és F-105F típusok átalakításával készültek még a vietnámi háború idején, az akkori sikeres vadászbombázók átalakításával. Az F-105 speciális változata később továbbifejlesztések után F-105G típusjelzéssel szolgált a vietnámi háborút követően is.[157] Az első specializált típusok felett viszonylag hamar eljárt az idő, de csak 1983-ban vonták ki a hadrendből az utolsó F-105G példányokat, az F-105 csapásmérő alapváltozatának legutolsó változata ekkor már 12 éve nyugdíjba

[155] *A három haderőnem megnevezése a továbbiakban, Légierő, Tengerészgyalogság és Haditengerészet.*
[156] *United States Air Force – Egyesült Államok Légiereje. 1947-ben az USAAF megszűnte után lett önálló haderőnem.*
[157] *Először kétüléses F-100F Super Sabre gépeket használtak speciálisan kiképzett személyzetekkel, de a repülőgép felszerelése, avionikája lényegében változatlan volt.*

vonult. Az F-105G a feladatkörét a fejlettebb és nagyobb teljesítményű F-4 Phantom II átalakításával létrehozott F-4G típus vette át.

Az F-4G (Wild Weasel) volt az első igazán hatékony és megfelelő teljesítményű dedikált „SAM vadász" típus, a Sivatagi Vihar idején demonstrálta is ezt a képességét, a Weaselt cirka 20 éves szolgálatot követően a '90-es évek közepén nyugdíjazták. Az F-4G kivonása a hadrendből nem a SEAD feladatkör elhanyagolását jelentette és egy képesség felszámolását, a specializált egyfeladatos típus helyét a többfeladatos F-16C Block 50/52 vadászgépek vették át elsődlegesen. A ma szolgálatban álló összes F-16C/D vadászgép képes AGM-88 HARM alkalmazására – speciálisan a radarok ellen kifejlesztett rakéta – azonban a HARM minél eredményesebb használatát elősegítő AN/ASQ-213 konténert[158] többnyire csak a Block 50/52 gépek hordozzák, ezért a SEAD feladatkört lényegében azok látják el a USAF-on belül.

A légvédelmi rendszerek elleni tevékenység azért szerepel a taktikai célok között, mert bár a szovjet honi légvédelem hatalmas mennyiségű légvédelmi rakéta-rendszerrel rendelkezett, de azok a SEAD feladatkörű gépek számára néhány körzet kivételével – tengerekkel vagy óceánokkal határos szovjet területek közeli NATO vagy nyugatbarát országgal – gyakorlatilag elérhetetlen távolságban voltak a Szovjetunió és a mai Oroszország területén.

A szovjet terminológia eltér a fent említettől, három kategóriát különbözetett meg, hadászati- (stratégiai), hadműveleti és harcászati célokat távolságban csökkenő sorrendben. A nyugati terminológia a hadműveleti és harcászati kategóriákat összemosta/összevonta, ezeket hívja taktikainak. Egy konkrét példán keresztül, a szovjet terminológia szerint a Szu-25 és A-10 repülőgépek harcászati célpontokat támadtak volna.

Harcászati célpontok lehetnek a támadó hadseregcsoport mélységeiben elhelyezkedő repterek, közlekedési csomópontok, raktárak, vezetési pontok. Stratégiai célpont lehet az ellenség politikai, katonai felső vezetése, nukleáris csapásmérő ereje, a hadiipar szűk keresztmetszete, de valójában az ellenfél teljes polgári lakossága és civil infrastruktúrája is.[159] A kettő között levő hadműveleti célok nagyon hasonlóak lehetnek a harcászatihoz, de a behatolási mélység jóval nagyobb az ellenséges légtérbe.

Az nyugati terminológiában a frontvonaltól számított nagyjából 600 km távolságban érnek véget a taktikai célpontok, ennél nagyobb behatolási mélység nemigen valósítható meg a célra alkalmazott repülőgépek képességei miatt, ennél mélyebb berepülési távolság alig néhány harcászati típussal lehetséges (pl. F-111, Szu-24, Szu-34 és az '50-as évek közepes bombázóival.). A 600 km-es távolság a szovjet terminológia szerint a hadműveleti tartomány vége, a harcászati nagyságrendileg 100 km behatolási mélységet takar.

A fenti megkülönböztetések inkább még a hidegháborúra voltak jellemzőek, amikor az USA és a Szovjetunió, illetve a NATO és a Varsói Szerződés országai egymás területe ellen készültek csapást mérni, amikor a távolságok interkontinentális léptékben hatalmasak voltak, de a VSz tagországok légierőinek behatolási mélysége és csapásmérő képessége a Szovjetuniót leszámítva 600 km-en túl nem terjedt.

Az utóbbi évtizedekben többször is előfordult, hogy taktikai feladatot stratégiai bombázókkal hajtottak végre és fordítva. Például 1999-ben az Allied Force hadművelet alatt Szerbiában B-1B bombázók iktattak ki egyes reptereket, viszont F-16C vadászgépek bombáztak stratégiainak mondott célokat, pl. olajfinomítók

[158] *HARM Targeting System – HTS pod. http://www.defense-update.com/products/h/HTS.htm*
[159] *Ez utóbbiak a nukleáris elrettentés „veszteség oldalon levő" alapkövei.*

tároló tartályait. Ez nem a gépek képességei, hanem inkább a rendelkezésre álló erőforrások és a kisebb távolságok miatt alakult így. A repterek megbénítása a B-1B bombázóról sorozatban oldott irányítatlan szabadesésű bombáival is megoldható volt, a járulékos kár még ezek alkalmazásával is elkerülhető volt a célpont mérete miatt, nem a távolság igényelte a stratégiai bombázógép használatát, hanem a feladathoz szükséges nagy mennyiségű irányítatlan bomba. A kevés rendelkezésre álló precíziós csapásmérő-képességgel bíró vadászgépre más célpontoknál volt szükség, pl. nem akarták lerombolni a teljes szerb kőolaj finomító kapacitást, csak a viszonylag könnyen és gyorsan újjáépíthető tartályokat. Nem irányított bombákkal operáló B-1B bombázó a fél finomítót letarolta volna egy áthúzással is.

A B-52H és B-1B bombázók Irak és Afganisztán felett láttak el harcászati feladatot, közvetlen légi támogatásra használták azokat (CAS bevetések, lásd később). A hadszíntér mérete szükségessé tette a hosszú idejű őrjáratozást, amire ezek a bombázók hatalmas hatótávolságukból kifolyólag képesek. Mindkét bombázógépen rendszeresítették a precíziós csapásmérő-képességet biztosító lézeres célmegjelölő Sniper konténert illetve GPS és lézervezérlésű vezérlésű bombákat is a 2000-es években, így képessé váltakpontcélok támadásával ellátni ezt a feladatot is.[160] Azt persze megjegyezném, hogy ez nagyon drága mulatság és nagyon komoly részben az USAF maradiságának eredménye, ugyanis idegenkednek a COIN[161] célokra tervezett repülőgépek használatától.

Ez a hozzáállás erősen megkérdőjelezhető, olcsóbb megoldás is elképzelhető lett volna ennél, de az USAF vezetői nem szívesen láttak nem szuperszonikus „telivér" harcászati gépeket a Légierő állományában. Mire a Légierő vezetésének szemlélete megváltozott, addigra már politikusok nem adtak erre a célra pénzt, az USAF saját költségvetéséből komolyabb gépmennyiség beszerzését viszont nem volt képes kigazdálkodni, főleg 2008-as válságot követő megszorítások óta, és ha még csak ez lett volna az egyetlen probléma a beszerzés során...[162] A lassan évtizedes szenvedés után mégis lehet, hogy előrelépés várható a COIN kategóriájú gépek beszerzése és rendszeresítése téren.[163]

Természetesen a célterületig való repülés nem meghatározó, tehát egy Olaszország északi részén Aviano támaszpontról felszálló gép, ami Líbia felett hajtott végre taktikai bevetéseket az nem minősül stratégiainak csak azért, mert a célterületig 1500 km-et repül egy többfeladatos vadászgép.

[160] *Lásd az Ostrava 2012 NATO Day beszámolóját.*
[161] http://katpol.blog.hu/2008/11/21/coin_repulogepek_part_1
[162] http://htka.hu/2012/01/02/hivatalos-a-super-tucano-nyerte-az-amerikai-legiero-tenderet/
http://htka.hu/2012/03/01/kilotte-a-tukant-a-hawker-beechcraft/
http://htka.hu/2012/03/04/fejlemenyek-tukan-ugyben/
http://htka.hu/2012/06/14/las-most-a-tukanosok-fordulnak-a-birosaghoz/
http://legiero.blog.hu/2010/07/19/igazi_ujdonsagok_farnborough_bol
[163] https://htka.hu/2017/05/15/alakul-az-oa-x-tender-mezonye/

További kiegészítés a témához. A köznyelvben a stratégia és taktika szavak használata gyakorlatilag teljesen összemosódott,[164] holott egészen másról van szó a fegyveres konfliktusokat nézve.

Stratégia:

A hadvezetés tudománya; a küzdelem gondosan megtervezett menete, vagyis a cselekvések egy hosszabb távú terve egy bizonyos cél elérése érdekében, amely gyakran az úgymond „végső győzelem", avagy egy probléma megoldása. A szót eredetileg a hadászatban használták, a háború megnyerésének művészetét, a seregek mozgatását és ellátását jelentette.

Tehát ez nem az „átlagbaka" vagy a harctéri parancsnok területe. II. világháborús példával, pl. jó/rossz stratégiai választások és döntés az, hogy hol nyissanak új frontot, hova helyezzék a gyártókapacitást és mikor kezdjenek meg egy egész frontot átfogó offenzívát.

Taktika:

Egy cél elérésére alkalmazott módszer, vagyis rövidebb távra, a kisebb feladatok megoldási módjai, pl. egy csata megnyerése, tehát ez már a harcmezőn megjelenő dolog például, hogy milyen módon alkalmazzák együtt pl. a gyalogságot és harckocsikat, milyen rövidtávú célokért küzdenek, milyen módon száll szembe pl. egy négygépes fejlett F-15A kötelék a '70-es években egy századnyi MiG-21-es vadászgéppel, stb.

A taktika már az egyén szintjén is értelmezhető és érezhető fogásokat és annak közvetlen következményeit takarja, amire a szárazföldi hadműveletek nézve már egy szakaszparancsnoknak is szüksége van ezen a területen elméleti és gyakorlati ismeretekre, ellenben egy hadszíntér parancsnok ezen a szinten képtelen beavatkozni egy ütközet menetébe, de nem is feladata. A taktikai és stratégiai fogások közötti átmenet hadosztály parancsnoki szinttől számítható nagyjából.[165]

(Ambasa megjegyzései szerkesztett formában.)

[164] *Ez véleményem szerint részben a különféle csapatsportok és a számítógépes játékok elterjedése és laikusok általi pongyola szóhasználatnak köszönhető.*

[165] *A szerző kiegészítése.*

3. Bevetések típusai, bevetési profilok

Az itt felsorolt bevetéstípusok elsősorban az amerikai szemléletet és terminológiát tükrözik. Más légierőkben valószínűleg nem pontosan így nevezik ezeket, de ezekkel átfedésben lehetnek. Az összefoglalóban a hangsúly a főbb alaptevékenységek lefedésén, és azok bemutatásán van ezeken keresztül. A lista főképpen taktikai/harcászati repülőgépekre vonatkozik, a helikopterek, támogató gépek és haditengerészeti jellegű bevetések nagyrészt hiányoznak a listából, ezek tartoznak az összefoglaló fő sodrába.

- DCA – Defensive Counter Air. Egy konkrét objektum védelme a feladat. Ez lehet bármi, híd, reptér, katonai bázis stb., minden más védelme lényegtelen. A pontvédelem vagy bázis-légvédelem elnevezés talán megfelelő magyar terminológia. Persze annak eldöntése, hogy közeledő repülőgépeknek vagy robotrepülőgépeknek mi a célpontja, az megint egy jó kérdés, ezért a BARCAP-tól elkülönítése a DCA-nak nem mindig egyértelmű, egyes források szinonimaként is használják ezeket a rövidítéseket.

- BARCAP – Barrier Combat Air Patrol. Egy adott terület/légtér védelme a behatolóktól, nem konkrét cél védelme a fontos, jellemzően nagyobb területre terjed ki a DCA bevetéshez képest, bár egyes források összemossák azzal. Jellemzően a repülőgép-hordozók körül adnak ilyet a flotta védővadászai, de a repüléstilalmi övezetek fenntartása során is ez a terminológia használatos. A Sivatagi Vihar alatt az F-15 pilóták az ellenséges légtérben végrehajtott őrjáratozás során hol DCA, hol BARCAP terminológiát használták az interjúk során. (Pontosabban fogalmazva a forrásban ez szerepel leírva, hogy a pilóták szó szerint mit mondtak, azt nem derül ki.)

- HAVCAP – High Value Asset Protection Combat Air Patrol. AWACS vagy tankergép vagy más kiemelten fontos repülőeszköz fedezete. Ez fajta kíséret pontvédelem jellegű, nem ellenséges célpontig vagy légtérben történő kíséretről (escort) van szó. A védendő repülőgép egy területen vagy egy pont körül őrjáratozik hosszabb-rövidebb ideig és ezt oltalmazzák a vadászgépek.

- TARCAP – Target Combat Air Patrol. Ellenséges célpont / célterület körzetében járőrözés, az ilyen bevetést teljesítő gépek távol tartanak minden ellenséges vadászgépet egy rövid időszakban. Jellemzően akkor kerül sor erre, ha a célkörzetben sok célpont van egymás mellett és több hullám támad egymás után. Például egy repülőtér és a légvédelmének és például a közelben levő bármilyen más objektum elpusztítása. Lokális jellegű légifölény (helyileg és időben is) biztosítása a cél.

- Intercept – Elfogás. A közeledő ellenséges gépekre emelnek a reptérről készültségi gépet, vagy más esetben a BARCAP/DCA zónában járőröző gépet vezetnek rá a közeledő célpontra.

- Stand Off Jamming (SOJ) – Elektronikus zavarógépek teljesítenek ilyen bevetést. Elektronikai zavarással támogatnak nagyobb támadó kötelékeket, óvják őket a légvédelemi rakéta-rendszerek és felderítő illetve tűzvezető radarjai által jelentett fenyegetésétől. Ez történhet úgy, hogy a légvédelmi rendszerek hatósugarán kívül járőröznek – ekkor HAVCAP is vigyázhat az elektronikai zavaró gépekre – vagy egy nagyobb kötelékkel együtt is repülhetnek a célpont felé.

- OCA – Offensive Counter Air. Repterek, fix telepítésű felderítő radarok, katonai bázisok, vezetési pontok, stb. elleni taktikai csapásmérés, a források azonban itt sem egyértelműek. Az OCA néha csak a csapásmérő bevetést repülő kisebb kötelékre (flight), néha az egész támadó csoportra (package) van értelmezve. Tehát például egy F-15C-ből, F-16C-ből és F-4G-ből álló csoport mindegyik gépére úgy utal

a forrás, hogy „OCA típusú” bevetést repülnek, annak ellenére, hogy az F-15C a vadászkíséret (escort), az F-4G SEAD kíséret (SEAD escort) és az F-16C gépek a csapásmérők (OCA strike)[166]

- Sweep – „Söprögetés.” Szabad vadászat ellenséges repülőgépekre. Előfordul, hogy nagy támadó kötelék előtt halad egy ilyen feladatra beosztott kötelék, de az is használatos taktika, hogy egyszerűen csak berepülnek mélyen az ellenséges légtérbe és provokálják az ellenség vadászait és légvédelmét. Akkor igazán hatékony egy ilyen bevetés, ha olyan helyre törnek be, ahol biztosra lehet venni, hogy nincs előttük baráti gép. Ilyenkor lehet alkalmazni a „mindenre lőni, ami mozog” elvet, a célazonosítással nem kell túl sokat vesződni.

  (Ez a szemlélet a BARCAP során is előfordulhat, ha az adott irányból nem várható egyáltalán baráti gép, akkor bármi abból az irányból közeledik, az ellenségesnek tekinthető és lelőhető.)

- SEAD Strike – Ellenséges légvédelemi rendszerek elleni támadó bevetés, a légvédelem elnyomása, lehetőleg elpusztítása a feladat. Felderített légvédelmi rakéta-rendszerek vagy csöves légvédelmi tüzérség (AAA, anti-aircraft artillery) elleni célzott bevetések, jellemzően rádiólokációs (radart) használó légvédelmi rakéta-rendszerek ellen. A SEAD sweep is ehhez hasonló, konkrét célpont nincs megadva, lényegében a nem várt légvédelmi fenyegetések elnyomása a cél. SEAD & DEAD (suppress enemy air defense &destroy enemy air defense) rövidítés is használatos forma, utóbbi erősebben utal arra, hogy nem csak az elnyomás, de a megsemmisítés is fontos.

- SEAD Escort – Gyakorlatilag a SEAD sweep bevetéssel azonos, csak nem önállóan, a többi köteléktől függetlenül hajtják végre, hanem egy nagyobb csoport (package) tagjaként, a nagy támadókötelékek mellé van beosztva 2-4 vagy akár több ilyen gép. Akár az ismert, vagy akár az előre nem várt meglepetések ellen biztosítja a köteléket.

  (A légvédelmi rendszereket háborúban ajánlatos gyakran áttelepíteni a túlélés és harcászati meglepetés biztosítása érdekében, így felbukkanhatnak váratlan helyeken vagy olyan területeken, amit korábban „tisztának” minősítettek.)

- Escort – Vadászkíséret a földi célokat támadó kötelékek számára ellenséges vadászgépek ellen.

- SARCAP / RESCAP – Search & Rescue Combat Air Patrol / Rescue Combat Air Patrol. Lelőtt pilóták mentésekor repülnek ilyen bevetést jellemzően A-10 támadógépek és/vagy helikopterek, de elég sok féle repülőeszköz besorolható ide adott esetben.

- Strike – Csapásmérő bevetés különféle statikus objektumok ellen. Hidak, raktárak, gyárak, stb., egyetlen megkötés, hogy nem túl mély a behatolás mélysége az ellenséges légtérbe, jellemzően vadászbombázók és vadászgépek repülnek ilyet harcászati/hadműveleti (taktikai) mélységben.

- Deep Strike – Ugyanaz, mint a fenti csak nagyobb távolságra repülnek csapásmérő gépek. Vadászbombázók is repülhetnek ilyet, de igencsak össze kell szedni magukat ehhez. Régen az F-111és Szu-24, manapság F-15E és Szu-34 típusok alkalmasak erre, illetve az interkontinentális bombázók, B-1B, B-52, B-2.

- FAC – Forward Air Control. Előretolt légiirányító / koordinátor. Ezen repülőgép vagy helikopter személyzete jelöli ki a célokat közvetlen légi támogató repülőknek és/vagy helikoptereknek. Régen ez

[166] *Egy csoport (package) több kisebb kötelék (flight) együttese. Később előfordulhat, hogy mindkét szóra a kötelék megnevezést használom, mert a magyarban nincs igazán megfelelő szó ezekre, a package-re talán a „csoport” szó húzható rá, amit több kisebb kötelék alkot.*

OV-10 Bronco (jobbra) specialitása volt – az USAF már nem használja ezt a típust – vagy más nem túlságosan ismert könnyű repülőgépek tündököltek ebben a szerepben, esetleg helikopterek.

Alapvető tulajdonságuk az erre a célra használt repülőgépeknek, hogy viszonylag lassan repülnek, sokszor fegyvertelenek. Vietnám idején sokszor 2-4 személyes polgári légi forgalomban használt kisrepülőgépek látták el ezt a feladatot, mindenféle átalakítás nélkül. Ezek nem csak lassan, de csendben is képesek repülni, néhány kilométerről már nem voltak láthatóak és hallhatóak a földről, szabad szemmel csak szerencsével voltak észrevehetőek. A célokra a csapásmérő gépeket rávezető személyzet felszerelése a ’60-es és ’70-es években is nagyjából, térkép, rádió és távcső szentháromságra korlátozódott, ma már ennél azért számottevően több és hatékonyabb eszköz áll rendelkezésre. Lehetséges például digitális adatkapcsolaton keresztül továbbítani a céladatokat vagy UAV (pilóta nélküli repülőeszköz) által kapott videó képet, természetesen a GPS rendszer használata és GPS koordináták meghatározása és továbbítása is lehetséges.

Helikopterek is teljesíthetnek ilyen bevetéseket, de földi előretolt megfigyelőktől is kaphatnak céladatokat a repülőeszközök. Manapság egyre nagyobb arányban UAV[167] gépekkel látnak el ilyen feladatot az amerikai fegyveres erőknél. A FAC legjellemzőbb módja a földi csapatok általi célkijelölés volt a II. világháború óta eltelt időszakban, ez csak a repülőeszközökre telepített illetve az UAV technika előretörésével változott meg, de ma is igen fontos a földi rávezető képesség megléte (JTAC).[168]

- CAS / On call CAS – A FAC/JTAC ezeket a bevetéseket repülő gépeket irányítja, közvetlen tűztámogató bevetés a harctéren levő csapatoknak. Harckocsik, páncélozott szállítójárművek, gyalogság és tüzérségi ütegek a fő célpontok. A gépek a frontvonaltól néhány perc távolságra vagy egy kijelölt terület közelében operálnak. Amennyiben nincs fenyegetés, akkor a váltás megérkezése után, az őrjárati idő letelte után hazatérnek a gépek, a másik véglet az teljes fegyverzet felhasználása utáni kiválás. A lényeg az, hogy hívás esetén hamar rendelkezésre áll a tűzerő. Nagyon nagy lefedendő terület és alacsony intenzitás esetén a nagy hatótáv (hosszú őrjáratozási idő) kifejezetten előnyös, így lett CAS képességgel bíró gép még az interkontinentális nehézbombázókból is az USAF állományában.

- Interdiction / battlefield interdiction (BAI) – Közvetlenül a front felé tartó erősítés, menetoszlopok és logisztika megsemmisítése. Mélyebben történő berepülés a front mögé, az éppen felvonuló csapatok megsemmisítése a cél, hadműveleti/harcászati mélységben történő behatolás határmezsgyéje. Az úton a front felé haladó csapatok még nincsenek szétbontakozva a nagy célsűrűség miatt – pl. egy előrehaladó menetoszlopban – iszonyatos pusztításra képes néhány kazettás bomba vagy bármilyen

[167] *Unmanned Aerial Vehicle – „Pilótanélküli” repülőgép. Valójában csak azt jelenti, hogy operátor által távvezérelt repülőgép, tehát nem teljesen automatikus, csak a pilóta nincs a gép fedélzetén, bár a legtöbb folyamatban számítógép segítségével irányítják a gépeket. Régen csak olyan személyek vezérelhették a gépet, akiknek volt valamiféle pilóta jogosítványuk, de ma már ezt sem követelmény a magas fokú automatizáltság miatt.*

[168] *„A Sólyom Végveszélyben” című filmben is látható ilyen rávezetés, amikor a könnyű támadó helikoptereknek jelöltek ki célokat, illetve a „Katonák Voltunk” filmben is. Az említett két filmben bemutatott helyzetek képet annak arról, hogy milyen kihívásokkal kell számolni ilyen tevékenység során.*
https://www.youtube.com/watch?v=1sxIhklBXxc
http://www.youtube.com/watch?v=nQqPbq6pfwo
http://airbase.blog.hu/tags/jtac

tűzerő egy helyre koncentrálva. Végtelen nagy térközzel meg nem haladhat egy menetoszlop a károk minimalizálása miatt, mert a világ összes útja sem lenne elég a felvonuláshoz. Az ilyen típusú csapatösszevonás és csapatmozgások észlelésére és követésére fejlesztették ki az E-8 JSTAR repülőgépet, ennek segítségével koncentrálható a megfelelő időben a megfelelő helyre a szükséges tűzerő.

- Reconnaissance (recon) – Felderítő bevetés. Lehet pont jellegű időben és térben is, egy célpont vagy objektum felderítése vagy szőnyeg módszerrel nagy területről felvétel készítése, egy frontszakasz vagy terület ellenőrzése UAV vagy könnyű felderítő helikopterrel.

- BDA – Battle/Bomb Damage Assessment. Felderítő bevetés támadás után a károk felmérésére. Ez történhet úgy, hogy a támadó csoport vagy kötelék után néhány perccel áthúz a felderítő repülőgép, de a is járható út, hogy a támadás után – amikor adott esetben a füst, tűz és más egyéb zavaró tényező már nincs jelen – órákkal vagy akár egy nappal később egy vagy több felderítő gép végigjár több céltpontot, de ez utóbbi már inkább a „recon" kategória (nehéz meghúzni a határt). Ez utóbbi módszernél előfordulhat, hogy a felderítő repülőgép vadász és SEAD kíséretet is kap.[169] Az első alkalmazási forma manapság egyre kevésbé jellemző, a hidegháborús időkben volt inkább bevett. (Ez a hadműveletek jellegének változásából és a technikai fejlődésnek is köszönhető.)

- Anti-ship – Hajók elleni csapásmérő bevetés. Ez történhet bombafegyverzettel, manőverező robotrepülőgépekkel vagy szuperszonikus támadó rakétákkal is. (Az USA csak szubszonikus eszközökkel rendelkezik, a szovjet-orosz haditengerészeti csapásmérők rendelkeznek szuperszonikus rakéta-fegyverzettel, lásd a 7. fejezetben.)

- Air Lift – Légi szállítás, szállító helikopterrel és szállító repülőgépekkel csinálnak ilyet, távolságtól illetve a szállítmány méretétől és tömegétől függ, hogy milyen eszközzel hajtják végre. Ez lehet bármi UH-1 helikopterrel történő lőszerutánpótlás szállításától kezdve hadműveleti zónában vagy akár a világ másik felére reptetése egy sérült AH-64 harci helikopternek vagy harckocsinak javításra.

- Air refuel – Légi utántöltő gépek teljesítenek ilyen bevetést, levegőben történő üzemanyag átadása a feladat. A tanker gépek egy adott területen várakoznak, ott történik az üzemanyag átadása igénytől függően.

- MEDEVAC – Orvosi ellátásra szoruló személyzet evakuálása, ez jelenthet közvetlen helikopteres kimentést a harcmezőről, de egyszerű beteg továbbszállítás is lehet a feladat az erre a célra átalakított specializált gépekkel hátországi, jobban felszerelt egészségügyi létesítménybe.

A különböző bevetéstípusok tisztázását követően lássuk, hogy hogyan zajlik egy átlagos bevetés kezdve az eligazítástól (briefing) a kiértékelésig (debriefing) tömören, jellemzően taktikai vadászgépek és/vagy csapásmérők esetén. Természetesen rengeteg elképzelhető bevetéstípus létezik, továbbá nem csak taktikai vadászgépek léteznek, de az összefoglaláshoz általánosításra és egyszerűsítésre van szükség.[170]

[169] *Az '91-es Öböl-háborúban állítólag volt olyan F-14 Tomcat ami 12 célpontról készített felvételt egyetlen bevetés alatt a TARPS (Tactical Airborne Reconnaissance Pod System) konténerével.*

[170] *https://www.youtube.com/watch?v=rHjU0sdHRV8 Toborzó videó, megrendezett jelenetekkel részben, de jól lefesti a folyamatot a '80-as évekbeli környezetben és kiszolgáló háttérrel.*

1. Eligazítás. Feladat és/vagy célpontok meghatározása, ismert és lehetséges fenyegetések tisztázása, hírszerzési adatok ismertetése, ellenséges és saját csapatok helyzete, rádió frekvenciák és hívójelek kiosztása, kötelék fegyverzetének és üzemanyag mennyiségének megválasztása, navigációs pontok és más kötelékekkel való randevúzási helyek kijelölése, stb. Ez több órán keresztül is eltarthat.

2. A hajózó személyzet beöltözése (G ruha, mentőfelszerelés, stb.), beszállás a repülőgépbe, G ruha, oxigén és rádiós vezetékek csatlakoztatása a fedélzeti rendszerekhez.

3. A repülőgép beüzemelése. Hajtóműindítás, fedélzeti rendszerek bekapcsolása, navigációs berendezések, elektronikai rendszerek tesztelése és kalibrálása, műszerek ellenőrzése, hordozható adattárakról bevetés adatainak (navigációs pontok, rádió beállítások) beolvasása/betáplálása.

4. Kigurulás (taxi) és felszállás. Repülőgép-hordozóról történő üzemnél a gépek nem teljesen önerőből mozognak, néha a vontató a személyzet mozgatja a gépeket, mert így biztonságosabb, vagy máshogy nem is lehetséges.

5. A kötelék (flight) összerendeződése, találkozása támadó csoport (package) többi gépével, amennyiben ilyen nagyobb csoport részeként tevékenykednek.

6. Út a célpont / célterület felé. Többféle bevetési profil létezik. Ott ahol nem várható ellenállás végig nagy magasságon lehet repülni. Kis magasságon a gépek tüzelőanyag (üzemanyag) fogyasztása számottevően megnő, 100 méteren és a 10 000 méteren ugyanazon utazósebesség tartásához szükséges fogyasztás között akár háromszoros különbség is lehet főleg, ha nagy tömegű és légellenállású fegyverzetet illetve póttartályokat is hordoz a repülőgép. Levegőben üzemanyag felvétel is történhet oda- és visszafelé is, őrjáratozó repülőgépek esetén az őrjárat ideje alatt többször is.

   Gyakoribb eset, hogy a célkörzet megközelítése nagyobb magasságon történik, ahol légvédelmi rakéta-rendszerek vannak telepítve vagy azok léte sejthető, ott a kötelék átválthat adott esetben kismagasságú célmegközelítésre (30-150 méter), és „elslisszol” a légvédelmi rendszerek hatásos megsemmisítési zónája között.[171]. Amint a célkörzetet elhagyták visszatérhetnek utazómagasságra a gépek és azon térnek haza, ez a HI-LO-HI profil. Ezen felül persze léteznek egyéb profilok is, pl. a HI-HI (High-High / magasan-magasan, oda-vissza) LO-HI (Low-High / alacsonyan-magasan) vagy LO-LO (Low-Low / alacsonyan-alacsonyan). Persze ezek meghatározások csak az útvonalrepülésre vonatkoznak, ha valaki megtámadja a köteléket útközben, akkor kezdődnek a bonyodalmak, teljesen kaotikussá fajulhat a helyzet és a bevetés törlése / feladása sem elképzelhetetlen. (A Sivatagi Vihar alatt is volt ez utóbbira erre példa, sikerült egy F-111-est elkergetnie egy iraki MiG-29-es vadászgépnek.)

[171] *A Föld görbülete és a hegyek akadályt jelentenek a keresőradarok számára. Lásd később.*

CAS bevetések vagy más őrjárat típusú bevetéseknél a célkörzetet elérve a gépek leggazdaságosabb sebességgel várakozási légtérben tartózkodnak. Az ilyen jellegű bevetések akár 4-8 órásak is lehetnek, de extrém esetben egyhajtóműves vadászgéppel is repültek már 10-12 órás bevetést.[172]

7. Támadás a célpont ellen, amennyiben csapásmérő (OCA, strike) bevetésről van szó. A célpont védelmétől függően alacsonyan / közepes magasságban / nagy magasságban rárepülés a célra, de csak egyszer, mert az ismételt rárepülés drámaian növeli a lelövés esélyét. Ha több gép támad egyetlen célt, akkor a gépek lehetőleg több irányból és minimális időközzel repülnek rá a célra, hogy a védelemnek minél kevesebb ideje legyen reagálni.

   CAS és őrjárat típusú bevetések esetén az AWACS/JTAC/stb. által kijelölt célok támadása.

8. Út hazafelé, ez néha eléggé „fut a nyúl” jelleget ölthet erősen védett célpontok támadása után. A támadó kötelék ekkor már nem feltétlen repül együtt, ha a harcászati helyet miatt szétszóródtak a gépek. Levegőben történő üzemanyag felvételre ismét sor kerülhet, ez a harccselekmény intenzitásától és a célpont távolságától is függ.

   CAS bevetések vagy más őrjárat típusú bevetéseknél a fegyverzet vagy őrjárati idő végén elhagyják a várakozási légteret.

9. Leszállás. A sérült gépek és gépek tüzelőanyag (üzemanyag) mennyiségétől függően a sorrend erősen variálódhat. Egyes gépek már hamarabb kitérő / tartalék reptereken szállhatnak le, ha nem képesek elérni az bázisrepteret,[173] ekkor tartalék (kitérő) reptéren szükséges landolni. (A Sivatagi Vihar első hullámában támadó gépek kb. 10% százaléka kitérő reptéren szállt le, az intenzív harctevékenység során az üzemanyag gyorsan fogy, a tanker kapacitás véges.)

10. Kiértékelés. Ez első lépésben a támadást végrehajtó személyzet beszámolója, illetve a csapásmérő/vadászgépen gépen levő eszközök által rögzített felvételekkel és adatokkal történik (fotó-géppuska, HUD videofelvétel, fedélzeti adatrögzítőre elmentett SAR radarkép, lézeres célmegjelölő elmentett/felvett videó képe, stb.). További lehetőség a később átrepülő felderítő gép(ek) felvételei, esetleg műholdfelvétel alapján. CAS bevetés kiértékelése FAC és/vagy a földi harcoló csapatok visszajelzése által is lehetséges.

A fenti összefoglalás egy csapásmérő/támadó bevetésre példa, természetesen őrjáratozás (BARCAP/DCA/HACAP), SEAD vagy vadászkíséret esetén ettől eltérések vannak. A teljesen eseménytelen őrjáratozást és/vagy egy adott pont vagy légtérben való repülést többször szakíthatja meg levegőben történő üzemanyag felvétel, ameddig nincs ellenséges tevékenység. Vadászkíséretet vagy SEAD fedezetet adni azonban már egészen más tészta, egy nagy támadó köteléket egyben tartani és precízen célhoz vinni nem egyszerű feladat. A kísérő gépek profilja eltérhet a csapásmérő gépekétől, nem feltétlen azonos magasságban repülnek és eltérő típusok és fegyverzet konfiguráció miatt a gépek üzemanyag tartaléka és gazdaságos utazósebességük sem azonos, amivel számolni kell.

Az 1982-ben Falkland szigetek ellen végrehajtott nagy hatótávolságú bevetésnél komoly probléma volt, hogy a Victor légi utántöltő és a Vulcan bombázó leggazdaságosabb utazósebessége nem volt azonos, de mégis együtt, egy kötelékben kellett repülniük.[174]

[172] http://www.f-16.net/f-16-news-article4413.html
[173] *Repülőgép-hordozóról történő üzemeltetés esetén is lehetséges szárazföldi kitérő reptérre menni.*
[174] https://en.wikipedia.org/wiki/Operation_Black_Buck

A feni forgatókönyv egy idealizált eset, amikor nem történt gépveszteség. Amennyiben nem a tervek szerint alakult a bevetés, akkor a lelőtt gépszemélyzet megmentése már a bevetés ideje alatt megkezdődhet. Minél frissebb az információ a lelőtt személyzet helyzetéről, annál nagyobb az esélye egy sikeres mentőakciónak, ahogy telik az idő, egyre nő az esélye annak, hogy a gépszemélyzetet elfogja az ellenség.

Nem egyértelmű vagy hiányos információk esetén adott esetben az is megeshet, hogy meg sem kísérlik a mentést. Ez jellemzően a hidegháborús idők nagy hadműveletei alatt fordulhatott volna elő – atomháború esetén ennek végrehajtása sci-fi –, de a Sivatagi Vihar alatt is volt példa ennek elmaradására.[175] Azóta PR okok miatt nem fordult elő olyan eset, ahol ne próbálkoztak volna ezzel az amerikaiak. (Szíriában az oroszok is hajtottak végre sikeres pilóta kimentést, de eközben ember és gépveszteség is történt.) A nagyobb hadműveletek idején a berepülések időtartama alatt a bevetési terület szélén, ugrásra készen várakozhatnak a mentéshez szükséges repülőgépek és helikopterek a reakcióidő csökkentése végett.

[175] http://en.wikipedia.org/wiki/Scott_Speicher

4. Az elektronikus csatatér

4.1. Radarok és radarvezérlésű légiharc-rakéták

4.1.1. Repülőgép-fedélzeti radarok, alapvető jellemzők és képességek

4.1.1.1. Légi célok felderítése, követése és azonosítása

A XX. század ’50-as éveitől kezdve komoly szerepet játszott a hadviselésben az elektronika több területen is a radaroktól kezdve, az infravörös vezérlésű rakétákon át a navigációig bezárólag. Első lépésben a repülőgép-fedélzeti és légvédelmi rendszerek radarjainak története és képességei és fejlődéstörténetük kerül röviden bemutatásra.

A radar szót igazából RADAR rövidítésként kellene írni, csak az annyira beépült már a nyelvbe, mint fogalom, hogy nem rövidítés formájában használatos. RADAR = Radio Azimuth Detecting And Ranging. Az angol kifejezés közelítő fordítása kb. a „szög és távolság szerinti helymeghatározás rádiósugarakkal”. Az orosz és német terminológia lokátornak nevezi a radart. A radarok működésének alapvető fizikai és műszaki elvei csak akkor kerülnek kifejtésre, amennyiben azt konkrét példa vagy fegyverrendszer szükségessé teszi. (A légvédelmi rendszereknél ismertetésnél többször található hivatkozás a 4. fejezetre.)

A radaroknak igen sok fajtája és üzemmódja van attól függően, hogy szárazföldi, hajófedélzeti vagy repülőgép-fedélzeti radarról beszélünk, ezért ezek leegyszerűsítve kerülnek bemutatásra. Részletesebb információk a radarok természettudományos és műszaki hátteréről a lenti linken találhatóak.[176]

Tovább bonyolítja a helyzetet, hogy a korszerű radarok képességei részben titkosak, a képességeikről számszerűsítve sokszor nem áll pontos adat rendelkezésre. A régebbi rendszerek képességei többé-kevésbé ismertek, ezek éles harci helyzetben használatáról illetve fejlesztéséről is eredeti, titkosítás alól feloldott dokumentációik is elérhetőek már.

A korszerű vadászrepülőgépek impulzus-doppler üzemű radarral vannak ellátva, a ’60-as évek vége óta csak ilyen elven működő radarokat használnak vadászgépeken. A légvédelmi rakéta-rendszerek és egyes légiharc-rakéták vezérlésénél folyamatos hullámot kibocsátó (continuous wave, CW) radarokat és célmegvilágító eszközöket is használtak vagy használnak mind a mai napig, ezek képességei egymástól alapvetően eltérnek.

Az impulzus-doppler módszernek vannak előnyei és hátrányai is. A doppler módszer legnagyobb gyengéje, hogy a radarkisugárzás helyéhez képest álló, vagy közel álló illetve, merőleges vagy közel merőleges irányban repülő célokat nehezen vagy egyáltalán nem képes detektálni. Ez a „*beaming*” jelenség. A digitális radarok ezen gyengeségét ma már egyre nehezebb kihasználni, de ennek ellenére továbbra is létezik. A beamingnek a földháttérben való keresésnél jelentősége még hangsúlyosabb.[177]

A folyamatos hullámú (CW) rendszereknél a földháttérnek és beaming-nek nincs hatása, de csak akkor, ha földi légvédelmi rendszer használja ezt a hullámformát, ahol a radar nem mozog. A repülőgépek és azok célpontjai is mozognak, ezért azokon az impulzus-doppler üzemű radarok terjedtek el célfelderítésre, folyamatos hullámú eszközöket legfeljebb célmegvilágításra használtak csak a vadászgépek, de ezeken a

[176] http://www.radartutorial.eu/index.en.html

[177] *A frekvencia eltolódás ilyenkor nagyon kicsi a kibocsájtott és visszavert jel között, a radar a doppler effektust felhasználva érzékel célokat. Ennek segítségével filterezhető (szűrhető) ki a földháttérből a célpont. Ha nem merőlegesen repül, akkor a talaj és a célgép doppler frekvencia eltolódása eltérő. Itt ezer-tízezer Hertz nagyságrendben levő eltolódás méréséről van szó.*

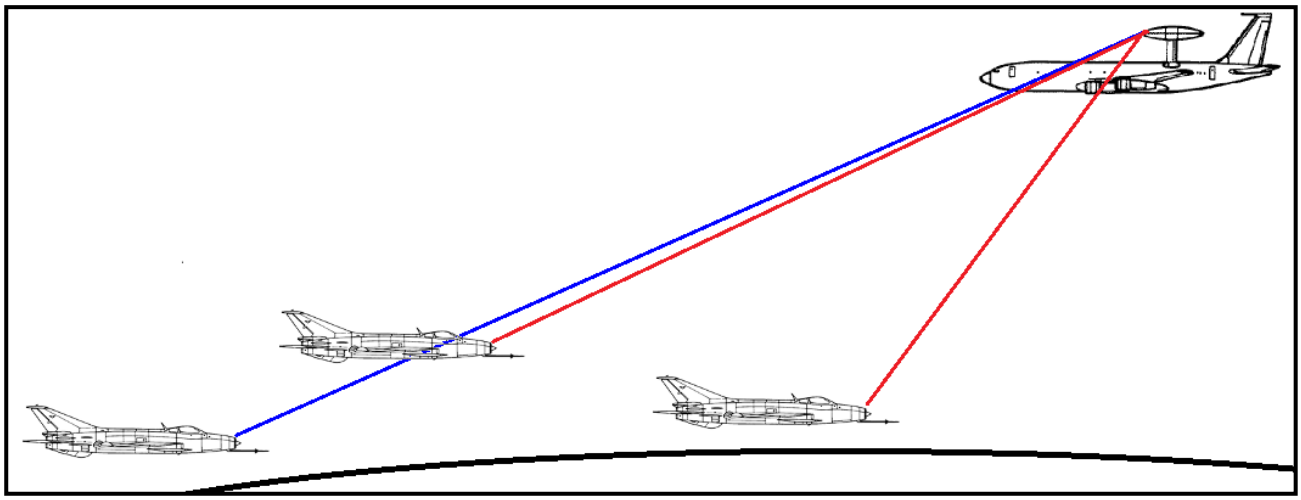
repülőgépeken a CW sugárzó a felderítő radar mellett üzemel és szolgál a légiharc-rakéta rávezetéshez. A kismagasságú földi telepítésű kereső radarok jellemzően folyamatos hullámú radarokkal bírnak, az HAWK és az Sz-300 légvédelmi rakéta-rendszerek rendelkeztek ilyen dedikált kismagasságú kereső radarokkal.

Nagy előnye az impulzus-doppler üzemű radarnak, hogy képes földháttérben (ground clutter) levő célok érzékelésére és követésére, de ilyen célpontok ellen az észlelési távolság nagymértékben csökkenhet. Jelanalízis segítségével komoly teljesítményre képesek még a repülőgép-fedélzeti radarok is, nemhogy a szárazföldi telepítésűek, ehhez azonban komoly számítástechnikai kapacitás és bonyolult matematikai algoritmusok használata szükséges.

Az ’50-es és ’60-as években használt régebbi repülőgép-fedélzeti radar típusoknál nincs „beaming” hatás, de ezek a radarok egyáltalán nem voltak alkalmasak földháttérben való felderítésre és célkövetésre. Légvédelmi radaroknál már a ’60-as évek elején megoldott volt a földháttérben való célkeresés és célkövetés. (SzDC/MTI módszer lásd később.)

Földháttérről akkor beszélünk, amikor a kereső radart és a felderítendő légi célpontot összekötő képzeletbeli vonal meghosszabbítása a földfelszín felé tart, továbbá a földháttér (vagy vízfelület) és a célgép egymással összemérhető távolságban vannak a radarhoz képest. Természetesen, ha a földfelszín több száz km-re van a cél irányában, de a cél csak néhány tucat km-re, akkor ez nem komoly zavarforrás hiszen visszaverődés a földháttérből nagyon gyenge a céljelhez képes. Tehát földháttér okozta zavar függ a rálátás irányától, a célpont és a földháttér távolságától is, illetve ennek a kettőnek az arányától, továbbá a terep jellegétől is. Egy tükörsima vízfelület egészen más zavarforrás, mint hegyes-völgyes sziklás vidék azonos relatív távolság esetén.

A felszínről visszaverődő zavarjelek szűrését a fedélzeti számítógéppel lehet segíteni, amely elemzi a visszavert jelet, de ennél több is lehetséges a megfelelő szintű jelanalízissel. Ez az oka annak, hogy a radarok fizikailag alig változtak a repülőgépekben akár évtizedes léptékben is – persze kisebb-nagyobb fejlesztések történtek –, de az egyre gyorsabb számítógépek és szoftveres fejlesztéssel mégis egyre nagyobb teljesítményre lettek képesek és új funkciók és képességek is elérhetővé váltak.



A földháttér és a célok relatív helyzete sematikus ábrán. A kék vonallal jelölt gép égháttérben repül annak ellenére, hogy a radar lefelé keres, a másik két gép földháttérben van, de különböző mértékben. Az ábra nem arányos, pusztán az alapelvek szemléltetésére szolgál. A légvédelmi rakéta-rendszerek számára ugyanez a helyzet állhat elő a domborzattól függően, azoknál is előfordulhat, hogy a célpont földháttérben repül.

Térjünk vissza a „beaming” manőverre. Ez csak doppler radarok ellen hatásos, a régi impulzus üzemű radarok ellen hatástalan. A doppler radarok a doppler elvet[178] felhasználva a visszavert jel frekvencia eltolódását mérve és szűrve képesek a földháttér zavaró hatását csökkenteni.[179] Természetesen nagyon összetett fizikai jelenségek kiküszöbölése jóval bonyolultabb annál, mint ami egy mondatba belefér, de a lényege ez az elvnek.

A beaming manőver kivitelezése viszonylag egyszerű (elméletben), alapvetően két módon lehetséges. Az első módszernél az elrejtőzni/eltűnni próbáló gép földháttérben hajtja végre azt, lehetőleg minél alacsonyabban, hogy a földháttérből adódó zavarás minél erősebb legyen. Miért csak elméletben egyszerű a beaming? A besugárzásjelző-rendszerek képességeinek korlátai miatt, amik csak adott pontossággal képesek méri a sugárforrások irányát. (A besugárzásjelzőkről a 4.4.1.4. fejezetben esik szó.). Az első módszernél a manővert alkalmazó gép folyamatosan merőlegesen (vagy minél inkább ahhoz közel) repül az őt kereső repülőgép útvonalához képest. A beaming manőverrel azt próbálják elérni, hogy a radarsugár által pásztázott gép relatív sebessége közel legyen a célt kereső gép és földfelszín relatív sebességéhez, égháttérben a légvédelmi rendszerek radarjához képesti 0 közeli radiális sebesség elérése a cél. Ez már a fent említett szűrést megnehezíti, vagy egyenesen ellehetetleníti. Természetesen a terep jellege erősen befolyásolja a feladat nehézségét. Egy tepsi simaságú alföld vagy a tengerfelszín földháttérként egészen más kihívást jelent, mint egy dombokkal vagy hegyekkel tarkított táj.

Mivel a beaming manővert végrehajtó repülőgéphez folyamatosan közeledik az azt kereső repülőgép, egy idő után olyan közelségbe érhet a célpont, ahonnan már manőverező légiharc kezdeményezhető vagy szemből is indítható infravörös vezérlésű légiharc rakétával célba vehető a célt kereső repülőgép gyors szembefordulást követően.[180] A korszerű radarok ellen ennyire szélsőséges eset már nehezen kivitelezhető kategória, de a ’70-es vagy ’80-as években egyáltalán nem volt az sőt, talán még ma is sikerülhet. [181] Az USAF F-15C vadászgépei 1991-ben a Sivatagi Vihar és az 1999-es Allied Force hadművelet alatt néha 20-25 km-ről sem voltak képesek érzékelni a beaming manővert végrehajtó, földháttérben repülő célokat, mikor sík terep vagy égháttérben repülő vadászgép méretű célokat akár 80-100 km-ről is képesek voltak követésbe venni.

A helyzet még kellemetlenebb, amikor a bujkáló vadászgépek számbeli fölényben vannak, mert beamingelés közben képesek bekeríteni az őket kereső gépet vagy gépeket. A radarok kijelzőjéről eltűnt vadászgépek ezután igen eltérő aspektussal és magassággal bukkanhatnak fel újra. Még, ha közelebb érve hozzájuk a beaming manővert követően újra követésbe vehetőek, a célkijelölés folyamata, azonosítás, rakétaindításhoz szükséges idő rendkívül rövid, nem feltétlen lehetséges a mechanikus pásztázású radarokkal, mert azok a légtérnek csak egy kis szeletét tapogatják le és azt is elég lassan, egyszerűen nincs idő minden célt leküzdeni. (Lásd később.)

---

[178] http://hu.wikipedia.org/wiki/Doppler-effektus#Radar

[179] *A repülőgép-fedélzeti radarok jellemzően GHz tartományban (X sáv) működnek. Az eltolódás mértéke mindössze néhány száz vagy ezer Hertz. Ez a kis különbséget kell kimérni. A beérkező zajjal teli jelből a szűrés után ilyen kis különbséget kell kiszűrni. Hát nem egyszerű feladat…*

[180] *Az AIMAL / ACEVAL tesztek alatt pont ilyen esetet vizsgáltak. Lásd a lenti írásokban.*
https://htka.hu/2010/11/14/gondolatok-a-legi-harcaszatrol/
https://htka.hu/2012/12/04/mcdonnell-douglas-f-15-eagle/

[181] https://youtu.be/YNjbmboN4o8?t=29m29s *29:30 után, mikor a "good notch" szöveg elhangzik, akkor ott a beaming manővert látjuk. Mindössze 7 (!) mérföldnyire (13 km) van a célpont, mégis elveszti a radar azt, pedig az F-16C-n használt radar minden, csak nem primitív eszköz, bár azért messze nem a legkorszerűbb.*

Ez az idő és távolság korlát hatványozottan igaz volt a félaktív vezérlésű légiharc-rakéták korában. A manőver kivitelezéséhez értelemszerűen besugárzásjelző szükséges a manővert végrehajtó repülőgépen, az meg végképp nem hátrány, ha a besugárzásjelző minél pontosabb információt nyújt a sugárforrás irányáról.

A másik módszer az, hogy a gép függőlegesen zuhan vagy emelkedik, akár földháttérben. Persze sokáig nem lehetséges művelni egyiket sem – vagy mert a gép a földnek ütközne vagy azért mert kirepül a földháttérből, másrész függőleges emelkedéshez nincs kellő teljesítmény – ezért kombinálják az első módszerrel. Egy függőleges leborítás vagy felhúzás után, amikor a célpont repülőgép már/még földháttérben van a zuhanásból bal- vagy jobb fordulóval vezetik ki és úgy folytatják a beamingelést.

A radarok (kijelzett) felderítési távolságát alapvetően meghatározza az aktuálisan használt impulzusismétlési idő. Az impulzus és impulzus-doppler üzemű radarok úgy működnek, hogy időközönként bocsátanak ki egy impulzust és adott ideig várnak a visszaérkező jelre. Ez az időköz, az impulzus ismétlődési idő (PRT) [182] határozza meg azt a távolságot, amekkora távolságig nem jelez ki a radar fals célt. Ha később érkezik vissza jel az első kibocsátásból, mint második kiküldöttből, akkor nem állapítható meg a cél távolság és hamis távolság adatot szolgáltat a rendszer. (Mikroszekendum nagyságrendű időkről beszélünk.)

Doppler elven működő radar esetén, bizonyos radiális sebességgel repülő célok felderíthetősége csökken vagy megszűnik egy adott impulzus ismétlési frekvencia (PRF) beállítás esetén, ezt hívjuk vaksebességnek. Ezt úgy küszöbölik ki, hogy eltérő PRF-fel mérnek, ez nem jelent problémát már nagyon régi radarok is képesek voltak erre.

A laikusok körében kevéssé ismert, de a szovjet-orosz vadászrepülőgépek egészen a ’80-es évek elejéig nélkülözték a valóban hatékony impulzus-doppler radarokat, és a Frontrepülő Csapatok vadászgépeibe épített radarok képességei elmaradtak a hasonló időszakban használt amerikai radarok képességeitől. Tehát a „hatékony” szójelentését szovjet-orosz értelemben kell kezelni.

Az első szovjet klasszikus vadászgépek, amik rendelkeztek a „*look down/shoot down*” képességgel – ez az angol terminológia a földháttérben való célleküzdés képességére – a MiG-29 9.12 és Szu-27Sz vadászgépek voltak a Frontrepülő Csapatoknál, illetve a MiG-31 Honi Légvédelem állományában.[183] A MiG-25PDSz (Honi Légvédelem) és MiG-23ML (Frontrepülő Csapatok) vadászgépek csak korlátozottan rendelkeztek a fent említett képességekkel a 4. generációs amerikai vadászgépek képességeivel összemérve. Természetesen ezek a régebbi gépek nem képesek fent és később bemutatott különleges képességekre (NCTR, SAR kép készítése, navigációs üzemmód), pusztán a légi célok felderítésére, követésére és célbefogásra voltak alkalmasak, ráadásul csak a fent említett földhátteres korlátozással.

Ameddig a hatékony repülőgép-fedélzeti radarok és a mögöttük levő számítástechnikai háttár nem álltak rendelkezésre, addig vadászgépek az alacsonyan behatoló csapásmérő gépekkel szemben korlátozott harcképességgel bírtak, különösen éjszaka. Nem voltak képesek felderíteni és követni azokat radarral, még akkor sem, ha adott esetben rövid időszakokra a földi rávezető rendszerek radarjai érzékelték azokat. A repülőgépek számára a radarvezérlésű rakétafegyverzet alkalmazásához nem voltak meg a szükséges

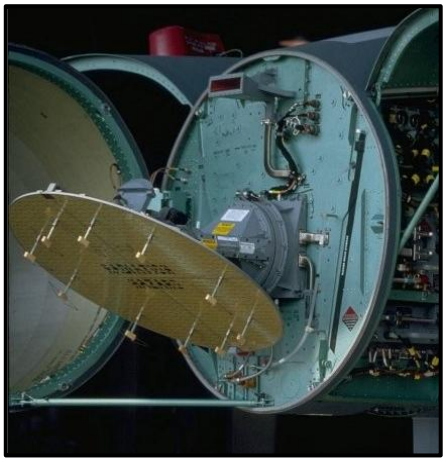
[182] *PRT – vagyis pulse repetition time, reciprok értéke a PRF (pulse repetition frequency), az impulzus ismétlési frekvencia. Bővebb magyarázatát lásd később.*
http://www.radartutorial.eu/01.basics/Pulse%20Repetition%20Frequency%20%28PRF%29.en.html
http://www.radartutorial.eu/01.basics/Doppler%20Dilemma.en.html
http://www.radartutorial.eu/01.basics/Maximum%20Unambiguous%20Range.en.html

[183] *A Szu-27Sz üzemeltetési utasítása a repülőgéppel azonos irányban repülő nagyjából F-16 repülőgép méretű cél esetén felderítési távolságára kb. 20 kilométeres értéket ad meg.*

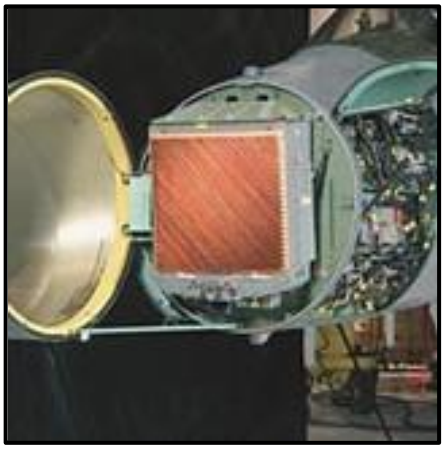
feltételek földháttérben repülő célok ellen. Ez nem csak egyszerű elfogásnál, de adott esetben klasszikus légiharc esetén is korlátot jelentett, mert manőverező és látótávolságon túl vívott légiharc esetén is előfordulhatott, hogy a célpont, amit már követésbe vettek és adott esetben rakétát is vezettek rá manőverezés közben földháttérbe süllyedt.

A ’70-es évek elején szolgálatban álló amerikai vadászgépeknél is – régebbi F-4 Phantom II változatok, F-5E Tiger, F-8 Crusader – rendkívül korlátozott, vagy inkább nem is létezett a földháttérben keresés képessége. Az évtized végére azonban mind a Légierőnél, mind a Haditengerészetnél a régebbi radarokkal operáló vadászgépeket a „*tinédzser-széria*” vadászgépei kezdték kiszorítani az F-14,[184] F-15, F-16 és végül az ’80-as évek elejétől az F/A-18 Hornet. A továbbszolgáló F-4 Phantom II változatok már csak csapásmérő szerepet töltöttek be, nem volt kiemelten fontos a légiharc-képességük további komoly fejlesztése. Persze megkapták az újabb félaktív radarvezérlésű AIM-7 Sparrow és infravörös vezérlésű AIM-9 Sidewinder változatokat, de azok alkalmazása korlátozottabb volt az új vadászgépekhez mérve.

Az 4. generációs vadászgépekben alkalmazott eszközökhöz hasonlókat csak kevés korszerűsített F-4 Phantom II kapott más országok légierőiben. Ilyen pl. a német F-4 ICE, ami az F/A-18-on alkalmazott AN/APG-65 radart kapta meg a korszerűsítés során, a görög gépek egy része és végül a török F-4E Terminator, ami a F-4 Phantom II evolúciójának lezárása. Ez a variáns 4+ generációs gépekkel egyenértékű képességek birtokában van több tekintetben is, képes aktív radarvezérlésű légiharc-rakéta és precíziós csapásmérő fegyverzet használatára is, de a gép repülési teljesítménye ettől függetlenül a ’60-as évek végét idézi.



A fent említett „célbefogással” el is érkeztünk a levegő-levegő vagyis légiharc-rakétákhoz (AAM, air to air missile). A légiharc rakétánál alapvetően két fajta radarvezérlési módot különböztetünk meg, ami rögtön négy lesz. A négy módszerből egy vezérlési módszer csak nagyon rövid ideig volt használatos, hamar túllépett rajta a technikai fejlődés, a másik igen egyedi megoldást alkalmaz, ami egyik alap módszer speciális esetének tekinthető. Ezek a módszerek kifejlesztésük sorrendjében kerülnek bemutatásra a 4.1.2 fejezetben, de ezt megelőzően még szükséges szót kell ejteni az impulzus-doppler radarok alapvető változatairól pásztázási és működési módjuk szerint.



AN/APG-70 (balra fent), AN/APG-63(v)2 AESA radar (balra lent).

A pásztázási módszerek megértéséhez szükséges egy rövid magyarázat a hagyományos elven működő radarok felépítéséről, hogy érthető legyen a különbség később a rávezetési módszerek között. A jelenleg (2017) szolgálatban álló vadászgépek döntő részén hidraulikusan (vagy elektro-mechanikusan) munkahengerekkel mozgatott (legyezett) réselt síkantennával rendelkező radarral bírnak. Az antenna által formált nyalábbot ennek segítségével irányítják, mechanikus kitérítéssel oldják meg a pásztázást. Ilyen radar például az az F-15E-n, illetve kis számban a ’80-as években

[184] *A képesség ellenére líbiai MiG-23-asok lelövésekor 1989-ben az F-14 gépek alacsony magasságra ereszkedtek le, hogy a földháttér zavaró hatása csökkenjen, mielőtt az AIM-7 rakétát indították.*
https://www.youtube.com/watch?v=ibjAv21InEY

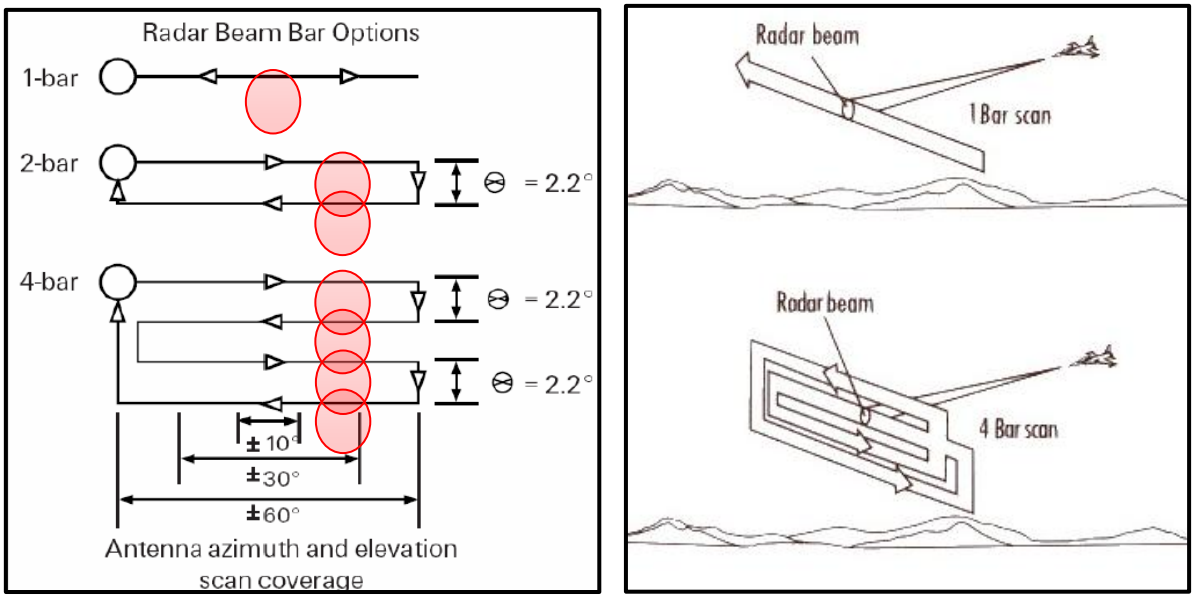
gyártott F-15C vadászgépek AN/APG-70 típusú radarja. A sárga kör alakú tárgy a képen, a radar réselt síkantennája, ez a képen erősen lefelé van kitérítve.

A radarantenna és a mozgató szerkezet működési elve hasonló ahhoz, mint amikor csuklóból pásztázunk egy zseblámpával, csak a radar nem a látható fény tartományban formáz meg egy nyalábot (valójában többet formáz, lásd később az oldalszirmok bemutatásánál), hanem az elektronikus kisugárzás, a rádiónyaláb irányát változtatják meg az antenna mechanikus mozgatásával (kitérítésével). Ezt hívjuk legyezésnek vagy pásztázásnak. Ennek a mechanikus antennamozgatásnak azonban komoly hátrányai vannak.

MIG-31 RP-31 Zaszlon (Pajzs) PESA elven működő radarja.

A mechanikus legyezésű radaroknak számottevő legyezési ideje, illetve kötött pásztázási pályája van, mert az antennamozgatásnak folyamatosnak kell lennie. A radar a legyezés során nem ugrál a pálya tetszőleges pozíciói között, emiatt nem lehetséges sem oldalszögben (balra-jobbra), sem helyszögben (fel-le) nagy tartományt gyorsan felderíteni vagy kellő gyakorisággal pásztázni a tartományok szélein. A radar balról-jobbra és jobbról-balra pásztázik sávokban, amikor egy sávval végzett, akkor új sávba ugrik, az utolsó sáv után a kezdő pozícióba tér vissza és folytatja a legyezést. A sávok száma és a pásztázott tartomány nagysága változtatható.

Az F-16C/D típuson használt AN/APG-68 radarja ± 60 fokos oldalszög tartománnyal és 4 sávban pásztázás – ez kb. 11 fokot fed le helyszögben (függőleges beállítás)– kb. 8 másodpercet vesz igénybe. Tehát ennyi idő telik el az információ frissítése között a pálya tetszőleges pontját nézve két pásztázás között. Ez egyáltalán nem kevés idő és ráadásul úgy, hogy ezzel a beállítással csak a teljes légtér töredéke van lefedve. A következő oldal tetején látható ábrán látható a pásztázási módja a hagyományos felderítő üzemmód esetén.



Repülőgép-fedélzeti radar pásztázási mechanikus legyezésű radarral. A bal felső ábrán az F-16C AN/APG-68 mechanikus legyezésű radarjának lehetséges pásztázási tartományait mutatja közepes és nagy távolságú célkereső üzemmódban, 2,2 fokonként van egy sáv, a legyezett nyaláb méretét a piros ellipszis mutatja. (Nagytengely 4,25 foknak megfelelő ívhossz, kistengely 3,6 foknak megfelelő ívhossz. A 4.4.1. fejezetben a található a nyaláb méretének számítása, annak fizikai háttere.) A jobb felső ábrán egy 4 sávos pásztázásra egy másik lehetséges sáv kiosztás látható.

Körbeforgó felderítő radarok antenna mozgatása is mechanikus legyezést jelent annak ellenére, hogy a forgás nem a hagyományos értelemben vett „legyezést" hajt végre. A hangsúly a mechanikus nyalábmozgatáson van.

A 2000-es évek elejéig a MiG-31 honi légvédelmi elfogóvadászgép kivételével minden hadrendben levő vadászgép mechanikus legyezésű radarral rendelkezett, ez alól csak egy maroknyi francia Rafale (a típus akkor még nem volt hadrafogható), illetve alig több, mint egy tucat korszerűsített F-15C Eagle vadászgépek voltak kivételek, azonban ezek eltérő alap technológiát használtak. Az F-15C a fejlettebb és sokkal komplexebb AESA,[185] addig a Rafale és a MiG-31 PESA[186] elven működő radart használt.[187]

A fentiekből következik, hogy több fajtája van az elektronikus nyalábeltérítéssel operáló radaroknak. Földi vagy hajófedélzetre telepített radarok korábban kezdték használni az elektronikus nyalábeltérítést a mechanikus legyezés helyett – vagy kombinálva a mechanikus legyezést az elektronikus nyalábeltérítést – mint a repülőgép-fedélzeti radarok, a Szovjetunióban ezek alig néhány év eltéréssel követték egymást.

Az első Sz-300PT osztály telepítése 1978/79-ben történt, ami PESA elven működő tűzvezető, illetve kombinált oldalszögben körbeforgó, de helyszögben elektronikus legyezésű 5N64 (RLO, Big Bird) típusú radarral. Az első MIG-31 ezredek hadrendbe állítására 1980/81-ben került sor PESA elven működő radarral.

Az USA-ban és nyugati államokban a vadászrepülőgép-fedélzeti elektronikus legyezésű (ESA) radarok a hajófedélzeti vagy légvédelmi rendszereken történő alkalmazásokhoz képest 1-2 évtizeddel lemaradva érkeztek. A Patriot légvédelmi rendszer a '80-as évek elején/közepén állt hadrendbe PESA elven működő radarral, az első ESA elven működő radarral ellátott vadászgép csak 2000-ben jelent meg az USA-ban, a korszerűsített alaszkai F-15 vadászgépeken, alig több mint egy tucatnyi F-15C-n, bár azt hozzá kell tenni, hogy az már a sokkal komplexebb AESA módszert használta. Az USA a vadászrepülőgépeknél a PESA fejlődési lépcsőfokot átugrotta, soha nem használt PESA elven működő radart vadászgépen. (Kivéve a légtérellenőrző repülőgépet, azokon az Sz-300PT 5N64 radarjához hasonlóan helyszögben elektronikus legyezés van.) Szintén ESA elven működő radart használt a '70-es évek végétől az AEGIS haditengerészeti légvédelmi rendszer a Ticonderoga osztályú cirkálókon.[188]

Mind az AESA, mind a PESA elektronikus nyalábeltérítést jelent, a PESA azonban lényegesen egyszerűbb módszer. A PESA és AESA módszer és technika közötti alapvető elvi és műszaki különbségek a következőek:

PESA radar

Egy sugárzó jelforrás kimenő jelét – elektromágneses hullámát – térítik el apró, passzív modulok segítségével, másodpercenként akár több százszor. Tehát a radar végezhet hagyományos értelemben vett pásztázást, a mechanikus legyezésű radarhoz hasonlóan, de annál sokkal gyorsabban, hiszen a passzív elemek elektronikus kapcsolgatása villámgyors a mechanikus legyezéshez képes. Ezzel a légtér tetszőleges térrészének letapogatása lehetséges két idő pillanat között, és ez a két pont lehet akár a két legtávolabbi pont (legnagyobb helyszög és oldalszög) is, míg a mechanikus mozgatású radarnál akár 8-16 másodperc is

[185] *Active Electronically Scanned Array*
[186] *Passive Electronically Scanned Array*
[187] *A japán Mitsubishi F-2 prototípusa már rendelkezett AESA radarral a tesztek során 1995 körül, hogy a széria gépeknél ez mikortól volt általános arról nem találtam adatot. Az F-15C gépek AESA radarjáról a linkelt írás 9. fejezetében esik szó.* https://htka.hu/2012/12/04/mcdonnell-douglas-f-15-eagle/
[188] http://htka.hu/2012/12/08/ticonderoga-osztaly/

eltelik a szélső pásztázási tartományok ismételt letapogatása között. (Ez függ attól, hogy az adott típus radarja milyen nyalábot formáz, mekkora oldalszögben, illetve hány sávban pásztázik.)[189]

Sőt, valójában a mechanikus kitérítésű radaroknál a szélső tartományok pásztázása ennél is komplikáltabb, mert ahhoz a radar antenna pásztázásának középsíkját is meg kell változtatni. Az előző oldali ábrán látható, hogy az AN/APG-68 radarral függőlegesen 4 sávos pásztázás esetén is kb. 16 fokos helyszögben keres a radar, tehát mondjuk -12 fokban (lefelé) és +12 fokban (felfelé) legyezést egy antenna helyszög beállítással nem lehetséges megvalósítani, addig ez a PESA radar számára ez nem probléma, csak a modulok használatától függ, hogy merre téríti el a nyalábot a rendszer. Az eltérítést a vezérelt passzív modulok úgy érik el, hogy a síkantenna adott részén időkésleltetéssel engedik át a rádiófrekvenciás jelet és ettől az eredő hullámforma iránya megváltozik, lásd a linkelt animáción.[190].

Amennyiben a célok felderítése már megtörtént, akkor azok nyomon követése megoldható akkor is, ha a radar a légtér csak azon részének ismételt pásztázását hajtja végre, amiről már tudjuk, hogy ott nem tartózkodik cél. Ezzel jelentős idő takarítható meg a mechanikus pásztázáshoz képest, ami mindig a teljes légteret tapogatja le attól függetlenül, hogy mennyi és hány célt érzékelt és szükséges követésbe venni. Az előző oldali ábrán a 4 sávos pásztázásnál, ha például a felső sáv közepén és az alsó sáv bal szélén érzékel a radar két célpontot, akkor a teljes pásztázási ciklusidejével azonos idővel frissül az információ a célokról. Ehhez képest a PESA elven működő radar a felderítés után néhány tűnyaláb „beszúrásával" ezt a két célt követi, méri irányukat és sebességüket, de a fennmaradó időben a légtér tetszőleges részén végezhet keresést a radar. Másodpercenként százas nagyságrendű nyalábformázással látható, hogy másodperces vagy tizedmásodperces információ frissítés is lehetséges a keresési képesség megtartása mellett.

A MIG-31 rendelkezett a világon először ilyen elven működő radarral a repülőgépek közül a '80-as évek legelején. Akkori szemmel nézve egészen elképesztő technikai vívmány volt, páratlan volt a maga nemében a repülőgép-fedélzeti radarok között, hátránya viszont hatalmas mérete és tömege volt a szükséges igényelt képességek miatt, ezért került a vadászgépek között óriási MiG-31-re, ami kellően nagyméretű volt hozzá.

AESA radar

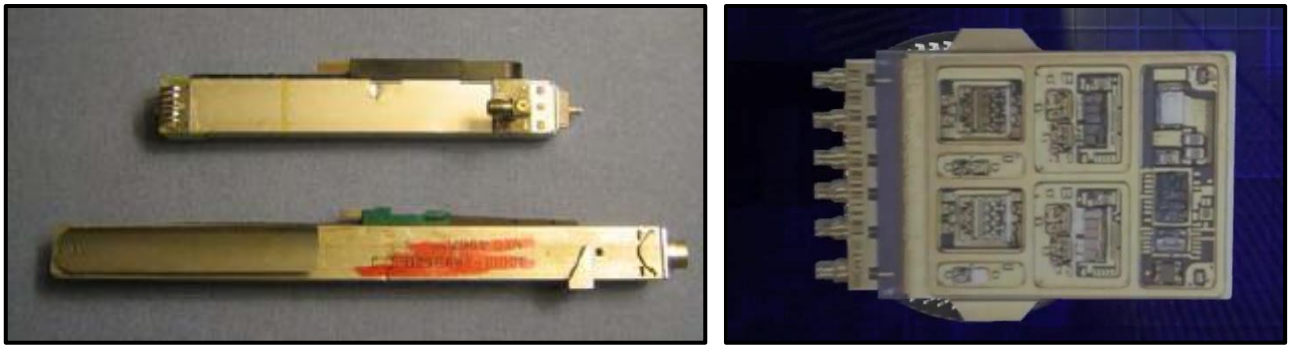
Több száz, vagy több ezer apró modulból áll a radar, ahol minden egyes modul maga állítja elő az adott rádiófrekvenciás jelet, nem egyetlen nagy sugárforrás van, mint a PESA esetén. Igazából tehát nem egy nagy radarantenna van, hanem sok apró sugárzó teljesítménye adódik össze. Emiatt sokkal rugalmasabban alkalmazható, mint a PESA, egészen más dimenziót jelentenek az ezen az elven működő radarok még a PESA elven működőkhöz képest is, nemhogy a hagyományos mechanikus antennalegyezéssel működő radarokhoz képest.

Jelenleg (2017) nagyon kevés állam képes létrehozni ilyen elven működő repülőgép-fedélzeti radart. (Szárazföldi vagy hajófedélzeti telepítésű radarok esetén a méretből adódó használt hullámhossz miatt könnyebb a feladat AESA elven működő radar megalkotása.) Pillanatnyilag csak az USA által gyártott (és exportált) vadászgépek használnak ilyen elven működő radarokat számottevő mennyiségben. AESA elven működő radar található a F-18E/F Super Hornet, EA-18G Growler, F-22A Raptor típusokon illetve a rendszeresítés alatt álló F-35 összes változatán, továbbá a Golden Eagle korszerűsítési program fejlesztésein átesett F-15C/D vadászgépeken. Az USA és a japán F-2 vadászgépeken használt radarokon kívül minden más nemzet által fejlesztett AESA radar fejlesztési stádiumban vagy az első néhány prototípus tesztelésénél tart

[189] https://youtu.be/yynlGq38Dzq?t=8m11s *Videón, hogy hogyan kell az elektronikus nyalábeltérítést elképzelni.*
[190] http://www.radartutorial.eu/06.antennas/pic/if3.big.gif

széria gépeken. Szó nincs napi szintű gyakorlati használatról az aktív harci repülő alakulatoknál több tízezer vagy százezer órás tapasztalattal. (A néhány Rafale vadászgépen levő AESA radar említésre is alig méltó mennyiségileg.)

Első lépésben az PESA elven működő radarokkal érdemes összehasonlítani a fejlettebb AESA-t. A PESA elven működő radarok előnye az, hogy lényegesen egyszerűbbek és olcsóbbak, mint az AESA, nem véletlenül előzték meg azokat kb. két évtizeddel. A PESA hátránya, hogy egyszerre csak egy teljesítménnyel sugározhat hiszen egy adó antenna van, a hagyományos radarok is jellemzően állandó teljesítménnyel sugároznak. Az ASEA radaroknál a teljesítmény szabályozás ellenben megoldott, a kis modulok egyenként azonos teljesítménnyel sugározhatnak, de azok mennyiségének változatával, egyszerű be-ki kapcsolással az AESA több ezer modulja lényegében fokozatmentes teljesítmény beállítást tesz lehetővé, nem egy sugárzó teljesítményével kell teljesítmény szabályozást végezni. A régebbi radarok esetén néhány fix teljesítmény szint volt állítatható legfeljebb. A lenti képen jobbra egy (aktív) modul látható, balra egy PESA radar fázisfordító moduljának elektronikája. Első pillantásra is nyilvánvaló a kettő közti különbség komplexitásban.



Az SPY-1A és SPY-1B PESA elven működő radar fázistoló elemei balra, jobboldalt az AN/APG-81 AESA elven működő radar egy eleme. Szemre is látható a két technológia közötti eltérés, az AESA sokkal bonyolultabb.

Az AESA radaroknál a PESA-val szemben a hűtés problémásabb, hiszen igen nagy teljesítményt lehet igen kis térrészbe pumpálni, ezen felül maga az egész technológia sokkal komplexebb, emiatt rendívül drága, nem csak hardveres, hanem szoftverfejlesztési szempontból is. A korszerűbb vadászgépeken használt fedélzeti AESA radarok ára nagyságrendileg akár 15-20 millió USD-t is elérheti, ami típustól függően a repülőgép árának akár 15-25%-át is eléri. (Nagyságendileg inflációval korrigálva a 20 milliós ár összemérhető a ’70-es évek végi F-16A Block 1 árával.)

A hagyományos mechanikus legyezésű radarok egyszerre csak egy üzemmódban képesek üzemelni, vagy levegő-föld üzemmódban, vagy levegő-levegő üzemmódban vagy navigációs üzemmódban. Tehát nem lehetséges egyszerre földi- és légi célokat támadni SAR radarkép készítése közben. Az AESA radar apró moduljaival időosztásos elven másodpercenként több százszor képesek eltérő impulzus ismétlési idővel (PRF) és frekvencián sugározni. Ebből adódik ki a radar látszólagos párhuzamos üzeme, ami persze a pilóta szemszögéből valódi párhuzamos üzemmódként jelentkezik. Persze ezek után felmerülhet a logikus kérdés, hogy a mechanikus legyezésű radarok miért nem képesek ilyen üzemre.

A válasz a fentiek után egyszerű, azért nem képesek erre, mert az időosztásos módszer a radar kötött pásztázási pályája miatt nem alkalmazható. Az AESA és PESA minden időpillanatban a radar által pásztázható térrész egy tetszőleges pontjára lát rá, erre a mechanikus pásztázás egyszerűen nem képes, tehát nem lehetséges értelmes információt kinyerni a legyezési módszer korlátai miatt. Parasztosan fogalmazva, a elektronikus nyalábeltérítéses radar bármikor képes ott elkezdeni a pásztázást, ahol

abbahagyta korábban, továbbá a váltás az egyes üzemmódokhoz tartozó nyalábok között milliszekundum nagyságrendű időt vesz csak igénybe.

Az AESA esetén azonban nem csak a kisugárzott energiával variálnak, képesek LPI[191] üzemmódra, ami megnehezíti, vagy lehetetlenné teszi az ellenfél számára a radarkisugárzás érzékelését. Minden radar úgy működik, hogy egy ideig ad (sugároz), aztán vesz, a visszaérkező visszhangot érzékeli. A vevő „kapu" addig van nyitva, (mikro szekundum nagyságrend) amíg a radar hatótávján belülről visszavert jelek érkezhetnek. Az LPI üzemmóddal működő radar számítógépe megméri az ellenfél radarjának paramétereit, és azokba a rövid időtartamokra időzíti a saját kisugárzását, amikor a másik vevője zárva van, a besugárzásjelzővel együtt.[192] Ugyanis a besugárzásjelző-rendszer (RWR)[193] is szakaszosan működik, mivel a saját radar visszavert jelére is jelezne, ha folyamatosan üzemelne. Ehhez irgalmatlan számítástechnikai kapacitás és megfelelő hardver (maga a radar és a mögötte levő informatikai rendszer képessége) szükséges, a Red Flag gyakorlatok beszámolói szerint működik a módszer az USA legkorszerűbb vadászgépei ellen is.

Igen valószínű, hogy csak AESA vagy PESA radarral működik az LPI üzemmód, mert ehhez is olyan tetszőleges oldal- és helyszög pásztázási képességre van szükség, mint a látszólagos párhuzamos üzemhez. A térrész ugyanazon vagy kvázi ugyanazon részére kell eltérően világítani a radarral, amire a mechanikus pásztázású radar célkeresés közben nem képes. Cél követésekor, mivel már ismert annak sebessége/távolsága ezért radar által kibocsájtott célkövető impulzusok teljesítménye, modulációja, a közöttük eltelt idő, és frekvencia variálása elvégezhető úgy, hogy a célt továbbra is követésben maradjon. A besugárzásjelző (ezekről később lesz szó) több impulzust is vár mielőtt riaszt, hogy ne minden szóródó vagy fals jelre adjon riasztást. Az LPI üzemmódra képes radar ezeket a szó szerint kiskapukat használva éri el, azt, amit.

Az elektronikus nyalábeltérítésnek a számtalan előnye ellenére hátránya is van. A visszaverődött jel nem merőleges antenna felületre érkezik vissza, a radar érzékenysége (észlelési távolsága) ezért nem állandó helyszög (azimut) függvényében változó, ez az ára a villámgyors pásztázásnak és az összes többi képességnek. Mind az AESA, mind a PESA technikára vonatkozik ez a hátrány, ez azonban elfogadható annak fényében, hogy a radar adott helyszög beállításhoz tartozó teljes keresési tartományát sokkal gyorsabban pásztázza végig a radar. A mechanikus antennamozgatású radaroknál ez akár 8-16 másodperc is lehet attól függően, hogy milyen széles szögtartományban (azimut) és hány sávban (bar) pásztáznak velük, lásd korábban. A mellékletek között megtalálható videóban (egy szimulátorhoz készített oktató videó) látható, hogy a mechanikus legyezésű radarok alapvetően hogyan működnek.

A mechanikus pásztázású radarok valójában a légtér csak egy igen kis részét világítják meg és ugyanazon légtér pásztázási ideje között igen hosszú idő telhet el, ez lehetővé teszi, hogy irányát és magasságát gyorsan változtató gép átcsússzon és közel kerüljön az őt kereső vadászgéphez. Ezzel összevetve a valóban teljes pásztázási zóna néhány másodperc az AESA/PESA radaroknál és a már felderített célok követése nagyságrenddel hatásosabb a tűnyalábokkal történő célmegvilágítás miatt. Ráadásul a célok sebességtől és

[191] *low-probability of intercept, http://www.radartutorial.eu/02.basics/rp17.en.html*

[192] *Erre sajnos forrásom nincs, ezért ezt az állítást kéretik fenntartásokkal kezelni. Ettől még maga a képesség létezik, a Red Flag gyakorlatokon az F-22 Raptorral szembeszálló gépek pilótái arról számoltak be, hogy lényegében fogalmuk nem volt az esetek többségében, hogy a Raptorok merre járnak. Sem a saját sem az AWACS radarja nem érzékelte a Raptort, illetve a besugárzásjelző még akkor sem figyelmeztetett azokra, amikor a Raptorok már látótávolságban beültek a nem éppen gagyi szintet képviselő USAF és US Navy által használt vadászgépek mögé.*

[193] *Radar Warning Receiver*

fontosságától függően nem is feltétlen azonos sűrűséggel történik a megvilágítás, ezzel is lehet erőforrást spórolni. A lenti videón látható egy teszt az F-35-höz kifejlesztett AN/APG-81 típusú radarral még 2006-ból.

https://www.youtube.com/watch?v=VFXJuHYvFAg

Ezzel szemben az AESA radar párhuzamosan képes kis kúpszögű (kb. 1-2 fokos) tűnyalábokkal „beszúrni" és követni a már felderített célokat, de a radart alkotó sok kis mini antennával képes különféle nyalábokat formázni, azokkal pásztázni is párhuzamosan, „egy időben", az időosztásos módszerrel az emberi érzékelés határai miatt tűnik úgy, hogy egyszerre teszi mindezt a radar. Ezzel elérhető az, hogy a már felderített célok esetén fizikailag folyamatosan méri és követi a célt egy tűnyalábbal, de közben további célokat is felderít. A linkelt videón az is látszik, hogy a felderített céloknál gyakorlatilag azonnal „track"-et (sebesség és irány adattal rendelkező céljel) képez, ami azt jelenti, hogy többször is megvilágította a célokat a radart, több mérésből számolt irányt és célsebességet a radar.

A mechanikus legyezésű radarral ezzel szemben csak minden egyes teljes letapogatást követően ad frissített információt a felderített célokról, a kettő között legfeljebb extrapolációval becsül pozíciót a rendszer, továbbá az első becsléshez is több másodperc szükséges még szűkített oldalszög és helyszög legyezési beállítások használata esetén is.

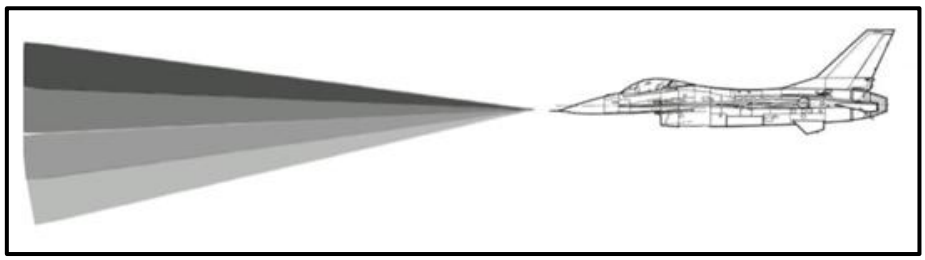
Az AN/APG-81-ről linkelt videón 3 másodperc alatt 23 db célból 19 db-ot észlelt és követésbe vett a rendszer, a fennmaradó további néhány célhoz ennél hosszabb idejű legyezés volt szükséges, ezek valószínűleg kisebb visszaverő felülettel (reflexióval) bíró célok voltak, több pásztázás kellett az egyértelmű észleléshez.[194] A célok ráadásul helyszögben szinte a teljes tartományt lefedik, illetve 20 és 80 tengeri mérföld feletti távolságban is vannak célok, ami nagyobb kihívás elé állítja a radart. Még ha feltesszük is, hogy a teszten csak egy szűk magassági tartományban keresett célokat a radar – amit valószínűtlen, mert soha nem tenné meg ennyi cél azt a szívességet, hogy szűk magassági tartományban repüljön – akkor is villámgyors a rendszer felderítési képessége és célkövetési képessége bármilyen mechanikus legyezésű radarhoz képest.

Nem minden elektronikus pásztázású radar képes a fent említett gyors célkeresésre ennyire széles tartományban, mert nem mindig a nagy tartományban történő gyors letapogatás a cél, hanem csak a szimultán célleküzdés biztosítása az ESA módszer használatával. Olcsóbb és célspecifikusabb eszköz is készíthető, lásd később az Sz-300 légvédelmi rakéta-rendszer tűzvezető radarjánál.

A fenti paraméterek ismertetése után felmerülhet a kérdés, hogy hogyan kerülhet bármilyen célpont közel egy olyan vadászgéphez, ami viszonylag jó radarral bír? A ma (még) elterjedt mechanikus antennakitérítéssel dolgozó radarok a videóban látható módon működnek.[195] A videó egy harci repülőgép szimulátorhoz készült, de ettől függetlenül jól bemutatja az általános eseteket. A probléma egy érdekes, kettős jelenségen alapul, ami a már korábban említett zseblámpás pásztázási analógiával jól magyarázható. A zsebláma egy néhány méterre levő falon kis területen, de nagyon nagy fénnyel világítja meg a felületet. Nagyobb távolságban a fénycsóva széttart, nagyobb felületet, de sokkal halványabban világít meg. Ez logikus, hiszen a teljesítmény állandó, akkor a felületen jelentkező intenzitás kisebb. Ez a rádióhullámok esetén sincs másként.

[194] *A lokátorkezelők, illetve az automatikus rendszer 3 egymás utáni „célbeütés" alapján adnak számot a célnak.*

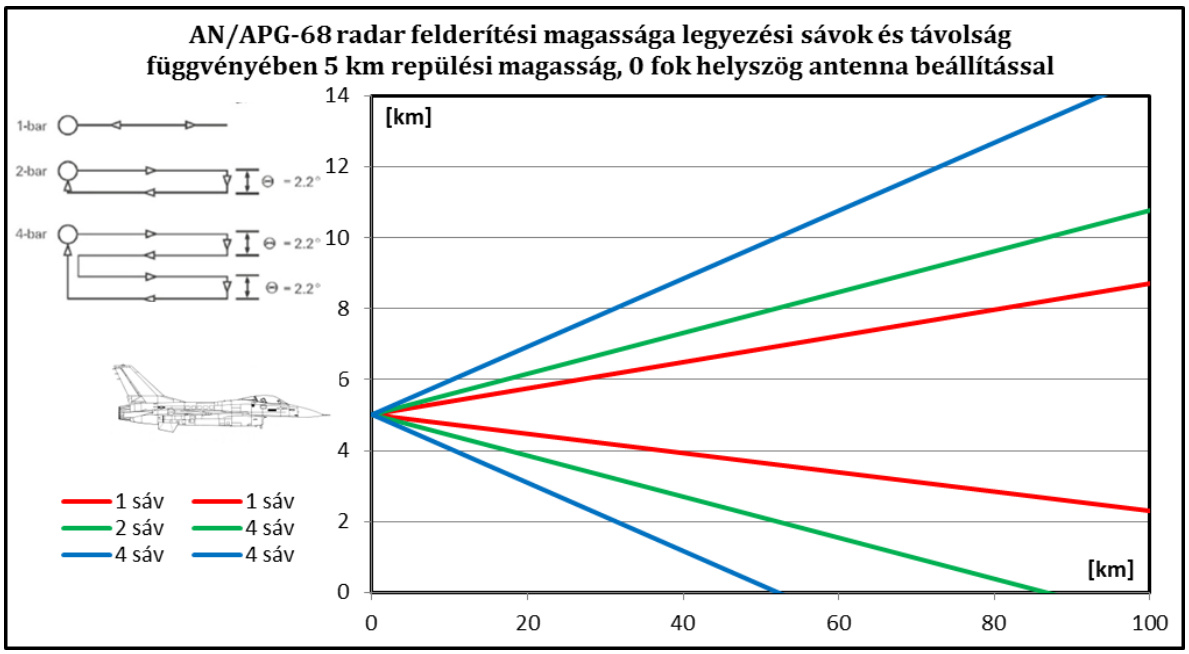
[195] https://www.mediafire.com/#hcbawpcmqlhul *Magyarul feliratozású videó, 7.zip programmal tömöríthető ki, lent az online elérhető angol változat.*
http://www.youtube.com/watch?v=E4klLDqCGFs&list=PL485D1BC9820873D7&index=6



AN/APG-86 radar nagy távolságú kereső üzemmódban 1, 2 vagy 4 sávban pásztázhat. Az antenna helyszög (fel-le) szerinti beállításával a nyaláb fel-le irányokban állítható.

A radarnyaláb a kibocsátó ponttól távolodva egyre szélesebb, ez a fenti ábrán látható. Ez nagyon jó dolognak tűnik elvben, mert a radarnyaláb felderítési zónája nagyobb lesz a távolsággal. A helyzet viszont nem ilyen örömteli, két dolog miatt sem. Az első egyszerűen abból a tényből fakad, hogy az alapvető hullámjelenségek miatt az elektromágneses sugárzás szóródik. Ez minimum négyzetesen erősödő hatás, hiszen a rádióhullám kibocsátás után a célig megy, majd visszaverődik a célról, tehát kétszeres utat tesz meg a felderítési távolsághoz képest. Ezen felül látható, hogy ha szélesebb a nyaláb, akkor a távolság növekedésével ugyanaz a kisugárzott energia nagyobb térrészt „tölt meg", tehát a jelerősség gyengül. (Pont úgy, mint a Nap elektromágneses sugárzási teljesítménye a távolság növekedésével.) Emiatt van az, hogy nagyobb távolságon a célpont észrevétlen maradhat, főleg ha földháttérben repül, közelebb érve viszont nem esik már bele a szűk nyaláb pásztázási tartományába.

Ahogy közelebb ér a célpont a radarnyaláb keskenyebbé válik a kibocsátó gép irányából. Gyors magasság változtatással több gép esetén egyszerűen lehetetlen mechanikus pásztázású radarral követni minden célt, hiszen a radar adott esetben csak 4-16 másodpercenként (oldalszög és sávok számától függ) pásztázza ugyanazt a részét a légtérnek és több beütés kell ahhoz, hogy egy visszaverődést célnak értékeljen a rendszer. Félaktív rakéták alkalmazása esetén még idő sincs leküzdeni minden célt, főleg ha azok komoly számbeli fölényben vannak, mert csak egyesével lehet indítani és célra vezetni ilyen rakétákat – bár egy célra több rakéta is indíthat – ezért szimultán célleküzdésre alkalmatlanok.



AN/APG-68 radar legyezési tartománya helyszögben. Látható, hogy még négy sávos keresésben 30-40 km távolságban 5 km magasan repülve is azt jelenti, hogy alacsony és kis magasságban érkező célokat egyáltalán nem lát a radar. Az antenna helyszöge állítható, de el kell dönteni, hogy a légtér melyik részét pásztázza a radar. Ez az ábra még így is csalóka, mert a pásztázó repülőgéphez képest mutatja a sávokat, de az halad előre. A földről nézve álló koordináta rendszerben ez azt jelenti, hogy ezek a légtér szeletek mozognak előre.

A felderítést tovább nehezíti, ha nem áll rendelkezésre légtérellenőrző repülőgép vagy tisztességesen kiépített földi rávezető radarrendszer jelentett támogatás, akkor nagyon széles tartományban kell pásztázni, több sávban és nagy oldalszög kitérítéssel.

Az erős radar kisugárzás hátránya, hogy az ellenfél a besugárzásjelző segítségével akkor is tudja, hogy az őt/más célpontot kereső gép merre lehet, amikor a kereső gép még radarral nem észlelte akár egyiket sem. A besugárzásjelző-rendszer antennáinak is van érzékenysége, ráadásul az besugárzásjelző-rendszer antennái kisebbek, mint a radarantennák, mert csak így tudják a körkörös lefedettséget biztosítani. A kisebb méret nyilvánvalóan az érzékenységét is befolyásolja a rendszereknek, ahogy azt is, hogy egyáltalán milyen széles spektrumban képesek érzékelni és osztályozni különböző forrásokat. (A besugárzásjelző-rendszerekkel a 4.4.1.4. fejezet foglalkozik.)

A háborúban a vadászgépek általában igyekeznek minimalizálni a saját radarjuk használatát, ha van más lehetőség a légi helyzetkép fenntartására, legalábbis ez lenne a kívánatos több szempontból is.[196] Amennyiben AWACS vagy megfelelő földi irányítás rendelkezésre áll, akkor gyakorlatilag csak a radarvezérlésű légiharc-rakéta célravezetési (rávezetési) idejére kapcsolják fel a saját kereső és tűzvezető radarjukat vagy még arra az időre sem. Ma már az aktív radarvezérlésű légiharc-rakéták esetén (pl. AIM-120 AMRAAM) lehetséges, hogy nem a rakétát indító repülőgép, hanem egy más forrásból származó, adatkapcsolaton keresztül kapott célkoordináta segítségével biztosítja szükséges pályakorrekciós jeleket a rakéta számára az indító gép, ami nem használja a saját radarját. Ennek a módszernek a korlátja a légiharc rakétán levő jelet fogadó antennák jelfogadási szöge, ami ± 30-60 fok körüli érték, tehát a másik gép relatív helyzete nem lehet túlságosan eltérő az indító gépéhez képest. Az pályakorrekciós jelet tehát alapvetően az indító repülőgép sugározza, de elvi szinten az is elképzelhető, hogy még a pályakorrekciós jelet is másik gép biztosítja. (A jelfogadási tartomány nagysága a rakéta típusától függ.)

Amerikai gyártású vadászgépeket leszámítva egyetlen más állam sem gyártott számottevő mennyiséget olyan vadászgépekből, amik ilyen elven működő radarral rendelkeznek. Bár az USAF állományában nincs jelenleg (2017) elektronikus nyalábeltérítéses radarral rendelkező F-16 változat, de az Egyesült Arab Emirátusokba exportált F-16 Block 60 is AESA radarral került szállításra, ahogy az exportált ausztrál F/A-18E/F Super Hornetekben is ilyen elven működő radar van beépítve, illetve az összes F-35 változatba is. Az USAF F-15E flottájába érdekes módon később került korszerűsítés során AESA radar, mint több F-15E export változataiba, például a dél-koreai F-15K, a szingapúri F-15SG, vagy szaúd-arábiai F-15SA változatokba.[197]

A radarok RWS, TWS, VS és egyéb üzemmódjaival a mellékletek között található, az Aranysas magazinban megjelent „Ha rövid a kardod” című cikksorozat foglalkozik. A benne található információk főleg mechanikus legyezésű radarral rendelkező, 4. generációs vadászgépekre vonatkoznak. A lenti linken az F-15E fedélzeti radarjának néhány üzemmódjáról találhatóak adatok.[198]

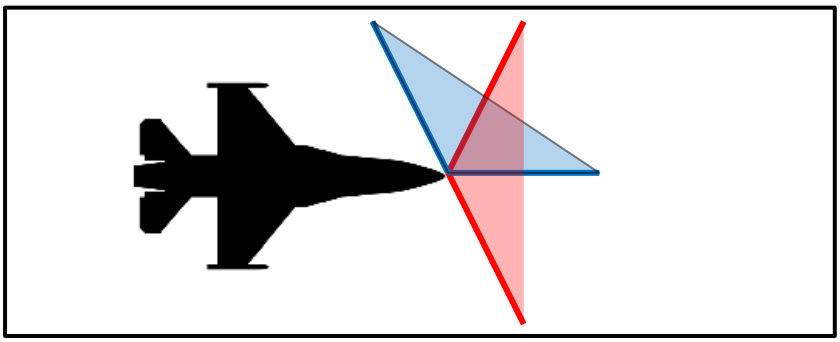
Léteznek hibrid megoldást használó repülőgép-fedélzeti radarok is, ahol az elektronikus nyalábeltérítésen felül az antenna mechanikus kitérítése továbbra lehetséges, de ezt nem folyamatosan legyező üzemben teszik. Ezzel elérhető, hogy a repülőgép haladási irányához képes részben hátrafelé is legyezzenek a radar nyalábbal, de ezt a tartományt már elektronikus legyezéssel érik el a mechanikus

[196] *1999-ben volt AWACS az Allied Force hadművelet alatt, mégis az F-15C-k folyamatosan működtették a radarjukat és nagyokat vitatkoztak az AWACS légtérellenőrzőkkel. Hpasp kiegészítése.*

[197] *Ez azt jelenti, hogy egyes exportált F-15 és F-16 változatok fejlettebbek voltak, mint az USA által hadrendben tartott gépek.*

[198] http://www.f-15e.info/joomla/hu/technology/avionics/65-radar-system

kitérítésen felül, A lenti ábrán ez látható. (Az F-16 szimbólum képnek csak szemléltető funkciója van, a típuson nincs ilyen képességgel rendelkező radar.)



A példában szereplő hibrid radar rendelkezzen ± 60 fokos maximális mechanikus legyezési és ± 60 fokos maximális elektronikus nyalábeltérítés képességgel. Ezzel a gép hossztengelyéhez, vagyis haladási irányához képest maximálisan a ± 120 fokos irányban (oldalszögben) is kereshet és követhet célt a radar, de ez abszolút legyezési és nem az egyidejű villámgyors pásztázási korlát. Balra, -60 fokos mechanikus kitérítés esetén elektronikusan -120-0 fok között pásztázhat a radar, közép beállításnál ± 60 fokban, de ettől még nem képes -120 és -120 fokban tized másodperces időtartományon belül pásztázni pusztán az elektronikus legyezési tartomány középvonalának elforgatásáról van szó. Ez a képesség harcászatilag számottevő előnyt jelent, mert nem szükséges közeledő aspektussal repülni a célokhoz rakéta rávezetés alatt, akár beaming manőver végrehajtása közben is követhetőek célpontok, illetve őrjáratozás közben forduló közben is nagyobb terület tartható ellenőrzés alatt, csökken a felderítési holtidő adott irányban.

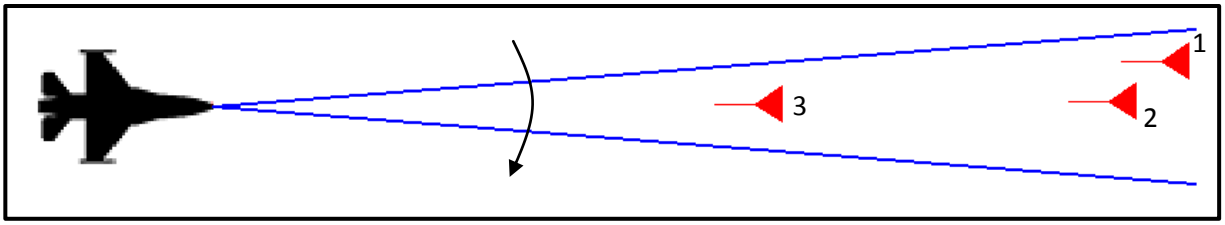
A mechanikus legyezésű konstrukció meghibásodásközi üzemideje egyes típusokon ma már rosszabb a hosszabb múltjuk és nagyságrendileg több összegyűlt üzemóra és tapasztalat ellenére, mint az elektronikus nyalábeltérítéses (legyezéses) típusoké, amik elektronikai úton oldják meg a legyezés problémáját.

Lássuk röviden a légvédelmi rendszereket. Az Sz-300 légvédelmi rakéta-rendszer családnál használt tűzvezető radarok (5N63 RPN, Flap Lid) bár PESA elven működnek a közepes és nagy magasságú célpontok felderítését külön impulzus üzemű (5N64 RLO, Big Bird, export változatnál SzT-68U), a kismagasságú célok esetén folyamatos hullámú (CW) lokátorokkal (76N6 NVO, Clam Shell) oldották meg. Az RPN esetén a tűnyaláb használatának lényege, hogy a légvédelmi rendszer célfelderítő radarja által már felderített célokat a tűvezető radar képes villámgyorsan követésbe venni, akár 6 darab célpont szimultán követésére is képes volt a tűzvezetés mérési követelményeinek eleget téve. Viszont, ha bármilyen okból kiesett volna a felderítő radar (és az adatkapcsolat sem állna rendelkezésre), akkor a tűzvezető radarral a célfelderítés korlátozott, mert az körkörös felderítésre alkalmatlan volt. A szovjet-orosz honi légvédelmi, illetve a közepes és nagy hatótávolságú csapatlégvédelmi légvédelmi rakéta-rendszerek külön felderítő és tűzvezető radart használnak, lásd később a 6. fejezetben.

A legkorszerűbb tűzvezető radarok ma már mind elektronikus nyalábeltérítéses radarral dolgoznak, és a felderítő radaroknál sem ritka ez a megoldás, de jellemzően csak helyszögben (fel/le) elektronikus nyalábeltérítésesek, körkörösen továbbra is mechanikus legyezésűek. Példa ez utóbbira az AN/APQ-64 Sentinel vagy az Sz-300PT légvédelmi rakéta-rendszernél már említett 5N64 (Big Bird) radar.

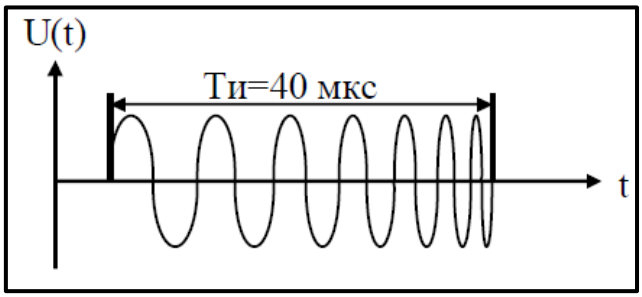
4.1.1.2. A nyalábformálás és távolságmérés korlátai

A fentiekben láthattuk azt, hogy a radarok nyalábjának számottevő szélessége van, főleg a távolság növekedésével. Ez azzal jár, hogy egymáshoz közel repülő célpontok esetén a nyalábban egynél több célpont is lehet sőt, szélsőséges esetben egymáshoz közeli és távolabbi célpontok is lehetnek. A lenti ábrán egy ilyen elképzelt eset látható. A közeli célpont (3 jelű) megkülönböztetése a távolabb levő kettőtől nem túl nagy probléma, erre már a korai radarok is képesek voltak, az egymáshoz távolságban és helyszögben közel levő célok szétválasztása jelenti az igazán komoly kihívást.



Oldalszögben a célok helyzete pontosabban meghatározható még akkor is, ha azok egy nyalábon belül vannak, hiszen mechanikus legyezés esetén azok egy ideig tartózkodnak a nyalábon belül. Ha a radar balról jobbra pásztáz, akkor először az 1-es lép be a nyalábba, majd az hagyja el és mivel a távolság ismert a nyalábszélességből meghatározható az – még ha azok közötti pontos távolság nem is – hogy egynél több cél van az pásztázott légtérben.

Az egymáshoz közel levő célpontok távolság szerinti megkülönböztetése az impulzuskompresszióval[199] lehetséges. Mivel a kisugárzott impulzus hossza egyben meghatározza a radar távolsági felbontását is – tetszőlegesen hosszú ideig sugározni nem is lehet az antenna legyezése és a PRT/PRF szükségessége miatt ezen korlátok között kellett valami kitalálni. A megoldás az impulzus kompresszió, ahol a kiadott „hosszú" impulzuson belül is lehetséges távolságot meghatározni. A kisugárzott impulzuson belül a radar műszaki korlátait figyelembe véve nem állandó frekvenciával, hanem egy jól meghatározott karakterisztika szerint változtatják a sugárzási frekvenciát. Ez frekvencia-módosítás azt jelenti, hogy két közeli céljel esetén szétválik a két visszakapott impulzus, hiszen nem egyszerre érkeznek vissza, tehát időben más eltolás lesz a frekvencia-változások között, ezt lehet mérni. A 9K37M Buk-M1 rendszernél például lineáris frekvencia-modulációt végeztek az impulzusban.



Az impulzuskompresszió alapelve, frekvencia-modulációval.

Érdekes módon a mechanikus legyezésnek előnye van a közeli célpontok szétválasztásánál, mert a mechanikus legyezés azt jelenti, hogy kvázi végtelen sok pontban – azért a PRF/PRT miatt itt is diszkrét időközönként van mérés miközben a radar legyez – képes mérni, ezzel szemben a fázisvezérelt radarok fix antennarácsa elemeinek kombinálással nem lehet ¼~⅓° foknál pontosabban léptetni sem oldal sem helyszögben a nyalábot. Tehát ez eleve meghatározza az oldalszög felbontási képességet, ami nagy távolságon (100 km+) már több száz méter is lehet.

[199] http://www.radartutorial.eu/08.transmitters/Intrapulse%20Modulation.en.html

Emiatt a légiharc és légvédelmi rakéták esetén egymáshoz közel levő célpontoknál a célok leküzdése adott estben problémás lehet, bár azt hozzá kell tenni, hogy harcászati vadászgépek légiharc alatt ritkán repülnek egymáshoz képest néhány száz méternél közelebb.

A több repülőgép vagy más célpont által képezett radarkeresztmetszet közepére fog célozni a rendszer, amíg az fel nem tudja bontani a célokat, akkor a legnagyobb radar visszaverő felülettel (radarkeresztmetszet, lásd később) rendelkező célpontot célozza meg a rakéta. Az 1995-ben félaktív 2K12 Kub rendszerrel lelőtt Scott O'Grady-re esetén az első indított rakéta a két egymáshoz viszonylag közel levő F-16-os között repült el, és csak a második talált.

A kezdeti radarok felbontási korlátja, illetve a nagy hatótávolságú légvédelmi rakéta-rendszereknél valószínűleg ezért (is) használnak mind a mai napig hatalmas tömegű harci részeket, hogy ilyen célok közé lőve is esély legyen azok megrongálására és megsemmisítésére.

Vadászgépeken az impulzuskompresszió nyugaton a ’80-as évek elején jelent meg – F-16 Block 25-ön már biztosan rendelkezésre állt – a földi telepítésű radaroknál a szovjet oldalon is megjelent a ’80-as évek közepén, pl. a fent említett 9K37M Buk-M1 esetén.

4.1.1.3. Szárazföldi és vízfelszíni célok felderítése és azonosítása

A fedélzeti számítógépek teljesítményének növekedésével és azok segítségével a földi célok keresése és azonosítsa terén is nagy előrelépés történt, ennek fő eszköze a SAR (Synthetic Aperture Radar – szintetikus apertúra) üzemmód. Az elv működőképességét már az ’50-es évek végi tesztek visszaigazolták, [200] harcászati repülőgépeken a SAR radar üzemmód azonban csak ’80-as évek elején/közepén jelentek meg elsőként.

A lényege a módszernek, hogy nagyméretű antenna használata helyett egy virtuális antennarácsot hoznak létre a felbontás növeléséhez. Minél nagyobb antennával dolgozik egy rendszer, annál jobb felbontású „képet” ad, a repülőgépek mérete viszont erősen behatárolja a beépíthető antenna méretét. A nagy trükk az, ahogy a virtuális antennarácsot létrehozzák (szintetizálás). Ahogy a repülőgép halad előre, a radar meghatározott időközönként végrehajt egy pásztázást. Minden pásztázásból nyert jelet eltárolnak – ehhez kell gyors számítógép és sok memória – így egy vonal mentén előrehaladva lesz N darab eltárolt visszaverődés. Ezzel az N darab jellel egy hosszú virtuális antennát lehet létrehozni, ami rendkívül jó felbontóképességet biztosít. A virtuális antennarács mérete akkora, hogy fizikailag lehetetlen akkora méretű antennát építeni, km-es léptékről van szó.

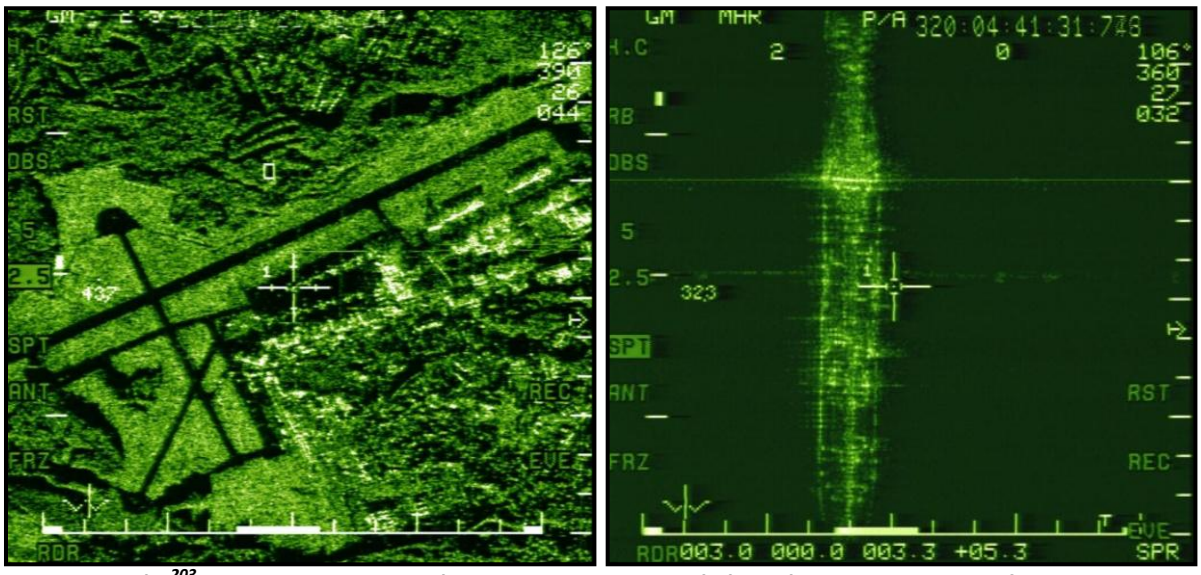
Már a ’80-as évek közepén 20-30 km-es térképezési távolsággal 3-6 méteres felbontást sikerült elérni az amerikaiaknak az AN/APG-70 radarral az akkori, mai szemmel nézve megmosolyogtató számítástechnikai kapacitással.[201] Ez a felbontás azt jelentette, hogy ekkora távolságból a földön egymás mellett álló repülőgépek elkülöníthetőek voltak, egy teherautó- és egy repülőgép megkülönböztethető volt egymástól. A módszernek azonban vannak korlátai, a radart használó repülőgép nem repülhet pontosan a célpont felé a SAR kép készítése idején, annak előre felé nézve vakfoltja van.[202] (A link hasznos a többi radar üzemmód általános megismeréséhez is.)

---

[200] http://encyclopedia.thefreedictionary.com/Synthetic+Aperture+Radar *A világ első SAR radar képe is megtalálható az oldalon.* https://en.wikipedia.org/wiki/Synthetic_aperture_radar

[201] *Persze ezek célhardverek voltak, de ’90-es évek eleji kereskedelmi forgalomban kapható PC-k számítási kapacitása nagyobb volt pusztán a számszerű műszaki paraméterek terén, mint a világ legkorszerűbb akkori vadászgépein.*

[202] http://www.f-15e.info/joomla/hu/technology/avionics/65-radar-system



Két SAR radarkép.[203] A baloldalin egy reptér a jobboldalin egy hajó látható, csak nem könnyű felismerni avatatlan szemnek, a képek APG-76 radarral készültek, ez a '90-es évek technológiai színvonala. A linkelt videón az F-16C Block 25 változat felbontása látható a '80-as évek közepén. [204]

A másik hátránya, hogy a SAR kép elkészítésének ideje alatt a repülőgép nem végezhet manővereket legalábbis mechanikus legyezésű radarral bizonyosan nem. Felbontástól és a térképezett terület nagyságától függően kb. 4-10 másodpercig tart elkészíteni a SAR képet, a legrészletesebb kép elkészítése nagyságrendileg 10 másodpercet vesz igénybe, de ez természetesen típusfüggő.[205]

A módszer ma már annyira megbízható, hogy egy menetoszlopban közel haladó járművek darabszáma megállapítható már kb. 30 km-ről is, de néhány kilométerről automatizált rendszerek adatbázis felépítésével egy harckocsit képesek megkülönböztetni egy teherautótól. Az épület méretű objektumok azonosítása és elkülönítése már a '80-as években elért felbontással is lehetséges volt. A következő oldalon látható két kép illusztrálja a módszer képességeit 30 éves technológiával. A lenti linkeken egy korszerű felderítő konténer (ELTA-ELM-2060P SAR), illetve egy korszerű AESA radar által elérhető felbontás és képességek láthatóak. [206]

A fentiek ismeretében ezek után nem meglepő, hogy a korszerű repülőgép-fedélzeti radarok a '70-as évek óta térképező/navigációs üzemmóddal is rendelkeznek, a jellemző tereppontokat és formákat (hegycsúcs, folyókanyar, útkereszteződés, stb.) meg lehet találni velük, ami segíti a navigációt, ezen tereppontok alapján helyesbíthető a repülőgép pozíciója.[207] A GPS technológia kifejlesztése előtt ez a módszer és a tehetetlenségi navigáció kombinációja biztosította a legpontosabb autonóm navigációs képességet, amihez nem volt szükséges rádió iránymérők használata.

[203] http://www.ausairpower.net/sargmti-intro.html
[204] https://youtu.be/Aq5HXTGUHGI?t=6m26s
[205] https://htka.hu/2016/10/14/ostrava-2016-nato-day/ *A B-1B Block 16 változatának képességeiről a beszámolóban található adat.*
[206] https://www.youtube.com/watch?v=XAWBvvAasD4
https://youtu.be/JZnrtB9rRT8?t=4m32s
[207] *Lásd F-111-ről szóló írást és linkelt videón.* http://www.youtube.com/watch?v=hBUyBF1AgUI#t=29m24s

4.1.2. Légiharc-rakéták vezérlési vagy irányítási módjai (radar)

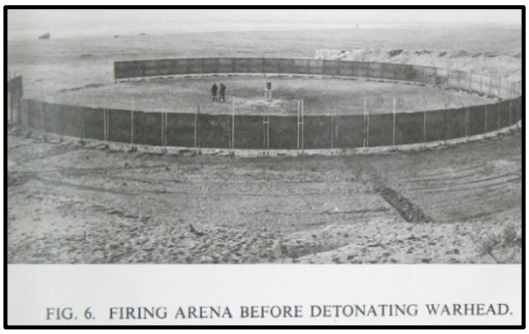


FIG. 6. FIRING ARENA BEFORE DETONATING WARHEAD.

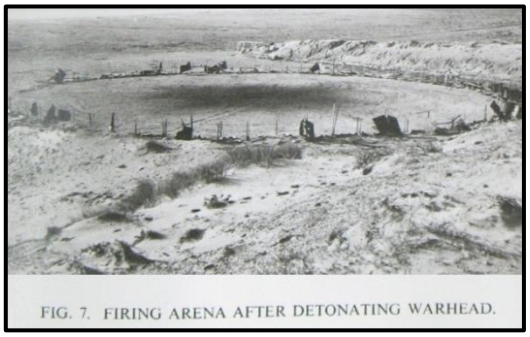


FIG. 7. FIRING ARENA AFTER DETONATING WARHEAD.

A repülőgép-fedélzeti radarok képességeinek összefoglalása után következhetnek azok a fegyverek, amiért ezek az eszközök léteznek, a radarvezérlésű légiharc-rakéták célravezetésének módozatai. (Az infravörös vezérlés a 4.3. fejezetben kerül bemutatásra.) A radarok működésével kapcsolatos fizikai és műszaki problémák a légvédelmi radaroknál szerepelnek, ebben a fejezetben az összefoglaló csak a képességekre szorítkozik. A vezérlési módok előtt még egy további kiegészítés szükséges, mert az részben a vezérlés pontosságához kapcsolódik.

Sem a légvédelmi, sem a légiharc-rakéták nem feltétlen közvetlen ütközéssel semmisítik meg a célt,[208] az esetek többségében közelségi gyújtó hozza működésbe a rakéták harci részét,[209] amikor a rakéta egy bizonyos távolságba kerül a célhoz képest, akkor lép működésbe a harci rész (robbanófej). A rakéta nem a robbanás lökéshullámával pusztít – bár alacsonyan ez sem elhanyagolható hatás a nagyobb rakétáknál – hanem a rakéta robbanófeje által szétszórt forró repeszekkel.

Az előformázott repeszeket tartalmazó robbanófejeket a ’70-es évektől kezdve az acélpálcikás[210] robbanófejjel rendelkező harci rész váltotta le egyes rakéta típusok esetében, amik nem csak repeszhatással pusztítanak. A különlegesen összehegesztett pálcikákat a középen elhelyezett robbanóanyag kör formájú farkas fogazású gyűrűvé robbantja szét, ami szerencsés esetben hatalmas darabokat vághat le célpontból. Amikor a gyűrű eléri maximális átmérőjét, akkor a szétszakadó és szétrepülő darabok továbbra is képesek komoly sérülés okozására a repeszhatás elvén. Az előző oldali képen látható, hogy a körkörösen felállított kerítést a harci rész minden irányban egyenletesen tarolta le, ahogy a gyűrű elérte azt.

4.1.2.1. A vezérlés / irányítás módja

Vezetősugaras vezérlés

Ez az vezérlési mód ‘50-es években volt használatos, a módszer alapelve, hogy a rakétát indító repülőgép egy rádió sugárral (tűnyalábbal) célozza meg a célpontot, ebben a sugárban repül a cél felé a rakéta.

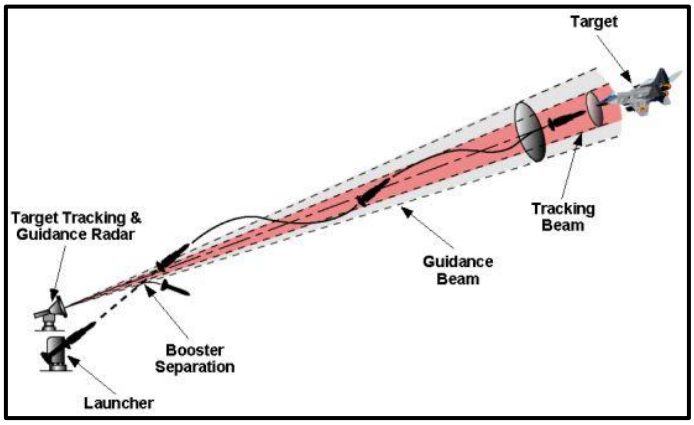
Ez a vezérlési alapelv a rádiótechnikai vezérléseknél zsákutcának bizonyult, nagyon hamar felhagytak az alkalmazásával. Ilyen vezérlést használó rakéta volt az 1956-ban hadrendbeállított szovjet AA-1 Alkali (RSz-2USz) és az első Sparrow (AIM-7) változat az ’50-es években. Már a ’60-as évek végén is szinte csak mutatóba maradtak olyan vadászgépek, amelyek ilyen légiharc-rakétákkal szálltak volna harcba.

---

[208] *Egyes esetekben előfordulhat, jellemzően gyakorló, lőtéri lövészeteken fordul elő ilyen. A „vállról indítható” légvédelmi rakéták közül több típus sem rendelkezett közelségi gyújtóval, lásd később az 5.2.3.5. fejezetben.*

[209] *Ettől még előfordulhat olyan, hogy a célt közvetlen ütközéssel találja el, de közelségi gyújtó nélküli légiharc rakéta még nincs rendszerben, de egyes légvédelmi rakétáknál azonban már ez a helyzet. A „vállról indítató” Stinger már a ’80-as években is ilyen volt, de ennek ettől van még robbanóanyaggal működő harci része. A ballisztikus rakéták elfogására készült Patriot PAC-3 esetén már nincs harci rész, a célt közvetlen ütközéssel semmisíti meg a rakéta. (kinetic kill vehicle)*

[210] http://en.wikipedia.org/wiki/Continuous-rod_warhead

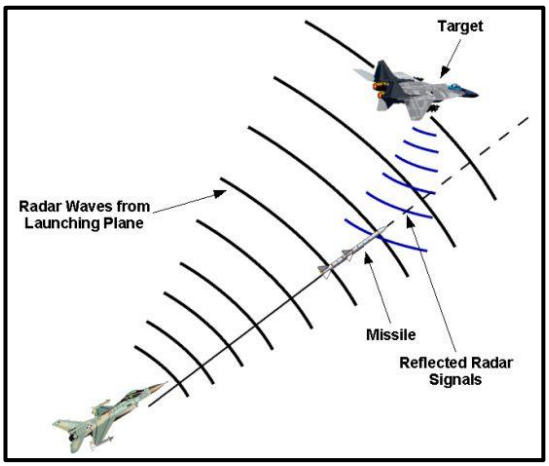


Két gyenge pontja volt ennek a módszernek. Először is a vezetősugarat folyamatosan a célon kellett tartani, ami egy vadászgép méretű manőverező cél esetén lehetetlen feladat volt sőt, még nem manőverező kisméretű célok ellen eleve hatástalannak bizonyult a módszer a tesztek alatt. A vezető sugár célon tartása vagy optikai módszerrel történt, egy célkeresztet a célponton tartva céloztak a párhuzamosított rávezető nyalábokkal, vagy a rádiólokátor indikátorának egy adott jelzésén kellett tartani a cél jelét. Mindkét esetben manuális megoldásról van szó. A rendszer nagy hatótávolságú atomfegyver hordozására lépes bombázók leküzdésére lett tervezve, mint a B-36, B-47 vagy a B-52, harcászati, manőverező célok ellen alkalmatlan volt. Még a bombázók ellen is csak hátsó fél-légtérből volt használható módszer a célkövetés manuális módja miatt, szembe repüléskor nem volt alkalmazható a rakéta. Ez a vezérlés csak kis távolságon volt használható, hátsó fél-légtérből indítva sem haladta meg a megsemmisítési távolság a 4-5 kilométert, még nagy repülési magasság esetén sem. Az RSz-2Usz is ennek megfelelő méretű volt, felesleges volt a nagyméretű rakéta a vezérlés korlátai miatt.

A második fő probléma, hogy a vezetősugarat sem tudta mindig kellően precízen követni a rakéta. Ennek oka, hogy akkor a rakéták kormánylapjai a vezérlőparancsok hatására nem arányosan, haenm mindig maximális tértek ki. Tehát vagy maximálisan kitértek vagy semennyire. Ez a rakéta rendszereit is megviselhette, illetve annak pontosságát is alapvetően befolyásolta.

Az AA-1 Alkali (RSz-2USz) rakétánál radar tűzvezető üzemmódban négy vékony, eltérő amplitúdójú tűnyalábot bocsátott ki, amelyek részben átfedték egymást, vezérlés ezt az átfedési követelményt használta fel vezérlő jelként. A rakéta akkor haladt a helyes irányon, amikor mind a négy tűnyaláb jelét vette. Amennyiben letért erről a pályáról, a vezérlés érzékelte, hogy melyik nyalábok jelei hiányoztak (vagy erősödtek/gyengültek), ennek megfelelően dolgozta ki a kormányvezérlő parancsokat, hogy a rakéta visszatérjen a tűnyalábok közös átfedő zónájába.

SARH (semi active radar homing), félaktív vezérlés



A rakétát indító és rávezető repülőgép felderítő radarja vagy azzal párhuzamosított folyamatos hullámú (CW) célmegvilágító sugárzója által kiadott rádióhullám (jel) visszaverődik a célpontról, a visszaverődést érzékeli a légiharc-rakéta orrába épített antenna, ez alapján történik a rakéta célravezetése. Bár a rakéta a külső megvilágítás alapján, de saját maga számára dolgozza ki a kormányvezérlő parancsokat, tehát a vezérlő logika („intelligencia”), és az azt kiszolgáló berendezések a rakétába vannak beépítve.

Ezt a vezérlési módszert használó rakéták kezdetben nagyon alacsony hatásfokkal semmisítették meg a célpontokat, Vietnám felett használt AIM-7 Sparrow rakéták első generációja az egész háborúra vetítve nagyjából 10%-os megsemmisítési arányt volt képes csak produkálni, pedig a célpontok semmiféle

elektronikai védelemmel nem rendelkeztek, sokszor még primitív besugárzásjelzővel sem.[211] Ez nem a vezérlési módszer alkalmatlanságát mutatja, hanem az alapelvet megvalósító rakéta műszaki megbízhatatlanságát.[212] A félaktív vezérlési módszer praktikusabb, számtalan téren előnyösebb, mint a vezetősugaras. Az egyik legnagyobb előnye, hogy a rávezetési pontosság nem távolságfüggő a vezetősugaras és rádió-parancsközlő vezérléshez képest, hiszen a célhoz közeledve a rakéta egyre pontosabban méri a visszaverődéseket. Emiatt mai napig használták ezt az alapelvet, illetve annak elfajzott és kombinált megoldásait a légvédelmi-rakéta rendszereknél és nem csak a hadrendben tartott régebbi eszközöknél, de még a legkorszerűbb légvédelmi rakéta-rendszereknél is. (Lásd 4.2.4. fejezetben.)

A félaktív vezérlés egy alapelv, de a technológiai megvalósítása egyre kifinomultabb és megbízhatóbb lett, ahogy a mai autók sem azonosak műszaki megoldásaikban a 50 évvel ezelőttiekkel annak ellenére, hogy ugyanúgy benzin/dízel motor mozgatja azokat többségében és ugyanúgy négy kerekük van. A fenti 10%-os megsemmisítési arányt a ’80-as évekre sikerült kb. 30-50%-ra feltornászni a legkorszerűbb AIM-7M változattal – a Sivatagi Vihar alatt kb. ezt megsemmisítési arány érték el az –, amennyiben az előírt paramétereken belül indították.

Többféle technikai módszer is létezik a félaktív vezérlés megvalósítására, amik eltérő képességeket biztosítanak, eltérő hullámformával és célmegvilágítással lehetséges életképes rendszert megalkotni, néhány konkrét példa ezekre:

- A szovjet MiG-23ML vadászgépen a célfelderítést impulzus üzemű radar, a célmegvilágítást keskeny sugarú CW antenna (sugárzó) végezte, a CW vevő antenna a rakéta orrában volt. A MiG-23ML földháttérben a célleküzdési képessége korlátozott volt, mert bár a CW megvilágítás lehetővé tette azt, hogy a rakéta érzékelje a visszaverődést földháttérben repülő célnál, de a célkeresésben (és célkövetésben is) az impulzus üzemű radar jelentette a szűk keresztmetszetet.
- Az amerikai F-15A/B vadászgépeken a célfelderítést impulzus-doppler üzemű radar végezte, ez már képes volt földháttérben felderíteni és követni célokat, az AIM-7F Sparrow rávezetése CW megvilágítással történt, a CW vevő antenna a rakétában volt.[213] Ez a technika a ’70-es évek közepének csúcstechnikáját jelentette.
- Az AIM-7M Sparrow változat már nem igényelte a folyamatos hullámú (CW) megvilágítást így lehetségessé vált az F-15A/B/C/D/E gépekkel (valószínűleg F/A-18 Hornet és F-16 ADF típusokkal is), hogy az impulzus-doppler üzemű radar visszaverődött impulzusai alapján történjen a rakéta rávezetése. Ez az Sparrow változat már biztosan monopulzus antennával bírt (valószínűleg már az F változat is), ami a zavarvédelem szempontjából is minőségi változást jelentett. Az AIM-7M 1982-ben állt hadrendbe az USA fegyveres erőinél és terjedt el rohamos sebességgel a 4. generációs szovjet vadászgépek várható gyors elterjedése miatt, ez volt a legfejlettebb amerikai félaktív vezérlésű légiharc-rakéta.
- A szovjet-orosz R-27R rakéta kombinált módszer használ. Az indításához szükséges radarbefogás, azt követően lehetséges a rakéta indítása, viszont a későbbiekben bemutatott aktív radaros légiharc-rakétákhoz hasonlóan pályakorrekciós jeleket (MCU/MCG)[214] kap az indító repülőgéptől a rakéta.

[211] *Olyan nemigen fordult elő, hogy ekkora rakéta találatát túlélje a repülőgép, tehát a találat az megsemmisítést is jelentett.*

[212] *Az F-4 Phantom II vadászgépen a hátul ülő fegyverzetkezelő-tisznek (RIO/WSO), kb. 20-30 percenként az akkori Sparrow rakéták hangolását a fedélzeti radarral, amik a vibráció és változó környezeti hőmérséklet miatt elhangolódott. Ez a vezetősugaras AA-1 Alkali esetén is probléma volt.*

[213] *Jellegzetes formájú tölcsérsugárzó a radar síkantennája felett van lásd az F-15-ről szóló írás röntgen rajzán. https://htka.hu/2012/12/04/mcdonnell-douglas-f-15-eagle/ 50. oldal, a 180 tétel szám felett látható.*

[214] *Mid-Course Update/Mid-Course Guidance – pályaközi korrekciós frissítés*

Amennyiben a rávezetés közben a radar elveszti a célt, akkor a rakéta áttér inerciális (tehetetlenségi navigáció)[215] vezérlésre, az előre kiszámolt találkozási pont felé halad tovább, a rakéta vezérlése várja az MCU/MCG kapcsolat visszaállását.

Amikor az indító repülőgép radarja újra befogja a célt és az MCU kapcsolat helyreáll, akkor a kapott adatok alapján a vezérlés megpróbálja a cél felé irányítani a rakétát. Amikor a rakéta érzékelője már képes a radar visszaverődő jelet befogni, akkor átvált félaktív vezérlésre, és erre támaszkodik a továbbiakban. Az R-27R a '80-as évek közepén jelent meg a MiG-29 9.12 és Szu-27Sz vadászgépeken.

Érdekes módon a komplex vezérlés ellenére az R-27R képességeit a nyugati elemzők a '70-es évek eleji AIM-7E-2 és a későbbi AIM-7F közé tették egyes források szerint. A német újraegyesülés után lehetségessé vált az ex. keletnémet tulajdonú szovjet eredetű haditechnikai eszközök tesztelése. Bár nincs elég adatom ennek megítéléshez, de van egy olyan érzésem, hogy ez csak a rakéta kinematikai képességeire (hatótávolságára) igaz. (Ennek bővebb kifejtésére az 5. fejezetben kerül sor). A kombinált vezérlés, (amennyiben műszakilag megbízható) fejlettebb az AIM-7F-nél, de akár még az AIM-7M-nél használt módszernél, ahol csak robotpilóta volt a rakétában, ami az indításkori adatok alapján vezette a végfázisig a rakétát célhoz.

Félaktív vezérlésű légiharc-rakéták evolúciója terén a csúcs nyugaton valószínűleg az AIM-7M Sparrow, nem csak a vezérlése, hanem annak hajtóműve miatt is. (Lásd az 5. fejezetben). A Sivatagi Vihar hadművelet tapasztalatai szerint, az AIM-7M rakétákkal nagyjából 50% körüli megsemmisítési arányt produkálták az USAF F-15C vadászgépei. Azt azonban hozzá kell tenni, hogy a Sivatagi Vihar alatt lelőtt gépek tekintélyes hányada nem rendelkezett semmiféle aktív- vagy passzív védelmi rendszerrel és taktikailag több szempontból is alárendelt helyzetben szálltak szembe a koalíciós vadászerőkkel, de ennek ellenére Vietnámhoz képes tagadhatatlan volt a fejlődés.

A félaktív módszer legnagyobb hátránya, hogy a célgépet radarral folyamatosan meg kell világítani (kivéve az R-27R esetén, de ott sem árt azért ezt tenni), csak korlátozott mértékben lehet kitérő manővereket végezni, mert a radarnak folyamatosan a cél felé kell néznie. A cél „befogásakor" a radar nagyon sűrűn kell, hogy pásztázzon a célon, hogy a rakétának esélye legyen a találatra a rávezetésnél vagy a CW megvilágításkor a keskenysávú CW sugárzónak kell folyamatosan célra néznie.

A félaktív vezérléssel és mechanikus legyezésű radar kombinációjával egyszerre csak egy célra lehet rakétát rávezetni – bár egy célra akármennyi rakéta indítható – ez alól csak egy kivétel létezik, az F-15C kvázi-szimultán célleküzdési képessége az AIM-7M-tel, de ez nem valódi szimultán módszer. Az AIM-7M esetén a szimultán képesség mindössze annyit tett lehetővé, hogy az egymáshoz közel eső célok felé egynél több rakéta legyen úton és azok egymás után semmisítsék meg a célokat, de ez csak nagyon szűk szögtartományban levő célokra lehetséges az indító géphez képest.[216] Ez a módszert csak zárt formációban repülő célok ellen lehetett kihasználni, ahol azok egymástól néhány száz méterre vagy legfeljebb km-es távságban repültek egymástól. Ez a korlátozás nagyon elméletivé teszi a képesség kihasználhatóságát, legfeljebb csapásmérő gépek ellen alkalmazható, ha azok nem reagálnak a fenyegetésekre. A vadászgépek közötti légi harcban, még látótávolságon túl vívott fázisban is a célok nem ilyen módon repülnek. Az F-15 kvázi-szimultán módszere köszönőviszonyban sincs a MiG-31 valódi szimultán célleküzdési képességével.

A MiG-31 számára alapjaiban más a helyzet a célpontokat felderítő és megvilágító PESA elven működő Zaszlon radarja miatt. A Foxhound típus félaktív vezérlést használó légiharc-rakétákkal is képes egyszerre

[215] *A navigációs rendszerekkel és módszerekkel a 8. fejezet foglalkozik.*
[216] *Lásd a mellékelt „Ha rövid a kardod…" cikksorozatot.*

több célpontra szimultán rakétákat rávezetni lényegében oldal- és helyszög korlátozás nélkül, a radar villámgyors pásztázási képességének köszönhetően. (Lásd korábban a PESA radarok képességeinek összefoglalásánál.) A mechanikus legyezésű antennákkal felszerelt típusok erre egész egyszerűen képtelenek az antenna kötött pásztázási pályája és sebessége miatt, azok számára ehhez hasonló képességhez aktív radarvezérlésű légiharc-rakéták szükségesek.

A MiG-31 volt az egyetlen típus a ’90-es évek elejéig a világon, ami képes volt valódi szimultán célleküzdésre az F-14 Tomcat vadászgép és AIM-54 rakéta duó mellett, azonban ezt a képességet nem aktív radarvezérlésű légiharc-rakétákkal érte el. A MiG-31 tervezői azért döntöttek speciális félaktív módszer mellett, mert nem tudtak elég kisméretű és megbízható radart megalkotni, ami elfért volna még egy R-33 méretű rakétában is. Nagyon elegáns és költséghatékony megoldás volt, bár egyes képességeket azért így sem biztosított, mert a folyamatos célmegvilágítás továbbra is követelmény maradt. Az aktív radaros AIM-54 Phoenix rakéta esetén, ha a célpont elhagyta az indító gép által pásztázott tartományt és a cél nem manőverezett, akkor a számított találkozási pont felé repülve a saját radarját felkapcsolva a rakéta még megtalálhatta a célpontot.

Mivel a MiG-31 + R-33 párost nem vadászgépek ellen tervezték, hanem alacsonyan repülő, szubszonikus manőverező robotrepülőgépek levadászásra, a kevésbé dinamikus környezetben ez a módszer tökéletesen megfelelt a célnak a szimultán célleküzdési képesség megteremtéséhez. Az F-14-en alkalmazott aktív radaros vezérlésű rakéta technológia alkalmazása a kevés előnyért cserébe sokkal drágább és jóval nehezebben megalkotható rakétát igényelt. Ráadásul mivel az F-14-nek mechanikus pásztázású radarja volt, a párhuzamos célleküzdési képessége valójában kisebb szögtartományban valósult meg, mint a MiG-31 esetén, amennyiben folyamatosan pontos pályakorrekciós (MCU/MCG) jeleket kellett biztosítani a rakéta végfázisba érkezéséig.

Persze azt nem szabad elfelejteni, hogy a MiG-31 és F-14 hadrendbe állítása között kb. 10 év telt el, az F-14-en alkalmazott rakéta és radarrendszer még a ’60-as évek közepén született meg, az első tesztlövészetek már 1966-ban megtörténtek vele. A ’60-as években fázisvezérelt (elektronikus legyezésű) radarról vadászrepülőgépen nem is álmodhattak, ezért volt szüksége aktív radarvezérlésű rakétára, annak hátrányaival, ami főleg az árát jelentette. A AIM-54 gyártásának kezdetén 6 darab AIM-54A Phoenix rakéta ára kb. azonos volt 1 db F-4E Phantom II vadászgépével, nagyjából 1 millió akkori dollárba került egy darab rakéta.

Személy szerint az egyik legzseniálisabb mérnöki húzásnak tartom a PESA radar + félaktív vezérlés párosítását. Az aktív radaros vezérlés a manőverező robotrepülőgépek ellen felesleges volt, a MiG-31 így jóval egyszerűbb és olcsóbb rakétával is képes volt szimultán célleküzdésre. A MiG-31 kellően nagy volt ahhoz, hogy a hatalmas Zaszlon radart képes legyen befogadni, felesleges volt azon „izmozni”,hogy a rakéta legyen aktív radarvezérlésű a rakéta súlyos méretkorlátait figyelembe véve.

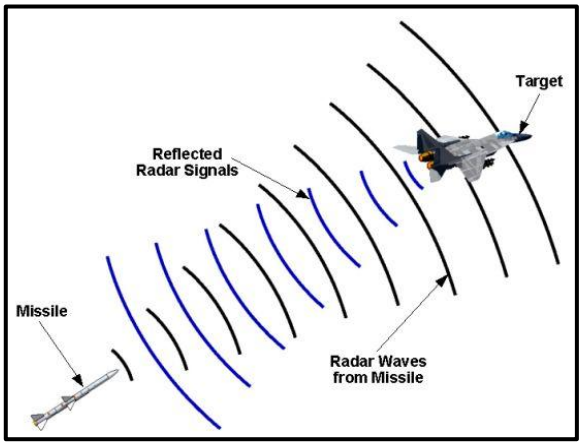
ARH (active radar homing), aktív radarvezérlés

Az első ilyen vezérléssel rendelkező rakéta az AIM-54 Phoenix volt, amit a ’60-as évek végén fejlesztettek ki, majd ’70-es évek elején állt rendszerbe az F-14 Tomcat vadászgépen.[217] Majdnem húsz évig ezzel az F-14 volt az egyetlen vadászgép az AIM-120 AMRAAM[218] rendszeresítéséig, ami aktív radarvezérlésű légiharc

[217] *Eredetileg az F-111B-nek szánták az F-14-en alkalmazott radart és légiharc rakétát, de az F-111B soha nem állt hadrendbe a Haditengerészetnél.*

[218] *Advanced Medium-Range Air-to-Air Missile – fejlett közepes hatótávolságú légiharc rakéta. Lényegében egy frappáns mozaikszó, többnyire mégis így hívják a rakétát a típusjelzése említése helyett, mert hivatalosan nem kapott nevet, mint a Sidewinder vagy Sparrow rakéták.*

rakétával rendelkezett. A módszer legnagyobb előnye, hogy a repülőgépen levő mechanikus legyezésű radarral is megvalósítható a valódi szimultán (egyidejű) célleküzdés.



A vezérlési mód lényege, hogy a rakétában nem csak vevőegység van, hanem saját radarral bír a rakéta, ezáltal az képes saját magát célra vezetni, az indító repülőgép (vagy akár légvédelmi rakéta-rendszer) tűzvezető radarjától függetlenül, de csak bizonyos korlátozásokkal.

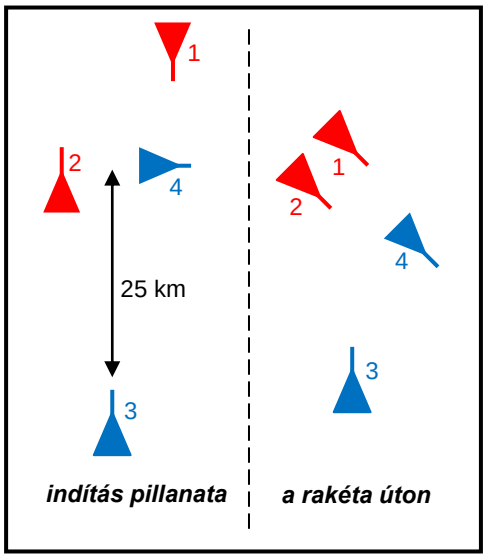
A légiharc-rakéta mérete (kis átmérő) erősen lekorlátozza a radarantenna méretét, a kisebb radar nyilvánvalóan csak kisebb távolságról képes a érzékelni a célokat az indító gép radarjához képest. Emiatt szükséges a kombinált vezérlés, a légiharc-rakéta (vagy légvédelmi rakéta) a saját radarját csak a célravezetés végfázisában kapcsolja fel, addig viszont a rakétát más módon kell a célpont közelébe vezetni.

Ez a vezérlési mód magával hozta a TWS[219] (célkövetés keresés közben) radar üzemmód szükségességét. Tulajdonképpen ez azt jelenti, hogy nem kell fizikailag „befogni" a célgépet radarral, továbbra is kereső üzemmódban dolgozhat, csak jellemzően szűkebb pásztázási zónával, hogy a célpontok sebesség és irány mérése kellő gyakoriságú legyen. (Track képzés.) A rakéta indítása után pályakorrekciós (MCG/MCU) jeleket küld a repülőgép tűzvezető rendszere a rakétának, hogy merre kell repülnie a rakétának a cél felé. A rakéta csak akkor aktiválja a rakéta a saját beépített radarját, amikor a célpont közelébe ér, ez rakétától és az MCU/MCG kapcsolat minőségétől függően nagyjából 4-10 km lehet,[220] de ez több paramétertől is függ. A módszer mellékhatása harcászatilag is kedvező, a megtámadott gép besugárzásjelzője rakéta rávezetés alatt nem jelez befogást, csupán egyszerű pásztázást, miközben a felé indított rakéták már úton lehetnek.

A rakéta pályájának középső szakaszában, egyes esetekben az MCU/MCG túlbiztosítás, amennyiben a célpont nem végez kitérő manővereket és nem változtatja meg sebességét. Ebben az esetben az indításkor mért iránnyal és sebességgel haladó célpont esetén a számított ütközési pont az indításkor is meghatározható, ez határozza meg azt a pillanatot, amikor a rakétának fel kell kapcsolni a saját radarját. Ez viszont csak adott típusú célpontokra igaz és/vagy amikor a célpontok jól elkülöníthetők egymástól, ilyenek pl. a haditengerészeti támadó rakéták.

Amennyiben több repülőeszköz – amik még manőverezhetnek is – tartózkodik a célpont közelében, az MCU/MCG-t biztosítani kell, különben rakéta akár rossz célpontot támadhat a végfázisban. A rakéta indításkor ismeri az akkor számolt elfogási pont helyét, de amennyiben korán elveszti az MCU/MCG támogatást, akkor 10-60 másodperc múlva (céltávolság és magasságtól függ a repülési idő) a saját radar által felderített célok közül nem képes biztonsággal eldönteni, hogy melyik célpontra indították. Ezt a probléma egy nagyon lebutított példán keresztül kerül bemutatásra. A célokat a példában tekintsük azonosítottnak az egyszerűség kedvéért.

[219] *Track While Scan – célkövetés közbeni keresés, lásd a mellékelt „Ha rövid a kardod" cikksorozatban.*
[220] *Alacsony észlelhetőségű (stealth) céloknál még ennél is kisebb a távolság, tehát még pontosabb pályakorrekciós jelek szükségesek.*



A kék gépek legyenek a baráti gépek – mondjuk két F-16C Block 50 – a pirosak meg az ellenségesek – ez a példában két darab MiG-29 9.12 – csak infravörös rakétákkal felfegyverezve.

Az ábra felső részén levő (4 jelű) gépet bekeríti az ellenség, de az F-16C még éppen az infravörös rakéták hatótávolságán kívül van. Az ábra alján levő F-16C (3 jelű) megpróbálja lelőni a manőverező légi harcot kezdeményező ellenséget. A távolodó (2 jelű) MIG-29-est 25 km-ről az AMRAAM nem éri el a példában szereplő légiharc magasságán.

(A légiharc-rakéták és légvédelmi rakéta-rendszerek megsemmisítési zónájáról az 5. fejezetben esik szó.)

Az ábra alján levő gép pilótája (3) rádión keresztül szól a bajban levő pilótának (4) – ez a gép a radarján látja két MiG-29-est, ismeri a helyzetképet –, hogy forduljon vele szembe és távolodjon a lehető legnagyobb sebességgel az vörös gépektől, próbálja lerázni azokat gyorsítással. Ekkor a (3) jelű F-16C gép indít 1-1 db AIM-120 rakétát mindkét MiG-29-esre. Az eddig is közeledő gép (1) továbbra is közeledik, de kisebb relatív sebességgel, a másik MiG-29-es (2) a fordulást követően már szintén közeledő aspektussal repül, így az AIM-120 már képes lesz elérni a célját.

Ezek után vizsgáljuk meg, hogy mi történne, ha egyáltalán nem kapna az AIM-120 rakéta korrekciós pályajeleket a fenti példában indítás után.

Amikor a rakéta bekapcsolja a saját radarját tegyük fel, hogy képes felderíteni az összes célt. Ez a valóságban egyáltalán nem biztosított, az is lehet, hogy a korábbi előre számolt ütközési ponthoz érve a radarját felkapcsolva egyetlen célt sem fog megtalálni. Ennek oka a hatalmas relatív sebesség és a korábbiakban ismertetett mechanikus legyezésű radarok korlátai. A radar nem pillanatok alatt tapogatja le a légteret, a célhoz való közeledési sebesség viszont hatalmas, kevés idő van erre. A példa kedvéért mégis tegyük fel, hogy a rakéta radarja megtalálja mindhárom gépet és a pásztázások során képes sebességüket is megmérni. (Ez még inkább megengedő feltételezés.) A célok irányának méréshez és számoláshoz több pásztázás szükséges, mechanikus legyezésű radarral azt feltételezni, hogy a rakéta erre képes lenne, az már tényleg vad feltételezés. (E nélkül is működik az arányos megközelítés, lásd később.)

A fentiek feltételeket figyelembe véve a radar felkapcsolása és a célpontok észlelését követően kell eldönteni, hogy a rakéta melyik célpontot vegye célba és semmisítse meg. A rakéta számítógépe a mérések alapján azt látja, hogy van 3 db cél, de egyik esetében sem egyezik meg az indításkori közeledési sebesség az akkor mérttel. Ez alapján nem lehetséges eldönteni, hogy melyik volt az eredetileg kijelölt célpont a rakétának. A célpontok relatív helyzete is megváltozott, indításkor a jobb szélső (4) volt a baráti gép, ellenben a rakéta végfázisába érve már a középső és a köztük levő távolságok sem egyeznek meg, tehát ezzel az összehasonlítási módszerrel sem lehet azonosítani és egymástól megkülönböztetni azokat.

Még, ha azzal teljesen vad feltételezéssel élünk – mert már elektronikus és nem mechanikus legyezésű radar van a rakétában – és kiszámolható elméleti pályakeresztezési (elfogási) pont az összes célpontnál a rakéta saját radarjának felkapcsolása után számolt paraméterekkel, akkor a rakéta „agya” azt hozná ki, hogy egyik célnál sem egyezik meg az indításkor számolttal ez a pont. Tehát még a legmegengedőbb esetben sem dönthető el, hogy melyik gép volt az eredeti célpont, pedig itt már minden célpont távolsága, sebessége és

iránya is mért a rakéta által, mégsem mondható meg hosszabb vakon repülés után, hogy melyik célpont melyik.

A rakétákban nincs IFF[221] rendszer – ennek fizikai korlátai vannak, lásd később – , egész egyszerűen a rakéta önállóan ilyen és hasonló esetekben nem képes különbséget tenni a célok hovatartozása között. Vagy megpróbál „tippelni" különféle beprogramzott matematikai módszerek alapján, vagy egyszerűen a legközelebbi célt veszi célba még akkor is, ha az éppen egy baráti gép, aminek persze nem ismeri hovatartozását. Látható, hogy ez így nem túl biztonságos megoldás.

Ráadásul az eredetileg kijelölt cél támadása nem csak akkor lehet fontos, amikor baráti/ellenséges gép között kell dönteni, hanem ha például 4 db vadászgép bocsátkozik 4 db (vagy akár több) ellenséges vadászgéppel harcba. Valahogy meg kell oldani, hogy indított rakéták az eredetileg kijelölt célokat támadják, hogy az összes rakéta ne egyetlen, a legközelebbi gépet vegye célba. Nagyon nem mindegy hogy 4 db rakéta 1 db célpontot vagy 4 db célpontot semmisít meg.

Tehát hogyan döntse el a rakéta a végfázisban, hogy melyik a számára eredetileg kijelölt célpont? Erre szolgál az indító gépek által sugárzott pályakorrekciós jelek (MCU/MCG). A pályakorrekciós jelet jellemzően a rakétát indító gép sugározza, mert a pályakorrekciós jelet vevő antennák csak a rakéta hátsó légteréből (30-60 fokos térrész) képesek venni ezeket. Annak viszont nincs akadálya, hogy bármilyen más géptől kapja meg a cél mozgásparamétereit (track, távolság, irány, sebesség) adatait, ami alapján a rakétát indító vadászgép képes kidolgozni az MCU/MCG jeleket és sugározni azt rakéta vagy rakéták számára.

Természetesen lehet becsülni (extrapolálni) a felderített célpontok utolsó ismert helyzetéből és sebességéből, de minél több idő telik el az utolsó ismert adat és rakéta radarjának felkapcsolása között, annál nagyobb a bizonytalanság, illetve a rakétában levő mechanikus legyezésű radar és a hatalmas relatív közeledési sebesség miatt a rakétának legtöbbször – ha egyáltalán képes rá – esélye sincs számított keresztezési pontokat számolni és az alapján extrapolálni.

(Jelenleg egyetlen elektronikus nyalábeltérítéssel működő aktív radaros légiharc-rakéta létezik, a japán AAM-4, ami ráadásul nem PESA, hanem AESA radart használ).

A fentiekben felvázolt egy viszonylag egyszerű eset, a rakéta indításának pillanatában összesen 3 db repülőeszköz volt és minden gép hovatartozása már azonosított volt az indítás előtt. Ez utóbbi feltétel igen komoly probléma sokszor mind a mai napig.

Lehetséges aktív radarvezérlésű rakétát úgy is elindítani, hogy azonnal a saját radarjával kezdjen dolgozni. Ennek akkor van értelme, ha hirtelen sok célpont kínálkozik és viszonylag közel (~10 km). Ekkor indítás után azonnal mehet a következő rakéta, ilyen távolságon az MCU/MCG hiánya nem probléma, így igazi „sortüzeket" lehet így produkálni, de ez inkább már a „végszükség" esetére megoldás.

Ma nem számít rendkívülinek 4 db rakéta párhuzamos célravezetése, de az F-14 Tomcat erre már 1975-ben képes volt sőt,[222] akár 6 db célpont szimultán támadására is, de hozzá kell tenni, hogy erre csak korlátozásokkal volt képes.

[221] *Identification Friend or Foe – barát / ellenség azonosító.*
https://youtu.be/MXC52E4yS7o?t=1h36m14s A szükséges számítástechnikai hátteret biztosító számítógép úttörő volt a maga nemében.

A céloknak viszonylag szűk keresési szögtartományon belül (kb. 45 fok) kellett esnie a radar számára, hogy kellően gyakran frissített és MCU/MCG jeleket kaphassanak a rakéták. Ez nem olyan nagy megkötés, mint amilyennek elsőre hangzik, mert az F-14-et elődlegesen nem vadászgépek elleni harc céljából alkották meg, (az AIM-54 mellett képes volt az AIM-7 használatára is). A szimultán célleküzdés megalkotásakor szovjet haditengerészeti légierő által végrehajtott tömeges levegő-felszín rakétatámadások elhárítása volt a kitűzött feladat, a hordozó kötelékre támadó rakéták a ilyen profillal közelítettek volna egy esetleges háborúban.

Még ezen kikötéssekkel is bámulatos képességek birtokában volt a Tomcat, 17 éven keresztül teljesen egyedülálló volt nyugaton a valódi szimultán célleküzdési képességével,[223] ameddig az AIM-120 AMRAAM hadrendbe nem állt és el nem terjedt. Kezdetben még akkor is „csak" 4 darab cél párhuzamos leküzdése lett elérhető az F-15C, F-16C/D és F/A-18C gépek számára, de kisebb megsemmisítési távolsággal, mint amit az AIM-54 Phoenix és Tomcat kombinációjával lehetett elérni közepes és nagy magasságú célok ellen.

Az AIM-120 az AIM-54-nél jóval kisebb, tehát a kisebb kinematikai hatótávolságot nem lehet hibaként felróni, a cél az AIM-120-szal az AIM-7 Sparrow család leváltása volt. Mindezek ellenére a Tomcat félelmetes BVR képességével inkább bombázók, manőverező robotrepülőgépek és szuperszonikus, nagyméretű hajó elleni rakéták ellen vitézkedhetett, mintsem vadászgépek ellen, azonosítási problémák, a vadászgépek dinamikus viselkedése miatt.

Az F-15C vadászgépek közül egyes példányok a fedélzeti radar és számítógépes rendszerének fejlesztése által képesek akár 8 db célpont szimultán leküzdésére, először az Alaszkában állomásozó F-15C gépek váltak képessé erre. Ezek kapták meg elsőnek az első generációs AESA radarokat, a tömeges orosz robotrepülőgép támadás esetleges veszélye miatt lettek erre felkészítve. Ilyen képesség általános megvalósítása értelmetlen, mert vadászgépek ellen nem nagyon kihasználható az ilyen sok rakéta rávezetése a célok dinamikus viselkedése és IFF problémák miatt.

[223] *https://youtu.be/5GgtkkQ6IN4?t=3m32s*

4.1.2.2. A légvédelmi- és légiharc-rakéta pályája

A fentiekben felsorolt vezérlési módszereknél a vezetősugaras rávezetést leszámítva nem esett szó arról, hogy a rakéta milyen pályán halad a cél felé. Attól függően, hogy milyen módszerrel történik a vezérlés és milyen adatok állnak rendelkezésre alapvetően három rávezetési forma különböztethető meg, ezek a módszerek a mozgási energia optimális felhasználására és a szükséges rakéta manőverező képességre komoly hatással vannak.

- **Kétpontos rávezetési mód**, a kialakuló pálya a klasszikus „kutyagörbe”[224] (pure pursuit). A passzív önirányítású rendszerek tipikus rávezetési módja. A rakéta mindig a visszaverődés (vagy elektronikus zavarás) irányába, tehát mindig a cél felé repül.

  (Nem csak radarvezérlésű, de a korai infravörös vezérlésű rakéták is így működtek, a korszerűbb infravörös vezérlésű rakéták már biztosan nem ezt módszert használják.)

  Ez a lehető legrosszabb módszer, mert nyílegyenesen, állandó sebességgel repülő célpont esetén is, ha a rakéta nem pont szemből vagy hátulról közelít a célhoz – ennek az esélye harchelyzetben szinte nulla[225] – felesleges manőverezésre kényszeríti a rakétát. Ez mozgási energiát emészt fel, tehát a rakéta hatótávolsága kisebb lesz az ideális esethez képest.

  Ráadásul minél nagyobb a sebessége a célpontnak annál nagyobb túlterhelésű forduló szükséges a követéséhez végfázisban még akkor is, ha a célpont nem manőverezik, ami a korai rakéták esetén nagyon komoly korlát volt a rávezetés során. Vagy a rakéta maximális túlterhelési határa (strukturális) miatt nem volt képes a rakéta a szükséges manőverre, vagy adott estben nincs is elég aerodinamikai erő (felhajtóerő a vezérsíkokon) a manőver végrehajtásához. Ilyen pályagörbén csak akkor repül egy rakéta, ha nincs más megoldás.

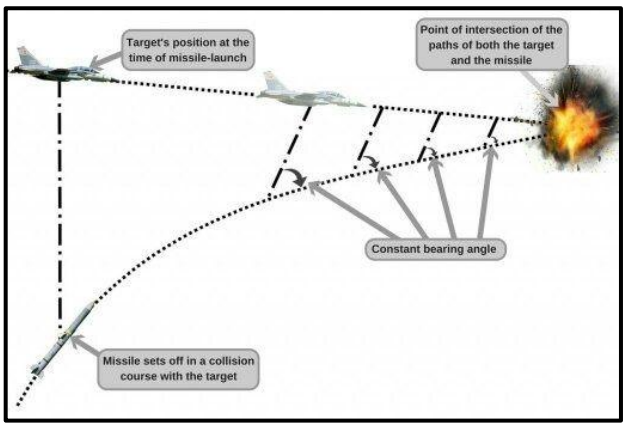
  Szárazföldi célpontok esetén – pl. „radargyilkos” rakétáknál – a fenti mozgásparaméter problémák nem állnak fent, még a leggyorsabban mozgó szárazföldi célpont is egy repülőgéphez képest gyakorlatilag álló célpontnak számít.

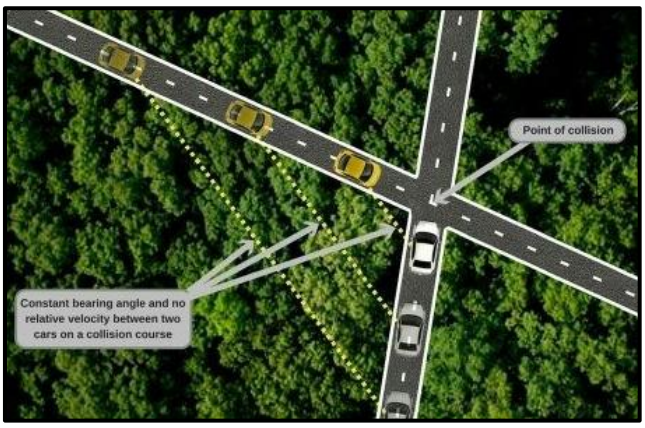
  A módszer előnye, hogy nem kell ismerni hozzá a cél sebességét, haladási irányát vagy távolságát, csak a rakétához képesti irányszöget kell mérni. Erős elektronikus zavarás esetén a célról csak az utóbbi áll rendelkezésre illetve egyes célpontok és fegyverfajták esetén nincs is más adat. Ez a pálya jellemzően azon rakétákra jellemző, ahol az „agy” magában a rakétában van.

- ***Arányos rávezetéses*** módszer (proportional). Több változata is létezik ennek, de az alapjuk közös. Ehhez szintén csak a cél irányát és a cél irányának megváltozásának mértéket kell mérni a rakétához képest. A cél sebességének ismerete nem követelmény, de ettől függetlenül nem hátrány, ha ismert.

[224] *A természetben a kutyáknál megfigyelhető, hogy amikor mozgó célpontot üldöznek, akkor mindig a célpontjuk felé és nem egy becsült találkozási pont felé futnak.*

[225] *A infravörös vezérlésű rakéták szemből nem voltak indíthatóak egészen a ’70-es évek közepéig, ’80-as évek elejéig, lásd később.*



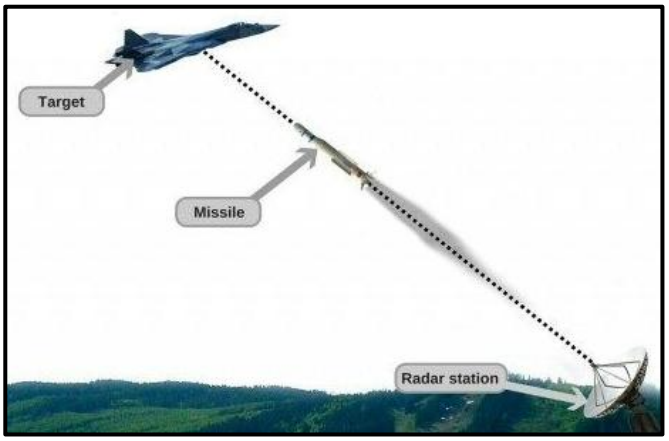


Az egyik arányos rávezetés módszer lényege, hogy a kezdeti célparaméterek (irány és relatív sebesség) a rakéta mindig egy számolt szög értékkel tart a cél elé (constant bearing angle), és ennek az iránynak a megváltozását tartja zérus értéken, de maga az előretartás szöge változhat eltérő célok és azok célparamétereinek függvényében. (Már a hajózás korában megfigyelték azt, ami a jobb felső ábrán látható, az egymás felé tartó és ütköző hajóknál az egymáshoz képesti előre tartás állandó, vagy közel állandó szöggel valósult meg, ha a hajók nem változtattak irányt.)

A célpont sebességének a mérését egyes légvédelmi rakéta-rendszereknél lehetséges megoldani, akár több féle módon is. Az egyik módszernél a célt követő radar követéskori szögelfordulását mérik. A másik módszer légiharc illetve légvédelmi rakétánál is lehetséges, a rakéta veszi a rávezető radar felől érkező és a célról visszaverődő jeleket is és mindkettővel számol a rendszer. Ezzel háromszögelni is lehetséges, illetve a célmegvilágító radar közvetlenül vett és visszavert jelének doppler frekvencia eltolódásából is lehet célsebességet számolni. Persze ehhez az kell, hogy a rakéta a célpontot megvilágító radar sugárnyalájában repüljön (pl. SzA-75 Dvina vagy HAWK) vagy tűnyalábokkal a rakétákat is kövessék a célpont mellett elektronikus legyezésű radarok esetén.

- ***Hárompont rávezetési mód*** (three point). A fentihez hasonló, de mégis kicsit eltérő, a rádió-parancsközlő rakétákra jellemző. Ez is elsősorban csak elektronikai zavaráskor használt módszer, ha a célpontnak csak az iránya ismert.

  A módszer lényege, hogy a rávezető állomás, a rakéta és a célpont mindig egy egyenes mentén helyezkedik el, a rakétát ezen az egyenesen próbálja a rendszer tartani. Ennek a módszernek szintén az a hátránya, ami a „kutyagörbe” eseténél, a végfázisban a rakéta célponthoz közelítési sebességétől, irányától és a rávezető állomás távolságától függően a rakétát olyan manőverekre kényszeríti, ami nem ideális.



A három pont módszer, a célpont, a rakéta és a rávezető állomás egy egyenes mentén helyezkedik el.[226]

A különbség a fenti módszerhez, hogy ezt nem önvezérlő rakéták használják, hanem rádió-parancsközlő vezérlést használó rendszerek, önvezérlő rakétáknál értelemszerűen ez a fajta megközelítés lehetetlen, rávezető állomás szükséges.

[226] https://www.quora.com/How-does-a-guided-missile-hit-a-moving-target

- ***Előretartásos mód***, a rakéta mindig egy előre számított ütközési (pályakereszteződési) pont felé halad. Ehhez ismerni kell a cél összes mozgásparaméterét (távolsága, sebessége, haladási iránya) hiszen csak ezzel számolható a pontos és optimális találkozási pont. Ehhez kell a legtöbb információ, de az ideális rávezetés ezzel valósítható meg, a mozgási energia felhasználás optimalizálásának ez a leghatékonyabb módja.

  Olyan rakéták esetén is ez a legjobb megoldás, amik csak kis túlterhelésű manőverek végrehajtására képesek. Az előretartásos módszer kinematikailag hatékonyabb, a célpont számára a rakéta kimanőverezését megnehezíti, ellenben a szükséges számítási kapacitása jóval nagyobb és több adat is szükséges hozzá, mint az összes korábbi módszernél.

  A módszer hátránya, hogy a célpont függőlegesen lefelé irányuló manőverrel a földbe manővereztetheti a rakétát, hiszen a számított találkozási pont a földfelszín alatt is lehet egy adott pillanatban. (Vietnámban tipikus védekezési módszer volt, lásd később). Ennek kivédésére alkalmazzák, hogy a föld felé közeledő rakéta előretartását „határolják” („K” rávezetés Sz-75/SzA-75 rendszereknél) a föld felszín fölé.

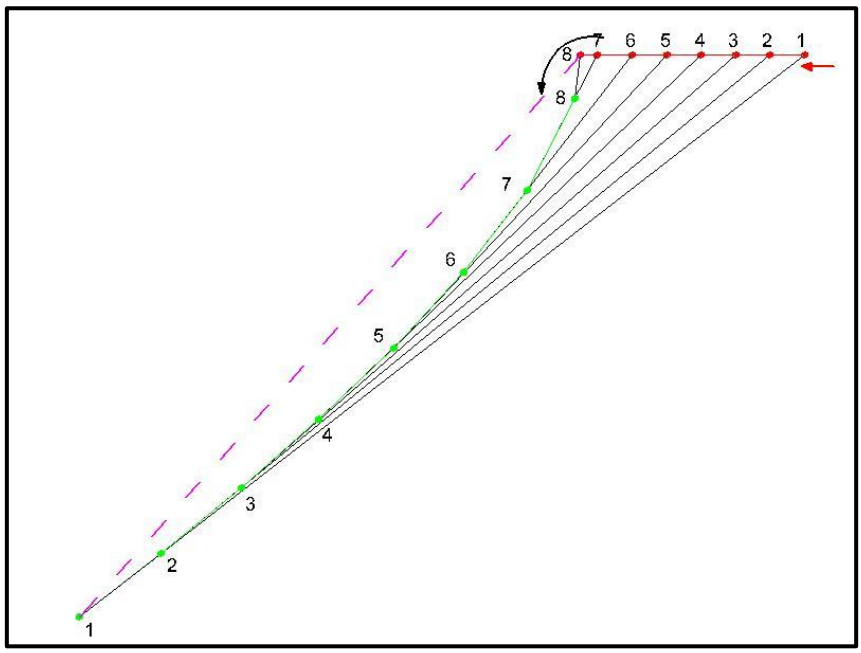
A fenti négy módszer nem tisztán alkalmazott. Oldalszögben (balra/jobbra) amikor lehetséges, akkor mindig arányos a megközelítés.

Helyszögben (fel/le irány) arányos megközelítés használatos vagy a pálya elején/közepén programozott pálya követése. Egyes nagy illetve közepes hatótávolságú légvédelmi rakéta-rendszerek és légiharc-rakéták működnek ilyen módon (Sz-200, AIM-54, AIM-7, AIM-120). A programozott kezdeti fázist követően a végfázisban már arányos megközelítést használnak oldal- és helyszögben is. A rakéták indítása után azok robotpilótája jellemzően emelkedő pályára állítja a rakétát, a helyzeti és mozgási energia felhasználás optimalizálása történik ezen a módon. Bár az emelkedésnek is energiaigénye van, de magasabban, a kisebb sűrűségű légkörben haladás (vitorlázás) kompenzálja az emelkedéshez felhasznált energia mennyiséget, a rakéta megsemmisítési zónája ezzel nagyobb a teljes röppálya során használt arányos megközelítéssel szemben. Az AIM-54 is az indítást követő nagy magasságba emelkedéssel majd ott „vitorlázással” (repüléssel) éri el a fantasztikus 200 km körüli maximális indítási távolságot közeledő célok ellen. A rakéta ilyen pályán akár 30 km-es repülési magasságot is elérhette, de ehhez 8-10 km feletti repülési magassággal kellett, hogy indítsa a rakétát az F-14 Tomcat. Az Sz-200 rendszer rakétája is ehhez hasonló repülési profillal éri el a hatalmas hatásos megsemmisítési zónát.

A pálya elején ballisztikus vagy ahhoz közeli pálya kombinálva végfázisban arányos megközelítéssel is járatos megoldás (Patriot, HARM, Sz-300). A ballisztikus pálya elején nincs előretartás, a lényeg az, hogy a rakéta minél hamarabb minél magasabbra érjen, ahol a sokkal kisebb mértékű légellenállást kihasználva hatalmas hatótávolságot érhetnek el.

Megjegyzendő, hogy az eltérő rávezetési megközelítési formák eredményezhetnek speciális esetekben azonos vagy majdnem azonos rakéta pályát, ez a célpont mozgásától is függ. Amennyiben a célpont nem manőverezik, akkor az előretartásos módszer és az arányos megközelítés a rakéta megközelítési irányától függően nagyon hasonló, közel azonos is lehet. A fenti módszerek közötti különbség akkor lesz számottevő, amikor a célpont manőverezik és/vagy elektronikai zavarást alkalmaz.

A következő oldali ábrán egy igen egyszerű esetben látható a különbség az optimális és legprimitívebb megközelítési megoldás között.



Előre tartás (lila szaggatott) és két pont/"kutyagörbe" (zöld folyamatos) megközelítés során kapott pályák összehasonlítása.

A fenti ábrán a célpont a piros vonal mentén halad előre, állandó sebességgel, irányváltoztatás nélkül, a rakéta a zöld vonalon mozog két pont megközelítéssel. A piros és zöld pontok az azonos időpillanatban mutatják a rakéta és a cél helyét, mellettük sorszámmal feltüntetve az időpillanatokat. A rakéta és a cél sebessége is az egyszerűség kedvéért állandónak lett véve, a rakéta sebessége háromszorosa a célpontnak.

Tisztán látszik, hogy a célhoz közeledve a két pont/„kutyagörbe" pálya esetében a rakéta egyre erőteljesebb fordulóra van kényszerítve a célponthoz közeledve annak ellenére, hogy a cél egyáltalán nem manőverezik, nem gyorsít és nem is lassít. Tehát a rakéta pazarolja a mozgási energiát, ráadásul olyan módon, hogy a végfázisban kényszerül egyre nagyobb túlterhelésű fordulóra, amikor a mozgási energia már erőteljesen csökkenhet a rakétahajtómű kiégése miatt. Adott esetben a célpont távolságától függően a két pont módszerrel a rakéta nem képes a célt megsemmisíteni, mert a lassuló rakéta a végfázisban már nem képes kellően manőverezni, ellenben arányos megközelítés vagy előre tartás esetén képes lenne a célt leküzdeni.

Ennél még komolyabb probléma, ha a célpont manőverezik. Tegyük fel, hogy a célpont észlelve a rakétát balra fordul, ahogy a fekete nyíl mutatja az ábrán. Akkor a találkozáshoz még szűkebben, még nagyobb túlterheléssel kellene fordulnia a rakétának. A probléma az, hogy erre nem feltétlen képes, a rakéta manővereit korlátozhatja a rakéta maximális megengedett vagy elérhető túlterhelhetősége. Az előbbi esetben még ébred elég aerodinamikai erő a rakéta számára a strukturálisan engedélyezett maximális túlterhelésű fordulóhoz, de az elégtelen a célpont elfogásához. A másik eset már az, hogy bár a rakéta maximális strukturális túlterhelés értékén belül van az elfogáshoz szükséges forduló, de elegendő kormányerő már nem áll rendelkezésre ehhez, ez jellemzően nagy magasságban repülő célpontoknál fordulhat elő.

A szaggatott lila vonallal az ábrán az előretartás esete van feltüntetve. Amennyiben a cél minden paramétere ismert, akkor a rakéta és a célpont pályakeresztezési helye már az indításkor meghatározható, a rakéta oda fog repülni. A rakéta gyakorlatilag nem manőverezik, nem pazarolja a mozgási energiát felesleges manőverekkel és a végfázisban nem szükséges nagy túlterhelésű manőver végrehajtása. Tehát, ha két teljesen azonos rakéta a fenti elképzelt célpontra lenne indítva, de eltérő vezérléssel, akkor a gyengébb (két pont vagy három pont) vezérléssel bíró rakéta megsemmisítési zónája kisebb lenne, mint

arányos vagy előre tartással repülő rakéták, a célpont maximális sebessége sem azonos ilyen esetekben. Ezért kisebb pl. három pont rávezetéses módszernél az SzA-75 Dvina és az Sz-75 Volhov maximális célsebessége, lásd később.

Egy másik elképzelt eset, amikor nagy magasságban, ritka légkörben repülő ballisztikus rakéta elfogása a feladat, két pont vagy három pont pályát biztosító vezérléssel ballisztikus rakéta elfogása gyakorlatilag reménytelen feladat. Ellenben a ballisztikus rakéta – néhány kivételt leszámítva, pl. OTR-23 Oka vagy a későbbi 9K720 Iszkander típusok – olyan célpontok, aminek bár iránya és sebessége változik, de ezen változások előre számolhatóak, nem manőverezik véletlenszerűen, tehát meghatározható a találkozási pont és oda küldhető elfogó rakéta, ami lényegében „elé áll" a bejövő ballisztikus rakétának.

A különféle arányos megközelítések az ábrán látható lila vonalnál kicsit rosszabb eredményt adnak – de egyes esetekben azzal egyezőt vagy majdnem egyezőt –, de a kutyagörbe pályán mozgáshoz képest mindig jobbak energetikailag.

Ezekből az igen leegyszerűsített példából látható, hogy nagyon nem mindegy, hogy egy rakéta milyen információk alapján és milyen előre tartási módszerrel repül rá a célra.

A fentieknél részletesebb bemutatása a vezérlésnek már komoly matematikai ismereteket és levezetést kívánna meg, akit érdekel, a mellékletek közt megtalálható Missile Guidance & Control Systems angol nyelvű könyv. Annak 4. fejezetében sokkal részletesebben kifejtésre kerül a matematikai háttere a különféle rávezetéseknek.

A fentiekben megismertük a célpont és rakéta követésének problémáját, a radarok alapvető képességeit és a rakéta pályáját, egy „apróság" azonban még hátravan. A látótávolságon túl indított rakétáknál a célazonosítás problémája.

A repülőgép-fedélzeti radarok képességeinek egyik csúcsát az NCTR (Non Cooperative Target Recognition).[227] Lényegében arról van szó, hogy a visszavert radarjel karakterszitájának (jellegének) megváltozásából – elsődlegesen a forgó kompresszorlapátok általi moduláció okozza ezt – a visszavert jel elemzése alapján azonosíthatók az eltérő géptípusok, amennyiben rendelkezésre áll az ehhez szükséges adatbázis. Tehát adott esetben nem csak a közeledő gép hovatartozása, hanem akár a konkrét típusa is megállapítható, aminek ismeretében a pilóta képes felmérni a fenyegetés mértékét is.

Egy F-15C számára egészen más fenyegetést jelentett a '80-as évek végén egy MiG-21bisz és egy MiG-29 9.12/9.13 típus. A kompresszorlapátokra rálátás szükségessége miatt a módszer csak közeledő célpontok ellen működik, és ott is csak korlátozott szögtartományban. Ez a tartomány egyes források szerint ± 15 fok, mások szerint ± 30 fok. (A keveredés valószínűleg a teljes kúpszögnél a balra jobbra tartomány vagy a teljes tartomány nem tisztázott értelmezése miatt van.) A célpontok maximális észlelési távolsághoz képest csak jelentősen közelebbről alkalmazható az NCTR módszer. 1999-ben az Allied Force hadművelet alatt az F-15C pilóták csak kb. 25 km-ről tudták ezzel a módszerrel azonosítani a szerb MiG-29-eseket, amikor azok szembe repültek velük.[228]

[227] *Lásd a mellékletek között, a „Ha rövid a kardod..." cikksorozatban.*
[228] *172-173 oldal, Debrief a complete history of U.S. aerial engagements 1981 to the present*

Elsőként ilyen képességgel a Németországban állomásozó USAF F-15C gépei rendelkezetek, 1985-ben kapták meg az ehhez szükséges fejlesztéseket. A módszer nem minden esetben pontos, nagyon eltérő méretű és típusú gépek is okozhatnak hasonló modulációt, amit a rendszer tévesen értelmez. A ’80-as években az F-15 pilóták azt tapasztalták, hogy a DC-8 hatalmas utasszállító gépeket nem egyszer MiG-23 típusként azonosították a fedélzeti rendszerek. Ez súlyos hiba, de mivel harci zónában DC-8 nemigen fordul elő, az ilyen hibák részben kiszűrhetőek. A módszer hátránya, hogy az ehhez szükséges adatbázis felépítése és naprakészen tartása nem egyszerű feladat, olyan repülőgép, amivel soha nem találkoztak és mérték ki a modulációt, az ezzel a módszer nem azonosítható. (1999-ben az Allied Force hadművelet alatt automatikus tűzparancsot ért egy sikeres NCTR célazonosítás. Hpasp kiegészítése.)

A célpontok hovatartozásának beazonosítása látótávolságon túl rádió-elektronikai módon is lehetséges, de az elektronikus IFF-nek[229] komoly korlátai vannak. Ennek egyik oka az EIFF (electronic IFF) rendszerek antennáinak iránykarakterisztikája, amik akkora méretű térrészből „kérdeznek” és várják a választ, hogy a egymáshoz közeli – ez jelenthet oldalirányban közeli távolságot, vagy egymás mögött, távolságban egymáshoz képest eltolt repülőgépeket – célok esetén nem lehetséges az azonosítás. Az antennák által lefedett térrész okozta probléma az EIFF rendszerek által használt hullámhosszból és az antennák méretéből következik. A 4.4.1.3. fejezetben, a vontatott csalik ismertetésnél és antenna nyalábformálás bemutatásnál lásd erről a bővebb magyarázatot.

A másik probléma a célpontok távolsága a hovatartozás megállapításánál, ha azok a fenti aspektus korlát miatt egy térrészbe esnek az antenna-karakterisztika miatt. A radar hiába méri a céltávolságot, az IFF nem a célról visszavert jelet veszi, aminek a válasz idejéből kiszámolható lenne annak távolsága.

Amikor az IFF „kérdés” kisugározásra kerül, azt követően a térrészből az összes cél válaszadója reagál, és a válaszokat a kibocsátó veszi. Hogy a cél vagy célok válaszadója mekkora késleltetéssel válaszol, azt nem lehet tudni – ez lehet az IFF rendszerbe szándékosan is beépítve – így pontos távolságot nem lehet mérni a válaszidőkből. Ha a válasz késleltetése csak 100 mikroszekundum időtartományban van, már az is 30 km-es távolság eltérést eredményez. A válaszidőből számolt távolsági adat ezért használhatatlan távolságmérésre. Az Sz-75 Volhovnál létezett úgynevezett kapuzott IFF mód, ami figyelembe vette a válasz érkezésének idejét, de a kapu távolságban nagy volt, pont a fent említett bizonytalanság miatt.

A kapuzás azt jelenti, hogy adott időközökön kívül eső érkező jeleket – ami távolságot jelent, a fénysebesség és idő szorzatából lesz távolság – a rendszer nem veszi figyelembe, csak a „kapun” keresztül érkezőket.

Az IFF rendszerekről ennél részletesen megbízhatóan írni nehézkes, mert a forrásokból nem derül ki és soha nem részletezik, hogy a látótávolságon túli célazonosítás miért nem sikerült többször sem a Sivatagi Vihar vagy az Allied Force hadművelet alatt, ahol nem fordultak olyan esetek elő, mint a fent említett elképzelt korlátozó helyzetek. Nem véletlenül ez az egyik legtitkosabban kezelt terület, mert hiába a hatalmas hatótávolságú légiharc vagy légvédelmi rakéta, ha célazonosítási probléma miatt azok képességei nem használhatóak ki.

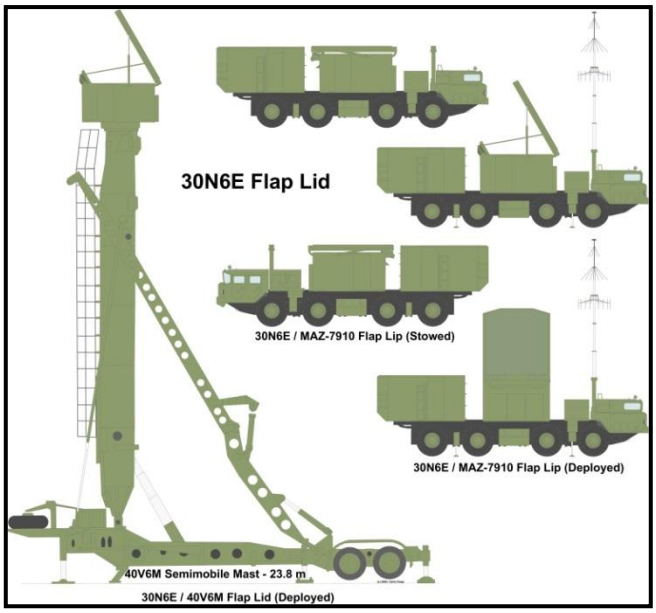
Az elektronikus, látótávolságon túl célazonosítás nagyon sokáig, sőt, talán még ma is bajos lehet. A BVR képesség kihasználása adott harcászati helyzetben és fegyverhasználati szabályok mellett (rules of engagement, RoE) nem mindig lehetséges pusztán rádió-elektronikai azonosítással, ezért ezen elektro-optikai rendszerekkel próbálnak segíteni, lásd később.

[229] *IFF = identification friend of foe, ellenség/barát azonosítás. EIFF, de többnyire csak IFF-ként hivatkoznak rá szakirodalomban, mert a vizuális célazonosításnál VID (visual identification) rövidítést használják jellemzően.*

4.2. Légvédelmi rakétarendszerek és csöves légvédelmi tüzérség

4.2.1. Rádiótechnikai vezérlés / irányítás korlátai, megsemmisítési zóna

Az első légvédelmi rakéta-rendszerek rádiótechnikai módon radarral találták meg a célokat, a rakétákat rádió távvezérléssel működtették, a közepes és nagy hatótávolságú rendszereknél mind a mai napig rádiótechnikai megoldásokat használnak. A rádiótechnikai módszer minden földi- vagy vízi telepítésű légvédelmi rakéta-rendszernél korlátozó tényező a rádióhullámok terjedési módja miatt. (Nem rádiótechnikai irányítási elven működő rakéták a kis hatótávolságú csapatlégvédelmi eszközökre jellemzőek.)



Az Sz-300Psz tűzvezető radarja, különféle platformokon. Egyes változatoknál még ennél magasabb oszlopra telepített radart is terveztek

A Föld görbülete miatt a radar nem lát be a horizont alá, de terepviszonyoktól függően a domborzat kitakaró hatását sem lehet figyelmen kívül hagyni. Alacsonyan repülő gépeket a radar így nagyon későn érzékel, a célleküzdésre rendelkezésre álló idő egyes esetekben nagyon korlátozott lehet, a domborzat miatt hosszú ideig fenntartott folyamatos célkövetés nem mindig valósítható meg. (Az alacsonyan repülés a támadó számára nem csak előnyt, de hátrányt is jelent, például a magasabb üzemanyag fogyasztás miatt, de nem ez az egyetlen hátránya, lásd későbbi fejezetekben.)

A mai korszerű légvédelmi rendszerek automatikus üzemmódban már 8-20 másodperc alatt is képesek követésbe venni a célt, azonosítani és rakétát indítani, de régen egész egyszerűen még a legképzettebb és gyakorlottabb személyzettel sem volt ez végrehajtható a korai légvédelmi rendszerek rendkívül alacsonyan automatizálási foka miatt. Az első észlelés és indítás közötti idő még igen képzett és gyakorlott személyzettel is minimum 30-60 másodperc volt.

Az alacsonyan közeledő behatolók ellen egyik lehetséges ellenlépés, hogy a radart minél magasabbra telepítik vagy magán a járművön igyekeznek minél magasabbra tenni a radarantennát, de ez nem olyan könnyű, mint amilyennek elsőre hangzik. A korai radarok nehezek voltak, de még ma sem pehelysúlyúak. Az ’50-es években a félvezető technológia az első légvédelmi rendszerek korában nem is létezett, továbbá a teljesítményelektronika is elég primitív szinten volt.

Ha nagyon magasra építették volna a radarokat, akkor olyan nagy tömegűek lettek volna, hogy az Úristen sem lett volna képes mozgatni azokat, viszont a mobilitás követelmény volt a csapatlégvédelmi, de még a telepített légvédelmi rendszerek esetében is.

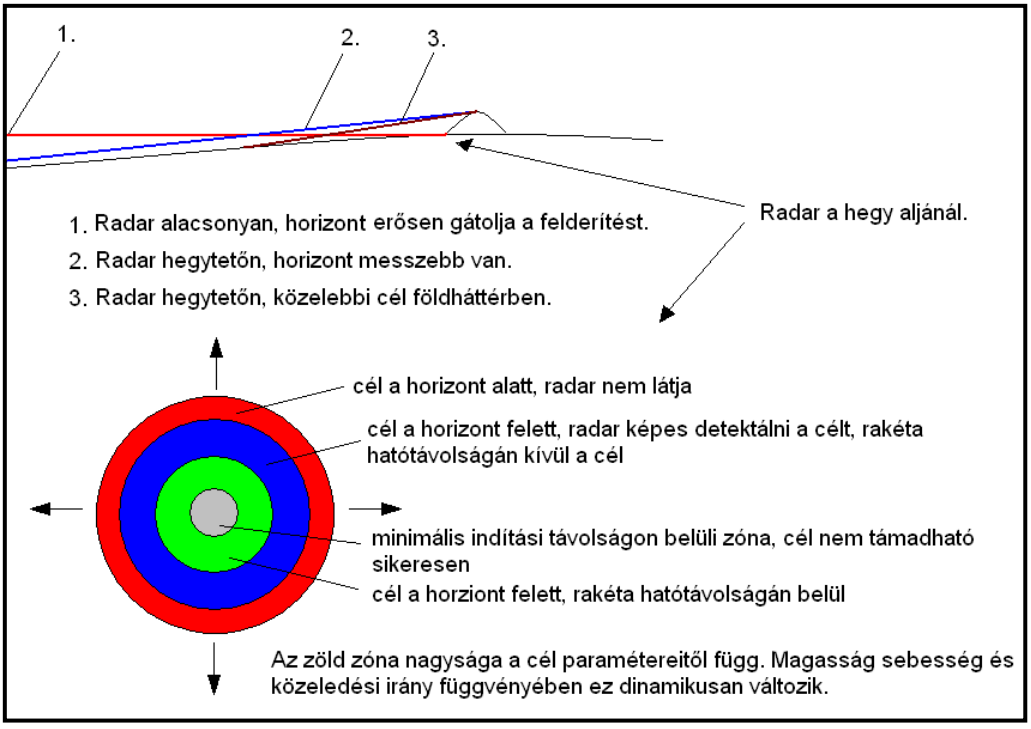
A csapatlégvédelem feladata a mozgó szárazföldi harcoló erők védelme, lásd később. A telepített légvédelmi rendszer azt jelenti, hogy bár a rendszer nem fix telepítésű, de az áttelepülési ideje órákban mérhető. A valódi gyors áttelepülésre képes légvédelmi rendszereket mobil rendszereknek hívjuk

Másik megoldás, hogy domb- vagy hegytetőre telepítik a légvédelmi rendszert a hozzá tartozó radarokkal egyetemben. Ennek hátránya viszont, hogy adott célpont távolság és magasság esetén

földháttérben kell keresnie vagy követnie a célpontot a radarnak, cserébe a célokra hamarabb ráláthat a radar, a célpontok előbb bukkannak fel a horizont alól.

A radar magaslatra telepítése történhet fix módon vagy légvédelmi rakéta rendszer nem állandó kitelepülésével. A fixen kiépített állások a középhatalmak katonai potenciáljával relatív könnyen kiiktathatóak amennyiben azokat nem védik komolyan, illetve nem képesek meglepetést okozni, hiszen azok telepítési pozíciója (ezért lehetséges felderítési zónájuk is a domborzat kitakaró hatását nézve) ismert. A telepített és mobil légvédelmi rendszerek estén a szűk keresztmetszet a rendszer által a magaslati pontok megközelíthetősége. Lehet bármennyire vonzó egy hegycsúcs, ha nem visz fel oda járható út vagy maga a lokális domborzat egyik irányban komolyan kitakarja a felderíthető légteret. Ugyan vannak olyan légvédelmi rendszerek, aminek összes főbb eleme helikopterrel áttelepíthető, de ez kevés légvédelmi rendszer esetén reális opció még ma is, nemhogy a hidegháború robosztus rendszereit nézve.

A légvédelmi rendszerek közül csak a legrégebbiek nem voltak képesek földháttérben levő célokra tüzelni. Az Sz-25 Berkut (SA-1), SzA-75 Dvina (SA-2A/B/F) impulzus radarral nem volt képes földháttérben repülő célra dolgozni, de a az Sz-75 Gyeszna (SA-2C) és az legutolsó Sz-75M változat a Volhov (SA-2E), és az összes többi újabb légvédelmi szovjet-orosz rendszer Sz-125 Nyeva (SA-3), Krug (SA-4), Osza (SA-8) impulzus radarja már rendelkezett mozgócél kiválasztó rendszerrel (MTI / SzDC), így azok földháttérben is tudták a célokat követni. Erre a ’60-es évektől a nyugaton elterjedt amerikai gyártású MIM-23 HAWK is képes volt, mert folyamatos hullámú (CW) sugárzót használt.

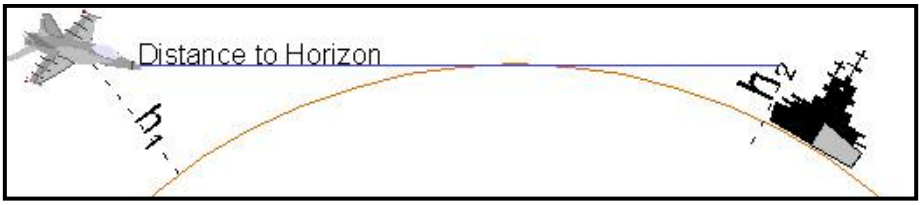


Horizont és domborzat hatása a felderítési távolságra.

A fenti ábrákon következő alapinformációk láthatóak. Nézzük azt az esetet, amikor a radar és/vagy a légvédelmi rendszer a hegy lábánál van és ezt leszámítva a terep tökéletesen teljesen sík. Az adott magasságon közeledő cél adott távolságig (repülési magasságtól függ) a horizont alatt van, a radar nem láthatja a célt semmilyen körülmények között.

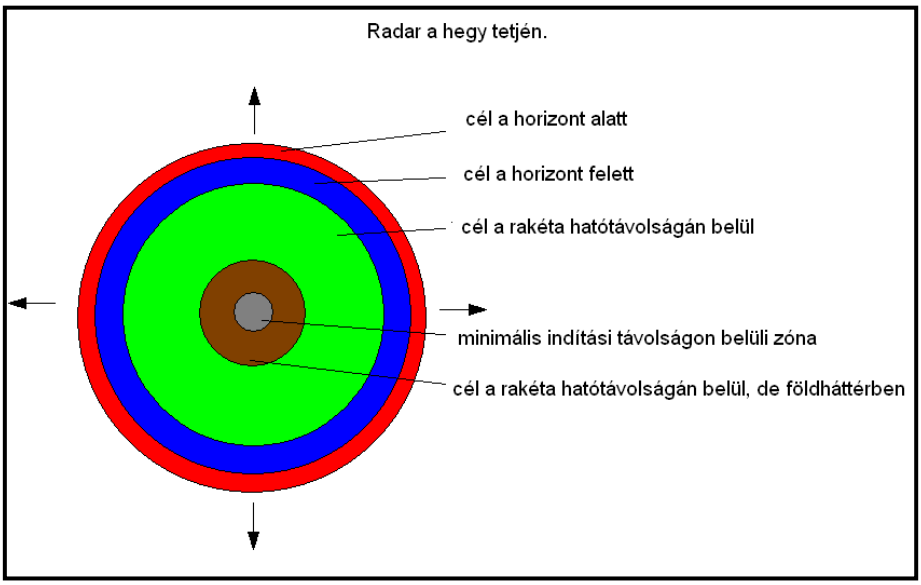
Ahogy közeledik a radarhoz a célpont előbukkan a horizont mögül, a radar innentől már rálát arra és képes követni. Ekkor a kérdés az, hogy a radarrendszer képes e detektálni a visszavert jelet, hogy kellően érzékeny-e a rendszer. Ez igen sok dologtól függhet, de ezekről majd később. Tegyük fel, hogy a folyamatos

célkövetés lehetséges. Ahogy még tovább közeledik, a cél egy idő után bekerül a légvédelmi rakéta-rendszer megsemmisítési zónájába, majd egy idő után eléri a rendszer minimális megsemmisítési távolságát, amin belül eredményes célleküzdés nem lehetséges.



A horizont és felderítési magasság a távolság függvényében.

A vizuális- és a radarhorizont nem azonosak, egyes hullámjelenségek miatt a rádió hullám kismagasságban nem csak egyenesen vonalban képes terjedni, ezért a radarhorizont számítása során nem a Föld görbületi sugarával, hanem annak 4/3-val lehet számolni. A linken és a mellékletekben található, Hpasp által készített Excel tábla is ezt a hatást figyelembe veszik.[230]



Horizont és domborzat hatása a felderítési távolságra. A két ábra távolság léptékezés nélküli, pusztán a jelenség megértését segítik elő.

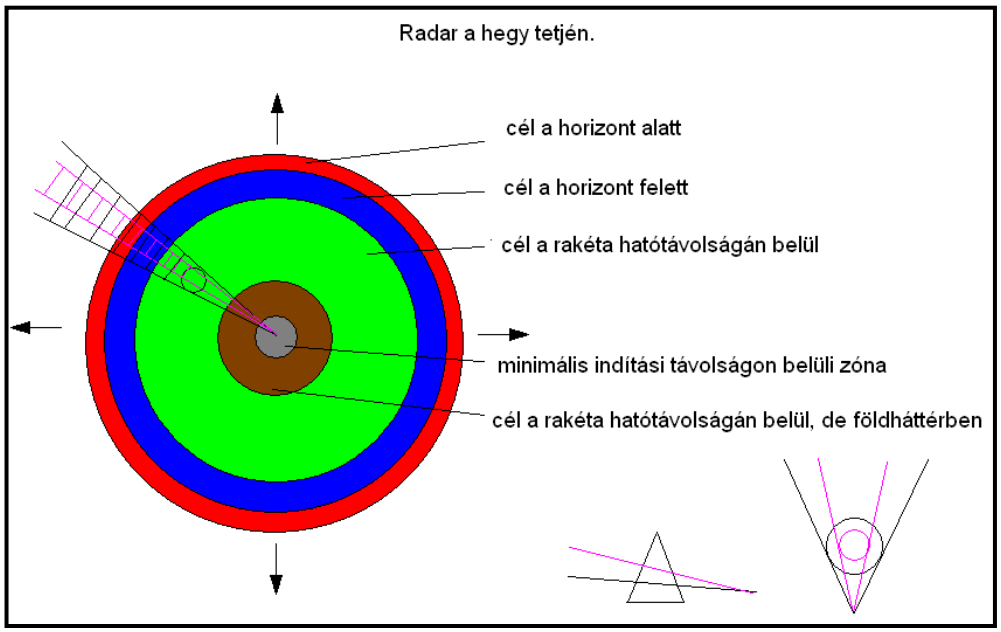
A fenti ábrákon látható gondolatkísérletek teljesen sík terep esetén értendők, tehát egy végletekig lecsupaszított nagyon egyszerű esetet mutatnak be, és még az is pontatlanul, csak az elvi alapok megértéséhez megfelelőek az ábrák, csak a Föld görbületével számoltunk. Ez nagyjából addig igaz, ameddig nagy magasságban repülő repülőgépek észlelése és lelövése a cél. Ilyen esetek például a Moszkvát támadó amerikai interkontinentális bombázógépek, illetve az USA kontinentális területét támadó szovjet bombázóké, az első légvédelmi rakéta-rendszerek ezek leküzdésére voltak tervezve.

A valóság viszont ennél sokszor összetettebb, főleg amikor nem ilyen típusú célokra vadászott a légvédelem, hanem sokkal dinamikusabban repülő taktikai (harcászati/hadműveleti) repülőgépekre és a domborzat nem asztallap simaság. A domborzatot modellezze egy darab „hegy” amit egy kúppal helyettesítünk az egyszerűség kedvéért, a következő oldali ábrán látható a példa.

Ebben az esetben célpont repülési magassága is befolyásolja azt, hogy mennyire takarja ki a hegy a mögötte levő légteret. Ez az ábra jobb alsó sarkában látható, oldalnézetben és felülnézetben. Látható, hogy adott célmagasság és távolság esetén az adott kúpmetszetekből kiindulva hogyan blokkolja a radarjelek

[230] http://members.home.nl/7seas/radcalc.htm

terjedését a domborzat. Egyre bonyolódik a helyzet, a légvédelmi rendszer egyes irányba és területekre nézve vak, ezt a támadók képesek kihasználni, különösen a kis magasságban érkező célpontok.



Domborzat kitakaró hatása a forma és célmagasság függvényében. A hegycsúcsot egy kúp modellezi. Adott magasságú cél ellen nézve a pásztázó radar adott függőleges szögbeállítással keres, attól függően eltérő nagyságú térrészt takar ki a kúpszelet.

Ezek után képzeljük el egy teljesen általános domborzatot hegyekkel, völgyekkel, dombokkal. Felülnézetben nézve és alkalmazva az összes fent ismertetett elvet, dombos vidéken a következő a helyzet. Akár alacsonyan akár egy domb- vagy hegytetőre van rakva a radar, különböző magasságokon metszeteket készítve a légtérről egyes helyeken „vakfoltok”, de egyes irányokban akár teljesen blokkolt területek is lehetnek egy légvédelmi rakéta-rendszer felderítési és megsemmisítési zónájában. Tehát korántsem evidens egy légvédelmi rakéta-rendszernél az egyenszilárd megsemmisítési zóna, teljes körkörös lefedésről minden magasságon az esetek többségében szó nincsen.

A fentiekben bemutatott korlátok pusztán a geometriából és a rádióhullámok terjedéséből származnak, ezen felül számtalan más gátló és korlátozó tényezője is van egy légvédelmi rakéta-rendszernek, amik függenek radartól típusától és alapvető működési elvétől, a rakéta kinematikai képességétől és ezek kombinációjától. A légvédelmi rendszerek és légiharc-rakéták megsemmisítési zónájával részletesebben a 7. fejezet foglalkozik.

4.2.2. Légvédelmi rakéta-rendszerek képességeinek osztályozása

Élesben, tömegesen csak a szovjet légvédelmi rendszereket vetették be, amerikai és egyéb nyugati fejlesztésű légvédelmi rendszerek nagyon ritkán jutottak szóhoz. Az evolúció bemutatása főleg a szovjet-orosz rendszereken keresztül történik meg, mellétéve amerikai eszközöket. Egy légvédelmi rakéta-rendszer képességeinek megítéléséhez az alábbi fő tényezők számítanak:

- A felderítő és tűzvezető radar által alkalmazott hullámforma és alap technológia, lehet például:
  - impulzus üzemű
  - impulzus üzemű, mozgócél kiválasztó berendezéssel,
    (Moving Target Indication – MTI, oroszul СДЦ, SzDC)
  - folyamatos hullámmal üzemelő (continuous wave – CW)

  - impulzus-doppler üzemű digitális jelfeldolgozással

- A rendszer által használt radar vagy radarok feladatköre, a radarok által használt frekvencia/hullámhossz tartomány. Ma egyes légvédelmi rakéta-rendszereknél egyetlen radar lát el minden funkciót, de ez egyáltalán nem jellemző, lásd később.
- Az alkalmazott vezérlési módja a rakétának, ilyen lehet például (nem feltétlen létezik mindegyik változat, de elvi lehetősége meg van):
  - rádió-parancsközlő (RPK)
  - félaktív radarvezérlés
  - aktív radarvezérlés
  - Track Via Missile (TVM, nincs értelme lefordítani)
  - Seeker-Aided Ground Guidance (SAGG), TVM-hez hasonló, de annál picit több
  - kombinált TVM/SAGG + aktív radaros végfázisban
  - kombinált TVM/SAGG + infravörös végfázisban
  - infravörös
  - lézer-vezetősugaras (laser guided SACLOS)
  - foto-kontrasztos
- A célcsatornák száma, a rendszer hány különböző célra képes rakétát rávezetni egy időben.
- A rakétacsatornák (cél- és tűzcsatornák) száma, vagyis hány rakétát képes rávezetni összesen egy vagy akár több célra egyidőben.
- A légvédelmi rakéta-rendszer által használt rakéták kinematikai és egyéb jellemzői. Rakéta tömege, légellenállása, manőverező képessége, a hajtómű tolóerő-üzemidő által biztosított kinematikai paraméterek.
- Indításra kész rakéták maximális száma.
- A rendszer mobilitása, megállástól számított idő a harckészültségig illetve menetkésszé tétele a rendszernek.

A fenti tényezők alapján a következőkben ezek kerülnek kibontásra a telepített és komolyabb mobil csapatlégvédelmi rendszerek esetén. A „komolyabb” alatt értjük a rendszer megsemmisítési zónáját és maga a rendszer méretét, csak a közepes és nagy hatótávolságú radarvezérlésű légvédelmi rendszerekkel foglalkozunk. Az alváltozat jelöléseket nem használtak a lenti példáknál, az említett rakéta-rendszer családok újabb tagjainál adott esetben a radar fejlesztésével vagy teljes lecserélésével új képességek birtokába jutottak.

4.2.3. Légvédelmi rendszerek célfelderítő-követő és tűzvezető radarok alap jellemzői

4.2.3.1. Frekvencia / hullámhossz szerint

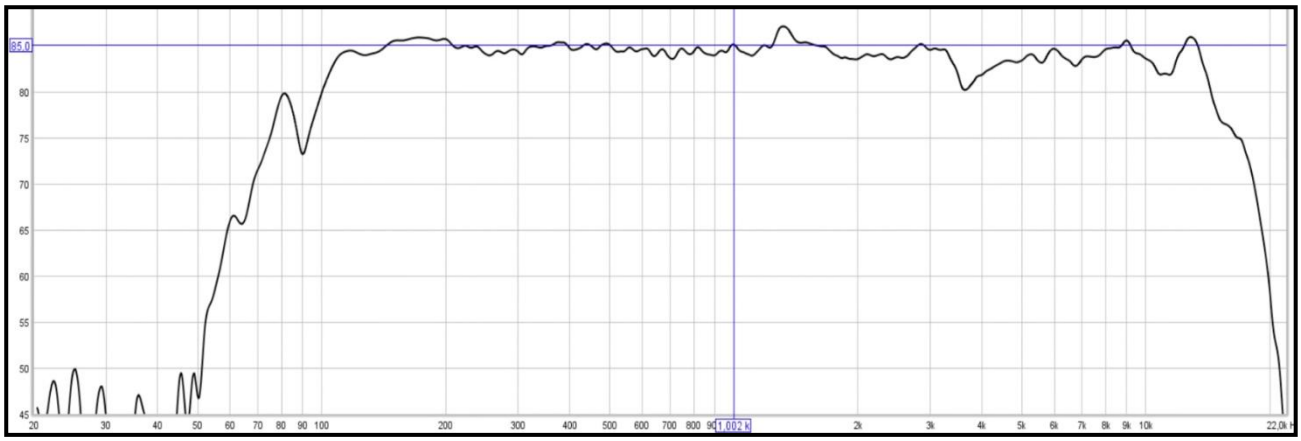
A radarok egyik legalapvetőbb tulajdonsága, hogy milyen hullámhosszon / frekvenciatartományban üzemelnek. A frekvencia és a hullámhossz fordítottan arányosak, tehát minél kisebb a hullámhossz, annál nagyobb a frekvencia.[231]

A fizikai alapelvek miatt a radar antenna mérete behatárolja, hogy milyen tartományban képes egy radar hatékonyan üzemelni (sugározni). Az antenna mérete és annak kialakítása, illetve a fázisvezérelt radaroknál

[231] http://www.wavelengthcalculator.com/

a fázistoló (PESA) illetve az aktív radaroknál az aktív elemek mérete közvetlen kapcsolatban állnak azzal, hogy mi a használható hullámhossz alsó tartománya az adott berendezésnek, az antenna elemek közötti távolság a használt elemek fél-hullámhossz nagyságával van közvetlen kapcsolatban. (Lásd a vontatott csaliknál az 4.4.1.3 kék keretes részében.)

Miért fél-hullámhossz a korlát? A hangfalaknál és hangszóróknál is tapasztalható ez a jelenség a hallható frekvenciatartományban. A hangszórók képesek a hang fél-hullámhossznál kisebb hullámhosszhoz tartozó frekvenciákon is megszólalni, csak éppen (borzalmasan) gyenge teljesítménnyel. Egy hangszóró átviteli függvénye a lent ábrán látható, ez azt mutatja, hogy azonos bemenő teljesítmény esetén az eltérő frekvenciákon mekkora teljesítménnyel szólal meg az eszköz. Látható, hogy 50-100 Hz között 30 dB (decibel) a különbség a mért jelben, ez 1000-szeres (!) eltérést jelent amplitúdóban.



A radartechnikában célszerűbb a decibel skálával dolgozás, 10 dB <u>különbség</u> az abszolút értékben <u>tízszeres</u> eltérést jelent, 20 dB százszoros, 30 dB ezerszeres eltérést.(Lehet negatív értékű is.)

A decibel (dB) két mennyiség arányának logaritmikus mértéke, amit széles körben használnak az akusztika, a fizika és az elektronika területén. Eredetileg a teljesítmény vagy az intenzitás arányaként használták, de mára általánosan elterjedt a mérnöki gyakorlatban. A decibelt széles körben használják a hang erősségének mérésére. A decibel mértékegysége és dimenziója egy (1), hasonlóan a százalékhoz.

Alkalmazásának több előnye van: szélsőségesen nagy és kicsi értékek összehasonlítását teszi lehetővé, egyszerű összeadásra és kivonásra egyszerűsíti le az arányokkal való műveleteket, valamint a decibel logaritmikus skálája megfelel az emberi halló- és látószerv működésének.

Az alkalmazott hullámhossz és az antenna mérete alapvetően meghatározzák a radar mérési pontosságát tehát azt, hogy mennyire használható tűzvezetésre. Ebből adódik, hogy egy adott radar adott antennával fizikailag esetleg képes lenne sugározni a fél-hullámhossztól eltérő hullámhosszon is, csak olyan teljesítménnyel, hogy talán néhány kilométerről sem érzékelne semmilyen célpontot. Tehát az antenna fizikai mérete behatárolja azt, hogy milyen hullámhosszon/frekvencián lehet azzal használható paraméterekkel üzemelni.

IEEE osztályozás	
Hullámsáv	*Frekvencia tartomány*
HF	0,003 - 0,03 GHz
VHF	0,03 - 0,3 GHz
UHF	0,3 – 1 GHz
L	1 – 2 GHz
S	2 – 4 GHz
C	4 -8 GHz
X	8 – 12 GHz

Ezért van az, hogy bizonyos hátrányok ellenére a vadászgépeken és aktív radaros légiharc rakétán 10 GHz környékén (centiméteres hullámhossz tartomány) üzemelő radarok vannak, a nagyobb hatótávolságú légvédelmi rakéta-rendszereknél 3 GHz körüli (deciméteres hullámhossz tartomány), a nagy hatósugarú távolfelderítő radarok viszont néhány száz MHz frekvenciával (méteres hullámhossz tartományban) üzemelnek.

A hullámhossz/frekvenciatartomány osztályzásnak számtalan módszere van a forrásokban előforduló két legelterjedtebb[232] baloldalt fent és jobbra láthatóak. Néhány példa, hogy melyik légvédelmi rakéta-rendszer milyen tartományban üzemel.

NATO, USA,EU osztályozás			
Régi módszer		*Új módszer*	
sáv	*frekvencia (MHz)*	*sáv*	*frekvencia (MHz)*
A	0 – 250	I	100 – 150
		G	150 – 225
B	250 – 500	P	225 – 390
C	500 – 1 000	L	390 – 1 550
D	1 000 – 2 000	S	1 550 – 3 900
E	2 000 – 3 000		
F	3 000 – 4 000		
G	4 000 – 6 000	C	3 900 – 6 200
H	6 000 – 8 000	X	6 200 – 10 900
I	8 000 – 10 000		
J	10 000 – 20 000	Ku	10 900 – 20 000

- **E sáv 2 - 3GHz 15 cm – 10 cm**
  SA-1 (10 cm), SA-2A/B/F (10 cm)
- **F sáv 3 - 4GHz 10 cm - 7,5 cm**
- **G sáv 4 - 6GHz 7,5 cm – 5 cm**
  SA-2C/E (6 cm), Patriot (~7,5 cm)
- **H sáv 6 - 8GHz 5 cm - 3,75 cm**
  SA-5 (4,5 cm CW, folyamatos hullámú),
- **I sáv 8 - 10GHz 3,75 cm – 3 cm**
  SA-3 (3 cm),
- **J sáv 10 - 20GHz 3 cm - 1,5 cm**
  ZSU-23-4 (2 cm)

4.2.3.2. Az alkalmazott jelforma, vevő- és adó antennák szerint

Impulzus radar

- előnye: egyszerű
- hátránya: földháttérrel repülő célok követésére alapesetben képtelen

Ilyen radart használt tűzvezetésre (rakéta rávezetésre) az amerikai Nike Ajax, a szovjet Sz-25 Berkut és az SzA-75 Dvina. (Az alkalmazott rakéta rávezetési módszer a rádió-parancsközlő volt.) A célfelderítő-követő radarok kis magasságban nem is kerestek, a rakéták ilyen magasságú célok megsemmisítésére eleve alkalmatlanok voltak az ilyen elven működő felderítő radarral bírtak a fent felsorolt rendszerek, ez a módszer az ’50-es években kifejlesztett és rendszeresített eszközökre voltak jellemzőek.

Légvédelmi rakéta-rendszer	*Körkörös felderítő radar*
MIM-3 Nike Ajax	*TAR*
Sz-25 Berkut (SA-1)	*B-200*
SzA-75 Dvina (SA-2)	*P-12*

Impulzus-radar (mozgócél kiválasztó berendezéssel)

Angolszász terminológiában MTI (moving target indicator) oroszul SzDC, magyarul mozgó cél kiválasztó rendszer. A 60-as évekbeli módszer lényege, hogy két egymás utáni beérkező impulzus (visszaverődés) van kivonva egymásból**.** Ez jól működik egy viszonylag stabilan azonos irányba néző lokátornál, de nem egy

[232] https://en.wikipedia.org/wiki/Radio_spectrum#IEEE

folyamatosan körben forgó felderítő radar esetén. Ha kellően lassan pörög a radar antenna, akkor még működhet az MTI módszer, viszont ha gyorsan (egy fordulat másodpercenként nagyságrend) akkor szinte minden impulzusnál eleve máshová néz a lokátor, tehát a kivonás hatékonysága lecsökken arányosan azzal, ahogy nő az antenna forgási sebessége.[233]

- előnye: földháttérben is követhető a célpont, égháttérben állócél követése is lehetséges (MTI/SzDC kikapcsolható)
- hátránya: MTI/SzDC miatt vaksebesség probléma (lásd kicsit később), bonyolultabb rendszer, nagy szögsebesség esetén hatásfoka zuhan

Ilyen tűzvezető radarral rendelkeztek a Nike Hercules, Sz-75 családba tartozó Gyeszna és Volhov változatok, az Sz-125 Nyeva, 2K12 Krug, 9K33 Osza rendszerek, amelyek mind rádió- parancsközlő vezérlést alkalmaztak. Ezekhez a komplexumokhoz az alábbi célfelderítő-követő lokátorokat alkalmazták.

Légvédelmi rakéta-rendszer	*Körkörös felderítő radar*	*Tűzvezető radar*
Nike Hercules	*LOPAR/ HIPAR*	
HAWK		*PAR*
Sz-75 Gyeszna, Sz-75M Volhov (SA-2)	*P-18 (Spoon Rest)*	
Sz-125 Nyeva (SA-3)	*P-15 (Flat Face)*	
2K11 Krug (SA-4)	*P-40 (Long Track) ezred/dandár szinten* *1Sz12 osztály szinten*	
Sz-200 Vega (SA-5)	*P-14 (Tall King)*	
9K33 Osza (SA-8)	*Nem külön egység, a járművön van.*	*Nem külön egység, a járművön van.*

CW (continuous wave , folyamatos hullámú) radar

A 60-as évektől használt a CW módszer, amikor a kisugárzott szinusz jel van kivonva a beérkezőből. A módszer működik nagy szögsebességgel forgó radar esetén is, ehhez relatíve egyszerű félaktív radarvezérlésű (SARH) rakétát megalkotni.

- előnye: földháttérben is lát mozgó célt, nagy antenna forgási sebesség mellett is működőképes a módszer, SARH rakéta rávezetése nehezen zavarható
- hátránya: állócélt egyáltalán nem lát (kivéve helikoptert a rotorok modulációja miatt, azok ugyanis mozognak), beaming manőver hatásos lehet ellene, drága és bonyolult, nagyon pontosan kell tartani a frekvenciát

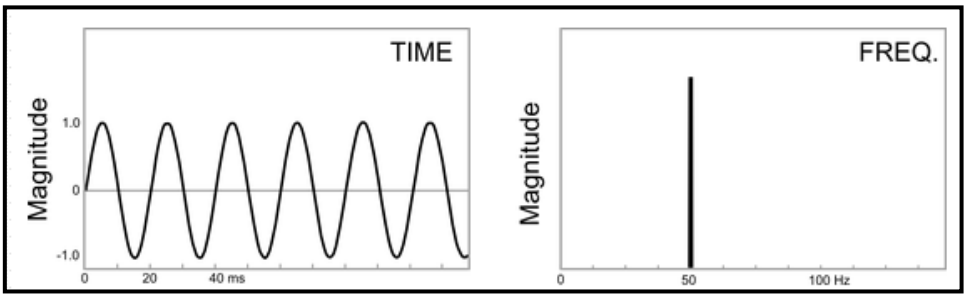
Ilyen tűzvezető radarral rendelkezik az Sz-200 családba tartozó Vega (SA-5), Kub (SA-6), és az amerikai HAWK (HPIR), ezek félaktív rakéta vezérlést alkalmaznak.

A célfelderítő-követő radarok közült ezt használta a HAWK CWAR és az Sz-300 76N6 NVO (Clam Shell) kismagasságú célfelderítő radarja. A CW módszer alapvető kritériuma, hogy a sugárzó (adó) és vevő antenna két különálló rendszer, hiszen nincs a kiadott impulzusok közötti várakozás, mint az impulzus és impulzus doppler radaroknál, folyamatosan sugároz és vesz a rendszer egyszerre.

[233] https://youtu.be/c5zC_JWvxVU?t=3m16s

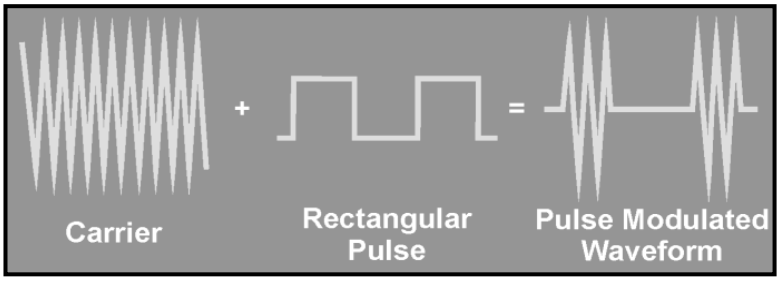
Impulzus-doppler radar digitális jelfeldolgozással

A 70-es évek végén, ’80-as évek elején kifejlesztett impulzus-doppler módszer. Ennél a módszernél már elengedhetetlen olyan mélységekbe menni, ami meghaladja a középiskolás fizikai alapismereteket, a megértéshez alapvető matematika és jelanalízis ismeretek szükségesek.

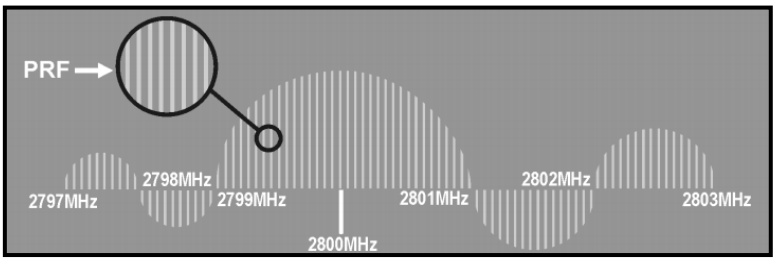


Szinuszos hullámforma idő- és frekvenciatartományban. (Fourier transzformáció)

Egy jel ábrázolása lehetséges idő- (waveform) és frekvencia (frequency spectrum) tartományban. Vegyünk például egy egyszerű folyamatos szinusz jelet állandó amplitúdóval. Ez esetben frekvencia-tartományban ábrázolva a jel egyetlen ugrásfüggvény a kiadott frekvencián, csak egyetlen tiszta frekvencia komponenst tartalmaz. Jó közelítéssel a radar ehhez hasonló módon a lehető legpontosabban egy frekvencián próbál sugározni, megpróbálja tartani ezt a frekvenciát. Az impulzus radarok alapelve, hogy egy ideig kisugároznak, azután várják a visszaverődő jelet a célról vagy célokról, tehát a folyamatos jel meg van szaggatva.



Alapjel és annak megszaggatása idő tartományban.

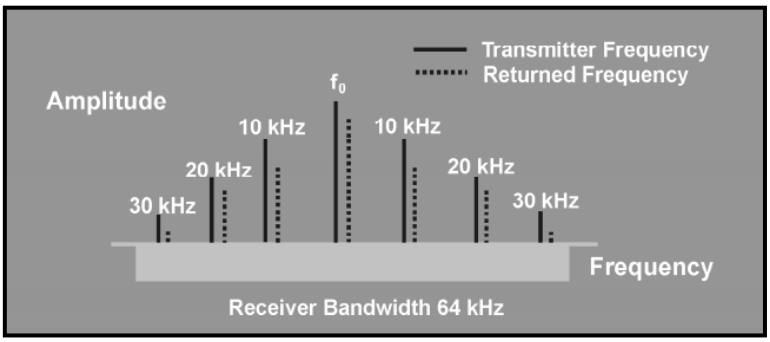


Az egy frekvencia komponensen kiadott jel időben megszaggatva ezt a spektrális képet veszi fel.

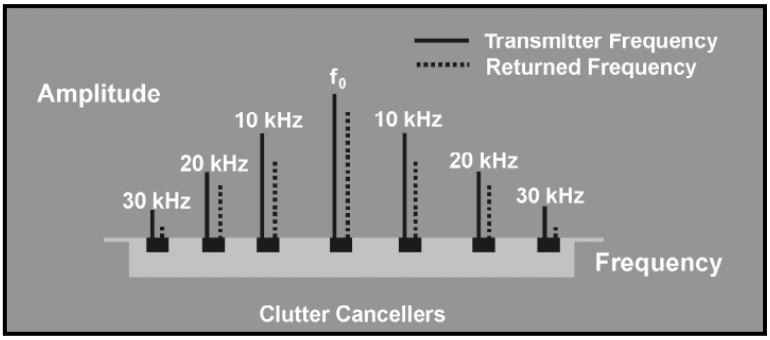
A megszaggatás fizikai következménye viszont az, hogy hiába egy kötött frekvencián ad (sugároz) a radar, a kapott jel spektrális képe nem ugrásfüggvény lesz, nem egy frekvencia komponenst tartalmaz, hanem több felharmonikust, de eltérő amplitúdóval. Ez az oka annak, hogy azonos adóteljesítménnyel CW radarok érzékenyebbek, mert azoknál nincs a jel megszaggatva, ezért az alapjelbe betolt amplitúdó (energia tartalom) az adott frekvenciatartományban jelenik meg.

A másik fontos tényező, hogy a doppler radar a sebességmérést a frekvencia eltolódásból méri, amit a Doppler-effektus okoz. Ez GHz körüli adó esetén a repülőgépek jellemző sebességénél néhány kHz vagy néhányszor 10 kHz tartományban van. A probléma az, hogy a jel megszaggatása és a földháttérről visszaverődő felharmonikusakkal terhelt jel kiugró frekvenciatartományai átfedhetik egymást. Ez azt jelenti, hogy adott frekvencián sugározva a földháttérről visszavert jel felharmonikusainak frekvenciáihoz tartozó

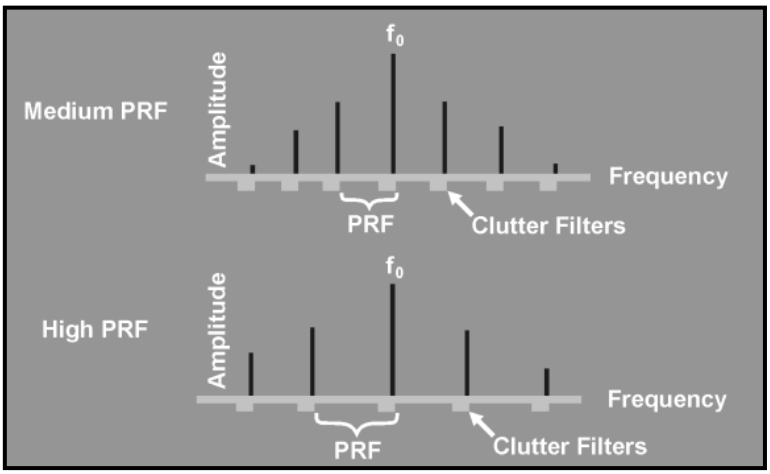
doppler eltolódás értékeknél van vaksebesség, itt nem tud mérni (érzékelni) a rendszer, ezeket szűrni kell, viszont ezzel a szűréssel a céljelek is eltűnnek.



A kisugárzott jel alap frekvenciája (f_0) és a visszavert jelt spektruma).



A kisugárzott jel alap frekvenciája (f_0) és a visszavert jelt spektruma és az alkalmazott szűrők frekvencia eloszlása.



A nem állandó PRF alkalmazása a szűrésre, és a felhasznált frekvencia szűrők változtatásának hatása.

Mi a megoldás? Az alapjel frekvenciájának változtatása vagy a frekvencia ismétlődési idő megváltoztatása, továbbá ez kombinálható az alkalmazott szűrők frekvencia sávjának módosításával. Ebből az utóbbi könnyebb, hiszen a jelformát nem kell megváltoztatni, csak az adó működtetésének idő közét kell változtatni. Ehhez viszont kellő mennyiségű számítástechnikai hátteret (memória és processzor) szükséges biztosítani.

- előnye: földháttérben is lát mozgócélt, tetszőleges radar forgási sebesség, TVM/SAGG rávezetés, aktív zavarása nehézkes
- hátránya: létezik sebesség/távolság bizonytalanság (a fent ismertetett változó PRF alkalmazásával „kitrükközik”), állócélt egyáltalán nem lát (kivéve helikoptert a rotorok

modulációja miatt, azok ugyanis mozognak) beamingelhető, drága bonyolult számítógép kell hozzá (legalább 1MHz-es processzorral)[234]

Ilyen tűzvezető és célfelderítő radart használ az Patriot és az Sz-300 család tűzvezető radarja is ilyen TVM/SAGG rávezetéssel. (A célfelderítő-követő radaroknál az amerikai megközelítés a Patriot rendszernél eltér, ott nincs dedikált kereső radar, az Sz-300 családnál mind a mai napig van). Ilyen digitális támogatású kereső radar pl. AN/MPQ-64 Sentinel, Sz-300PMU-hoz kifejlesztett SzT-68U.

Az SZT-68UM közepes- és nagy magasságú, korlátozottan 3D mérésre alkalmas lokátor. A kifejezetten felderítő lokátora a későbbi Sz-300/Sz-400 rendszereknek a 64N6, 5N64 (SZ-300), illetve a 91N6 (SZ-400), amelyek megfelelnek az AEGIS rendszer SPY-1A radarjának.

(A felsorolt orosz radarok a Big Bird nevű radarcsalád különböző változatai.)

4.2.3.3. Antenna nyalábformálás szerint

Ez a rész első olvasásra talán nehezen értelmezhető és zavaros, de a konkrét rendszerek ismertetésnél a gyakorlati képességekkel illusztrálva érthetőbbé válik ez a fejezet.

- Mechanikusan eltérített (legyezett) legyező formájú-nyaláb

  Ezt a módszert például az Sz-25 Berkut, Sz-75 Dvina/Gyeszna/Volhov tűzvezető radarjai használták. Az antennát a vadászgépekhez hasonlóan mechanikusan mozgatják, miközben kisugároz (ad) és várja a visszaérkező impulzust (vesz). Elsőre talán furcsa lehet, hogy mozgás (legyezés) közben ad és vesz a radar, de az impulzusok kiadása között idő és a nyaláb szélessége miatt miközben legyez az antenna több impulzus kiadása és vétele lehetséges, a mechanikus mozgatás sebessége az impulzusok kiadása közötti időhöz képest elenyésző.

  Ilyen antennával és legyezéssel is lehetséges volt már a korábban említett MTI/SzDC technikát használni. A rádió-parancsközlő rávezetés egyik alapvető kritériuma, hogy a célt és a rakétát is követni kell, hiszen csak így lehetséges a rádió-távirányítás, emiatt a Volhov és Nyeva esetén viszonylag korlátozott volt a legyezés (pásztázás) szögtartománya, mert csak cél környezetének és a rakéta követésén volt a hangsúly.

  Bár ez külsőleg nem látszik, de az SzA-75/Sz-75 légvédelmi rakéta rendszereknél az amerikai Lewis antenna szabadalmon alapuló megoldásnál nem az elsődleges sugárzó legyez, hanem az abban benne levő tölcsérsugárzó, de kívülről csak a hosszú „oszlop” antennák láthatóak. (A mellékletek között megtalálható a Lewis antenna szabadalmi ismertetője.)

  A légvédelmi rendszerekhez tartozó felderítő radaroknál sokkal szemléletesebb a mechanikus legyezés, mert ez hagyományos körbe forgatását jelenti a nagyméretű antennának. Ilyen hagyományos körbeforgó antennával dolgozik például a szovjet-orosz P-12/18 radar vagy a HAWK rendszer PAR radarja. Az ilyen körbeforgó radarok célfelderítő és nem tűzvezető radarok.

- Csak vételnél mechanikusan eltérített (legyezett) legyező-nyaláb (LORO)

  Az Sz-75 Volhov (kapcsolható volt mechanikus legyezés vagy LORO üzem) változata bírt ezzel a kiegészítő üzemmóddal. Lásd az Sz-75 család ismertetésénél (5.1.2.1.2. fejezet), hogy hogyan

[234] *Ez a ’70-es és ’80-as években volt komoly követelmény, ma már nem akadály a számítástechnikai kapacitás.*

működött ez a módszer. (LORO üzemmódú célkövetés előtt rövid ideig szükséges volt a keskeny nyalábú célkutatás.)

A lényege ennek a módszernek az volt, hogy egy 1,7 fokos tűnyalábba préselte bele ugyanazt a teljesítményt, mint a mechanikusan legyezett radar egy sokkal nagyobb térrészbe, tehát azonos méretű célok ellen nőtt a felderítési távolság. Az adó és vevő antennák nem azonosak, ami egyes zavarási módszerek kivédésre is alkalmas volt, az oldalszirom[235] elnyomás nem működött. (Lásd később az 4.4.2. fejezetben és a Volhov rendszernél.)

Az oldalszirmok lényegében az antenna tökéletlenségről szólnak, az antenna karakterisztika nem tökéletes. Nem csak a kívánt irányban, hanem gyengébben, attól eltérő irányban is sugároz ki és vesz is a radarantenna. Ennek az elektronikai hadviselésben és a SEAD területén vannak nagyon komoly következményei, lásd később.

- Tűnyaláb mechanikusan mozgatott monopulzus antennával

  Nike Ajax/Hercules, HAWK, 2K11 Krug, 2K12 Kub, 9K33 Osza tűzvezető radarjai ilyenek. A Krug és az Osza rádió-parancsközlő, a Kub és a HAWK félaktív rakéta rávezetési technikát használt folyamatos hullámú (CW) megvilágítással.

- PESA

  Patriot felderítő és célmegvilágító radarja és az Sz-300 család RPN (Flap Lid) tűzvezető radarja is ilyen, az AEGIS légvédelmi rendszer célfelderítő radarja (SPY-1) a Haditengerészet Ticonderoga és Arleigh Burke osztályú rakétás cirkálóin és rombolóin is ezt a módszert használja.

  (Az AEGIS rendszernél a rakéták vezérléséhez a végfázisban külön független CW megvilágítók szükségesek, lásd a később a haditengerészeti légvédelmi rendszerek bemutatásánál a 6 fejezetben.)

- AESA

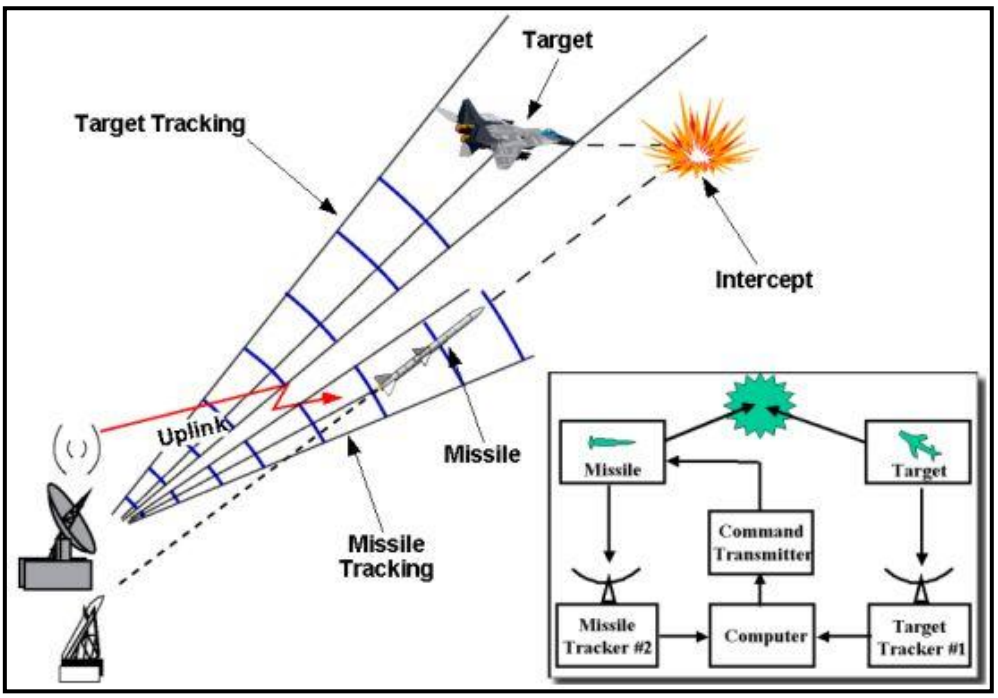
  Tor M2 és a korszerűsített Pancir Sz-2.

4.2.4. Légvédelmi rakéta vezérlési módszerek (radar)

A fentiekben már szó esett a használt hullámformákról, legyezési módokról és frekvenciáról, ideje beszélni a légvédelmi rakéta vezérlés módozatairól is. Ezek némileg eltérnek a radarvezérlésű légiharc-rakétáktól, de hasonlóságok is felfedezhetőek több esetben is. A sorrend (nagyjából) megfelel kifejlesztési sorrendjüknek, de ennek ellenére a mai csúcskategóriás rendszerek is használnak egyesek által talán ódivatúnak tartott vezérlési formákat:

- Rádió-parancsközlő (RPK) vezérlés. A rakéta számára a szükséges kormányvezérlő parancsokat a földi rendszer dolgozza ki és sugározza fel a rakéta számára. Ilyen például a szovjet Sz-25 Berkut, SzA-75 Dvina, Sz-75 Volhov, Sz-125 Nyeva, illetve az amerikai Nike Ajax, Nike Hercules. Ezek még analóg rendszerek voltak, de kb. két évtizeddel későbbi Sz-300PT már digitális módszert használt, ami az azonos alapelv ellenére magasabb szintű képességet tett lehetővé.

[235] https://en.wikipedia.org/wiki/Side_lobe



A rádió-parancsközlő vezérlési elv sematikus ábrája.

A rendszer mind a célpontot, mind a rakétát nyomon követi, ez igen fontos jellemzője a módszernek. Mivel a rakéta és a célparaméterek mérési hibája a távolsággal nő, ezért az RPK vezérléssel elérhető maximális megsemmisítési távolság nem haladja meg az 55-60 km-et még akkor sem, ha a rakéta hatalmas robbanófejjel (harci résszel) rendelkezik.

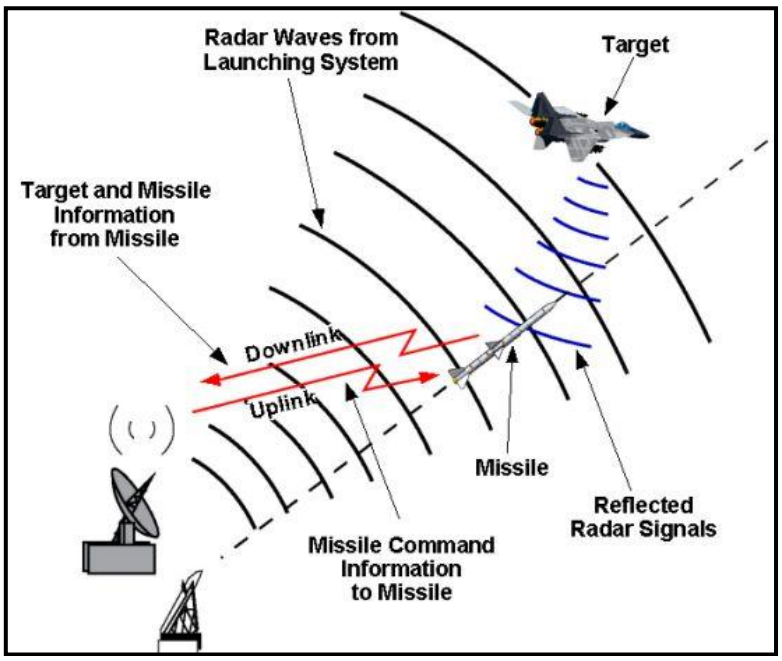
Az RPK rávezetés kombinálható optikai és radaros célkövetéssel is, ezeket lásd a SzA-75/Sz-75M Dvina/Volhov és illetve az Sz-125M Nyeva légvédelmi rendszerek bemutatásánál.

- Félaktív vezérlés. Ugyanaz, mint a légiharc-rakétáknál, az Sz-200 (SA-5), Kub (SA-6), és a HAWK komplexum használja.

- TVM (track via missile)/SAGG (Seeker-Aided Ground Guidance)[236] A TVM félaktív és a rádió-parancsközlő vezérlés sajátos keveréke. Az „agy” nem rakétában van, a földi rendszer dolgozza ki a parancsokat, ezáltal a rakéta viszonylag olcsó lehet, mert nem kell bonyolult fedélzeti számítógép vagy aktív radar a rakéta orrába.

  A tűzvezető radar megvilágítja a célt, a rakéta orrában levő szenzor érzékeli a visszaverődő elektromágneses hullámot a célról, mint a félaktív rakétánál, azonban az így kapott adatot adatkapcsolaton keresztül lesugározza a földre és a földi rendszer dolgozza ki a kormányvezérlő parancsokat, mint a rádió-parancsközlő rendszernél. A radar nyomon követheti mind a célpontokat, mint a rakétákat, az vezérlést használó rendszerek mind fázisvezérelt antennákkal dolgoznak, kellően gyorsan legyeznek ehhez. Tehát ez is egyfajta RPK vezérlés, csak éppen a digitális technika és a fázisvezérelt tűzvezető radar miatt sokkal többre képes, viszont csakis elektronikus nyalábeltérítéssel működik.

[236] http://stealthflanker.deviantart.com/journal/SAGG-TVM-and-GAI-Today-s-Modern-SAM-Guidance-335340027



A TVM rávezetési elv ábrán.

A módszer előnye az, hogy a modern fázisvezérelt radarokkal nincs fizikailag célbefogás, a besugárzásjelző-rendszer elvben nem figyelmeztet a rakétaindításra. Azért elvben, mert a szovjet-orosz Sz-300 rendszernél a felderítő radarok mellett jelenik meg rakéta rávezetésnél egy új radar, ami sugároz, de az csak rendszertelen időközönként világítja meg a célpontot, ami megnehezíti a besugárzásjelzők dolgát. A módszer további előnye egyetlen tűzvezető radarral is lehetséges szimultán célleküzdés.

Az RPK módszerrel szemben azért előnyös a TVM/SAGG, mert rendszer megsemmisítési távolsága nincs korlátozva, mivel a rakéta is részt vesz a célpont paramétereinek meghatározásában, ahol mérési hiba a célhoz közeledve csökken. Emiatt a rendszer pontossága távolságfüggetlen, míg RPK módszerrel 55-60 km felett nem lehetséges hagyományos harci résszel rendelkező rakétával célt megsemmisíteni. Zavarvédelem szempontjából is jobb, a tűzvezető radar és a rakéta a zavaró célt képes lehet kiháromszögelni.[237] A TVM/SAGG módszernél a rakéta rávezetés végfáziséig elégséges szakaszosan pályakorrekciós jeleket küldeni, mint az aktív radaros légiharc-rakétáknál, csak a végfázisban szükséges a folyamatos célmegvilágítás a találathoz, a pályaközi korrekciókhoz jóval ritkább megvilágítása elég a rakétának és a célpontnak is.

A SAGG mindenben azonos a TVM módszerrel azzal a különbséggel, hogy a rakétában is van „agy”, tehát zavarvédelmi szempontból még komplexebb a rendszer, de emiatt drágább is. A TVM inkább egy speciális rádió-parancsközlő módszer, a SAGG közelebb áll a félaktív megoldáshoz, csak annak komplexebb, fejlettebb változatának tekinthető.

- Kombinált vezérlés. A TVM/SAGG vezérlést kombinálják aktív radaros végfázis vezérléssel. A Patriot MIM-104F PAC-3, és az Sz-300PMU2 (SA-20B) 9M96/9M96D/9M96E2 rakétái használják ezt a vezérlési módszert. A legkorszerűbb alkalmazási formája a módszernek, amikor a fázisvezérelt radarral felszerelt repülőgép – E-2D Hawkeye és E-7 Wedgetail légtérellenőrzők rendelkeznek ezzel a képességgel illetve a jövőben az F-35B/C – szolgáltatja a céljeleket a hajóról indított nagy hatótávolságú aktív radarvezérlésű

[237] *315.oldal, Jane's Land Based Air Defence 13. Edition*

SM-6 Standard rakétának, ezzel módszerrel az indító platformhoz képest a radarhorizont alatt levő célpont is támadható.[238]

Kombinált TVM/SAGG/SARH/robotpilóta és végfázisos infravörös rávezetés is elképzelhető. A robotpilótával kombinált vezérlésre példa az ASM-135 ASAT[239] műholdvadász rakéta, de az SM-3 rakéta félaktív és infravörös vezérlés kombinációját használja.

4.3. Infravörös vezérlésű rakéták és elektro-optikai célkereső rendszerek

Ez idáig csak rádiótechnikai vezérlésről esett szó, azonban nem csak ilyen módon lehetséges a légiharc vagy légvédelmi (vagy akár levegő-föld vagy föld-föld) rakétákat vezérelni. A rádiótechnikai vezérléssel szemben bizonyos előnyökkel jár az infravörös és elektro-optikai rávezetés, viszont számtalan hátránnyal is.

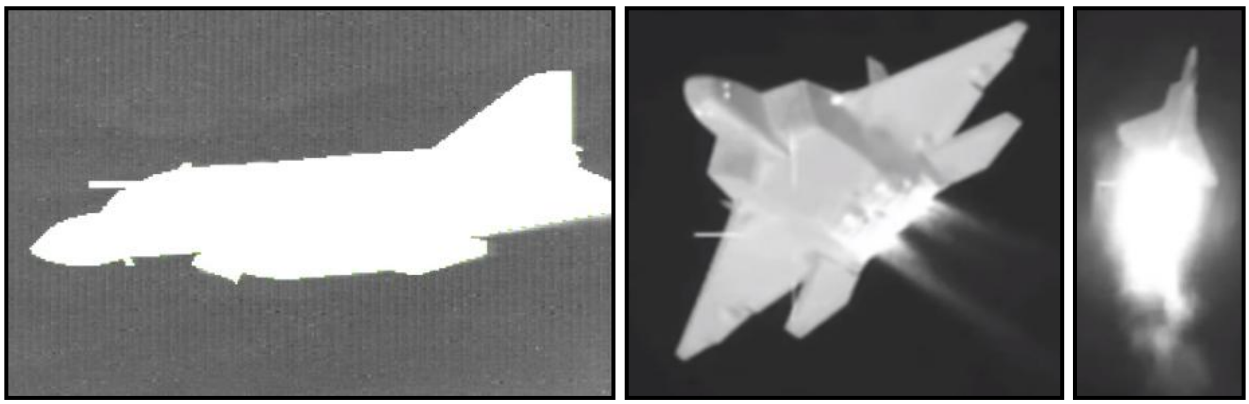
A téma összetettsége miatt egy alapszintű műszaki és történeti összefoglalás mellett (4.3.1) egy bővebb, a természettudományos és a műszaki hátteret mélyebben bemutató fejezetet (4.3.2.) is tartalmaz az összefoglaló, mert e nélkül a vezérlés ellen használható zavarási módszerek, ellentevékenységek, illetve a képességek fejlődése nem érthető meg.

A mellékletek között angol nyelven megtalálható egy hosszabb, konkrét rakétákra jobban kiterjedő összefoglaló Hpasp-tól,[240] ami nem csak a vezérlésükkel, de a rakéták kinematikai paraméterével is foglalkozik. A 4.3.2. fejezet ezen a mellékleten alapszik, annak rövidített fordítása kiegészítve máshonnan szerzett információkkal és adatokkal a könnyebb értelmezhetőséghez, illetve az azokból levezethető harcászati előnyökhöz.

4.3.1. Infravörös (IR),[241] optikai és UV vezérlésű rakéták, alapszintű összefoglalás

Az infravörös vezérlésű rakétákat – ezt lehet levegő-levegő, levegő-föld, föld-levegő vagy akár föld-föld rakéta is, de itt most csak légiharc és légvédelmi rakétákról lesz szó – leegyszerűsítő szóhasználattal szokták „hőkövető” rakétáknak hívni. Ez csak félig igaz, mert bár tény, hogy minden hőforrás infravörös sugárzást (is) bocsájt ki, de infravörös sugárzást lehet abszolút értelemben nagy teljesítményű[242] hőforrás nélkül is generálni, ami viszonylag messziről látható. Ilyenek források például a lézerek, amik nem csak a látható fény tartományban képesek sugárzást előállítani. Persze félig-meddig ez csak szőrszálhasogatás, de nem teljesen, az ellentevékenységek kifejtésénél látható lesz ennek következménye. A legkorszerűbb rakéták érzékelői nem csak infravörös, de ultra-ibolya (ultra-viola, UV) tartományban is működhetnek adott típus esetén.

[238] http://nationalinterest.org/blog/the-buzz/raytheons-sm-6-missile-just-broke-important-military-record-17907
[239] https://htka.hu/2012/12/04/mcdonnell-douglas-f-15-eagle/ *Lásd a 6.2. fejezetben.*
[240] *History of the Electro-Optical Guided Missiles*
[241] *Infrared, IR*
[242] *Egy néhány milliwatt teljesítményű lézer pointerrel is lehet látáskárosodást okozni a szemre közvetlenül irányítva. A gázturbinás hajtóművek mechanikai teljesítménye 1-10 megawatt nagyságrendben vannak és több száz Celsius fokos 100 kg/sec nagyságrendű forró levegőt bocsátanak ki.*



A fenti képen balra egy F-4 Phantom II látható UV tartományban működő képalkotós érzékelőn, a géptest UV tartományban elüt az égháttértől, de azon túl nem vehetőek ki részletek a képen. Ez a fajta képalkotó módszer egyfajta „inverz" módszer, nem a repülőgép – vagy bármilyen más tárgy – maga a forrás, az valójában egy „lyuk az égbolton", ami kitakarja az Napból származó UV sugárzást. Ahol kitakarás történik, ott valamilyen tárgy van, ami jelen esetben egy repülőgép. (Az érzékelők többsége nem UV tartományban üzemel.)

Fent jobbra infravörös tartományban működő kamerával készült képeken egy F-22 Raptor látható két eltérő repülési helyzetben, a középső képen utánégető használata nélkül, a jobb szélsőn utánégető teljesítménnyel üzemelő hajtóművel.[243] Ezek a képek képalkotós érzékelőkkel vagyis kamerákkal készültek. A legkorszerűbb légiharc-rakétákat leszámítva az infravörös érzékelők nem képalkotásra képes eszközök voltak, illetve a korábbi rakéták infravörös érzékelői közel sem annyira széles frekvenciatartományban voltak érzékenyek, mint a fenti képeket készítő kamerák, ahol egyszerre látszik a gázsugár, illetve a sokkal hidegebb részletek is elkülöníthetőek egymástól.

Az infravörös a vezérlési módot a célpont hajtóműve(i) által generált infravörös sugárzás teszi lehetővé infravörös tartományban. Infravörös vezérléshez kezdetben csak a repülőgépek és helikopterek hajtóműveinek turbinája volt megfelelő sugárforrás az érzékelőknél[244] használt ólom-szulfid anyag (PbS) miatt. Később már lehetségessé vált a hajtómű gázsugár (forró égésgáz) és a repülőgép egyéb forró pontjainak érzékelése is, ami alapvetően változtatta meg a harcászati eljárásokat, ezt az új detektor anyagok eltérő hullámhossz érzékenysége tette lehetővé. (Lásd bővebben 4.3.2. fejezetben.)

Ironikus módon pont a gázturbinás repülőgépek elterjedése tette lehetővé az infravörös vezérlési módszer használatát. A gázturbinás repülőgépek a dugattyúmotoros repülőgépekhez képest sokkal nagyobb tömegű és magasabb hőmérsékletű égésterméket bocsájtanak ki, bár ez csak későbbi rakétáknál vált tényezővé. Ami igazán hangsúlyos volt, az a gázturbina magasabb üzemi hőmérséklete és a hajtómű felépítésből adódóan a turbina lapátokra való rálátás a gép hátsó fél-légteréből. Ezt a forró pontot érzékelték („látták"/ érzékelték) a korai infravörös érzékelők. A dugattyúmotoros hajtóművekkel üzemelő helikoptereket és repülőgépeket legtöbbször lehetetlen volt lelőni korai infravörös vezérlésű rakétákkal, mert az infravörös szenzor (infrafej) nem volt kellően érzékeny a detektorok hullámhossz érzékenysége miatt is, főleg zavaró környezeti tényezők esetén.

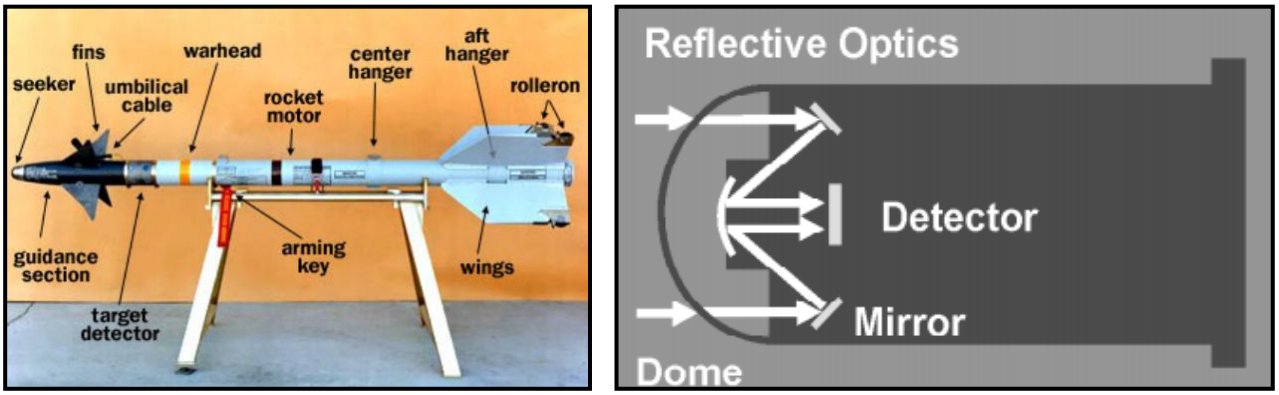
---

[243] *A részletesebb ismertetésnél majd ismételten kitérek ezen képekre. A lenti linken több más típus is látható infrakamerán kersztül.*
https://www.youtube.com/watch?v=58N6Plr17GU
https://www.youtube.com/watch?v=PLzD1SCk_g
Ezen a videón az F-35 látható. A kamerák felbontása is fejlődik.
https://www.youtube.com/watch?v=AzyH0M4C8TY

[244] *Maga az érzékelő a detektor = foto-ellenállás*

Ez a fajta vezérlés jellemzően kis hatótávolságú légiharc és a csapatlégvédelmi rakétáknál, illetve egyes levegő-föld rakétáknál használatos, de egyes közepes hatótávolságú légiharc-rakétáknál is alkalmazták ezt a megoldást.

A légiharc-rakéták egészen a ’90-es évek elejéig képalkotásra nem képes technológiát használtak, de ma már a képalkotós megoldás számít a csúcskategóriának. Hogy a „képalkotós” módszer mit is jelent, arról a 4.3.2. fejezetben esik szó. Nagyon leegyszerűsítve, képalkotós keresőfej lényegében egy infravörös (esetleg UV) kamera az azt megtámogató számítástechnikai háttérrel.



AIM-9L/M rakéta és az infrafej fő részei.

Minden más esetben a rakéta érzékelő/szenzor – ennek megnevezése a továbbiakban infrafej – lelke lényegében egy tükörrendszerből (reflective optics) és egy foto-ellenállásból (detector) állt, amire a forgó tükör-rendszer vetíti rá a beérkező sugárzást. Az egész infrafej / szenzor-rendszer (seeker) a rakéta orrában van egy gömbcsuklón, mögötte a vezérlés (guidence section), a közelségi gyújtó (target detector)[245], a harci rész (warhead) és a hajtómű szekció (rocket motor) és a szárnyak (wings).[246] A kormányfelületek a rakéta orrán voltak (fins). Ezen alapkoncepció mentén fejlesztettek ki különféle műszaki megoldásokat használó infravörös vezérlésű rakétákat.

A vezérlési módszer alapvető jellemzője, hogy önvezérlő, a rakéta saját magát vezeti célra az indítás után, nem szükséges az indító platformnak az indítást követően foglalkozni a rakétával a továbbiakban. Az indító repülőgép tetszőleges manővert végezhet, légvédelmi rakéta-rendszer esetén az indító jármű mozoghat, illetve az indítás után más célra állhat rá.

Nagy előnye az ilyen kategóriájú fegyvereknek, hogy passzív elvű a rávezetési módszer, a célpontot semmi nem figyelmezteti a közeledő veszélyre. Rádióelektronikai úton nem detektálható az indítás, a később bemutatott rakétaindításra figyelmezető (MAWS, missile approach warning system, 4.4.1.5 fejezet) eszközök előtt (lásd a 4.4.1.5. fejezetben) évtizedekig csak szabad szemmel volt érzékelhető az infravörös vezérléssel bíró rakéta indítása. Ez igen nagy előny az indító fél számára, és nagyon komoly veszélyt jelent a célpontra nézve.

A másik előnye a vezérlési módszernek, hogy indítás után nem kell foglalkozni a rakétával, nem kell megvilágítani a célt, a rakéta saját magát vezeti célra. Ez egyben azt is jelenti, hogy akármennyi rakéta indítható egy célpontra egymás után vagy, ha lehetséges a célpontok közötti gyors váltás és befogás, akkor egymás után több célra is lehet indítani és több rakéta is lehet úton több célpont felé. Azt azonban hozzá kell tenni, hogy ez közelében nincs annak a szimultán célleküzdési képességnek, mint amire a

[245] *Ezt jellemzően inkább proximity fuze néven említi az angol szakirodalom.*

[246] *Rolleron nem minden légiharc vagy levegő föld rakétán van, ez koncepcionális és konstrukciós döntés, aminek kihatása van a vezérlőrendszerre is.*

MiG-31 + R-33 képes, legfeljebb az F-15C + AIM-7M párosok kvázi-szimultán képességhez hasonlatos, de valójában még azt sem éri el, inkább elméleti lehetőségről van szó. Mire az új célpontra rááll a pilóta vagy a légvédelmi rendszer kezelője, a korábban indított rakéta addigra már valószínűleg célba is ért. A szimultán képesség inkább csak azt jelenti, hogy az első rakéta amíg úton van már lehetséges a következő célpont befogása, a rakéta saját rávezetési ideje alatt is szabadon lehet cselekedni.

A gyors egymás utáni rakéta indítás képességnél érdekes kérdés, hogy van-e annak korlátja, hogy az első rakéta indítása után a második rakéta az első indított rakétát követi, ha az indítás nagyon gyorsan követi az első rakétáét. Ennek esélye véleményem szerint elméleti, mert a rakéták optikájának látószöge néhány fok és az indítás előtt kell befogni a célt az infrafejjel. Ez még legideálisabb estben is 1-2 másodpercnyi időt vesz igénybe, ennyi idő alatt a már indított rakéta eltávolodott a indító géptől több száz méterre. További faktor, hogy a célok jellemzően manővereznek (vadászgépek), emiatt akkora szögeltérés van a két rakéta indítás között, hogy a másik célpontot megcélozva a rakéták annyira eltérő pályán mozognak, hogy ez nem lehet probléma. (Interkontinentális bombázó kötelék esetén a gépek közötti térköz több 200-300 méter, 2-3 km-es indítási távolság 5-6 fokos eltérést jelent látószögben.)

A régiebbi rakéták esetén a célzás is lassabb volt és a hajtómű 2-3 másodperc alatt kiégett. Az AIM-9L/M és R-73 rakéták hajtóműve azonban már 5-6 másodpercig is működött, de még ennél sem probléma ez véleményem szerint a fentiek miatt.

A MIG-25 esetén csak párosan lehetett indítani az R-40 rakétákat. Ha vegyesen hordozta az R-40T és R-40R változatokat, akkor mindig az infravörös vezérlésűt kellett először indítani, hiszen ott a két rakéta azonos cél felé repült, ott számolni kellett azzal, hogy az R-40T rááll az R-40R-re különösen azért, mert a hajtómű üzemideje hosszabb, mint 5-6 másodperc. Ezzel az egyszerű módszerrel megoldható volt, hogy az infravörös vezérlésű R-40T rakéta ne az R-40R hajtóművét kövesse.

Amennyiben az infrafej az elkanyarodó rakétára állna rá indítás előtt, akkor az amerikai gépeken célzáskor a HUD-on látszik (kis gyémánt szimbólum jelzi), hogy mit követ a rakéta infrafeje, hogy nem a célpontot fogta be. Persze indítás után esetleg még ráállhat az indított rakéta hajóművére, csak éppen annak hajtómű teljesítménye töredéke egy repülőgépnek, ezért eleve valószínűbb, hogy a repülőgépet fogja követni, mert a rakéta a legerősebb forrást követi. (Legalábbis egy ideig csak erre voltak képesek a rakéták, lásd később a zavarvédelemnél.)

Az infravörös vezérlési módszer hátránya viszont az, hogy a radarvezérléssel összevetve korlátozott a hatótávolsága, illetve aspektus függő (cél megközelítési irány és rálátási szög) az alkalmazhatósága. Még a legkorszerűbb infravörös vezérlésű rakéták esetén is legalább részlegesen érvényesek ezek a megállapítások. Nem csak a korai, de a mai infravörös rakéták hatótávolsága is korlátozott a radarvezérlésű rakétákhoz képest. (Ez alól kivétel, ha kombinált a vezérlést használnak és csak a végfázisban van infravörös vezérlés, lásd később SM-3 rakétánál az AEGIS haditengerészeti légvédelmi rendszernél.)

Amíg már a legelső radarvezérlésű légvédelmi rakéta-rendszerek 25-30 kilométeres távolságig is hatásosak voltak, az első infravörös vezérlésű rakétáknál kb. 2-4 km-es indítási távolságot biztosított a vezérlés az infrafej korlátai miatt. Emiatt az első rakéták nem is voltak nagy méretűek, nem volt értelme nagyobb repülési távolságot megvalósítani.

További probléma ezzel a vezérléssel, hogy időjárásfüggő az alkalmazhatósága. Párás, esős, ködös időben a sugárzás nagymértékben elnyelődik és szóródik (alapvető hullámjelenségek) sőt, a földháttér is zavaró tényező lehet.

A másik probléma a Nap, ennek közelében „vakfoltja” van a rakétának, a Nap annyira erős infravörös forrás, hogy akár 10 fokkal mellé nézve is az infrafej azt követi és nem a célt. Ez a korlát még legkorszerűbb légiharc-rakéták esetén is létezik. Ma már kisebb ez a holt zóna, illetve mivel ma már jellemzően nem a célpont mögül indítják a rakétákat, ezért ennek jelentősége alig van. Régen is csak korlátozottan volt az használható taktika, hogy ha a célpont mögött volt a támadó, akkor a megtámadott gép pilótája Nap felé repülve „elbújt Napban”, mert a rakéta nem volt képes érzékelni / követni a célt ebben a helyzetben. (A korai rakétákat még a vízfelszínről vagy felhőkről visszaverődő sugárzás is eltéríthette.)

Ezen hátrányok az első generációs AIM-9B Sidewinder rakétát és kortársait (R-3Sz/AA-2A Atoll) különösen sújtották, és ez még évtizedekig így maradt. A földháttér a mai rakétákat is zavarhatja, de már kevésbé drasztikus a hatása. Elvben. A gyakorlati tapasztalat azonban néha mást mutat. 2008-ban Magyarországon lezajlott Load Diffuser gyakorlaton az F-15 vadászgépek nem voltak képesek kb. 3-4 km távolságból befogásra Mi-24 helikopterek ellen a legkorszerűbb AIM-9X légiharc rakétával sem.[247] Ez alapján sejthető, hogy a régebbi infravörös rakéták mire lettek volna képesek a gyakorlat során tapasztalt helyzetben. Nagyjából semmire.

Az első generációs infravörös vezérlésű rakéták az ’50-es évek legvégén jelentek meg és a ’60-as évek elején terjedtek el. Ezek még elektroncsöves technológiát használtak, fedélzeti számítógépről és félvezető elektronikáról szó sem volt. Ilyen volt a fent említett amerikai AIM-9B és AIM-4 Falcon, a szovjet R-3Sz (AA-2A Atoll), a kevésbé ismert R-8T (AA-3 Anab) a Szu-15 honi légvédelmi vadászgépen, illetve a hatalmas, majdnem fél tonnás R-4T (AA-5 Ash) a Tu-128 nehéz honi légvédelmi elfogóvadászgépen. Ezeknél már megoldható volt, a nagyobb rakétaméret által biztosított nagyobb kinematikai hatótávolság kihasználhatósága, legalábbis interkontinentális bombázógépek ellen.

A korai infravörös rakéták közül az AIM-9B és R-3Sz típusokat vetették be nagy számban élesben először. Ezek Vietnám esőerdei felett igen gyatrán szerepeltek – az AIM-7 Sparrow első szériáihoz hasonlóan – a találati arány 15% körül volt annak ellenére, hogy a célpontok nem rendelkeztek infracsapdákkal.[248] Bár a Vietnámi háború végén használt változatok tapasztalt pilótákkal már 20%-ot is elértek ez azért még nagyon messze volt az üdvösségtől.[249] A találati arány a technológia fejlődésével drámaian javult, az újabb AIM-9 változatok képességei egyre jobbak lettek, de ehhez még évtizedeknek kellett eltelnie. Még az első igazán használhatónak bizonyuló infravörös rakéták is inkább csak a zavarást nem alkalmazó célok ellen működtek stabilan, bár azt hozzá kell tenni, hogy csak elvétve volt esélyük bizonyítani infracsapdákat használó célok ellen. Még az 1991-es Sivatagi Vihar hadművelet alatt idején is csak a célpontok töredéke rendelkezett infracsapdákkal, azok viszont meglepően jól zavarták még az akkor legkorszerűbb AIM-9M változatokat is.[250] (A légiharc és légvédelmi rakéták harci bevetések során elért eredményeivel egy későbbi fejezet foglalkozik.)

---

[247] http://airbase.blog.hu/2010/02/28/szokatlan_legiharc

[248] *28 db MiG vadászgépet lőttek le velük az USAF F-4 vadászgépei 1965-68 között USAF F-4C/D, ehhez 175 darab rakéta indítása volt szükséges.*

[249] *A mellékletek között elérhető egy bővebb ismertető az AIM-9 rakéta családról, az írást Kővári László készítette.*

[250] *Lásd az F-15-ről szóró írás Sivatagi Vihar idején lezajlott összecsapások leírásait a 8.2.4 fejezetben.* http://htka.hu/2012/12/04/mcdonnell-douglas-f-15-eagle/

Az R-3Sz rakéta lényegében az AIM-9B másolata. A szovjetek az '50-es években nem sok sikerrel, de dolgoztak a saját infravörös vezérlésű légiharc rakétájukon, ami közben tajvani „segítséggel" sikerült két darab AIM-9B rakétára szert tenniük, amelyek viszonylag épségben került a kezeikbe. A Tajvan és Kína közötti ellentét – mármint Tajvan szemszögéből, mert Kína szerint Tajvan csak egy lázadó tartomány – fegyveres összecsapáshoz vezetett, amit vadászgépek vívtak meg, tajvani oldalon már légiharc-rakétákkal felfegyverezve.[251]

Az egyik tajvani vadászgépről indított rakéta nem robbant fel (önmegsemmisítője nem működött) és Kína mocsaras területére zuhant, a másik rakéta eltalált egy kínai MIG-17-est, de szintén nem robbant fel. Az utóbbi esetben a rakéta beékelődött az eltalált repülőgép függőleges vezérsíkjába, azonban a kínai pilóta képes volt visszatérni a sérült repülőgéppel, együtt az értékes „ajándékkal".

A szovjetek kezdetben nem akarták lemásolni mondván, hogy az AIM-9B harcértéke csekély. Dimitrij Usztyinov (Miniszter Tanács Elnökhelyettese volt akkor, később védelmi miniszterségig vitte) szerint ennek oka a tajvani pilóták alacsony képzettségében keresendő, nem a fegyver paraméterei voltak rosszak. A szovjet adatok szerint mindössze 5 db rakétát indítottak és abból 2 db talált. (Ez akkori szemmel nézve egyáltalán nem volt rossz arány, legalábbis szerintem, főleg azt nézve, hogy Vietnám felett hogyan szerepeltek később az első rakéták.)

Usztyinovnak akaratát sikerült keresztülvinnie, ennek eredményeként 1958 november 28-án a Vympel fejlesztő irodát utasították, hogy kezdje meg az AIM-9 szovjet másolatának fejlesztését, emellett leállították saját fejlesztésű K-7 rakétán a munkálatokat.

Az AIM-9B-t bámulatosan egyszerű konstrukciónak tartották[252] *a bonyolult, külön giroszkópokkal dolgozó problémás szovjet próbálkozással szemben, az AIM-9B mindössze 20 db (!) mozgó alkatrészt tartalmazott. Azonban az amerikai rakéta elektronikájának lemásolása már nem ment annyira könnyen, ami kb. 2000 elemből állt, ezt zsúfolták be 45 cm hosszan a rakétába.*

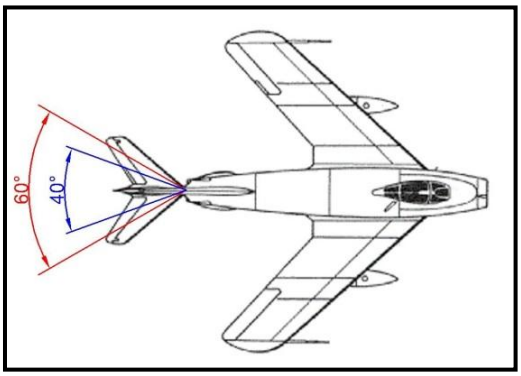
A másolási munka végül sikerrel járt és megszületett a R-3Sz.[253] *A lemásolt rakéta külsőleg is megtartotta az AIM-9B fő méreteit – a hossztengely körüli forgás stabilizációhoz használt rolleron megoldást is 1:1-ben átvették – , annyi eltérés volt, hogy nagyobb harci részt és hajtómű szekciót kapott a szovjet változat.*

Az első infravörös vezérlésű légiharc-rakéták indítási zónája rendkívül korlátozott volt, csak a célgép mögül (rear aspect) lehetett indítani, mert csak onnan látott rá az infrafej hajtómű turbinalapátjaira, a kiáramló gázsugár hőmérséklete túl alacsony volt az infrafej számára az akkor használt PbS detektorok számára. (A detektoranyag számára nem csak sugárzás intenzitása, hanem annak hullámhossza is számított).

[251] https://goo.gl/9Sj8Q8 *A világ első irányított légiharc rakétájával elért légi győzelem története.* https://goo.gl/lS5dvR

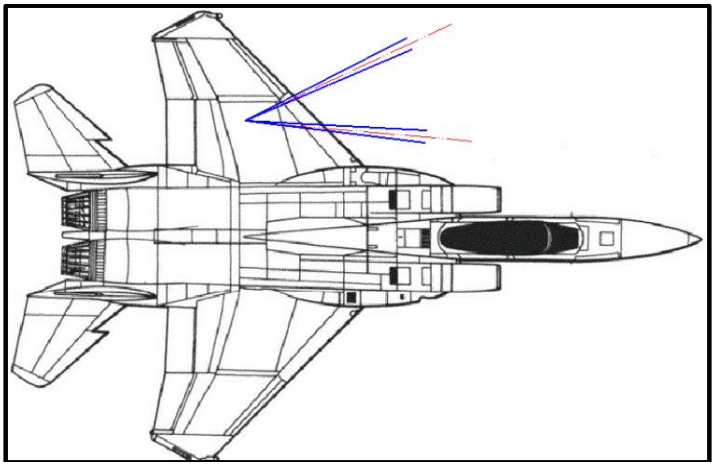
[252] *Ivan Toropov konstruktőr így nyilatkozott a rakétáról „a Sidewinder volt a mi egyetemünk, rengeteget tanultunk belőle".*

[253] *A 2. fejezet elején szó esett a jelölésekről, K-13 = R-3Sz a csapatoknál.*



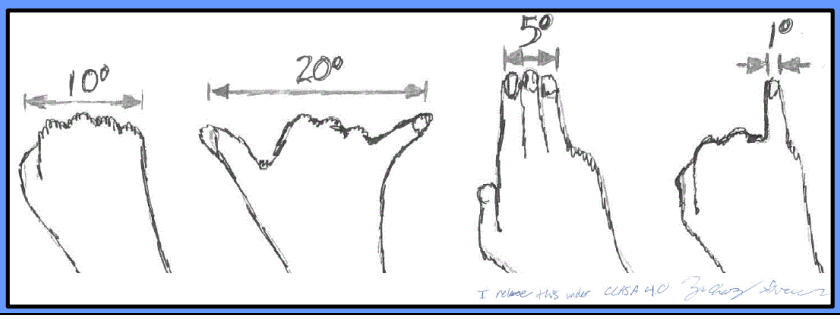
Még, ha a célpont mögött is repült az indító gép, akkor is csak egy szűk tartományból lehetett rálátni a rakéta számára érzékelhető felületre. Ez repülőgép típus és távolság függő volt, de nagyságrendileg ± 20-30 fokos tartományról (lásd bal oldali ábrán) lehetett legfeljebb beszélni, de a magasabb érték már-már költői túlzás, legfeljebb nem manőverező célpontnál igaz. Ha ennyire a tartomány szélén indították a rakétát, akkor a célpont legkisebb manővere esetén is elveszthette a célt a rakéta, amikor a sugárforrás megszűnt a rálátás hiánya miatt.

További korlátozó tényező, hogy a gömbcsukóra szerelt keresőfej a rakéta orrában mennyire téríthető ki. Az infrafej optika/tükörrendszerre által biztosított látószög mindössze 2-4 fok táján van, ezért gömbcsukló nélkül lényegében lehetetlen lenne a fegyver alkalmazása, már csak az alkalmazott arányos megközelítés miatt is. (Lásd a rávezetési módszereknél.) A rakéta optika látószöge a zaj kiszűrése, illetve az érzékenység javítása miatt ilyen szűk. Tehát ilyen pontosan kellett megcélozni a célgépet manőverezéssel (egy olyan korban, mikor a manőverező légiharcot kezdték elfelejteni) és befogás után a gömbcsukló kitérítési szögén belül volt képes az infrafej követni a célt, amennyiben azon kívül kerül a célpont, akkor a rakéta számára lehetetlen a célkövetés. Fordított eset is lehetséges, tehát a rakétát indító repülőgép repül valamekkora szögeltéréssel a célponthoz képest, majd manuálisan vagy radar adatai alapján a céljel irányába fordul a gömbcsukló, érzékeli a célt és megtörténhet annak befogása.



Infravörös rakéta infrafej kitérítése balra 25 fokkal és jobbra 10 fokkal 4 fokos látószög mellett a gép haladási irányához képest. Az ábra szemléletes, jól mutatja, hogy a légtér mennyire kis részére lát rá a rakéta infrafeje.

Szemléltetésképpen a látószögekhez, hogy könnyen érthető legyen azok nagysága. Amikor egy átlagos karhosszú ember kinyújtja a kezét akkor a szem tengelyéhez viszonyítva a képzeletbeli kúp palástjának széleit határozzák meg az ábrán látható kéztartások, ahhoz tartozó középponti szögek a lenti ábrán láthatóak. A Hold kb. fél fokban látszik. Az éleslátás tartománya kb. 60 fok egy átlagos embernél.



Mivel a célpontot indítás előtt kellett befogni – tehát ekkor a rakéta még az indító sínen, a repülőgépen van – ez azt jelenti, hogy a repülőgép hossztengelyéhez képest az indítási zónát a gömbcsukló kitérítési szöge, illetve az indító repülőgép teste által kitakart zóna is korlátozta. Manőverező légi harc közben komolyan számított az, hogy a rakéta az indító repülőgép bal vagy jobb szárnya alatt volt, mert adott repülési helyzetben maga az indító repülőgép is kitakarhatta a célpontot a befogás után, ha változott a relatív helyzetük, ami manőverező légiharc során gyakran előfordul. Az első generációs AIM-9B és R-3Sz maximális gömbcsukló kitérítési szöge 25 fok volt.

Légiharc-rakéta indítási zóna ábrázolva MiG-29 géppel, a gömbcsukló kitérítési szögek ábrázolva, ezen belül mozog a 2-4 fokos nyílású rakéta látószöge. Jól látható, hogy manőverező légiharc szempontjából mennyire fontos az indítási és célkövetési szög hatása. Még, ha képes is a célpont manővereit lekövetni a vadászgép, 20 fokos indítási zónával is keményen meg kell dolgozni az indítási zónába kerülésért.

A gömbcsuklónál nem csak az abszolút kitéríthetőség, de a gömbcsukló forgatási sebessége is volt korlátozó tényező, ez az első rakétáknál mindössze 6-8 fok/másodperc érték volt. Tehát adott estben a célpont relatív helyzetének változása akkora volt, hogy a keresőfej nem tudta azt lekövetni és a célpont kirepült az infrafejnek 2-4 fokos látószögéből.

A korai infravörös rakéták alkalmazhatóságnak korlátait tovább rontotta, hogy az indítás közbeni túlterhelése az első generációs rakétáknál az indító gépnek mindössze 2-3 G lehetett. [254] (Ez igaz volt a radarvezérlésű rakétákra is.) Ezt a határt az infrafej és a vezérlés műszaki kialakítása eredményezte, miközben a célpontok ennél sokkal durvább manőverekre is képesek voltak. Tehát még ha az infrafej még követésbe is vette rövid időre a célpontot, nem feltétlen volt indítható a rakéta. Indítás után a rakéta manőverező képessége korlátozott annak kis sebessége miatt, illetve az indító repülőgéptől biztonsági okokból el kell távolodnia, ezért olyan eset is lehetséges, hogy bár az indító sínen még követte a célt, de az indítás utáni tizedmásodpercek alatt a rakéta infrafeje már nem volt képes arra.

További korlátozó tényező a légiharc-rakéták manőverező képessége, ami kezdetben össze sem volt mérhető a későbbi generációkkal. Az első generációs AIM-9B, R-3Sz (AA-2A Atoll) legfeljebb 12 G túlterhelésű manőverek voltak képesek, de ez érték a sebességgel és magassággal még csökkent is, ahogy a repülőgépek manőverező képessége is.[255] Tehát, még ha indításkor minden paraméter megfelelő volt a rakéta számára, de a célpont észlelte az indítást – mert pl. a kísérője rádión figyelmeztette – akkor intenzív manőverezéssel ezen rakéták előli kitérés még a MiG-21 vadászgépekkel vagy fordított estben az F-4 Phantom II, F-105 és F-8 Crusader vadászgépek repülési teljesítményével sem okozott gondot, de még szubszonikus maximális sebességű típusokkal is lehetséges volt. Bombákkal leterhelve már más volt a helyzet, de legrosszabb esetben vészleoldással megszabadulhattak ezektől a repülőgépek.

Természetesen ezek a műszaki paraméterek és az általuk jelentett korlátok az újabb fejlesztésű rakéták megjelenésével javultak. Az AIM-9D, G és H változatok már 18G maximális túlterhelésű manőverre voltak

[254] *Ez nem maga a vezérlés korlátja, de a korlátozások összesítése miatt itt is szót ejtek róla, ahogy a rakéták maximális túlterhelhetőségéről is.*

[255] *A repülőgépek repülési teljesítményéről 11. fejezetben esik szó.*

képesek, továbbá a gömbcsuklón levő infrafej kitérítése ± 40 fokra növekedett.[256] Ez azonban nem jelentette azt, hogy a rakéta ekkora oldalszög kitérésnél is indítható volt, hanem indítás után a rakéta hossztengelyéhez képest már ekkora kitérítéssel képes volt célt követni a rakéta. Ez a fentiekben említett indítás utáni célbefogás elvesztésen javított elsősorban manőverező légi harcban.

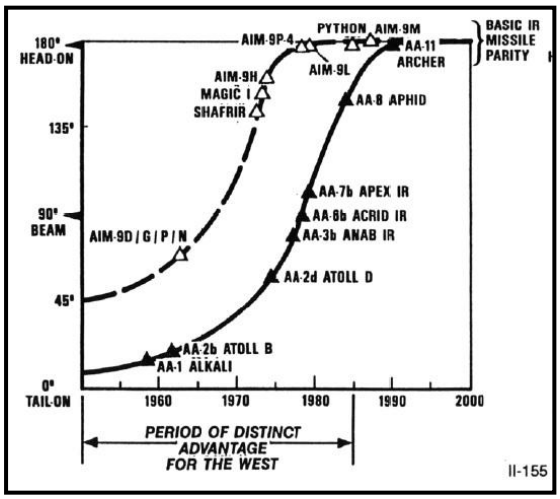
A befogási és célkövetési szöglimit nem azonos, amíg rakéta a repülőgépen van, az indítási zóna kisebb. AIM-9L és M változatnál a célbefogás ± 27,5 fokig lehetséges, de az infrafej ±40 fokig képes követni a célt, legalábbis több forrás ezt adja meg. Az R-73 esetén ± 45 fokig lehetséges a célkijelölés, a célkövetés indítás után egészen ±60 fokig lehetséges, a későbbi változatnál ez 60/75 fokra javult. (Ez a kettős szöglimit általánosnak tűnik.)

Nem csak az infrafej kitérítése, de annak célkövetési sebessége is nőtt, a ’80-as évekre a csúcskategóriás légiharc-rakétáknál a gömbcsukló mozgatási sebessége már elérte a 40-60 fok/másodpercet is. A gömbcsukót már nem lehetett intenzív manőverezéssel „legyőzni”, mint Vietnám idején. Egyszerűen nem lehetséges akkora relatív helyzetváltoztatást előidézni, ami ennél gyorsabb mozgatási sebességet tenne szükségessé. Ha ennél gyorsabban mozog a célpont, akkor az keresztben repül az indító géphez képest és a rakéta minimális indítási távolságán belül van már, néhány száz méternél is közelebb.

A mai korszerű légiharc-rakéták az indító gép hossztengelyéhez képest akár ± 80-90 fokban elhelyezkedő cél ellen is indíthatóak úgy, hogy még a sínen befogja a célpontot a rakéta, de az indítás utáni célbefogás képességgel ezt az értéket néhány rakéta esetén (pl. AIM-9X Block II változat) 360 (±180) fokig növelték. Tehát bármerre indítható a rakéta, amennyiben indítás előtt a célpont iránya és távolsága megadható, hogy a rakéta tudja, hogy merre keresse a célt és hol fogja majd be. A 80-90 fokos zónával bírnak az AIM-9X és az IRIS-T típusok, ezek a rakéták 40-60G-s túlterhelést is képesek már elviselni. Az persze más kérdés, hogy képes-e a rakéta hajtóműve és vezérsíkjai az ehhez szükséges teljesítményeket szolgáltatni.

Az első, már a célponthoz képest szemből is indítható (all aspect) infravörös vezérlésű légiharc-rakéta a világon az AIM-9L Sidewinder változat volt, ennek első szériái az USA repülő-csapatainál a ’70-es évek közepén jelentek meg.

A szemből indíthatóságot hűtött, nagyobb érzékenységű infrafejjel, illetve eltérő foto-rezisztens anyaggal érték le, a korábbi AIM-9 változatokhoz használt PbS (ólom-szulfid) helyett InSb (indium-antimon) detektor anyagot használtak. További komoly előrelépés volt a félvezető elektronika alkalmazása, ami lehetővé tette bizonyos új zavarvédelmi megoldások alkalmazását is. (Az első félvezető elektronikával rendelkező AIM-9 változat az AIM-9H volt).[257]



Az InSb detektorral rendelkező infrafej esetén már nem szükséges magára a turbinára rálátni, hanem a hajtómű forró gázsugara is megfelel a vezérlés számára. Amennyiben nem teljesen szemből közeledik a célpont, akkor a repülőgép részben kitakarhatja a gázsugár egy részét, de a maradék kellően nagy felületen kellően intenzív a sugárforrást jelent az infrafej számára.

[256] http://wiki.scramble.nl/index.php/Raytheon_AIM-9_Sidewinder
http://www.ausairpower.net/TE-Sidewinder-94.html

[257] https://www.flickr.com/photos/skyhawkpc/6280825449/in/photostream/
Az összes korábbi AIM-9 generáció látható a linken levő albumban.

Keresztben elhaladó célpont esetén a gázsugár oldalról bőségesen nagy célfelületet jelent. Az előző oldali ábrán látható az infravörös rakéták aspektus függésének változása, a rakéták egyre szélesebb tartományban váltak indíthatóvá, 0 fok a pontosan hátulról, 180 fok a pontosan szemből indítás esete.

A érzékelő/detektor hűtése – nem az egész infrafejé, csak a foto-ellenállást hűtik – a '60-as évek végétől vált általánossá a használt érzékelő anyagától függetlenül. Ez vagy nagy nyomású gázzal történt, ami expandálva lehűlt, vagy folyékony halmazállapotú extrém alacsony hőmérsékletű közeg, jellemzően semleges gáz (pl. nitrogén, argon) nyomáscsökkentésével és elpárologtatásával. A magyar Gripeneken használt AIM-9L-1-nél a hűtés nagynyomású sűrített levegővel történik. Ehhez gyakorlatilag tökéletesen ki kell szárítani a levegőt, hogy ne csapódhasson ki vízpára. Alkalmazó országtól és fegyvernemtől függött, hogy melyik módszert és hogyan használták. Voltak egyéb próbálkozások, pl. Peltier[258] effektus felhasználásával, de ennek a módszernek hatásossága édeskevés volt számottevő változás eléréséhez az észlelési távolság (érzékenység növelése) terén, hamar elbukott a fenti módszerekkel szemben.

Az 'L' variáns utáni következő Sidewinder generációt a 'M' változat jelentette, ezt 1982-től rendszeresítették az USA fegyveres erői. Az 'L' és 'M' változatok befogási zónája már elérte a ± 27,5 fokot, befogás után ±40 fokos tartományig kitéríthető a keresőfej, az M változat már a korábbi rakétákhoz képest sokkal fejlettebb zavarvédelemmel is (IRCCM)[259] rendelkezett. (Flare filtering by energy rise time, lásd később.)

Az USA NATO szövetségesei illetve a nyugatbarát államok jellemzően csak degradált, csökkentett képességű AIM-9 változatokat kaphattak, kevés kivételtől eltekintve csak évtizedes késéssel tette elérhetővé a korszerűbb technikát az USA számukra,[260] ettől a szovjet gyakorlat sem tért el. A Sidewinder esetén ilyen volt pl. az exportra tervezett AIM-9P széria,[261] de az 'M' variánsból is készült butított változat, ezek az 'S' típusjelzést kapták. Még azonos típusjelzés esetén sem feltétlenül azonosak a rakéták képességei, az exportált AIM-9X egyes elemei valószínűleg nem teljesen azonosak az amerikaiak által használt rakétákkal. Az AIM-9P típus utolsó két modifikációja érdekes, mert egyfajta hibridek voltak. Megtartották a P változat hajtóművét és aerodinamikai kialakítását, de a P-4 változat az AIM-9L-en, a P-5 az AIM-9M változaton használt infrafej technológiát kapta meg.

A legelső, szemből is nagy biztonsággal indítható szovjet légiharc-rakéta az R-60M volt ennek erősen „felskálázott" és továbbfejlesztett változata az R-73 (AA-11 Archer). Rendszeresítésekor az R-60 minden idők legkönnyebb irányított légiharc rakétája , de a mai napig ez a legkönnyebb irányított légiharc-rakéta a világon, ha eltekintünk az helikopterekre is felszerelhető egyébként vállról indítható kategóriájú rakétáktól. Ilyenek pl. FIM-92 Stinger, 9K38 Igla vagy Mistral, ezeket integrálták néhány helikopter fegyverzetébe. Az R-60 tömege mindössze 44 kg. Az alap R-60 változat még nem volt szemből indítható a PbS érzékelőt használó infrafej miatt, a R-60M azonban már hűtött InSb érzékelővel rendelkezett.

---

[258] https://hu.wikipedia.org/wiki/H%C5%91elektromoss%C3%A1g

[259] *Infrared Counter Countermeasures*

[260] *1982-ben az angolok kaptak kis mennyiségben AIM-9L rakétát amit a Falkland szigetek felé hajózás közben integráltak a Harrier gépekre. Akkor már 7 éve hadrendben volt az USA az 'L' változat és az 'M' is a rendszeresítése is megkezdődött, de az egyik legoszloposabb NATO szövetségesnél még az eggyel korábbi AIM-9 változatot sem rendszeresítették. Ez is egy szemléletes példa arra, hogy a NATO és VSz-en belül is a fő ütőerőt és a minőséget a két nagyhatalom képviselte.*

[261] *Az AIM-9P-t az USAF is használt, de nem elsővonalas vadászgépeken, az F-111 vadászbombázók hordozhatták. A nagyobb vezérsíkokkal rendelkező AIM-9 változatok nem férek el az F-111 szárnya alatti rakéta síneken.* http://htka.hu/2010/04/11/general-dynamics-f-111-aardvark-avagy-a-rettegett-foldimalac/

Az R-73[262] a ’80-as évek közepén már sisakcélzóval (HMS)[263] kombinált célzási móddal rendelkezett, rendkívül nagy szögeltéréssel volt indítható a hordozó repülőgép hossztengelyéhez képest. A sisakcélzóval ±60 fokig volt végezhető a befogás és ± 45 fokos zónában volt indítható a rakéta a MiG-29 9.12 és Sz-27Sz változatokon. (A MiG-23MLD típuson is integrálták az R-73-at, de nem rendelkezett sisakcélzóval.) Az R-73 megjelenésekor messze a legtágasabb oldalszög indítási korláttal rendelkező (HOBS)[264] légiharc-rakéta volt. Az R-73 rakéta hajtóműve tolóerő-vektorált volt, a rakéta kinematikai paraméterei ezáltal a korszak legjobbjává tették az indítás utáni manőverező képesség tekintetében, ameddig a rakéta hajtóműve üzemelt. Az alkalmazott infrafej az AIM-9L/M változatnál használt technikával lehetett nagyjából egy szinten, némi kérdőjellel. Azonos anyagú detektor volt a rakétákban (InSb), mindkettő vezérlése azonos volt (frekvencia modulált, lásd a 4.3.2. fejezetben), az infracsapda zavarszűrésénél lehettek eltérések a digitális technika eltérő szintje miatt.

Érdekesség, hogy F-4J (Block 45 and 46 széria) illetve F-4N Phantom II változatokon (US Navy) már 1970-ben lehetőség volt sisakcélzó használatára, de az amerikaiak nem erőltették hasonló rendszerek fejlesztését és rendszeresítését ezután évtizedekig.[265] Az amerikai rendszer képessége az AIM-9G/H rakétával több szempontból sem volt összemérhető a MiG-29 és Szu-27 vadászgépeken levő sisakcélzó és rakéta páros képességeivel, már csak a rakéták eltérő kinematikai paraméterei miatt sem. Az AIM-9H nem volt tolóerő-vektorált, ezen felül az infrafej detektora korábbi generációt képviselt az R-73-mal összevetve. A lényeg az, hogy elvi szinten megvolt a lehetőség egy képesség magasabb szintű alkalmazására az adott kor szintjén, de nem tekintették ezt annyira fontosnak, hogy erre forrásokat biztosítsanak, illetve továbbfejlesszék ezt kezdetleges formában meglevő képességet. Tehát a közhiedelemmel ellentétben nem az oroszok találták fel a spanyolviaszt ezen a téren.[266]

Ezután kicsivel több, mint 30 (!) évet kellett várni a legközelebbi sisakcélzó rendszerre az USA merevszárnyú repülőgépein, ami csak a 2000-es évek elején jelent meg, de ennek oka komoly részben politikai volt. Az USA a látótávolságon túli légiharc-rakéta fejlesztésére költött rengeteget még a hidegháború végén, ennek eredménye lett az AIM-120 AMRAAM, míg a kis hatótávolságú infravörös légiharc-rakéta kifejlesztését az európai NATO államokra hagyta, ez lett volna az ASRAAM rakéta. A probléma az volt, hogy az ASRAAM program csigalassan haladt. Az Egyesült Államokban a China Lake támaszponton működő fejlesztő részleg[267] megalkotta az AIM-9R változatot, de költségvetési forrást annak rendszeresítéséhez nem biztosított a politika, ezért az soha nem került gyártásba sőt, a hidegháború utáni megszorítások következménye az lett, hogy megszüntették az addigi összes AIM-9 változatot kifejlesztő tervezőirodát/szervezeti egységet.[268] Az AIM-9R Sidewinder változat már képalkotós érzékelővel

---

[262] *A mellékletek között elérhető egy bővebb ismertető a rakétáról, az írást Kővári László készítette.*

[263] *helmet mounted sight*

[264] *High off boresight*

[265] *http://www.best-of-flightgear.dk/vtas.htm Hogy maga a sisakcélzó mennyire volt pontos és megbízható, arról semmiféle adat nem áll rendelkezésemre. Hpasp mellékletben elérhető írása szerint a pilóták lenézően szóltak a rendszerről és nemigen használták annak tömege miatt. Mai napig kényes kérdés a sisakkijelzők- és célzók tömege.*

[266] *AH-64A harci helikopteren a ’80-as évektől használták az IHADSS (Integrated Helmet And Display Sighting System) rendszert, de az nem légiharc rakéta alkalmazásához, hanem szárazföldi célok elleni használatra fejlesztették ki és nem csak sisakcélzó, de egyben kijelző is volt. Az AGM-114 rakéták célkijelölése illetve a gépágyú célra tartása volt összekötve infravörös célkeresővel és a sisakcélzóval. A ’80-as években használt változat képességeiről a lenti linken található egy videó. Hasonló orosz rendszer évtizedekkel később készült csak el.*
http://www.military-today.com/helicopters/boeing_ah_64a_apache.htm
https://www.youtube.com/watch?v=iveSPDw7ONc

[267] *https://en.wikipedia.org/wiki/Naval_Air_Weapons_Station_China_Lake#Weapons_developed_at_China_Lake*

[268] *Senki ne képzelje azt, hogy az amerikai döntési rendszer és vezetés nem képes ilyen szintű (véleményem szerint) ostoba húzásokra.*

rendelkezett volna, de örökölte volna az AIM-9M alapvető kialakítását és hajtóművét. Az AIM-9R fejlesztése 1986-ban kezdődött, az első sikeres lövészet 1990-ben történt, a programot 1992-ben állították le.

A hidegháború végével azonban történt ez-az, két Németország egyesülésével lehetőség nyílt a szovjet-orosz fegyverrendszerek vizsgálatára, aminek eredménye erőteljes fejvakarásra késztette az amerikai értékelőket. Kiderült, hogy az AIM-9M manőverező képesség terén nem összemérhető az R-73-mal, és az, hogy a nagy oldalszögű indítási képessége teljesen más dimenzióban van az orosz légiharc rakétának az akkor legkorszerűbb AIM-9 változattal összevetve. Eddigre a China Lake-en működő fejlesztő részleget felszámolták, ezért másra várt az új közeli légiharc-rakéta megalkotása, ami közös USAF és US Navy fejlesztés volt, ez lett az AIM-9X. (A korábbi rakéták mind haditengerészeti fejlesztések voltak, amit adaptáltak a USAF számára készült rakétákra is.)

Az AIM-9X Sidewinder rakéta érkezésével újra megjelent a HOBS képesség a vele járó előnyökkel, de egészen más szinten a 30 évvel korábbi szinthez képest. A rakéta típusjelzése és neve csak tradíció miatt lett AIM-9X Sidewinder, a tervezőknek semmi köze nincs az összes korábbi AIM-9 változatot tervező csapathoz, a rakétát a Raytheon cég fejlesztette ki és gyártja mind a mai napig. Az új Sidewinder rakéta külsőleg egészen más, mint bármelyik korábbi változat, az egyedüli örökség az AIM-9M változatból a hajtómű, de az is komoly mértékben továbbfejlesztett és módosított konstrukció, mert immáron tolóerő-vektorált, ahogy az R-73 rakétán, ráadásul gyakorlatilag teljesen füstmentes. (Az orosz légiharc-rakéták mai napig füstölnek mint a gyárkémény...)

Az indítási zóna sokkal nagyobb lett mind távolság, mind maximális oldalszög tekintetében, a rakéta kinematikai paraméterei a tesztlövészetek videói alapján káprázatosak, [269] de nem csak ennyivel lett több a rendszer. A szovjet-orosz vadászgépeken csak sisakcélzó állt rendelkezésre rendszeresítéskor, az amerikai és NATO államok és egyes nyugati vadászgépein a JHMCS[270] és a hozzá hasonló eszközök (sisak display) jóval többre képesek. Lényegében a HUD szerepét képesek átvenni, és az azon található információkat a pilóta szeme elé vetíti akkor is, ha éppen nem előre néz, ezen felül sejthetően képesek az infravörös kamerák (lézeres célmegjelölő vagy FLIR) képét is megjeleníteni.

Az AIM-9X Block II változta már hátrafelé is indítható, bár az ehhez szükséges képesség, az indítás utáni célbefogás (LoAL)[271] képesség inkább a látótávolságon túli (BVR) és látótávolságon belüli légiharc (WVR)[272] közötti áthidalásnál kap szerepet.[273] A radarral vagy adatkapcsolaton kapott adatokkal indítható a rakéta szemből közeledő célra annál nagyobb távolságból is, amikor még a repülőgépen levő rakéta infrafeje még nem képes befogni a célpontot, minden korábbi infravörös vezérlésű rakétánál az indítás előtt követelmény volt befogni a célt. A rakéta alapvető kialakítása is erre a koncepcióváltásra utal, az összes korábbi AIM-9 változathoz képest sokkal kisebb kormányfelülettel rendelkezik az AIM-9X, ami miatt a légellenállása számottevően kisebb azoknál. Ezzel lényegében egyfajta átmeneti, az AIM-120-nál kisebb megsemmisítési távolságot jelentő BVR képességet lehet elérni. Ez nem csak az AIM-9X-szel, hanem hasonló kialakítású LoAL képességgel bíró infravörös vezérlésű rakétákra is igaz.

Tehát kis távolságban indítva a tolóerő-vektoros hajtómű miatt a megfelelő manőverező képesség rendelkezésre áll sőt, még a korábbi AIM-9M változat képességeit is messze felülmúlja a rakéta manőverező

[269] *Videó az AIM-9X rakétával végre hajtott teszt éleslövészetekről.* http://www.youtube.com/watch?v=4g4_jzqBJnA&feature=related
[270] *Joint Helmet-Mounted Cueing System*
[271] *lock after launch*
[272] *within visual range*
[273] *Legalábbis szerintem, még ha ezt nem nagyon hangsúlyozzák ki.*

képessége. A különbség a rakéta hajtómű kiégése után jelentkezik. Az AIM-9X a végfázisban azonos sebességnél valószínűleg kisebb maximális túlterhelés előállítására képes, mint az M változat, csak mivel hajtóműve gyakorlatilag füstmenetes, ennek jelentősége szinte nincs. Néhány km-es távolságon túl a célpont nem tudja, hogy rakétát indítottak rá, hacsak nem rendelkezik MAWS (4.4.1.5 fejezet) berendezéssel. Az AIM-9X rakéta hajtómű felvillanása indításkor nem túl nagy és csak pillanatokra látszik, a teljes füstmentes hajtómű miatt a rakéta szabad szemmel nem követhető. Még, ha az indítást érzékeli is a célpont bármilyen módon, azt akkor sem tudja, hogy mikor kellene a kitérő manővert végrehajtani, mert a rakéta távolságáról nincs információja. (Kiéve F-35 és EF típusokon, lásd később. Bár ezek nem célpontjai az AIM-9X vagy IRIS-T rakétának, de a világban előbb-utóbb a nem csak amerikai és európai infravörös rakéták jelentik majd a csúcskategóriát füstnélküli hajtóműveikkel, vezérlésükkel és manőverező képességükkel.)

Az izraeli Python légiharc-rakéta család legújabb tagja (ez a Python 5), szintén indítható az indító repülőgép haladási irányához képest hátrafele is. Ennek igen szigorú követelményei vannak – minden ilyen képességgel bíró rakétánál – pontosan ismertnek kell lenni a légi helyzetképnek, mert a cél befogása csak az indítás után történik meg. Persze más kérdés az, hogy ha valaki már az indító gép mögött van, akkor hogyan is áll fent ez a feltétel...

Előfordulhat ilyen helyzet akkor is, amikor már nincs idő BVR rakéta használatára és a két gép forduló harcba kezd, akkor az egymás mellett elhaladás után is indítható a rakéta, csak a távolodó cél ellen az indítási zóna lényegesen kisebb, mint előrefelé indítva. Olyan repülőgép ellen indítani, ami már az AIM-9X Block II-őt indító vadászgép mögött van az kb. a sci-fi kategória, mert ebben az esetben valószínűleg már régen rakétát indítottak az AIM-9X-et hordozó vadászgépre, mert sikeresen mögé került egy vadászgép, amiről valószínűleg nem is tud, tehát arra vonatkozólag nincs céladata. Ha a célpont helyzete meg ismert adatkapcsolaton keresztül, akkor hogyan kerül az indító gép mögé? Ennek fényében szükséges értelmezni a hátrafelé indítási képességet.

Amerikai oldalon az F-4 Phantom II első variánsaiban, szovjet oldalon a MiG-21PF, Szu-9, Szu-15 és MiG-25 vadászokban nem volt beépített gépágyú, ami ezen vadászgépek harcértékét nagyban befolyásolta egyes célpontok ellen. Szovjet oldalon reálisan csak a MiG-21 típus találkozhatott szembe ellenséges vadászokkal, a többi vadászgépet a Szovjet Honi Légvédelem számra tervezték, ahol ez nem volt annyira súlyos kérdés. A MiG-21 esetében a Vietnám felett tapasztalatok nyilvánvalóvá tették, hogy az R-3Sz rakéta vadászgépek ellen manőverező légi harcban elégtelen kepeségekkel rendelkezik.

A vietnámi konfliktus után a résztvevő felek számára úgy tűnt, hogy beépített gépágyúra szükség lehet a jövő vadászgépein, legalábbis a '70-es években így gondolták a légiharc-rakéták akkori technológiai szintjén. Vietnám után mind nyugaton, mind a Szovjetunióban a vadászgépeket beépített gépágyúval tervezték, a szovjeteknél ráadásul az addig bevett 23 mm-es űrméretről átálltak a MiG-29 és Szu-27 vadászokon a 30 mm-es űrméretre.

A mai légiharc-rakéták képességei és nagyszámú repülőgép által vívott légi harcok során gyakorlatilag kizárható az, hogy légi harcban a gépágyúnak haszna lenne.[274]

[274] *Lásd a Gondolatok a légi harcászatról című írás 25. oldalán levő táblázatot. Az 5. arab-izraeli háború óta nem volt gépágyús légi győzelem, és ott is már csak 10% volt ennek aránya, amikor 1973-ban a 4. háborúban még 33% volt. 1991-ben a Sivatagi Vihar, 1999-ben az Allied Force, de már 1982-ben a Falkland-szigeteknél is minden légigyőzelmet légiharc rakétákkal értek el.*

Ettől függetlenül a „legvégső esetre” felkészülés jegyében ma még nem nagyon merül fel, hogy egy vadászgép ne rendelkezzen beépített gépágyúval annak ellenére, hogy a csúcskategóriás légiharc-rakétákkal számolva a gépágyú használata légi harcban vadászgépek között az öngyilkosság kategóriáját súrolja sőt, igazából már a ’80-as évek csúcs légiharc rakétái esetén is nagyjából az lett volna mondjuk egy 4v4 légi harcban.

Kivételek azért vannak a beépített gépágyú megléte alól, de nem túl gyakori. Néhány 4. generációs vadászgép típus kétüléses változata nem rendelkezik beépített gépágyúval, például a magyar kétüléses Gripenek sem, annak ellenére, hogy azok is teljes értékű harcban bevethető példányok, továbbá az F-35B és F-35C csak törzshöz simuló „pod” megoldással rendelkezik gépágyúval.

Az Egyesült Királyság is kacérkodott a gépágyú nélküli vadászgép gondolatával, ezért anélkül rendelték meg az eredetileg gépágyúval tervezett Eurofighter Typhoon vadászgépeket, emiatt viszont beton ballasztot kellett a gépekbe építeni, hogy azok súlypontja ne változzon meg. Az „alaposan megfontolt döntés” után rájöttek, hogy ez így nem lesz jó megoldás és visszaszerelték a gépágyúkat, csak lőszert nem vásároltak hozzá (2006-ig). Persze a visszaalakítás és az utólagos rendelések megint csak pénzbe kerültek. A spórolás a teljes projekt költségének kb. 0,3 százaléka lett volna, de köszönhetően a kapkodásnak így még talán spórolás sem volt. „Okos” döntéshozók mindenhol vannak...

Szó se róla az új repülőgép-hordozó osztály (Queen Elizabeth) és az általa hordozott F-35 alváltozat és a hajó kialakítása terén sikerült ezt a fajta „megfontoltságot” ismételten előadni, csak a költségvonzata ennek – már elnézést – a töketlenkedésnek még súlyosabb lett. Oda-vissza őrlődtek, hogy F-35B és síugrósáncos vagy F-35C és katapultos indítási lehetőséggel bíró F-35 változatot rendszeresítsenek. Végül az F-35B és a síugró sánc győzedelmeskedett, ami véleményem szerint hibás döntés. Az F-35B változat rendelkezik a legkisebb hatósugárral és a leggyengébb repülési teljesítménnyel.

Nem csak légiharc-rakéták, de vállról indítható légvédelmi rakéták (MANPAD),[275] illetve a kis hatótávolságú légvédelmi rendszerek (SHORAD)[276] közül több is infravörös vezérlésű rakétákat használ, ilyen például az amerikai MIM-72 Chaparral és a szovjet-orosz 9K35 Sztrela-10[277] (SA-13 Gopher).

Ezek alkalmazása hasonlóan szűk korlátok között volt kezdetben, mivel a rakéta infrafeje alapvetően korlátozta azt, hogy mikor volt képes az infrafeje egyáltalán befogni és követni a célt. Az első ilyen rakétákat ugyanúgy csak a célpont hátsó fél-légterének egy korlátozott tartományából lehetett indítani, csakis távolodó repülőgépre. Ez azt jelentette, hogy ilyen légvédelmi rakétákkal lehetetlen volt az esetek többségében csapásmérő repülőgépeket úgy megállítani, hogy azok ne használhassák legalább egyszer a támadó fegyverzetüket, ezek a rakéták alapvetően csak „megtorlásra” voltak alkalmasak. Ilyen vállról indítható rakéta volt az első generációs szovjet Sztrela-2 és az amerikai FIM-43 Redeye. Ezek maximális alacsony célsebessége – lásd a 6.2.4.4.9 fejezetben levő táblázatot – is ezen korlátozott képességüket tükrözte. A maximális célsebességük felett a repülőgépek egyszerűen túl gyorsak voltak ahhoz, hogy azokat be lehetett volna fogni időben és a rakéta az indítása után utolérje a célpontot mielőtt az kirepült a rakéta megsemmisítési zónájából.

A későbbi infravörös vezérlésű rakétáknál, amik már InSb detektoros infrafejjel rendelkeztek, azokkal már a szemből közeledő vagy a légvédelmi rendszer mellett elhaladó repülőgépre is lehetséges volt indítani a rakétát. A megsemmisítési „ablak”, amin belül a siker reményében lehetett indítani a rakétát ettől

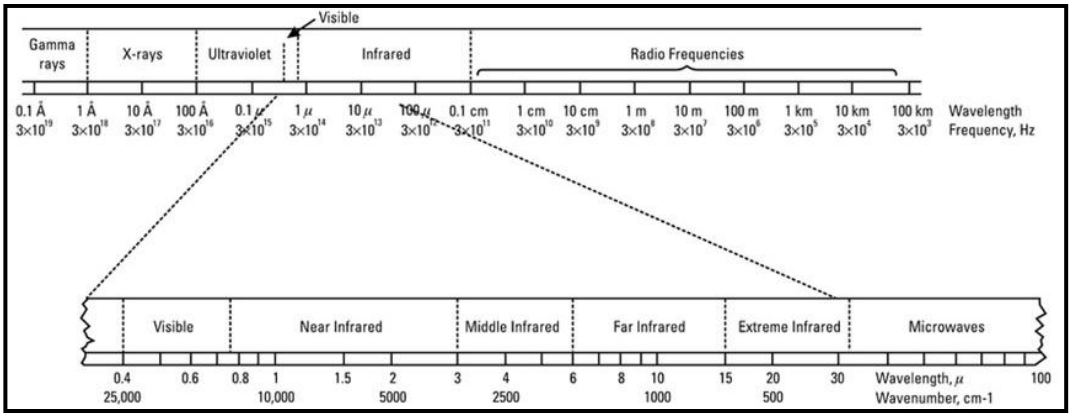
[275] *man-portable air-defense systems*
[276] *short range air defense – kis hatótávolságú légvédelem*
[277] *A Sztrela-10M rakétája két féle vezérléssel is el van látva, az infravörös mellett foto-kontrasztos vezérlés is lehetséges volt, lásd a 4.3.2. fejezetben.*

lényegesen nőtt, de ez nagyságrendileg még mindig csak 10-20 másodperc egy gyorsan repülő célpont ellen. Ilyen szemből is indítható rakéta például a szovjet-orosz Igla-1 (SA-16), az amerikai FIM-92A Stinger és a francia Mistral.

A légvédelmi rakétát a légiharc-rakétákhoz képest 0 sebességről kell felgyorsítani jellemzően sűrűbb közegben, ezért azonos tömeg és méret esetén az indítási zóna jóval kisebb azonos rakéta használata esetén. Az M48 Chaparral például az AIM-9 különféle változatait használja, de megsemmisítési zónája kisebb, mint vadászgépről alkalmazva. Egyes légvédelmi járművek annak ellenére, hogy infravörös rakétákkal vannak felszerelve kaptak kisméretű távolságmérő radart is a cél távolságának mérésére, annak megállapítására, hogy a rakéta megsemmisítési zónáján belül tartózkodik vagy sem, a Sztrela-10 is rendelkezik ilyen eszközzel.

4.3.2. Infravörös vezérlés részletesebb ismertetése

4.3.2.1. Fizikai háttér



A sugárzások típusa hullámhossz és frekvencia szerint, a skála logaritmikus.

A fenti ábrán az elektromágneses sugárzások kategorizálása látható hullámhossz (frekvencia) szerint. A látható fény hullámhossz tartománya felett helyezkedik el az infravörös tartomány, kb. 0,7 μm és 30 μm (mikrométer, mikron, 1 μm = 10^{-6} m) hullámhosszak között, az infravörös vezérlés szempontjából az 1-6 mikron közötti tartomány a lényeges, az UV sugárzás a látható fénynél rövidebb hullámhossz tartományt jelenti, de még a röntgen sugárzás hullámhossza felett.

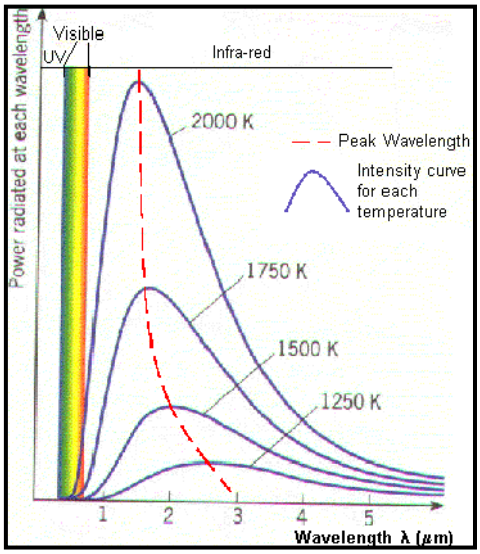
További fontos tényező az infravörös vezérlés megértéséhez, hogy egy adott hőmérsékletű tárgy milyen intenzitású és milyen hullámhosszú elektromágneses sugárzást bocsát ki magából. Ezt a jelenséget a fekete test sugárzási diagram magyarázza meg, ebből két eltérő hőmérséklet és hullámhosszt tartomány ábrázoló lent látható.[278]

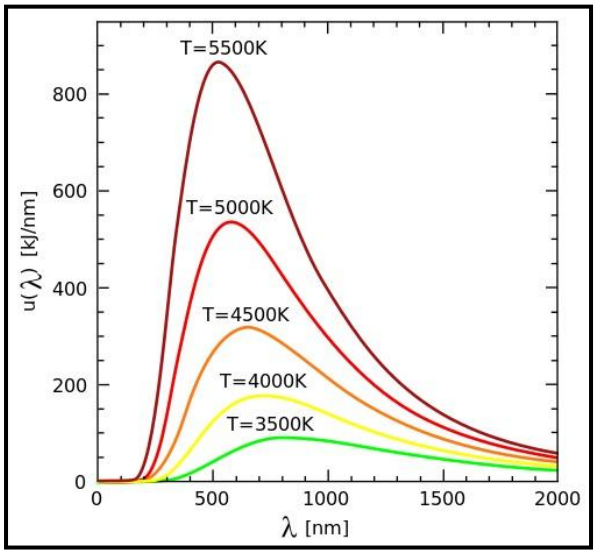
A diagramokon az látszik, hogy magasabb hőmérséklet esetén a látható fény tartományában erőteljesen növekszik a sugárzás intenzitása, ez a hatás legerősebben az 1 μm hullámhossz alatt, a látható fény tartományában történik. (Ezért volt szükséges az izzóknál a jó minőségű fényhez magas hőmérsékleten izzó volfrám szál használata.)

A repülőgép hajtóművek 1600-2000 Kelvin[279] fok körüli maximális hőmérsékleténél – a gázcsóva hőmérséklete ennél több száz fokkal alacsonyabb már – a látható fény intenzitása növekménye alacsony, azonban infravörös tartományban számottevő teljesítmény növekményt jelent a hőmérséklet növekedése,

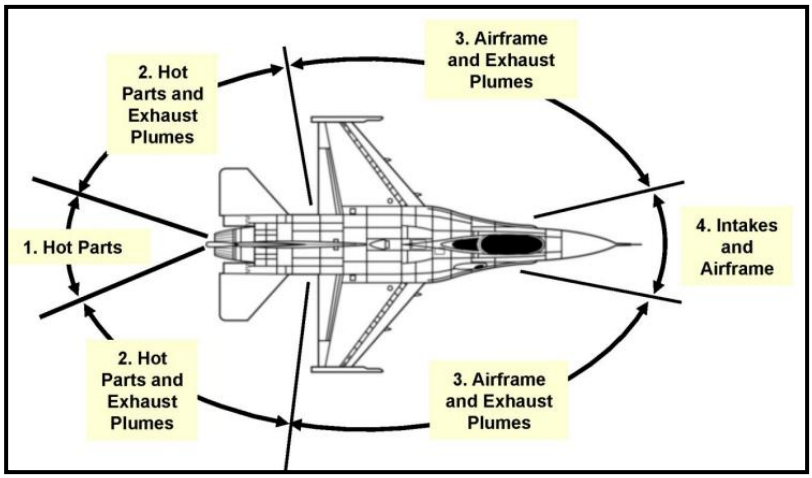
[278] https://youtu.be/_LeH99x-qrw?t=11m34s
[279] *1 K fok = 1 C fok, csak a skála 273 fokkal el van tolva. Tehát 0 C fok = 273 K fok, 100 C fok = 373 K fok és így tovább.*

az ilyen magas hőmérsékletű anyag ebben a tartományban sokkal jobban sugároz a környezeti hőmérsékletű anyagokhoz képest. A fentiekből következik, hogy egy infravörös érzékelő és vezérlő rendszer megalkotásához a 2-6 μm tartományban érzékeny detektorokra van szükség, lehetőleg minél szélesebb tartományban érzékeny detektorral.



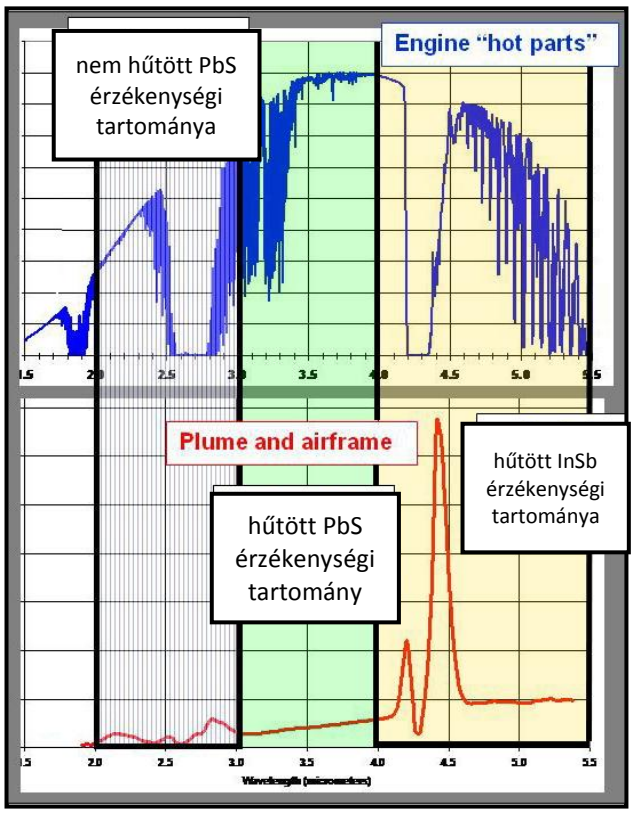


A lenti ábrán a szuperszonikus vadászrepülőgépekre jellemző kisugárzó helyek (források) láthatóak, ezek eltérő intenzitással, illetve eltérő hullámhosszon sugároznak hőmérsékletük szerint. Minden gázturbinás erőforrást használó repülőgép esetén ehhez hasonló a sugárzás, de az egyes források intenzitása eltérő. A sugárhajtómű elven működő hajtóművek intenzitása nagyobb, mint a légcsavaros gázturbinás meghajtásoké, mert a forró égésgáz teljesítményének nagyobb részét alakítják át mechanikai munkává.



Jellemző sugárforrás helyek a repülőgépen (balra), illetve gázsebesség fokozó lamellák (jobbra).

1. Forró részek, a hajtómű/fúvócső belső tere, turbina lapátok
2. Hajtómű gázsebesség fokozó lamellák, forró égésgáz /gázsugár,gázcsóva
3. A repülőgéptest és forró égésgáz /gázsugár,gázcsóva
4. Repülőgép test és szívócsatorna

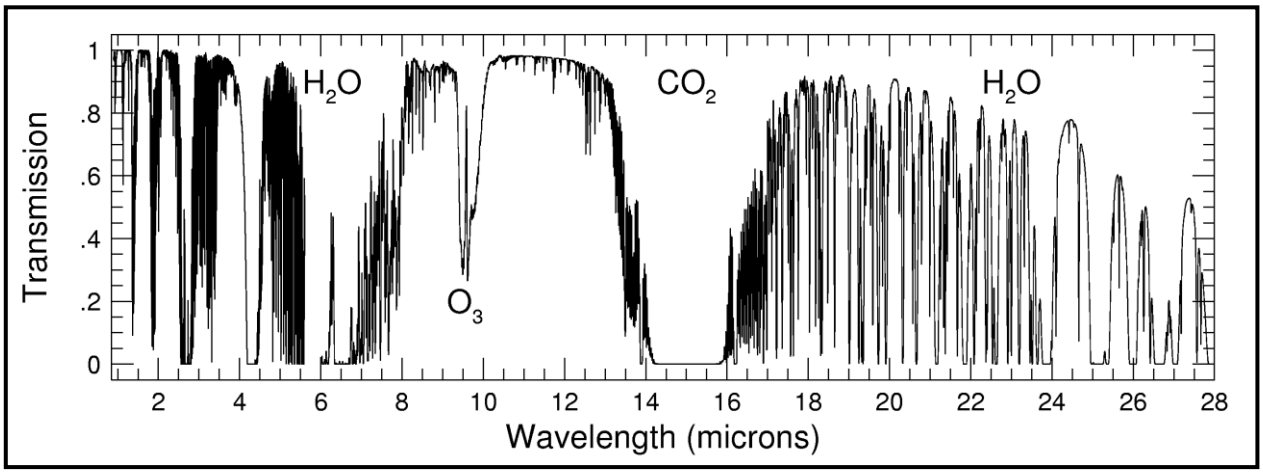


A repülőgépek eltérő helyeiről (forrásaiból) származó infravörös sugárzás spektruma a bal oldali ábrán látható. A sugárzás intenzitása (teljesítménye) a diagram a függőleges tengelyén van ábrázolva, a teljesítmény hullámhosszfüggése a vízszintes tengelyen. Az intenzitás mellett az eltérő anyagú detektorok érzékenységi tartománya is látható az ábrán, a detektor anyagokról a későbbiekben esik szó.

A hatómű forró részei (engine hot parts) a 1,5-2,5 μm, a 3-4 μm, illetve a 4,5-5 μm közötti tartományban bocsátanak ki nagy intenzitású sugárzást. (Kék színű görbe.)

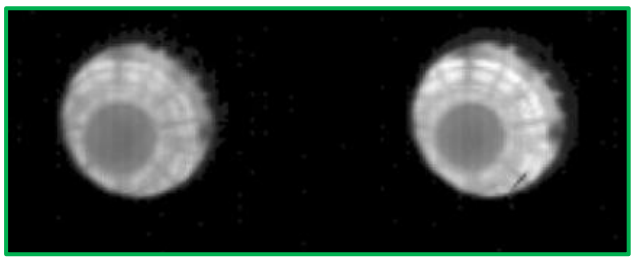
A repülőgéptest (sárkányszerkezet) hajtóműhöz közeli melegebb része (plume and airframe), illetve a gázsugár 4,5 μm hullámhossznál rendelkezik egy jelentős teljesítmény csúccsal, továbbá egy sokkal kisebbel 4,25 μm táján. (Piros színű görbe.)

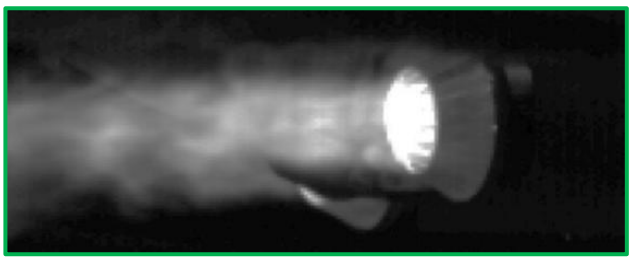
A nagy eltéréseket (völgyeket) a diagramban a sugárzás légköri elnyelődése okozza, tehát a fent látható diagram kompozit diagram, ami az elnyelődést is tartalmazza. A lenti légköri elnyelődést ábrázoló diagram 2,5-3 illetve 4,2-4,4 mikronnál látható tartományai jelennek meg az előző oldali diagramon, illetve az 5,5 mikron feletti tartomány nincs ábrázolva.



A feladat tehát azokban tartományokban kellően érzékeny detektor (érzékelő) anyag megtalálása, ahol a célpont nagy intenzitással sugároz ki. A későbbiekben bemutatásra kerülő két fő detektor anyag érzékenységi tartománya a fenti diagramon is látható, de azok érzékenységi karakterisztikái nélkül. A lefedett tartományban frekvenciafüggő az érzékenység, csak a lefedést mutatja be a fenti ábra, annak „hatásfokát" nem.

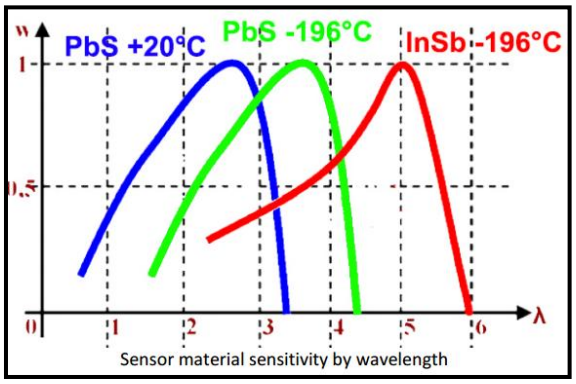
Az fenti diagramon látható sugárzási teljesítmények és hullámhossz jellemzők szemléltetése a következő oldali képeken látható, a felvételek infravörös kamerával készültek.





A fenti bal oldali képen a 1,5-2,5 μm, a jobb oldali képen a 4-5 μm hullámhossz tartományban rögzített képek láthatóak.[280] Jól látszik, hogy 1,5-2,5 μm tartományban csak hajtómű forró részei, illetve a mögötte levő területet képes a kamera érzékelni a repülőgép többi része láthatatlan ebben a hullámhossz tartományban. A 4-5 μm hullámhossz tartománynál nem csak a hajtómű belső tere, hanem a hajtómű gázsebesség fokozó lamellái is, illetve a hajtómű gázsugara is látszik.

A nem képalkotós technikát használó légiharc-rakéták természetesen nem így „látják" és érzékelik a célt, de az érzékenységük az alkalmazott foto-rezisztens érzékelő (detektor) anyagától a fenti képeknek megfelelően alakul az adott hullámhossz szerint, ezeknek a helyeknek a kisugárzott és fókuszált teljesítményét képesek az infrafejek érzékelni. Az a légiharc-rakéta, aminek detektora csak 1,5-2,5 μm tartományban érzékeny, az oldalról és szemből nem képes érzékelni a célpontot, csak hátulról, de még ott is csak szűkebb szögtartományban.



Az infravörös rakéta vezérlés szempontjából az egyenlet másik oldala, hogy a rakéták infrafejébe épített érzékelők (detektorok) milyen széles hullámhossz tartományban és mennyire érzékenyek, ez bal oldalon látható ábrán látszik.

A korai infravörös vezérlésű rakéták PbS (ólom szulfid) anyagú érzékelője hűtés nélkül az 1,5-3 μm tartományban, folyékony nitrogénnel mínusz 196 ℃ fokra hűtve az érzékelőt 2-4 μm között, a későbbi InSb (indium antimon) anyagú detektorok hűtötten (szintén -196 ℃ fokon) szélesebb tartományban 3,5-5,5 μm között érzékenyek, 5 μm-nél levő maximális érzékenységgel.

Az első generációs hűtés nélküli PbS érzékelők a 1,5-3 μm hullámhossz tartományba eső érzékenységgel a spektrum azon részén voltak csak használhatóak, ahol a hajtómű által leadott sugárzási teljesítmény összessége (görbe alatti területtel arányos az előző oldali ábrán) kisebb, mint 3-4 μm közötti tartományban.

A mínusz 196 ℃ fokra hűtött PbS detektor 2-4 μm hullámhossz között érzékeny. Az 142. oldalon látható diagram azt mutatja, hogy a hajtómű által kisugárzott teljesítmény nagyobb része ebben a sávban, és nem a 1,5-2,5 μm tartományban van. Ennek következménye, hogy az infravörös vezérlésnél az infrafej érzékelési távolságát erősen befolyásolja az alkalmazott érzékelő anyaga és annak hőmérséklete is. A fenti ábrákon látható görbék további következménye, hogy a hűtött detektoros infrafej messzebbről képes befogni és követni a célokat mindkét detektor anyag esetén, PbS anyagú detektornál is előnyösebb a hűtés a hűtetlen érzékelőhöz képest.

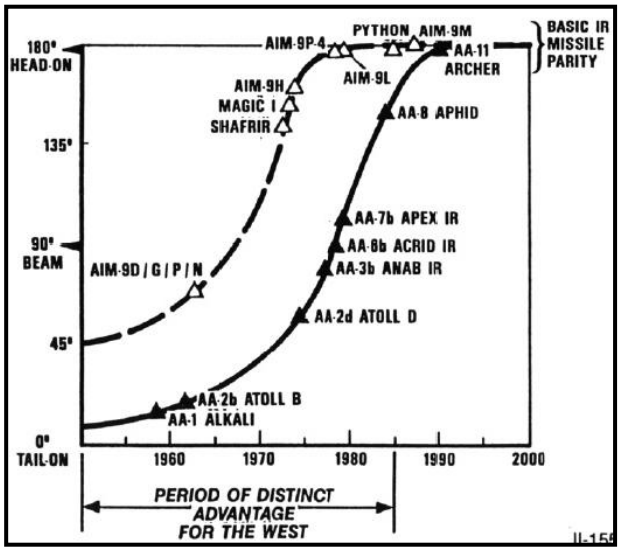
Mivel a PbS detektor csak a forró hajtómű elemekről és a hajtómű belső teréből származó sugárzást érzékeli, ezért csak a célpont mögül, szűk szögtartományban volt használható, ilyen érzékelővel rendelkező

[280] *A felvételek valószínűleg frekvencia szűrővel készültek hogy látható legyen a hullámhossz szerinti intenzitás eltérés.*

rakéta csak ebből a tartományból volt indítható. Ez kezdetben annyira szűk volt, hogy fordulóharc esetén a rálátás nem volt biztosított a sugárzó felületre kellő mértéken. Még, ha látszott is fordulóharcban a hajtómű, annak látható felülete kisebb volt, hiszen a kör alakú fúvócső oldalról nézve ellipszis formájúnak látszik, tehát annak intenzitása is kisebb volt, ami csökkentette a befogási távolságot. Szemből vagy oldalról indításról szó sem lehetett.

Ugyanezen anyagot használó érzékelőt hűtve a 2-4 μm-es tartományban a repülőgép spektrumát bemutató ábrán látható, hogy erősebb a célpont lesugárzása (nagyobb görbe alatti terület), tehát a befogási távolság ezzel megnőtt, de az infravörös rakéták indítási zónája ettől drámai mértékben nem változott meg, továbbra is csak a célpont mögül volt indítható a rakéta, de már nagyobb távolságról és szélesebb szögtartományból. (Rosszabb rálátás esetén is megvolt a szükséges teljesítmény minimum.) Az infravörös vezérlésű rakéták mérete a hűtött detektorok alkalmazásával kezdett növekedni, mert hátsó félléggtérből már lehetségessé vált a megfelelő távolságról a célpontok észlelése, kihasználható volt a nagyobb rakéta nagyobb kinematikai hatótávolsága. A szemből történő célbefogáshoz és indításhoz ennél azonban többre volt szükség.

Hűtött InSb detektor használatkor a 4-6 μm-es érzékenységi tartomány 5 μm-es csúccsal pontosan telibe kapja a hajtóműből kilépő forró gázsugár hullámhossz tartományát (lásd a 142. oldalon levő diagramon) sőt, a repülőgép forró részei is kellően nagy intenzitással sugároznak ki, hogy azt is képes legyen érzékelni az infrafej, tehát nem szükséges InSb és PbS detektorok együttes használata. InSb detektort használó infrafejjel a rakéta oldalról és (kezdetben csak részben) szemből is indíthatóvá vált megtartva a hátulról való indítás képességét is.



A 4.3.1. fejezet elején, az infravörös kamerával készített képeken jól látszik, hogy a gázsugár mennyire szétterülhet, emiatt nemhogy oldalról, de bizonyos szögtartományig szemből nézve is látszik a gázsugár. Tökéletesen szemből repülve a gázsugár nagyobb részét a repülőgép kitakarja, ekkor korlátozott az indítás vagy adott viszonyok között nem lehetséges az adott rakéta fejlettségétől függően.

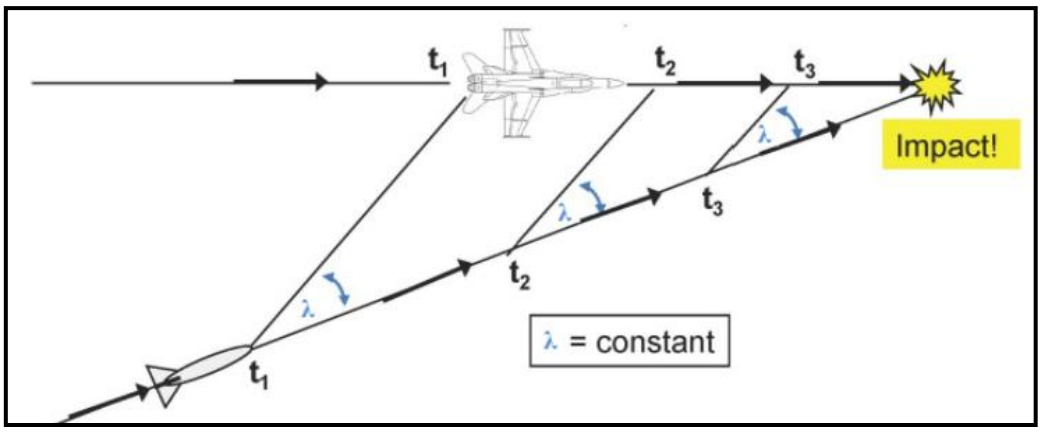
Azt azonban hozzá kell tenni, hogy légiharcban igen ritka, hogy két repülőgép tökéletesen szembe repül egymáshoz képest. Amennyiben már 10-20 fok körül van a megközelítés szöge (aspektus), akkor elég tekintélyes része látszik a gázsugárnak akkor meg különösen, ha a célpont hajtóműve utánégető fokozaton üzemel. A szemből is indítható képességet ennek a fényében kell értelmezni az infravörös rakétáknál.

A helikopterek jóval nehezebb célpontok az infravörös rakéták számára, mert a gázsugár a helikoptereknél kb. egy nagyságrenddel kisebb, ráadásul a hőmérséklete is alacsonyabb, mint a vadászgépeknél. Egy vadászrepülőnél akár 10-30 méter hosszú is lehet a csóva – főleg, ha maximális utánégető teljesítményen üzemel a hajtómű, akkor maga az utánégető lángja is több méter hosszú lehet – addig egy helikopternél ez alig néhány méter.

Hajtóművek utánégető teljesítményen üzemelve balra egy F-14, jobbra egy Eurofighter Typhoon esetén. (A jobboldali kép Kővári László felvétele, Ostrava 2012)

Az infravörös önvezérlés működésének megértéséhez szükséges a már korábban említett arányos megközelítés ismerete, mert az infravörös vezérlés alapelve nem teszi lehetővé a távolságmérést, ezért csak arányos megközelítés jöhet szóba. Az arányos megközelítés esetén ajánlatos legalább nagyjából megadni a célpont sebességét, illetve a célpont haladási iránya is számít, hogy balról jobbra vagy jobbról balra halad, mert az előretartás szöge ettől függ.

A rakéta azonban legfeljebb csak az indítás előtt kaphat távolság és sebesség adatot, ez többféle módon is elképzelhető.[281] A célpont befogása után a gömbcsukló elfordulásából számolja a célpont elmozdulásának az irányát, tehát minimális ideig követi a célt a rakéta az infrafejjel és csak azt követően indul el a rakéta. Az is járhatónak tűnik, hogy amennyiben radarral is követik a célt, akkor az alapján megadható a rakétának a sebesség illetve a repülési iránya is a célpontnak. A lenti ábrán látható, hogy ha a célpont ellenkező irányba repülne és az előretartás szöge azonos lenne az ábrán láthatóval, akkor a rakéta a célpont mögé és nem elé tartana, emiatt szükségesek a fentiek.



Vállról indítható légvédelmi rakéták esetén az operátor attól függően céloz a célpont elé néhány fokkal, hogy balról jobbra vagy jobbról balra halad a célpont. A célpont befogása után néhány fokkal az elé céloz – attól függően, hogy repülőgép vagy helikopter a célpont – , a rakéta gömbcsuklója ezt méri és ez alapján valósítja meg az arányos megközelítésnél az előre tartást. [282] Lényegében a fenti gondolatmenet is ezt követi a repülőgépről történő indítás esetén, csak ott a fedélzeti rendszerek ezt automatikusan képesek az indítás előtt megtenni attól függően, hogy a cél követése hogyan történik, vállról indítható rakéták estén ez a fegyvert kezelő személy ügyességén és képzettségén is múlik.

[281] *Forrásom egyikre sincs, de ezt valahogyan mindenképpen szükséges megoldani.*

[282] *https://youtu.be/q0nuhI05QyA?t=1m50s 5:35-től látható az elé célzás, de a többi része is érdekes a videónak. Nem annyira egyszerű használni ezeket a rakétákat, ahogy azt elképzeli az ember, és videón bemutatott folyamatra alig néhány másodperc áll rendelkezésre gyorsan repülő célpont esetén.*

Mivel a célpontok skálája a lassan repülő helikopterektől kezdve akár 700-800 m/s relatív sebességgel közeledő erősen manőverező vadászgépig terjed, ezért igenis számít az, hogy indításkor minél pontosabb adatokat kapjon a rakéta. Még ezt figyelembe véve is kinematikailag a rakéta sokszor messze nem a legideálisabb pályán közelíti meg a célt, de a „kutyagörbe” megközelítésnél ez még mindig jobb.

Egyes szóbeszédek szerint az 1982-es Falklandi konfliktus után az argentinok tiltakoztak az AIM-9L rakéta miatt, mert aránytalanul sok pilóta halt meg a rakéta találatoktól. Felrótták azt, hogy nem a „technika” ellen, hanem a pilóta szándékos megölésére utaztak az angolok, ami nem „tisztességes”. (Egy háborúban mi is a cél...?)

A történet technikai háttere ennek a szóbeszédnek, hogy az AIM-9L a találat előtti pillanatban áthelyezte a számított ütközési pontot, hiszen az InSb detektor miatt alapvetően a gázsugarat veszi célba az infrafej, ami viszont az eltalálandó repülőgép mögött van. Hiába van közelségi gyújtó a rakétán, ha az a célpont mögött robbantja a rakétát, akkor annak hatásossága sokszor elégtelen lenne, ezért ütközés előtt a rakéta a célpont elé „beránt”, hogy a találat hatásos legyen.

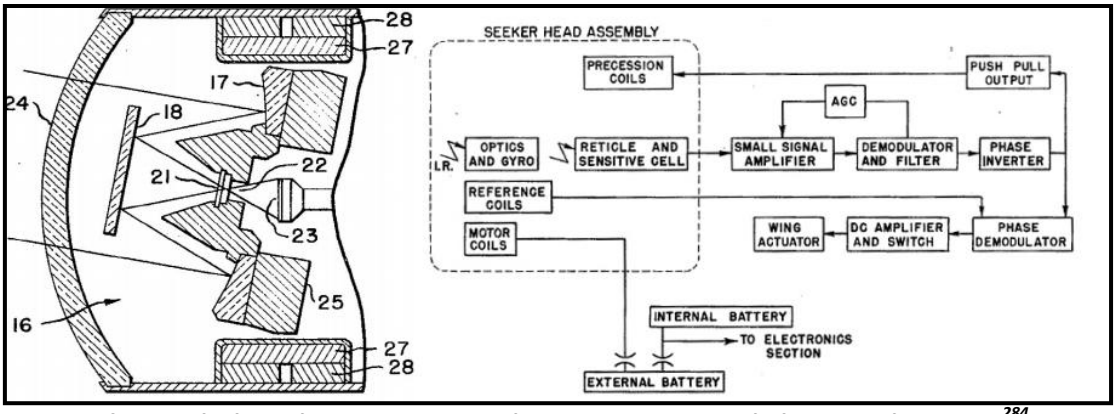
Ez a történtet úgy került át a köztudatba, mintha ez az AIM-9L sajátossága lenne, pedig ezt korrekció az összes infravörös vezérlésű rakétánál szükséges amelyek InSb detektort használnak. Ez még inkább kötelező elem azon vállról indítható rakétáknál (MANPAD), amik nem rendelkeznek közelségi gyújtóval, tehát korrekció nélkül a találatra esély sincsen, ilyen például a 9K38 Igla (SA-18). (Természetesen nem csak a közelségi gyújtó nélküli rakétáknál szükséges ez a korrekció.).

Az ütközési pont áthelyezést úgy oldják meg, hogy amikor arányos megközelítés estén hirtelen növekvő szögeltérést tapasztal a rendszer a célhoz közeledve – kisebb távolság esetén azonos távolsági hiba nagyobb szögeltérést jelent –, akkor helyezik át az ütközési pontot. A másik lehetséges módszer, hogy a célpont jelének fókuszáltságát (átmérőjét) mérik, az Igla így működik. Amíg az pontszerű, addig messze van a cél, amikor defókuszálódik, akkor tudja hogy közel van a célpont és céloz elé a gázsugárnak).

4.3.2.2. Általános műszaki felépítés

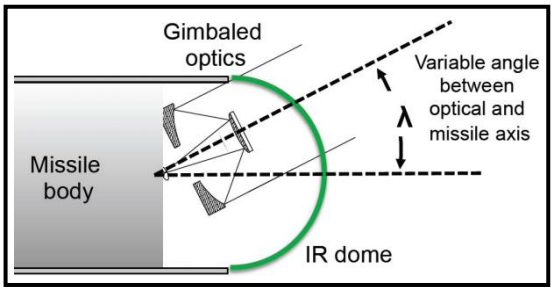
A repülőeszközök mint infravörös sugárzó források, a sugárzás jellemezői, az érzékelők anyagai, illetve a mélyhűtés hatása az infrafej képességeire a fentiekben bemutatásra kerültek. A különbség szemléletesen infravörös kamerával készített felvételeken látható, azonban az infravörös vezérlésű légiharc-rakéták érzékelői egészen a közelmúltig másmilyen elven működtek, nem képalkotós technológiát használtak, nem digitális infrakamerák voltak felelősek a célpont követéséért.

Az infrakamerák megjelenéséig a célpontról származó infravörös sugárzást egy optikai rendszeren keresztül az érzékelőre fókuszálva oldották meg a célkövetést és a rakéta vezérlését. Ennek elvi vázlata a lenti ábrán látható. Az alapelv nem túl bonyolult, de az idők során az alapelvet felhasználva egyre komplikáltabb és többet nyújtó műszaki megoldások születtek, amiket közel sem volt annyira triviális megvalósítani, mint ahogyan az alapelvük rövid összefoglalásában szerepel.[283] A lenti ábrán látható a sematikus ábrázolása egy általánosított, tipikus infravörös érzékelőnek.



Infavörös érzékelő és optikai rendszer és a mögötte levő vezérlési logika és alapelv.[284]

17–- elsődleges parabola tükör (forog)	***18–- másodlagos tükör (forog)***	***21– modulációs tárcsa***	***23 – foto-ellenállás***
24 –infravörös tartományban átresztő orrkúp	***25 – állandó mágnes***	***27 – elfordító tekercsek***	***28 – referencia tekercs***



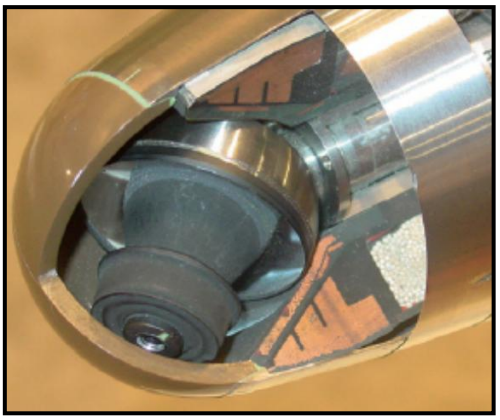
A 17-es jelölésű parabola tükör nagy sebességgel forog a 21-es jelű modulációs tárcsával és állandó mágnessel együtt. Az infravörös sugárzásra érzékeny foto-ellenállás (detektor) a 23-as jelű elem. Amikor az infravörös érzékelő befogott egy célt és azt követi, akkor a referencia tekercsek által generált áramból számolható a szögeltérés változása. (Elektromágneses indukció segítségével.)

Mivel az egész forgórész (tükrök, modulációs tárcsa és állandó mágnes) pörög, ezért a giroszkópikus hatás miatt befogás után mindig a célpont felé néz az érzékelő, amíg a rendszer[285] célkövetési képessége és a szenzor látószöge ezt lehetővé teszi. A rakétatest fordul el a szenzorhoz képest, vele együtt a 27 és 28-as elemekkel a rakétatesten. A forgó mágnes és a rakétatesten levő mágnes közötti szög változással létrehozott árammal előállított jellel, pontosabban annak erősítésével lehet kormányvezérlő parancsokat

[283] *Ahogy ez általában van, pl. az atomreaktor kis túlzással csak egy nagy vízforraló, de azért mégis nemcsak nagyobb és „kissé" komplikáltabb is.*
[284] https://www.google.us/patents/US3323757
[285] *IRIS-T rakétánál így néz ki a gömbcsukló működése.* https://www.youtube.com/watch?v=I-erqu8aP1U

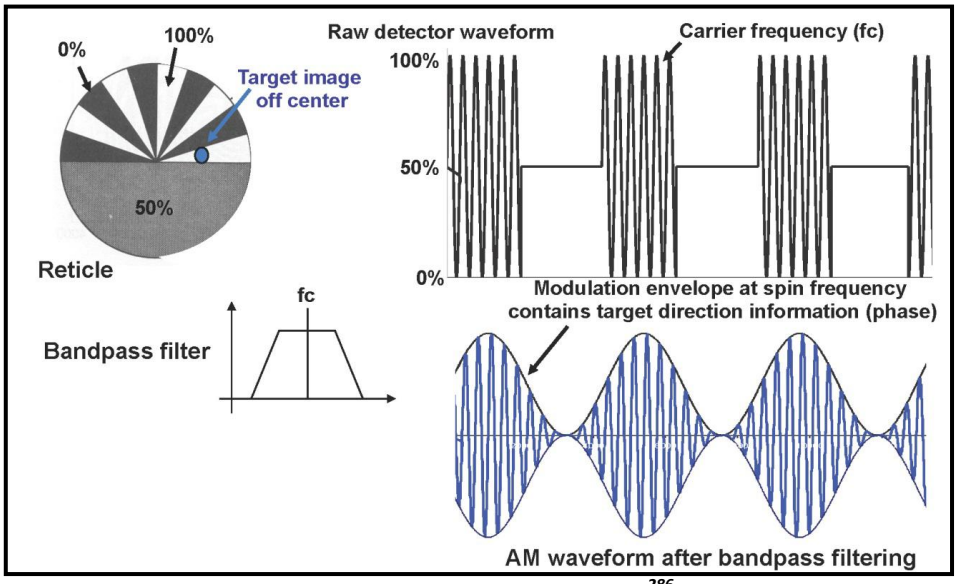
kidolgozni. Így valósítható meg az arányos megközelítésnek megfelelően a rakétatest és szenzor közötti állandó szög tartása, a rakéta ennek segítségével halad ütközési pont felé.

Az optika Cassegrain rendszerű, melynek előnye, hogy kompakt elrendezésű, a Newton távcsővel kialakítással ellentétben a fókuszpont a rakéta tengelyében van. A 17-es jelű elsődleges tükör gyűjti az infravörös sugárzást és a 18-as jelű másodlagos tükör irányítja az érzékelő, illetve az előtte levő 21-es jelű modulációs tárcsa felé.



Az egész szerkezetet a rakéta orrán levő 24-es jelű infravörös tartományban áteresztő orrkúp zárja le. Az érzékelő előtti modulációs tárcsa kialakítása alapvetően meghatározza a vezérlés zavarvédelmét egyes eszközökkel szemben, lásd későbbiekben az egyes technikai megoldások részletezésnél. (Jobbra egy AIM-9M rakéta infrafejének gömbcsuklón mozgó része látható a rakéta orrában.)

4.3.2.2.1. Amplitúdó-modulált vezérlés (spin scan tracker)



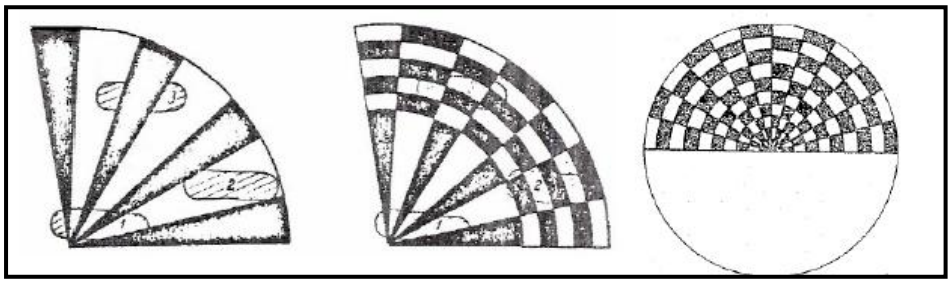
A forgó tárcsás vezérlés alapelve.[286]

A foto-ellenállás (detektor) előtti modulációs tárcsa egyik fele félig áteresztő anyagból készült (szürke színű, 50%-os rész a fenti az ábrán), a másik felén a sugárzást blokkoló (0%) és áteresztő (100%) sávok találhatóak felváltva, ez a modulációs tárcsa forog a rakétatesthez képest, ez a szerkezet van a gömbcsuklóra szerelve. Amennyiben a célpont az infrafej látószögén belül van, akkor a fenti ábrán látható feketével ábrázolt időbeli jelet adja. Amikor a sűrű sávokon érkezik a sugárzás, akkor erősen szaggatott lesz a jel, amikor a félig áteresztőn, akkor más jelerősség lesz, illetve a jel frekvenciája is eltérő lesz a tárcsa másik feléhez képest.

Frekvencia sávszűrőn (bandbass filter) áteresztve, az ábrán látható kék színű időbeli jelet kapjuk. Ez az eredmény amiatt adódik, ami már a folyamatos hullámú (CW) radarnál bemutatásra került, amennyiben egy állandó frekvenciájú folyamatos jelet időben megszaggatunk, akkor a kapott jelben eltérő frekvencia komponenseket kapunk, eltérő amplitúdóval még állandó frekvencia esetén is.

[286] *Figure 60, Aircraft Infrared Principles, Signatures, Threats, and Countermeasures, NAWCWD TP 8773*

A kapott jelnél az amplitúdó maximuma és minimuma határozza meg azt, hogy a rakétának merre kell fordulnia. A célpont a jel maximumának irányában van, ezt amplitúdót próbálja kinullázni a vezérlés, ekkor van középen a célpont. Ez abból következik, hogy a sávok közepének helyzete ismert a tárcsán, Az amplitúdó gyakorisága a rendszer forgási sebességével azonos. Mivel az amplitúdó maximuma adja meg a céljel eltérést, ezért hívják ezt a módszert amplitúdó-modulált vezérlésnek.



Természetes zavarforrások kiszűrésére alkalmazott tárcsák.

Az vezérlés alapelvének magyarázatában szereplő tárcsa idealizált, valójában a fenti ábrán bemutatotthoz hasonló tárcsákat használtak a nagyobb felületű természetes infravörös zavarforrások kiszűrésére, ilyen például a vízfelszínről vagy felhőről történő visszaverődés, amik jellemzően nem pontszerű, hanem nagyobb kiterjedésű foltként vetítődtek rá a detektorra, több áteresztő sávra is rávetülve azonos sugáron.

A rakétavezérlés számára probléma, hogy nem tudja megkülönböztetni az infravörös forrásokat, megfelelő felületről képes kellő erősségű infravörös sugárzás visszaverődni, emiatt problémásak egyes részei a földháttérnek vagy akár az égboltnak is. Egy egyszerű példán keresztül, egy lézer pointerrel a tükörre világítva a visszaverődött lézer hullámhossza nem változik meg, tehát akkor is lehet fogni egyes irányokból a visszaverődést, amikor a forrás nincs is a rakéta látószögében. Ez a probléma a légiharc-rakéta esetén is fennáll.

Az önvédelmi rendszereknél bemutatott berendezések egy típusánál jut szerephez az amplitúdó-modulált infrafej működésének alapelve, a „thermal jammer” zavaró berendezések kellő hatékonysággal csak az amplitúdó-modulált vezérlés ellen működnek.

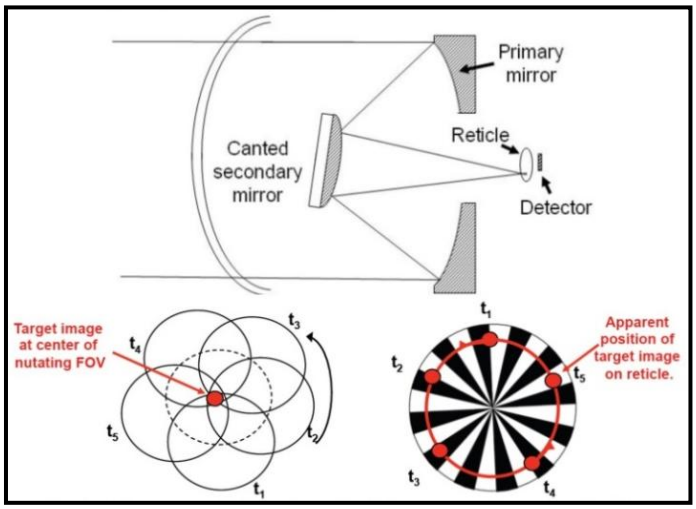
Ezt a pörgő, félig áteresztő moduláció tárcsás műszaki megoldást csak a korai infravörös vezérlésű rakéták használták, ilyen volt például a 9K32 Sztrela-2 (SA-7) vagy a FIM-43 Redeye a MANPAD kategóriában. A légiharc-rakéták közül az R-3Sz (AA-2A Atoll), a továbbfejlesztett R-13M (AA-2C), a korai Sidewinder változatok, az AIM-9B, E, F, G, H, J, N, és P változatok használták ezt egészen a ’70-es évek elejéig/közepéig. (A későbbi AIM-9P4 és P5 változatok már frekvencia modulált vezérléssel bírtak.)

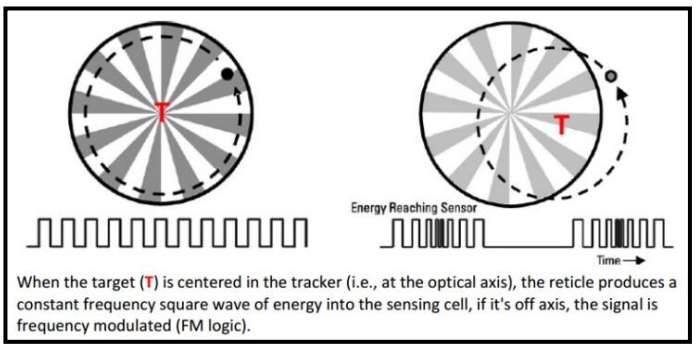
A amplitúdó-modulált vezérlési módszer előnye, hogy még a kor színvonalán is viszonylag egyszerűnek számított a szerkezet, egyszerű elektronikai elemekből állt, mozgó alkatrészt nagyon keveset tartalmazott. Szó sem volt félvezető technológiáról és fedélzeti számítógépekről, ezek használata nélkül is elkészíthető volt a vezérlés, továbbá hatalmas mennyisében gyártható volt a rakéta, 1962-ig, tehát alig több, mint fél évtized alatt kb. 95 ezer (!) darab AIM-9B-t gyártottak le. A vezérlési módszer hátránya viszont az, hogy nagyon egyszerű zavarni.

(Az AM vezérlés alapelve a lenti linkeken megtalálható kicsit részletesebben).[287]

[287] http://www.ausairpower.net/TE-IR-Guidance.html
http://www.ausairpower.net/TE-Sidewinder-94.html

4.3.2.2.2. Frekvencia-modulált vezérlés (conical scan tracker)





A frekvencia-modulált vezérlés az egyszerű pörgős tárcsás módszertől eltérően működik, annak ellenére, hogy a forgó tárcsa hasonló kialakítású.

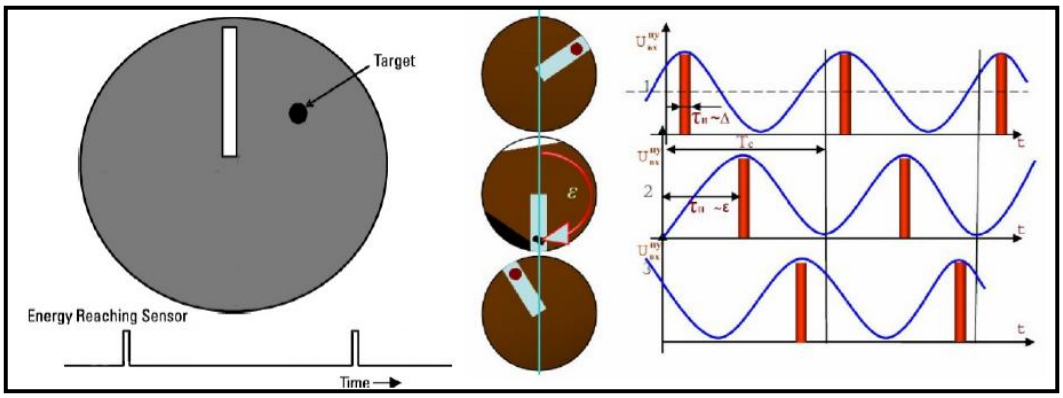
Az foto-rezisztens érzékelőt és tárcsa előtti tükröt szándékosan úgy állítják be, hogy ne a tárcsa közepére, hanem annak szélére vetítse a bejövő sugárzást, amikor a rakéta a helyes irányba tart, ezzel lényegében a radaroknál használt kúpos keresési módszert alkalmazzák.

Ennek a változatásnak az a következménye, hogy amikor a rakéta a megfelelő irányba, a célpont felé halad – ekkor a piros T betű a lenti ábrán a tárcsa közepén van – akkor a kapott jel a tárcsa kialakítása miatt állandó frekvenciájú jelet produkál.

Amikor a rakéta nem a cél felé repül, akkor a tárcsa pörgése miatt a vetített sugárzás a tárcsán kívül esik (azon kívülre fókuszálódik), emiatt a kapott jel frekvenciája nem lesz állandó. (Balra fent, az alsó ábrán ekkor van a T betű jobbra, kicsit lentebb a tárcsa közepétől.) A vezérlés a jel frekvenciájának változását használja fel, annak amplitúdója nem lényeges, ezért hívják frekvencia-modulált vezérlésnek.

A fent említett „thermal jammer” zavaró az ilyen vezérléssel bíró rakéták ellen elvi szinten nem működik, de a gyakorlati tapasztalatok szerint korlátozottan mégis képes zavarni azokat. (Az optika tökéletlensége és egyéb műszaki korlátok miatt.) Frekvencia modulált vezérlése van/volt az AIM-9L, M,P-4, P-5 Sidewinder változatoknak, az R-60 (AA-8), R-73, Sztrela-3 (SA-14) és Igla-1 (SA-16), FIM-92A Stinger, továbbá a MIM-72/C/E/F Chaparralnak.

4.3.2.2.3. Linear reticle



Ennél a megoldásnál a forgó modulációs tárcsa csak egy nagyon szűk áteresztő sávval rendelkezik, illetve a keresőfej kúpos keresést végez. A módszer lényege, hogy infravörös sugárzás csak akkor képes bejutni a detektorba, amikor a szűk áteresztő sávra esik az.

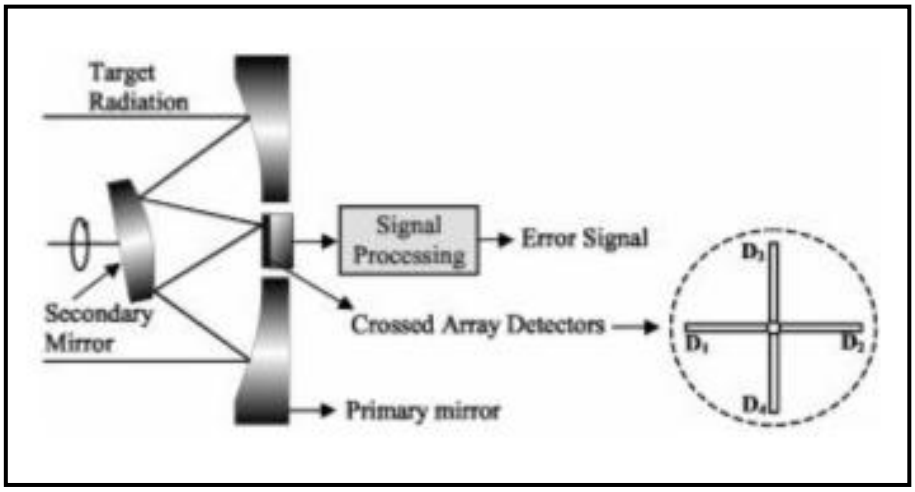
A vezérlés azon az elven működik, hogy ismert az infrafej számára az optikai függőleges tengely, ezzel és a tárcsa forgási sebességéből a célpont várható felbukkanási helyére adható egy előrejelzést, és csak azt a forrást veszi figyelembe a vezérlés, ami ehhez közel esik. (Ez egyfajta kapuzási módszer.)

A módszer előnye, hogy a célpont „thermal jammer”/cézium lámpája – lásd később a zavaró eszközöknél – villoghat, illetve a célpont dobhat infracsapdát, de ha ezek akkor vannak a rakéta infrafejének látómezőjében, amikor éppen nem söpör át az áteresztő sáv, akkor a vezérlés egyszerűen figyelmen kívül hagyja ezeket, hiszen nem is érzékeli azokat.

Elvi megközelítésben a módszer előnye az, hogy preventív módon nagyon sok infracsapdát kell szórni, hogy annak hatása legyen, hogy azok a figyelembe vett sávba többször is bele essenek, viszont a két söprés között időben kiszórt infracspdáknak nincs hatása, hiszen hiába vannak azok optika látószögében. [288] Az Igla-1 (SA-16) bír (amennyire lehet tudni) ilyen vezérléssel.

A módszer egyszerűnek tűnik, azonban a műszaki háttere már sokkal komolyabb, mert ehhez a vezérléshez már félvezető elektronika, digitális fedélzeti számítógép és memória szükséges, analóg elektronikával nem lehetséges a megvalósítása.

4.3.2.2.4. Crossed linear array tracker



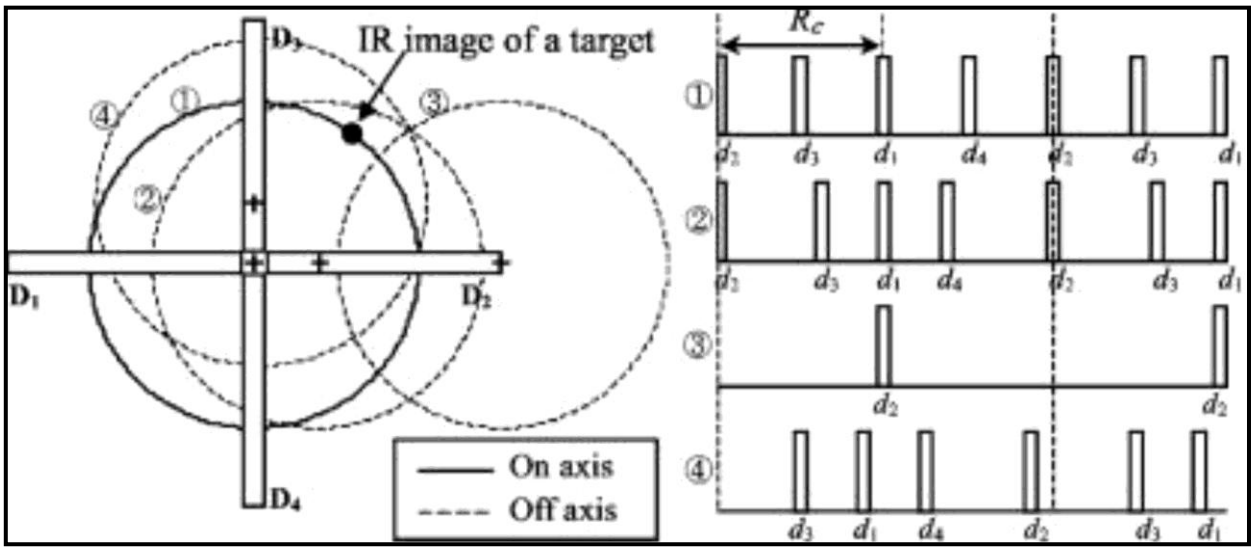
A vezérlés alapelve a fenti és a következő oldali ábrákon látható. A rakéta infrafeje ennél a módszernél is kúpos keresést alkalmaz, de forgó modulációs tárcsa már nem szükséges az érzékelő előtt, csak a másodlagos tükör forog. A detektor négy nagyon keskeny csíkban van az infrafejben, amire rávetíti az infravörös sugárzást az infrafej optikája.

Az új fajta kialakítású detektor előnye, hogy csak akkor kap a célpont felől jelet, amikor az igen keskeny csíkokra esik a sugárzás, tehát csak ezekben az időpillanatokban lehet zavarni, ebben hasonlít a linear reticle módszerhez.

Mivel tükör a forgási sebessége ismert, ezért digitális jelanalízis, memória és gyors processzor segítségével meghatározható, hogy mikor várható a céljel ismételt felbukkanása a következő detektor csíkon, tehát ha azon kívül érkezik jel (pl. infracsapdától), akkor azt egyszerűen nem veszi figyelembe.

[288] *Az, hogy erősen manőverező célnál, ahol zavarással együtt lehetnek közeli céljelek a sávhoz képest balra és jobbra is, illetve átkerülhet a valódi céljel a tengelyhez képest ellentétes irányba és helyet cserélhet a zavar forrássokkal, ott fogalmam sincs, hogy a logika mit csinál. Valószínűleg ilyen esetekben működik még az infracsapda, de ehhez sokat és a megfelelő pillanatban szükséges kiszórni intenzív manőverezés, tehát pl. palástorsó közben, akkor a célponthoz képest minden irányban lehet infracsapda.*

A zavarási módszereknél bemutatásra kerülő thermal jammer(4.4.1.7. fejezet) villogásának frekvenciája is kiszűrésre kerül, hiszen azt akkor érzékeli a rakéta, amikor a repülőgép céljelét is.



A fenti ábrán látható, hogy néhány elképzelt fókuszált céljel elhelyezkedés esetén hogyan kap jelet a vezérlő rendszer. Amennyiben a rakéta a célpont felé repül, akkor az első sorban látható jelsor keletkezik. A frekvencia állandó (tükör sebessége ismert), tovább az is, hogy melyik detektor impulzus melyik irányhoz tartozik. Amennyiben a rakéta nem a cél felé repül, akkor minden más esetben az 1-es esettől eltérő jelet kap vissza a vezérlés.

A kapott céljel impulzusokat összevetve a memóriában tárolt, számolt és várt értékekkel a vezérlés a hiányzó jelek (impulzusok) ismeretével korrigál. Például a 3. esetnél látható, hogy a vetített sugárzás csak a D2-es detektor csíkra esik, ebből az következik, hogy a cél jobbra van az infrafej közepétől, és annak minimális mértéke is ismert. Ebből lehet tudni, hogy merre szükséges korrigálni a rakéta pályáját, hogy az első sorban levő állapothoz legközelebbi helyzetet kapja vissza a rendszer.

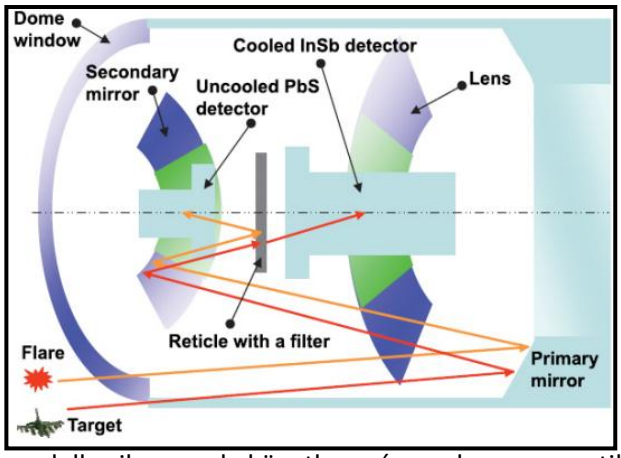
Ezzel a vezérlési módszerrel nagyon precíz irány információ kapható és a zavarás bevitelére csak az előre jelzett/becsült sávok esetén van lehetőség, mint a linear reticle estén. A vezérlés még precízebb, hiszen nem csak egy sáv pörög, ráadásul a csíkok keskenyebbek, ami zavarvédelem szempontjából is előnyösebb, mivel elméletben az összes sáv átsöprési idejére lehet előre jelzést készíteni, tehát a „becslés” sávja kisebb.

A gyártástechnológia fejlődése tette lehetővé a pörgő tárcsát elhagyó módszert, nem az ötlet hiánya, hanem annak kivitelezhetősége szabott határt korábban a megvalósításnak. Természetesen ehhez is már digitális mikroprocesszor és memória volt szükséges, régi analóg elektronikával ez is módszer is megvalósíthatatlan lett volna, maga a szükséges detektor megalkotása a másik szűk keresztmetszet a technológiában.

Ilyen vezérléssel rendelkezik a francia Mistral, illetve a műholdvadász ASM-135 ASAT rakéta is ehhez hasonlóval bírt, csak az utóbbinál a detektor csíkok nem egyenesek voltak.[289]

[289] https://htka.hu/2012/12/04/mcdonnell-douglas-f-15-eagle/ *6.2. fejezet.*

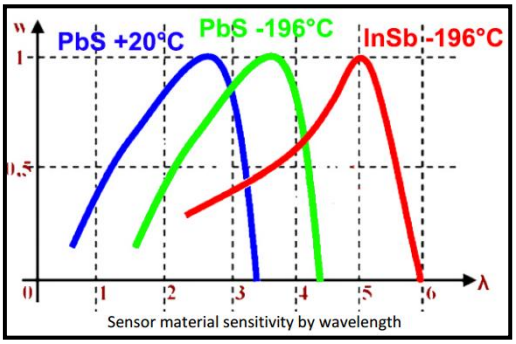
4.3.2.2.5. Kettős detektoros vezérlés

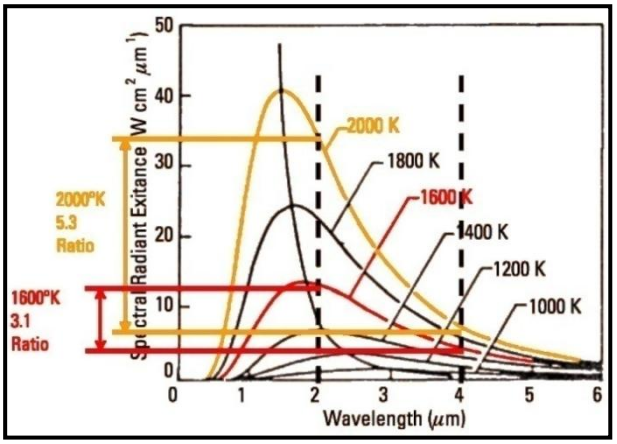


A kettős detektor kétféle megoldást takar. Az első esetben a korábbi PbS és későbbi InSb detektorok együttes használatát, második esetben az infravörös tartomány mellett az UV tartományban érzékeny detektor használatát jelenti. Első lépésben a kettős infravörös érzékelős módszerrel ismerkedjünk meg, a világon elsőként a 9K38 Igla (SA-18) vállról indítható légvédelmi rakéta rendelkezett ezzel a megoldással.

Kettős érzékelő esetében az rakéta infrafej már nem egy, hanem kettő, de eltérő anyagú detektorral rendelkezik, ennek következménye, hogy az optikai rendszer minden korábbinál összetettebb. Az Igla esetében a forgó modulációs tárcsának az áteresztő része 2,6 és 6,5 μm hullámhossz tartományban áteresztő (fenti ábrán a vörös nyíl átmegy, eléri az InSb detektort), de 0,4-2,4 μm tartományban visszaverő és a hűtetlen PbS detektorra esik a sugárzás maradéka.

Mivel az InSb detektor hűtött, de PbS viszont nem így a két érzékelőnek érdemben alig van hullámhossz átfedése, ez látható a már korábban bemutatott diagramon. Az eltérő hőmérsékletű és eltérő anyagú detektorokkal elérhetővé vált az érzékelt célok hőmérsékletének mérése, hiszen azonos forrásnak az intenzitását két hullámhossz tartományban is képes volt mérni a vezérlő rendszer. A 4.3.2. fejezet elején bemutatott fekete test sugárzás diagramról, kiolvasható, hogy ez mit jelent.



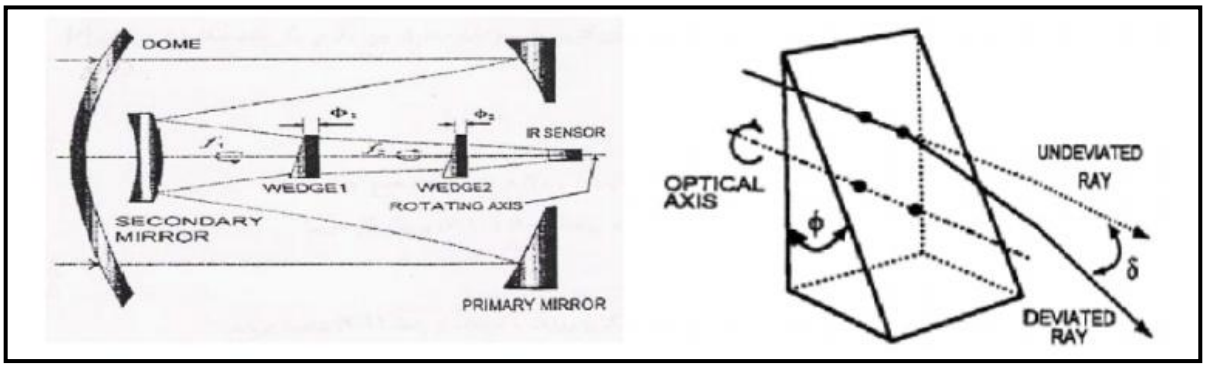


Az infracsapda kb. 2000 Kelvin fok, a repülőgép forró turbina részei kb. 1600 Kelvin fok hőmérsékletűek. A 2000 Kelvin fokos hőmérsékletű infracsapda 5,3-szer intenzívebb sugárzást bocsát ki, 2 μm-en, mint 4 μm-en, ezzel szemben a 1600 Kelvin fokos turbina estén ez az arány csak 3,1-szeres. Ilyen és ehhez hasonló arányokkal lehetséges olyan határokat meghatározni, amiken kívül eső mért értékeket elutasít a rendszer és egyszerűen nem veszi figyelembe azokat, mint céljelet. (Az infracsapdákról bővebben a 4.4. fejezetben esik szó.)

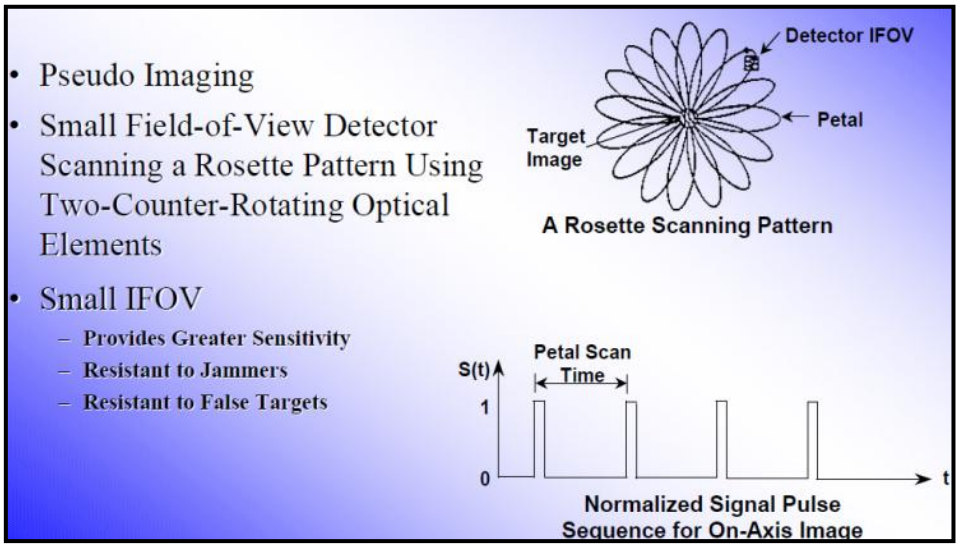
Mivel az infracsapda hőmérséklete egyetlen, viszonylag szűk hőmérséklet tartományba esik – kb. 2000K fok és szinte állandó hőmérsékletűek – ami ráadásul magasabb, mint a követendő felületeké (gázsugár vagy a gázturbina gázsebesség fokozója vagy a turbina), ezért ezzel azok lényegében kiszűrhetőek a cél hátsó fél-légteréből történő indítás esetén. Szemből indítva a szűrés még egyszerűbb, mert csak az egyik detektor látja a célt, ellenben az infracsapdát mindkettő. A PbS detektor minden irányból érzékeli az infracsapdát, de a gázsugarat nem, míg az InSb csak a hajtómű gázsugarát látja. Tehát, ha nem érzékeli mindkét érzékelő a célt, akkor az eleve eldobható, de ha mindkettőt érzékeli, akkor azok hőmérséklet eltérése alapján lehet szűrni az fals célokat.

A kettős érzékelő UV tartományban működő detektorral is kombinálható, de az UV sugárzás inverz jellege miatt – lásd a 4.3.1. fejezet elején – speciális tükörrendszer megalkotása szükséges, ami miatt legalább pszeudó (látszólagos) képalkotás szükséges.

4.3.2.2.6. Rozetta pásztázás, pszeudo képalkotás IR+UV érzékelővel (rosette scan tracker)



A vezérlés alapelve.



A vezérlés alapelve.

A rozetta pásztázás alapelve hasonlít kúpos kereséshez de lencse helyett egy prizma rendszerrel történik az érkező sugárzásnak az érzékelőre vetítése, ami végül a fent látható virágszirom-szerű pásztázási mintát produkálja. Ennek a módszernek az előnye a nagyon komplex információ halmaz, ami ezzel nyerhető. Természetesen itt is forgatják a tükörrendszer elemeit, ezzel elérhető az, hogy fenti mintázatot másodpercenként kellően sokszor pásztázza végig a rendszer.

A fenti ábrán látható IFOV (instantaneous field of view) terület egy rendkívül kis szögtartományt fed le, ezzel pásztázzák le a teljes infrafej néhány fokos látószögét. Egyes időszakok alatt készült adatokat eltárolva a pásztázásokból látszólagos képalkotás történik, hiszen időpillanatonként a szenzor látószögén belül látható térrészt 2D-be leképezve a pásztázás eredményeképpen a tárgyak fizikai mérete egymástól megkülönböztethető. pl. egy kis méretű és nagy intenzitású infracsapda, repülőgép gázsugara vagy maga a repülőgép az érzékelő előtt, de a földháttér az égháttértől is megkülönböztethető. Ezt jelenti a látszólagos (pszeudó) képalkotás, a fenti ábrán látható IFOV „pixelmérettel” pásztázza végig az infrafej a látószöget.

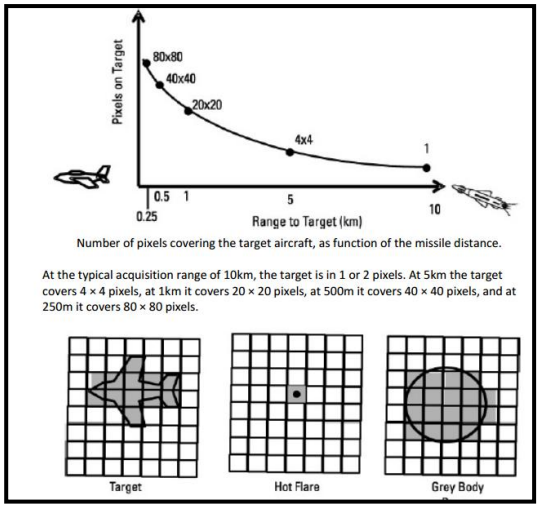
A 4.3. fejezet elején bemutatott UV képnél láthattunk, hogy a célpont repülőgép kitakarja az égbolt UV sugárzását, egy „lyuk az égbolton”. Amennyiben a rozetta pásztázás UV tartományban érzékeny detektorral van kombinálva, akkor a fenti gyors pásztázással, illetve az UV tartományban mért értékeket a memóriából kiolvasva némi matematikával megalkotható egy virtuális kép a célpont egy pillanatnyi helyzetről.

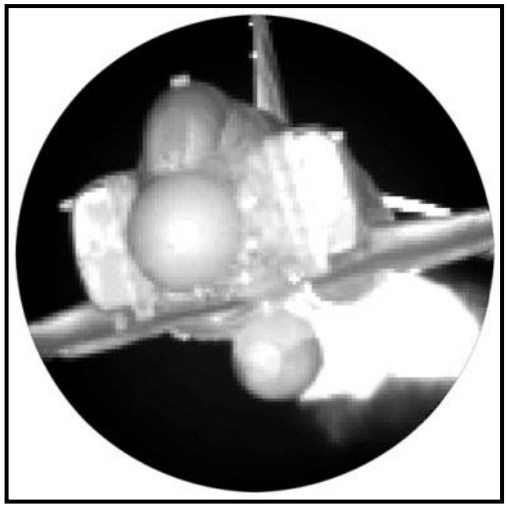
Az UV tartományban keresés az infracsapdák szűrését is elősegíti. Az IR tartományban dolgozó detektor érzékeli az infracsapdát, ellenben az UV tartományban dolgozó érzékelő nem érzékeny az infravörös sugárzásra. Az infracsapda által kitakart tér jóval kisebb, mint a repülőgép által kitakart rész, talán nem is érzékeli a rendszer, annyira kicsi, de amennyiben mégis, akkor annak mérete egyértelműen kisebb, mint a célponté, tehát a memóriában eltárolt UV kép mérete alapján kiszűrhető az infracsapda.

A rosetta képalkotási pszeudo képalkotási módszer nem egyenlő a kettős érzékelő használatával, de célszerűen azzal kombinálható.

Rosetta pásztázásos és kettős IR+UV detektoros vezérlési módszerrel rendelkezik a FIM-92B POST, az FIM-92C RMP és a FIM-92D/E Block-I Stinger változatok. A POST variáns csak kis mennyiségben készült, mindössze 600 db 1983 és 1987 között, C változatból 1987-1992 között kb. 29 000 példány. Ez utóbbi változat már újra programozható processzorral rendelkezik (RMP = Reporgrammable Microprocessor), amivel frissíthető volt a rakéta vezérlő szoftvere, a megismert új infracsapdák vagy egyéb tényezők szerint lehetett a körülményekhez igazítani a rakéta képességeit.

4.3.2.2.7. Képalkotós érzékelők, infrakamerás vezérlés





A vezérlés alapelve balra és becsapódás előtt egy QF-4 célgép az AIM-9X kameráján keresztül.

A fejlődés következő lépcsőfoka az volt, hogy pszeudó képalkotás helyett immáron valódi képalkotó érzékelővel rendelkezzen a rakéta, vagyis valódi kamera kapott helyet a rakéta orrában. Ennél a megoldásnál nincs szükség pörgő modulációs tárcsára vagy az infrafej pörgetésére. A vezérlés előnye ezen túlmenően, hogy páratlan zavarvédettséget lehet vele biztosítani.

10 km távolságból 1-2 pixelen látszik a célpont, 5 km távolságban ez már 4x4 pixeles méret, 500 méternél 40x40, 250 méternél már 80x80 pixel méretű a célpont 128x128 pixeles felbontás esetén. (Az AIM-9X rendelkezik ekkora felbontással.)[290]

A zavarvédettség alapja az, hogy a rendszer képes a kamera által érzékelt kép minden egyes pixelének az intenzitás változását külön mérni. Ezzel meg lehet különböztetni, hogy mekkora méretű tárgy milyen intenzitással bocsát ki magából infravörös sugárzást sőt, a pixelek összességéből a gázsugár becsült hossz változása is számolható. Ilyen szintű technikával szemben a hagyományos infracsapdáknak elvben esélye nincs megzavarni a vezérlést, hiszen az infracsapdák mind az intenzitás abszolút értékében, mind az intenzitás változásának mértékében eltérnek a hajtóművek gázsugarától, illetve a repülőgép teljes

[290] https://www.youtube.com/watch?v=6YMSfg26YSQ

felületétől vagy annak bármelyik részétől. Nemhogy az infracsapdák, de elvileg a későbbiekben bemutatásra kerülő pirofór zavaró töltetekre sem érzékeny a vezérlés.

Jelenleg az egyetlen ismert ellentevékenységi módszer az infrakamerás vezérlés ellen, hogy lézerrel elvakítják (vagy elégetik, de ilyen erős lézer még nincs gyakorlati alkalmazásban) a rakéta érzékelőjének elemeit. Azonban ez ellen is lehet védekezni, az IRIS-T rakéta elvileg már ez ellen is fel van készítve, legalábbis a ma alkalmazott lézer teljesítményeket figyelembevéve. (Lásd a 4.4. fejezetben.)

Természetesen ezen vezérlési módszernél is alapvetés, hogy a rakéta rendelkezzen programozható processzorral és memóriával, továbbá adatbázis szükséges az alakfelismeréshez és a pixelenkénti intenzitás változás értelmezéséhez. Ilyen vezérléssel bír az amerikai AIM-9X , az angol ASRAAM és az német IRIS-T.

(Vállról indítható légvédelmi rakétáknál még nem jelent meg ez a megoldás, terveztek ilyen Stinger változatot, de költségvetési okokból törölték ez lett volna a Stinger Block-II változat, a programot 2002-ben állították le.)

4.3.2.2.8. Elektro-optikai / foto-kontrasztos vezérlés

A kis hatótávolságú Sztrela-1 (SA-9 Gaskin) és opcionálisan a Sztrela-10 (SA-13 Gropher) légvédelmi rendszerek rendelkeztek elektro-optikai/foto-kontrasztos vezérlés vezérlésű rakétákkal. Működési elvük azonos az amplitúdó-modulált a infravörös rakétákkal, csak más hullámhosszt használtak, nevezetesen a látható fény tartományában üzemelő vezérléssel rendelkeznek.

A vezérlés előnye, hogy lehetővé tette a közeledő cél elleni indítást is, hiszen nem a célpont hajtóművének infravörös kisugárzása alapján történt a rávezetés. A vezérlés hátránya viszont, hogy bármilyen formájú és színű objektum olyan kontrasztosságbeli zavart jelent, ami a vezérlést képes megzavarni.

Eredetileg tartalék megoldásként fejlesztették ki ez a fajta vezérlési módszert, mert infravörös vezérlésű 9K32 Sztrela-2 fejlesztésének kezdetén nem vették biztosra, hogy az infravörös vezérlés megalkotása a szükséges méretben lehetséges-e. Végül sikeresen megalkották a vállról indítható Sztrela-2 légvédelmi rakétát, de ennek ellenére rendszerbe állították a Sztrela-1-est is nagyobb méretű rakétával, mint a Sztrela-2.

4.3.3. Infravörös- és elektro-optikai vezérlés összefoglaló táblázata

A fejlődéstörténet nyugati és keleti oldalon is érdekes eredményeket produkált, vizsgáljuk meg a következő oldali táblázatot tüzetesebben. A'80-as évek végén mind a Szovjetunióban, mind a USA-ban a csúcs repülőgép-fedélzeti légiharc-rakéták a legfejlettebb vállról indítható légvédelmi rakétákéhoz képest elavultabb vezérlési módszerrel rendelkeztek. Ez igen furcsa annak fényében, hogy amerikai oldalon a koncepció az volt, hogy az „*USAF a király és mienk a légifölény*", a csapatlégvédelem a szovjettel összemérve némi túlzással szinte nem létező, de minimum mostoha gyerekként kezelt terület volt.

Ehhez képest a FIM-92B Stinger (még, ha csak kis mennyiségben is készült) és a FIM-92C rozetta pásztázás és kettős IR+UV érzékelőjéhez képest az AIM-9M egyszerű frekvencia modulált vezérlése, illetve InSb detektoros technológiája némi túlzással már-már nevetségesnek hat az egyéb zavarvédelmi megoldásai ellenére is. (Lásd ezeket a 4.4 fejezetben.)

A Sidewinderen alapuló rakétát használó MIM-72G Chaparral csapatlégvédelmi rendszer rakétája is megkapta a rozetta pásztázást és kettős IR+UV érzékelős vezérlést annak ellenére, hogy a légvédelmi

rendszer első változatát csak rövid időszakra, afféle átmeneti megoldásként tervezték és állították hadrendbe. Ezek után enyhe csodálkozásra ad okot az, hogy a Chaparral több, mint 20 év után is hadrendben volt és megkapta a korszak legkorszerűbb infravörös vezérlését használó infrafejet is.

Ehhez képest az agyonsztárolt USAF csúcsvadászgépek a legkorszerűbb Stinger és Chaparral rakétákkal összevetve egyszerű hűtött InSb detektoros és frekvencia modulált vezérléssel bíró AIM-9M-mel vágtak neki még a '90-es évek elejének is, illetve tapasztalták élesben a rakéta korlátait. 1991-ben a Sivatagi Vihar hadművelet során számtalan esetben hatásosnak bizonyultak a közönséges infracsapdák a AIM-9M ellen.

Rendszeresítés éve	Típus	Detektor	Célkereső optika és vezérlés
1956	AIM-9B	hűtés nélküli PbS	Amplitúdó-modulált
1960	R-3Sz (AA-2A Atoll)		
1968	9K32 Sztrela-2 (SA-7 Grail)		
1973	R-60 (AA-8A Aphid)		
1965-kb.1975	AIM-9D/E/F/G/H/J/N/P a P-3 változatig	hűtött PbS	
1967	FIM-43C Redeye		
1969	FIM-72A/B Chaparral		
1974	R-13M (AA-2C Atoll) R-23T (AA-7B Apex)		
1960	9K31 Sztrela-1 (SA-9 Gaskin)	Foto-kontraszt	
1976	9K35 Sztrela-10 (SA-13 Gropher) (indítás előtt választható a két detektor közül)	hűtött PbS	Frekvencia modulált
1974	9K34 Sztrela-3 (SA-14 Gremlin)		
1977	AIM-9L Sidewinder	hűtött InSb	
1978	MIM-72C/E/F Chaparral		
1979	FIM-92A Stinger		
1977 (?)	R-60M (AA-8B)[291]		
1982	AIM-9M Sidewinder		
1984	R-73 (AA-11 Archer)		
1981	9K310 Igla-1 (SA-16 Gimlet) [292]		Linear reticle
1983	9K38 Igla (SA-18 Grouse)	hűtött InSb + hűtött PbS	
1982	MIM-72G Chaparral	hűtött InSb + CdS (UV)	Rosette scan (pszeudó képalkotás)
1983-tól 1987-től	FIM-92B Stinger POST/RPM FIM-92C RMP		
1988	Mistral	hűtött InSb [293]	Crossed linear array
2003-	AIM-9X, ASRAAM, IRIS-T	hűtött InSb	képalkotós szenzor 128x128 vagy akár 256x256 pixeles felbontás

Infravörös és elektro-optikai rakéták összefoglaló táblázata.

A szovjet oldalon is kísértetiesen hasonló lett a fejlesztések végeredménye a hidegháború végén. A vállról indítható 9K38 Igla (SA-18) is kettős érzékelővel bírt – bár ez „csak" kettős infravörös érzékelőt jelentett, nem IR + UV-t, mint a Stinger B és C változatánál – addig az R-73 (AA-11 Archer) szintén csak frekvencia modulált vezérléssel és hűtött InSb érzékelővel bírt, tehát a kisebb Igla sokkal inkább zavarvédett volt.

[291] *A detektor anyag bizonytalan, 2,9 és 4,9 mikron közötti érzékenységet adnak meg, ami elvben InSb, de a források többsége korlátozott szemből indíthatóságot tüntet fel. A hadrendbe állítás dátuma az 60M változatra vonatkozik az OGSz-75 infrafejjel, de léteztek későbbi R-60 változatok is.*
http://www.aereimilitari.org/Armamenti/R-60-Aphid.htm

[292] *Lehet, hogy frekvencia-modulált vezérléssel bír, mint a Sztrela-3, csak eltérő detektorral rendelkezik.*

[293] *Lehetséges, hogy InAs (indium arzén) anyagú detektort használtak, a MICA légiharc rakétában is ilyen detektor van.*

Hogy ez menyire volt szándékos és mennyire csak a véletlen eredménye azt már nehezebb megmondani. A képalkotós vagy legalább kettős érzékelővel bíró légiharc-rakéták elvileg nem sokkal ezek után készültek volna el, csak egy „apróság" közbeszólt, nevezetesen a hidegháború véget ért, a Szovjetunió széthullott a gazdaságával együtt.

A hidegháború vége USA-ban és ezzel a nyugati országokban is elmosta az AIM-9R rendszeresítését. Az európai ASRAAM program már ezt megelőzően is döcögött, a hidegháború vége után meg végképp nem volt már sürgős a kifejlesztése és hadrendbe állítása az új infravörös vezérlésű rakétánal. Az R-73 megismerése és tesztelése a német egyesítése után oda vezetett, hogy Németország kiszállt az ASRAAM programból és inkább megalkotta a tolóerő-vektorált hajtóművel rendelkező IRIS-T rakétát.[294] Az ASRAAM nem tolóerő-vektorált, az angolok az AIM-9X-nél felvázolt nagyobb hatótávolságú szemből indíthatóságra helyezték a hangsúlyt és nem a közeli manőverező légiharc igényeit vették előre.

A homokszem ott került a gépezetbe, hogy az IRIS-T viszonylag lassan készült el, csak 2006-ra érte el a sorozatgyártásra értett állapotot – nem mintha sürgős igény lett volna rá – , az ASRAAM gyakorlatilag egy kudarcnak fogható fel annak ellenére, hogy korábban kezdték gyártani. A nyugati világ számára szánt közös kis hatótávolságú infravörös vezérlésű rakétáját végül csak az Egyesült Királyság és Ausztrália állította eddig hadrendbe,[295] ezzel szemben az IRIS-T-t több, mint tíz ország, Ausztria kivételével mind jelentős mennyiségben.

A fentiek miatt a nyugati légiharc-rakétáknál a képalkotós technológiát használó rakéták elterjedése nagyjából egy évtizedet késett az eredeti tervekhez képest a hidegháború vége, illetve az ASRAAM program kvázi bukása miatt. (Nem technikai értelemben bukott, hanem a rendszeresítő országokat nézve.) Emiatt eshetett meg az , hogy nyugaton és a NATO-ban 10-15 évig a legfejlettebb infravörös légvédelmi rakéták (Chaparral, Stinger, Mistral) meglepő módon számottevően korszerűbb és zavarvédettebb vezérléssel bírtak, mint a legkorszerűbb légiharc-rakéták. Ez alól a francia MICA IR rakéta kivétel, ahol a Mistral vállról indítható légvédelmi rakéta rendszeresítését követően alig fél évtizeddel később hadrendbe állt az infrakamerával üzemelő légiharc-rakéta.

A szovjeteknél a kettős érzékelős (IR+UV) R-74 változat rendszeresítését is a hidegháború vége mosta el, a Szovjetunió szétesése után komoly fejlesztésre gondolni sem lehetett, mikor még állagmegóvásra sem jutott forrás, nemhogy fejlesztésre. (A nyugati világnak és a NATO országoknak telt volna új rakétára, politikai akarat nem volt rá.) Prototípus készült kettős érzékelős R-74 változatból a '90-es évek elején, de mai napig nem rendelt (tudtommal) ilyet senki. Képalkotós technológiát használó orosz légiharc-rakéta a mai napig nem létezik, ez egyelőre még a jövő zenéje.

4.3.4. Infravörös- és elektro-optikai célkereső és célkövető rendszerek

Az infravörös felderítő és célkövető rendszerek képességei komoly téveszmékkel léteznek a köztudatban, az Internetes források, fórumok és egyéb bejegyzések össze-vissza keverik ezeket az lézervezérlésű bombák célmegjelölő rendszerek konténerbe vagy repülőgépbe integrált előre néző infravörös kameráikkal vagy egyéb célú infravörös kamerákkal, ezért bővebb ismertetése szükséges ezen rendszereknek. Angol terminológiában infravörös célkereső és célkövető eszközök IRST[296] néven szerepelnek leggyakrabban.

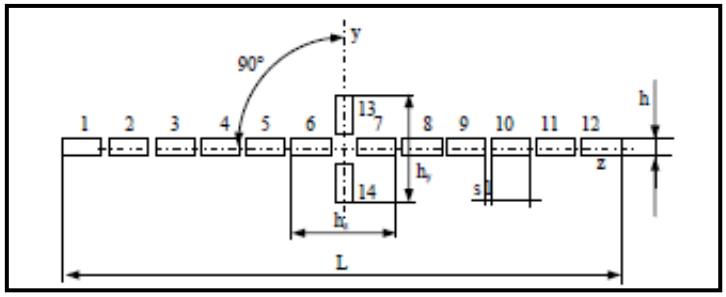
[294] http://www.designation-systems.net/dusrm/m-132.html
[295] *India aláírt szerződéssel rendelkezik, de hadrendben még nincs a rakéta. (2017)*
[296] *infra-red search and track – infravörös keresés és célkövetés*

A fentiekben tisztázásra került, hogy légiharc-rakéták infrafejei képesek célpontok érzékelésére és követésére, ebből adódott a gondolat, hogy önálló célkeresésére is alkalmasak lehetnek ilyen elven működő érzékelők, ráadásul passzívan, kisugárzás nélkül.

A képalkotós (infrakamerás) megoldás előtt az összes infravörös rakéta infravörös sugárzásra érzékeny detektorral és optikai rendszerrel működött. Ez az első infravörös célkereső berendezéseknél sem volt másként, ebből az is következik, hogy hasonló korlátokkal rendelkeztek, mint a rakéták. A detektor anyagától függött, hogy milyen irányból és távolságból voltak képesek érzékelni célpontokat.

Az infravörös vezérlésű rakétáknál láthattuk, hogy gömbcsuklóra volt szükséges az infrafejet szerelni azok szűk látószöge miatt, ami nagyságrendileg 2-4 fok volt jellemzően. Az infravörös célkeresők legyezés nélkül tehát radar nyalábhoz hasonlóan csak egy szűk szögtartományban érzékelnék a célokat, ezért pásztázni (legyezni) szükséges az optikai rendszerrel ugyanúgy, ahogy a radarokkal is. A fentiek szerint működő célkereső rendszerek a „klasszikus” IRST rendszerek.

Érdekes egybeesés, hogy vadászgép radarok a radarnyaláb és az infravörös rakéták látószöge nagyjából ugyanazt a tartományt fedik le, lásd a korábban bemutatott AN/APG-68 radar nyaláb paramétereit, 2-4 fokos nyalábbal dolgoznak a vadászgép radarok az antenna méretétől függően.



Infravörös tartományban érzékeny detektorok (foto-diódák) elhelyezése célkereséshez. A rakétánál bevált módon optikai rendszerrel kiegészítve ezzel végezhető pásztázás. A külső érzékelőkkel csak keres a rendszer, a belső keresztet egy már érzékelt célra mozgatva egy cél követhető.

A infravörös célkereső és célkövető eszközök hátrányai a radarokkal összemérve a következőek:

- Az infravörös eszközök alkalmazhatósága időjárásfüggő. Még akár szépnek mondható napsütéses időben 3/10-es borultság[297] mellett a felhők képesek hatalmas légtérrészeket kitakarni, továbbá esőben, ködben és párás időben az érzékelési távolságuk harcászatilag nem értelmezhetőre csökkenhet, akár a névleges felderítési távolság tizedére vagy huszadára is.[298]

  (40 km-nél kisebb észlelési távolság mellett önálló célkeresési képességről beszélni költői túlzás a légiharc-rakéták megsemmisítési zónája, azonosítási és döntési láncolat miatt, de a korszerű légiharc-rakéták és nagyobb hatótávolságú rakéták esetén nagy magasságú légi harcnál ez távolság inkább már 60 km.)

- Távolságmérés lehetetlen csak egy darab infravörös érzékelővel úgy, hogy a hordozó repülőgép mozog, legalábbis nem lehetséges a klasszikus, nem képalkotós IRST rendszerekkel. A mért jel

[297] *Az égbolt 30%-át fedi felhőzet.*

[298] *Biztosan van hatása az időjárásnak ezekre, de ennek mértéke bizonytalan.*
https://forum.htka.hu/threads/mikojan-gurjevics-mig-29-35-fulcrum.129/page-73#post-280277
Viszont vannak az IR tartományban működő meteorológiai műholdak. Azok pontosan azért működnek, mert nem látnak át a felhőn, az visszaveri a sugárzás elég komoly részét és ez alapján érzékeli azok helyzetét.
https://www.youtube.com/watch?v=bPIlxr3_06o

intenzitása alapján nem lehet távolságot még becsülni sem, mert a hajtómű mérete és pillanatnyi teljesítménye, a rálátás szöge mind-mind hatással van a bemért jelerősségre, ahogy a célpont távolsága is, nem beszélve arról, hogy az időjárás is befolyásolja ezt.

- A célpont sebessége nem mérhető a relatív elmozdulás alapján, hiszen annak a távolsága nem ismert pusztán az infravörös érzékelő észlelése alapján. Nem megállapítható, hogy az észlelt célpont iránya azért változik gyorsan, mert viszonylag közel és lassan repül vagy azért, mert távolabb, de sokkal gyorsabban és eltérő irányban halad.

- Amennyiben lézer távolságmérővel rendelkezik az IRST rendszer, akkor is csak egyetlen cél távolsága mérhető egy időben, továbbá az is csak rendkívül korlátozottan. Ezzel szemben a korszerűnek tekinthető vadászrepülőgép-fedélzeti radarok a ’70-es évek eleje/közepe óta tucatnyi cél távolságát, sebességét és irány képesek folyamatosan mérni, így „tracket” képezni.

  Ennek egyenes következménye, hogy a IRST-vel légi helyzetképet előállítani nem lehetséges, mert csak a célpontok iránya mérhető azokkal a kereső géphez képest. Még ideális esetben is kb. 20 km távolságig volt távolságmérés (és esetleg sebesség mérés) végezhető, de egyidejűleg csak egy célpontra, ráadásul barát-ellenség azonosításra is alkalmatlan a rendszer.

  A Szu-35-ön alkalmazott OLSz-35 rendszer esetén is csak 20 km-es maximális távolságot ad meg a gyártó, pedig ez az utóbbi évtizedben készült eszköz, a BVR légi harcban jellemzően elfordulható távolságokat nézve ez teljességgel elégtelen mérési távolság.

Elvi szinten lehetséges, hogy a célpont sebessége ne csak a távolság mérések sorozatából számolt érték legyen, hanem a doppler elvet felhasználva mérhető legyen a visszavert lézerfény frekvencia eltolódását felhasználva. Hogy a klasszikus, nem képalkotós IRST rendszerek közül bármelyik is használja-e az elvet, azt nem tudom.

Az azonos korszakba eső korszerű repülőgép-fedélzeti radarokkal összevetve az IRST-k mindig jóval korlátozottabb információkat szolgáltattak még a lehető legideálisabb esetet is elképzelve. A 4. generációs vadászgépek esetén egyes helyzetekben már az önálló célkeresés is realizálható volt a saját radarjukkal akár földháttérben is. (Bár a MiG-31-es nem negyedik generációs típus repülési teljesítmény szempontjából, de annál a típusnál ez kifejezett követelmény volt)

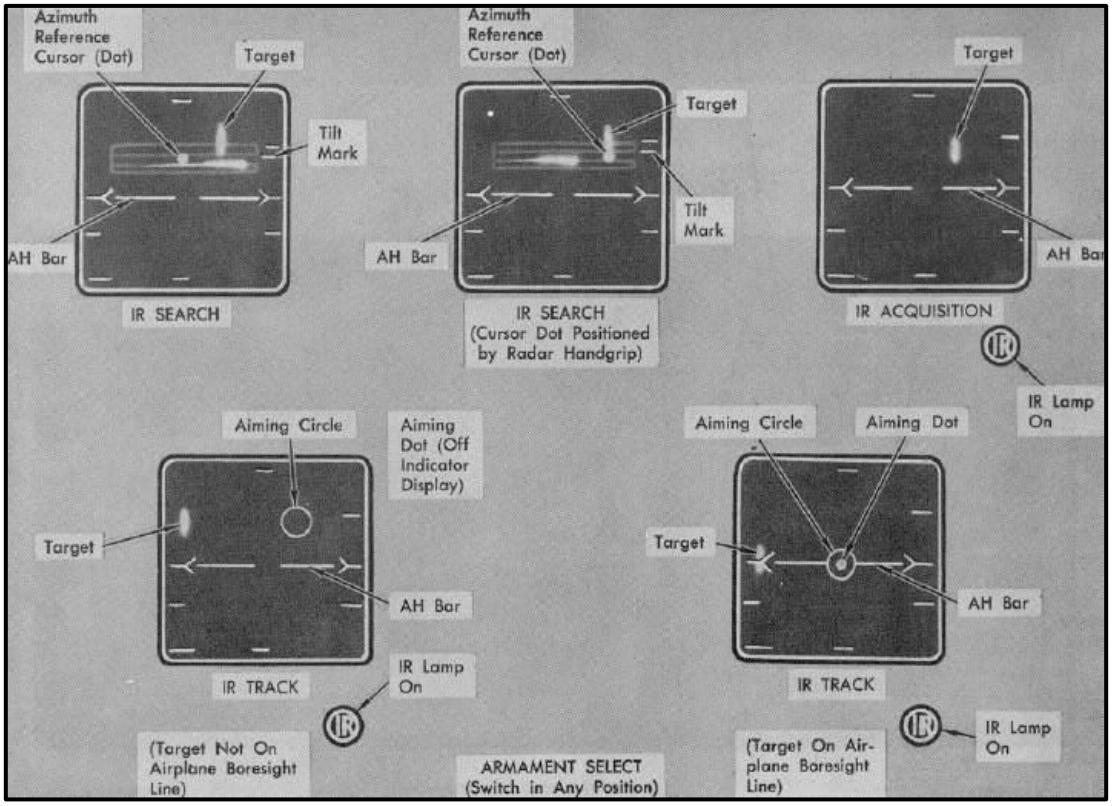
A 4. generációs vadászgépen levő radarok képességeihez képest a klasszikus IRST a földi radarok vagy a légtérellenőrző gépekkel segített vadászgép célpontra vezetés (elfogás) esetén hasznos eszköz, mert a célpontot elfogóvadászgépnek nem szükséges a radarját használnia, „radarcsendben” közelíthet a célponthoz. A klasszikus IRST eszközök önálló célkeresésre és rávezetésre alkalmatlanok voltak egészen a XXI. században érkező legkorszerűbb rendszerekig, de ezek már egészen más elven működnek, mint a klasszikus IRST eszközök.

Még ezeknél a legkorszerűbb eszközöknél is inkább csak adatkapcsolattal és kötelék szinten értelmezhető a látótávolságon vívott légi harchoz szükséges célkövetési képesség és „track” előállítási képesség. A kötelék tagjai között megfelelően nagy távolságot tartva háromszögelés lehetséges, de egyetlen vadászgép esetén önálló képességként még ma sem áll rendelkezésre egyértelműen az önálló célkeresés és légi helyzetkép megalkotás képessége. A klasszikus (hidegháborús) IRST rendszerek esetén önálló célkeresés teljességgel kizárható volt harcászati vadászgépek közötti légi harcban, ahhoz messze túl dinamikus volt a környezet és az IRST-k túlságosan sok korláttal rendelkeztek.

Véleményem szerint talán kettő olyan eszköz van, ami képes alulról súrolni a mechanikus legyezésű repülőgép fedélzeti radarok képességeit, de csak hálózatban alkalmazva azokat adatkapcsolat segítségével, az F-35-ön használt DAS és az európai PIRATE az Eurofighter Typhoon vadászgépen, lásd később.

A szovjet-orosz vadászgépeken IRST használatával radar használata nélkül passzívan lehetett rakétát indítani, szerencsés esetben akár látótávolságon túl is az R-23T/R-27T/R-40T légiharc-rakétákkal, köszönhetően azok kinematikai hatótávolságának, de csak földi, AWACS vagy már korábban megtörtént célazonosítást követően. Az elfogás során a pilóta a rávezetőktől kapott instrukciók alapján a célpont hátsó, de legalább oldalsó fél-légterébe manőverezte a vadászgépet, onnantól fogva saját radar kisugárzás nélkül közelíthette meg a célpontot. Olyan szintű önálló célkeresés, célpont osztályozás és BVR légiharc képesség, ami félaktív vagy aktív radaros légiharc-rakéta és felderítő radar kombinációjával elérhető, klasszikus IRST eszközzel nem valósítható meg még kristálytiszta időben sem.

A lenti ábrán látható, hogy az IRST által szolgáltatott adatok a radar képernyőkhöz / kijelzőkhöz (szkóp) hasonlóan voltak megjeleníthetőek. A MiG-29/Szu-27 gépeken ugyanúgy a HUD-ra vetítve jelennek meg a céljelek, mint a radar használata esetén.



IRST kijelzés a pilótafülkében, a gép és a rendszer típusa sajnos ismeretlen, de jellegre jól mutatja, hogy miről van szó.

A radarhoz képest alapvető különbség, hogy míg annál a célpontok távolságát és irányát jeleníti meg a kijelző, addig IRST üzemmód esetén a távolság helyett is irányt (fel-le), a célpont relatív helyzete van megjelenítve két irányban a gép hossztengelyéhez képest.[299] Az ábrán az is látszik, hogy az IRST is pásztázást végez a radarhoz hasonlóan, a felső sor középső képén láthatóak a pásztázási sávok.[300]

[299] https://youtu.be/Aq5HXTGUHGI?t=5m2s *Radar kijelzés több céllal.*
https://youtu.be/4arJFZbfKAq?t=31m3s

[300] https://www.youtube.com/watch?v=x-uCi56dyF4 *KOLSz pásztázása a Su-27 típuson.*

A radar kijelzőkön magasságot jellemzően csak a céljelek sarkánál tüntetik fel akkor, ha a célkijelölő kurzor egy céljel felett van, de néha még ott sem, sokszor csak a befogott cél paraméterei jelennek meg. Csak a legkorszerűbb vadászgépeken van arra lehetőség, hogy „felülnézet" mellett „oldalnézeti" módban is képes a célokat megjeleníteni a többfunkciós kijelző.)

Ilyen klasszikus infravörös célkereső és célkövető eszköz például a MiG-29 9.12 és Szu-27Sz vadászgépeken a KOLSz[301] rendszer, a MiG-25 vadászgép egyes változatain a TP–26S–1 vagy a MiG-23 típuson a TP-23.[302] A Szu-27Sz vadászgépen az IRST kihasználásához szükséges rakétafegyverzetet az R-27 infravörös vezérlésű változatai biztosítják (T és ET variánsok), illetve az R-73-mal is használható az KOLSz. A MiG-23-on az R-60 és R-23T, a MiG-25-ön az R-40T rakéták infravörös vezérlésűek, a MiG-23-on a célkereső a vadászgép orra alatt van beépítve. A MiG-31-nél az IRST különleges kialakítású, a géptörzsbe visszahúzható.

A KOLSz IRST Szu-27 (balra) és MiG-29 (jobbra) típusokon.

A MiG-29 9.12 és 9.13 változatok számára nem integrálták az R-27T infravörös vezérlésű rakétát, csak a félaktív radarvezérlésű R-27R változatot képesek használni, ennek oka nem egészen tisztázott. Az ember első gondolata, hogy nem kívánták a Fulcrum BVR légiharc képességét feláldozni emiatt, mert szemből támadás csak az R változattal valósítható meg lényegében aspektus függetlenül.

Mivel az R-27 csak a 1-1 db belső szárnyfüggesztési pontokra függeszthető fel a MiG-29-en, ezért értelmetlennek tűnik a R-27T integrálása. A Szu-27-en is csak 1-1 szárnyfüggesztési ponton[303] hordozható R-27T rakéta a lehetséges 6 darab függesztési helyből, mert nincs értelme ennél jobban csonkítani a félaktív radaros BVR képességet.

A fenti elmélet ott bicsaklik meg és kap komoly gellert, hogy a MiG-23 típuson az R-23/24-nek volt infravörös változata is, holott azon a gépen is csak 1-1 függesztőre volt tehető BVR képességet adó R-23/24R légiharc-rakéta. Amennyiben nem aszimmetrikusan függesztették 1-1-et bal és jobb oldalra az R-23T és R-23R rakétákból, akkor R-23T választása estén a MiG-23 szemből támadó BVR képessége nem állt rendelkezésre.

---

[301] https://www.youtube.com/watch?v=x-uCi56dyF4

[302] https://goo.gl/qNSkrK *A gép orra alatt a feketére festett rész mögött, a MiG-23ML típuson.*
http://www.airliners.net/photos/airliners/1/3/3/1213331.jpg *Román MIG-23MF.*
Az ML változat TP-23M-jének három üvegből áll a burkolata, a TP-23-asnak a román MF-en csak kettőből. A TP-26-os leginkább a MiG-25PD-ről ismerős, ott TP-26S típusjelzéssel ismert, ezt kapta meg a MiG-23 MLD változat is, ennek azonos volt az üvegezése a TP-23M-ével. (Allesmor Obranna kiegészítése.)

[303] http://i36.photobucket.com/albums/e14/GundamMecha/su27-3.jpg

Az én tippem az, hogy valószínűleg okultak a korábbi tévedésből és nem követték el kétszer ugyanazt a hibát, inkább a félaktív radarvezérlésű rakétát preferálták a MiG-29-esen, fontosabbnak tartották a félaktív radaros R-27R-rel elérhető látótávolságon túli képességet, mint az aspektusfüggő és csak alig néhány helyzetben előnyösebb R-27T-t integrálását.

Az amerikai vadászgépekre csak elvétve került bármiféle elektro-optikai célkereső vagy célkövető rendszer, a nagy összkép szempontjából szinte lényegtelenek. Ez a megközelítés csak mostanában kezd megváltozni a 4. generációs vadászgépeken,[304] illetve az F-35 típusra integrált EOTS és DAS rendszerek képében, amik lényegesen többre képesek önállóan is, (nemhogy a többi szenzorral és adatkapcsolattal), mint a régi klasszikus IRST rendszerek önmagukban.

A ’70-es években az USA-ban valószínűleg nem ítélték elég megbízhatónak ezeket, ezen felül az elektronikai hadviselésben meglevő fölényük miatt – bár ezt egyesek vitatják... – nem érezték szükségét egy effajta másodlagos célkövető és felderítő eszköznek. Az elképzelt hidegháborús hadszíntér Európa volt, ahol egyáltalán nem ritka az olyan időjárás, ahol az IRST haszna közelít a nullához az időjárás miatt. A legtriviálisabb ok az, ami a leggyakoribb minden beszerzés terén, hogy a minimális előny biztosítására egyszerűen sajnálták a ráköltött forrásokat.

F-8 Crusader AAS-15 rendszerrel.

Amerikai gyártású vadászgépen az F-4E Phantom II vadászgép bal szárnyában a TISEO[305] érzékelőt lehetett valamennyire elterjedtnek tekinteni. Ez az elektro-optikai rendszer a radar által felderített (befogott) célra képes volt „ránézni” és stabilizált videó képet biztosítani. Tehát a TISEO csak célazonosításra volt képes, de célfelderítésre nem, egyfajta fejlettebb mesterséges szem szerepét töltötte be.

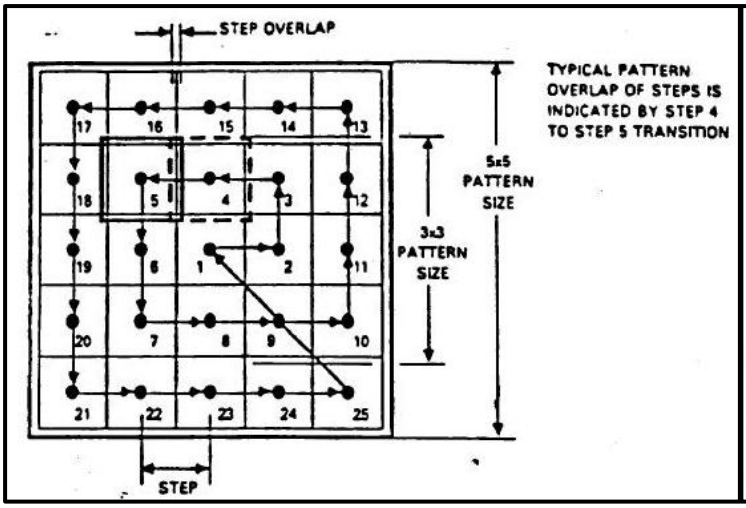
Jobbra a képen egy a TISEO-val készült felvétel látható, a képminőség igencsak árulkodik a rendszer képességeinek a határáról. Egy iráni F-4E készítette a képet egy iraki MiG-23 vadászgépről, aminek közelében egy rakéta robbant fel. A lenti, bal oldalt levő képen látható a TISEO beépítési helye a szárnyban egy görög vadászgépen. Az F-15 Eagle számára is felmerült a TIESO integrálása, de költségvetési okok miatt lemondtak róla.

[304] http://www.designation-systems.net/usmilav/jetds/an-aa2ad.html#_AAS
[305] *target identification set electro-optical* https://goo.gl/A5tpz1

Az F-14 Tomcat is rendelkezett elektro-optikai felderítő és célkövető rendszerrel, ez volt az AN/AXX-1,[306] (Television Camera System, TCS) ami lényegében egy speciálisan műszerezett Newton távcső volt. Tiszta időben meglepően nagy távolságról lehetővé tette nemcsak célpontok vizuális azonosítását, de korlátozott célkeresési képességgel is rendelkezett.[307] Valószínűleg a kontrasztosság elvén működhetett a célkeresési képessége, a repülőgép kontrasztja elüt az égháttértől vagy akár a felhőétől is, emiatt földháttérben való célkeresésre valószínűleg alkalmatlan volt, a célkövetés lehetségesnek tűnik.

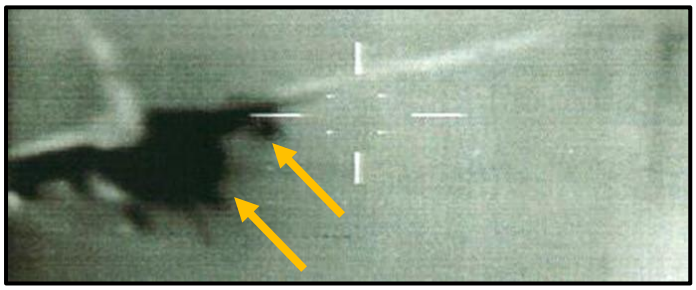
Az AN/AXX-1 széles látószögű beállításnál 0,9 fok, keskeny látószögű esetben 0,3 fokos látószöggel végezte a célkeresést. Az egyes négyzetek között a kamera 0,217 másodpercenként ugrott, a sarokból középre 0,283 másodperc alatt. Ebből az következik, hogy egyetlen teljes letapogatáshoz szükséges időtartam kb. 5,5 másodperc volt. Széles látószög esetén a teljes letapogatási tartomány 4,6 fok, keskeny sávban mindössze 1,3 fok. Ezen értékekből tisztán látszik, hogy az AN/AXX-1-gyel önállóan célt keresni úgy, hogy nem ismert a célpontok legalább hozzávetőleges helyzete teljesen reménytelen próbálkozás a radarral összehasonlítva.

Összehasonlításként az AN/APG-68 radar ennyi idő alatt 3 sávot legyez be ± 60 fokos oldalszög beállítással. A radar nyalábja 4,25 fokos helyszögben, tehát 120(3*4,25) = 120 * 12,75 fok térrészt legyez be a radar. Ehhez képest a 4,6 * 4,6 fokos tartománya az AN/AXX-1-nek megmosolyogtató.*



Parameter		NFOV	WFOV
Step Size		4.8 mrad ±11 percent	15.8 mrad ±11 percent
Step Overlap		0.6 mrad ±10 percent	1.5 mrad ±10 percent
pattern size with overlap	3 by 3	15 by 15 mrad ±10 percent	49 by 49 mrad ±10 percent
	5 by 5	25 by 25 mrad ±10 percent	81 by 81 mrad ±10 percent
pattern period	3 by 3	2.04 sec nominal.	See paragraph 3.3.2.12.
	5 by 5	5.50 sec +0.00 −0.01	
Step Period		Step 1 = 283 ms	
		Step 2 to 25 = 217 ms	

Az AN/AAX-1 Television Camera System(TCS) kúpos keresési módszere és annak paraméterei.



Természetesen az AN/AAX-1 is rendelkezett a TISEO rendszer „ránézés” képességével, valójában ez volt az elsődleges funkciója, csak annak a képességeit jóval meghaladta. A rendszer élesben is bizonyított, 1989-ben a líbiai MiG-23 vadászgépekkel történő tűzmegnyitással járó incidens során.[308] A lábjegyzetben linkelt videón pillanatokra, de látható a líbiai vadászgép, a kamera stabilizációja valószínűleg

[306] http://www.ausairpower.net/TE-EO-Systems.html
https://www.youtube.com/watch?v=PhuOPJ5pWsU
http://www.anft.net/f-14/f14-detail-chinpods.htm
defence.pk/threads/infra-red-search-track-irst-systems.117322/page-2#post-1897956

[307] http://mil-spec.tpub.com/MIL-C/MIL-C-85437B/MIL-C-85437B00012.htm
http://mil-spec.tpub.com/MIL-C/MIL-C-85437B/MIL-C-85437B00009.htm

[308] https://youtu.be/7FNPvMmwAsk?t=3m52s
http://fly.historicwings.com/2013/01/splash-two-migs/ *A fenti videóban a rádiózás leirata.*

a manőverek végrehajtása közben a rendszer képességén túl volt. A líbiaiak azt állították, hogy fegyvertelen kiképző repülésen levő gépeket lőttek le a Tomcatek, de a nyilvánosságra hozott TCS rendszerrel rögzített felvételeken látszottak a gép alá függesztett légiharc-rakéták. (Fent balra.)

A TCS rendszer segítségével ideális esetben egy DC-10 utasszállító méretű repülőgép azonosítása akár 80-100 kilométerről is lehetséges volt, egy F-111 méterű célpontnál ez az érték nagyjából 40-60 km, de még egy kisméretű, és kis felületet jelentő közeledő F-5 vadászgépet is képes volt 15-20 km távolságból megkülönböztetni egy hasonló méretű géptől, mondjuk egy MiG-21-estől, ami a maga korában páratlan vizuális célazonosítási képességet biztosított az F-14 típusnak.

Figyelemreméltó, hogy az idők folyamán az F-14 Tomcat gépeken miképpen változott a televíziós és infravörös érzékelők beépítése, a mellékletek között található az ezt bemutató kép. Különféle elektro-optikai, infravörös képalkotó rendszerekről és IRST szenzorokról az lenti fórumon egész jó anyag található. (Több oldalas a fórum.)[309]

A fentiekben bemutatott infravörös tartományban dolgozó IRST érzékelők nem képalkotós rendszerek, tehát nem infrakamerák, a kamerák még speciális kialakítású, de valójában TV kamerák. Az IRST-k csak arra voltak képesek, hogy az adott környezetből kiugró infravörös forrásokat érzékeljék, ahogy a korabeli légiharc-rakéták kereső fejei. Ezek a radarhoz hasonlóan pásztáztak és ugyanúgy kijelzőn ábrázolhatták a célpont irányszögét, és a célpont távolságát mérhették lézeres távmérővel.

Az IRST rendszerek legnagyobb hátránya, hogy még ideális esetben is, amikor nagy észlelési táv elvi szinten elérhető velük, akkor sem biztosított az észlelt célok távolságának és sebességének mérése kellő távolságban párhuzamosan több célra. Sem légi helyzetkép, sem annak megállapítása nem lehetséges, hogy a célpont hol tartózkodik a rakéta megsemmisítési zónájához képest. Mi lehetne egy megoldás a távolságmérés problémájára? Az egyik lehetőség adatkapcsolaton keresztül más gépekkel szinkronizálása, összefésülése az IRST érzékelők által gyűjtött adatoknak, ilyen képessége azonban egyetlen szovjet vadászgépnek sem volt a hidegháború alatt. A jövőben az F-35 a DAS szenzor-rendszerével már a közeljövőben is képes lesz ilyesmire, illetve a később bemutatásra kerülő PIRATE rendelkezik ezzel a kepeséggel.

Mivel szokták összekeverni az IRST rendszereket? A lézeres célmegjelölő vagy a terepkövető rendszerekhez tartozó előre néző vagy akár pásztázásra is képes infravörös kamerákkal. Ezekről bővebben a lézervezérlésű bombáknál lesz majd részletesebben szó a 7. fejezetben.[310] Az lézeres célmegjelölő rendszerek rendelkeznek a célpont felderítéséhez és azonosításához szükséges kamerával. Ezek felbontása kezdetben mai szemmel megmosolyogtató volt, de ma már egészen elképesztő részletességű képet képesek biztosítani.[311]

Azonban hiába van csodás felbontása bármely lézeres célmegjelölő rendszer kamerájának – akár 30-40 km-ről is lehetséges egy repülőgép típusának azonosítása –, erős nagyításnál pont olyan kis látószöge van a kamerának, mint AXX-1-nek volt. Még, ha képes is lenne a rendszer pásztázásra és önálló keresésre (nem képes) ez olyan, mintha egy szívószálon keresztül nézve próbálna egy ember egy madarat megtalálni az égbolton. Az ilyen kamerák nem IRST rendszerek, bár sok teljesen dilettáns oldal összemossa vagy teljesen összekeveri ezeket azokkal. Ennek oka az lehet, hogy a Sniper (és valószínűleg az összes korszerű lézeres célmegjelölő) rendszer rendelkezik levegő-levegő üzemmóddal is. Ez nem más, mint a jó öreg TISEO féle

[309] http://www.defence.pk/forums/military-aviation/117322-infra-red-search-track-irst-systems.html
[310] https://www.youtube.com/watch?v=0WsebiYf8YI
[311] https://www.youtube.com/watch?v=q7_wU4rxuFg

célra ránézés képesség, vagyis a radar által felderített célpontot képes követésbe venni. (Adatátviteli rendszeren kapott célpontokkal is lehetséges ezt megtenni.)

Az IRST rendszereknél az egyszerű infrakamera és klasszikus IRST között nagy különbség az, hogy míg egy kamera egyszerre csak egy célt képes követni amennyiben erős nagyítást használnak, addig a klasszikus IRST a legyezés során több célpont iránybeli követésére is képes. Természetesen az információ csak a pásztázások során frissül, ahogy a mechanikus legyezésű radaroknál is.

A használt terminológia a különféle forrásokban nem mindig tiszta, a lábjegyzetben található videó egy pásztázó képalkotó infravörös rendszert IRST eszköznek titulál.[312] Az F-14D gépeken alkalmazott rendszer bár képalkotós, a videón látható képességek inkább arra utalnak, hogy csak szárazföldi célok elleni felderítésre alkalmas, önálló célfelderítése légi célpontok ellen valószínűleg csak korlátozottan használható a felbontása, illetve látószög és pásztázási korlátok miatt, önálló célfelderítésre ez rendszer sem alkalmas.

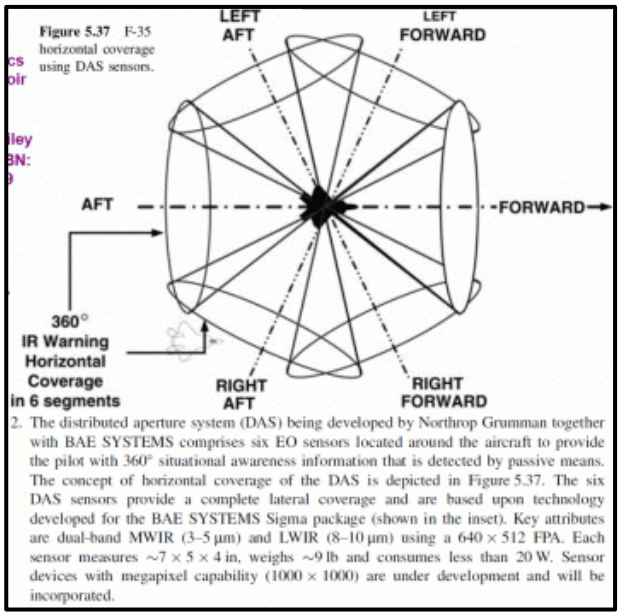
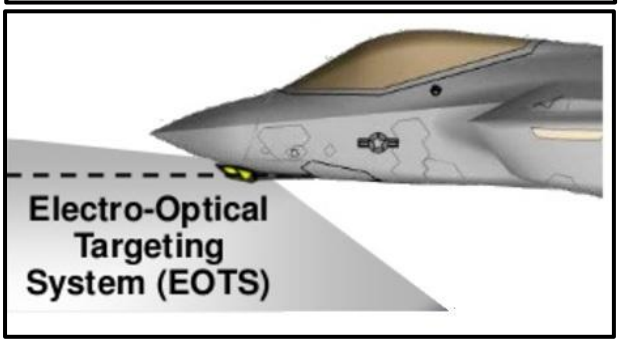


Figure 5.37 F-35 horizontal coverage using DAS sensors.

2. The distributed aperture system (DAS) being developed by Northrop Grumman together with BAE SYSTEMS comprises six EO sensors located around the aircraft to provide the pilot with 360° situational awareness information that is detected by passive means. The concept of horizontal coverage of the DAS is depicted in Figure 5.37. The six DAS sensors provide a complete lateral coverage and are based upon technology developed for the BAE SYSTEMS Sigma package (shown in the inset). Key attributes are dual-band MWIR (3–5 μm) and LWIR (8–10 μm) using a 640 × 512 FPA. Each sensor measures ~7 × 5 × 4 in, weighs ~9 lb and consumes less than 20 W. Sensor devices with megapixel capability (1000 × 1000) are under development and will be incorporated.



Az F-35 számára kifejlesztett AN/AAQ-37 DAS (Distributed Aperture System) rendszer radikális újításokat hoz az infravörös célfelderítés terén. A DAS fix, 6 db körkörösen beépített nagyfelbontású infravörös kamrából áll. Ezek felbontása és érzékenysége képalkotós működés ellenére elég ahhoz, hogy harcászatilag értelmezhető távolságból képes légiharc-rakéták, illetve repülőgép hajtóművek infravörös kisugárzását érzékelni. [313]A DAS rendszer kamerái 3-5 és 8-10 mikron hullámhossz tartományban érzékenyek, tehát szélesebb tartományban, mint a régebbi infravörös detektorok.

A DAS érzékelőinek látószöge és körkörös lefedése.

A DAS 6 db kamerájának fókusza fix, nagyításra nem képesek a körkörös lefedés folyamatos biztosítása miatt, emiatt a DAS-nak olyan célazonosítási képessége nincs, mint amit pl. a Sniper lézeres célmegjelölő rendszer nagyításra képes kamerája képes biztosítani, erre (is) szolgál az EOTS.

Az F-35-ön a szenzorfúzió viszont lehetővé teszi, hogy az repülőgép orrába épített nagyfelbontású infravörös kamera (EOTS, Electro-Optical Targeting System)[314] ránézzen ezekre a célokra, pontosan úgy, ahogyan a TIESO az F-4 Phantom II-őn, az AXX-1 az F-14-en, vagy a Sniper és LITENING célmegjelölő konténerek a 4. generációs vadászgépeken. Az EOTS

[312] https://www.youtube.com/watch?v=Znkz7Se9Ko8 *F-14 IRST* https://www.youtube.com/watch?v=HztwvYwPtrM

[313] *A korszerűsítések során a rendszer felbontása valószínűleg nőni fog, már most nagyobb felbontású kamerák állnak rendelkezésre, mint a jelenleg legyártott gépekbe építettek. Az áttervezés és fejlesztés nincs ingyen, a későbbi szériás gépekbe már kerülhet korszerűbb eszköz, ha ehhez biztosítanak forrásokat.*

[314] https://www.youtube.com/user/F35JSFVideos/videos

funkciója átfed ezekkel, továbbá az AXX-1-hez hasonló automatikus pásztázásra és célkeresésre is képes, az ott ismertetett korlátokkal.

Az EOTS célkeresési képessége az F-14-en használt AXX-1 hasonlóan nem mérhető még a mechanikus legyezésű radarok képességeihez a keresési terület nagyságát és sebességét nézve, nemhogy az AESA radaréhoz. Az F-35 orr részébe épített EOTS kamerája csak a repülőgép elülső légterében képes célt követni, de ezzel nem kevesebb a hasonló rendszerekhez képest. Az EOTS kiegészíti a DAS-t, nem célkeresés az elsődleges feladata – legalábbis nem a légi célok esetén – hanem a célpontok azonosítása, legyenek azok légi vagy szárazföldi célok. A DAS pontszerű forrásokat képes érzékelni, amikre szükség estén az EOTS „ránéz" – amennyiben a kamera látószögén belül van – ami lehetővé teszi a célpont azonosítását adott távolságban.

A DAS rendszer repülőgépek felderítésén túl rakétaindításra (MAWS) figyelmeztető rendszerként is üzemel – valójában ez az elsődleges funkciója – a fedélzeti radarral és a mögötte levő számítási kapacitással jelenleg páratlan célazonosítási képességekkel is bír, amihez legfeljebb az Typhoon DASS (lentiekben hamarosan bemutatott) MAWS alrendszere fogható, de egyes helyzetekben elmarad a DAS-tól.[315]

Rakétaindítás észlelése, DAS-sal és radarral történő követése.

https://www.youtube.com/watch?v=qF29GBSpRF4

Ballisztikus hordozórakéta indítása és nyomon követése. (Digitális zoom van a videó alatt.)

https://www.youtube.com/watch?v=DN-A6PWRFno

DAS és az F-35 fedélzeti rendszerének és szenzorfúziójának képességei.

https://www.youtube.com/watch?v=fHZO0T5mDYU

https://www.youtube.com/watch?v=MXoqb7GT6Lk

A fenti videókon látható a DAS azon képessége, ahol indított rakétákat érzékel. Az alacsony földkörüli pályára tartó hordozórakétát egészen extrém távolságból képes követni a rendszer, de ennek harcászati jelentősége nincs, pusztán demonstrációs céllal készült a videó. A reális képessége a rendszernek az első, illetve az utolsó két videón látható.

A DAS az indított légiharc és légvédelmi rakétákra figyelmezteti a pilótát, ezzel biztosít számottevő előnyt. Az észlelt célokra, amennyiben a radar oldalszög és helyszög tartományán belül vannak akár a radar is rámérhet, ezáltal ismert lesz azok távolsága, iránya és sebessége, tehát a rakéta célpontja is jó eséllyel azonosítható, csak sokkal nagyobb távolsággal, mint az Eurofighter Typhoon esetén, hiszen nem egy kisméretű 32-38 GHz-en üzemelő radar, hanem egy-két nagyságrenddel nagyobb felületű és 10GHz hullámhossz közelében üzemelő radarral, bár ez a képesség nem körkörös, ennyivel kevesebbet tud az európai vadászgéphez képest.[316]

Amennyiben azonban az F-35-ös kötelékben kerül bevetésre – ez alapvetés, a géppár az alapvető légiharc formáció – és gépek közötti távolság kellően nagy, akkor adatkapcsolaton keresztül passzívan is kiháromszögelhetőek az észlelések a DAS használatával, tehát passzív érzékelőkkel is lehetséges a bejövő rakéták távolságának a mérése 360 fokban, rádiófrekvenciás kisugárzás nélkül, akár nagyobb távolságból is, mint amire a 32-38 GHz-en üzemelő kisméretű radarok képesek az Eurofighter Typhoon vadászgépen.

[315] http://breakingdefense.com/2016/11/f-22-f-35-outsmart-test-ranges-awacs/

[316] *Ehhez szükséges az AESA radar villámgyors pásztázási képessége, célkeresés közben néhány tűnyalábbal körbetapogatja a DAS által kijelölt irányban levő területeket.*

Géppár vagy annál nagyobb formációt tekintve a DAS + EOTS + AESA radar (+vontatott csali) triumvirátusa meghaladja az Eurofighter Typhoon DASS rendszerének összesített képességeit, de az elmondható, hogy a jelenleg hadrendben álló vadászgépeket nézve az Eurofigther áll a legközelebb az F-35-höz.

A közeljövőben a amerikai vadászgépek egy részén is megjelennek az infravörös célkeresők az F-15C/D Golden Eagle[317]és a Super Hornet típusokon konténer formájában.[318]. A Legion konténerbe épített infravörös érzékelő rendszer (IRST21) a korábban F-14D Tomcat típuson használt AN/AAS-42 berendezés leszármazottja.

Az F-15C/D vadászgépen a Legion konténer az IRST képességein túl lényegesen többet biztosít, a Link 16 adatkapcsolattal nem rendelkező F-22 Raptor és F-35 vadászgépekkel is lehetővé válik az adatátvitel, ami eddig nem volt lehetséges az előbbiek sokkal fejlettebb adatátviteli rendszere miatt.

Az európai védelmi szektor újgenerációs, csúcskategóriás IRST berendezése a PIRATE[319] rendszer (Passive Infra-red Airborne Track Equipment), ez az Eurofighter Typhoon vadászgép infravörös célkereső és célkövető rendszere.[320] A PIRATE a DAS-sal szemben nem biztosít körkörös lefedettséget, előre néző infravörös kamera van a vadászgépbe építve, de az a DAS-hoz hasonlóan multi-funkciós, szárazföldi és légi célok keresésére és célkövetésére is alkalmas.

A linkelt videó és egyéb dokumentumok alapján úgy tűnik, hogy a rendszer egy nagy felbontású, változtatható nagyítású infravörös kamerával bír. Ezzel a rendszerrel is megvalósítható mind a radar, mint maga a kamera által felderített célok irányában „ránézés”, ami lehetővé teszi megfelelő időjárási viszonyok esetén a célpont azonosítását. (A videón szárazföldi célok elleni keresés bemutatásakor a gép igen alacsonyan repült, ez a horizontból és a céltárgyak sebességéből látszik.)

A rendszer önálló célkeresésekor a kamera szélesebb látószöggel pásztáz, és az észrevett célokra adott esetben képes nagyítva ránézni, de ebben az esetben természetesen a nagyobb látószögű célkeresés megszakad, a célpont szemrevételezése után lehet folytatni a keresést az utolsó ismert adatok alapján. Ez megjegyzés igaz az összes korábbi hasonló elven működő rendszerre, tehát az AXX-1-re és az EOTS-ra is az F-35-ön. Érdekes módon a rendszer nem rendelkezik lézeres céltávmérővel ennek ellenére képes a távolságra becslést adni köszönhetően a képalkotós rendszer alakfelismerő képessége és célpont méretének (ívhosszának) méréséből, amihez alakfelismerő képesség szükséges, hogy a célpont haladási iránya becsülhető legyen a célpont geometriájából. (Ehhez természetesen a szóbajöhető célpontok alakjáról adatbázis biztosítása szükséges.) Ez a fentiek miatt azonban csak becslés és egyszerre csak korlátozott számú célponttal tehető meg, tehát a PIRATE a vadászgép radarjához képest még mindig korlátozottabb képességet biztosít.

A DAS + EOTS rendszerhez képesti fő különbség, hogy míg az DAS folyamatosan 360 fokban keres célokat és az EOTS „ránézése” alatt sem szűnik meg a célkeresés, addig a PIRATE esetén a felderítési zóna sokkal kisebb, illetve a „ránézés” alatt csorbul a célfelderítő és célkövetési képesség is. A PIRATE másodlagosan MAWS funkciót is ellát az elülső légtérben, de tekintve a rendszer felbontását és látószögét ez (véleményem szerint) nem jelent párhuzamos képességet. Tehát, valószínűleg nem képes szemből

[317] https://goo.gl/GH9iRq
[318] http://htka.hu/2011/06/29/infravoros-lodarazs/
http://defense-update.com/20150212_irst_pod.html
http://www.lockheedmartin.com/us/products/InfraredSearchTrack.html
[319] http://www.wikiwand.com/de/EuroFIRST_PIRATE *Mellékletek között a nyers angol fordítása megtalálható.*
[320] https://www.youtube.com/watch?v=LWxSsp7Ogyk

indított MANPAD vagy SHORAD rendszerek rakétáit érzékelni, ha mellső fél-légtérben nagy magasságú légi célokat keresnek a PIRATE rendszerrel. A DAS párhuzamosan látja el a feladatokat az DAS + EOTS párossal.

A legkorszerűbb orosz Szu-35 gépen is már valamiféle képalkotós rendszer került beépítésre, ez az OLSz-35. Az orosz rendszer érdekessége, hogy a lézertávmérő többfunkciós, ezért azt földi célok megvilágítására is lehet használni lézervezérlésű rakéták vagy más gépről ledobott lézervezérlésű bombák rávezetéséhez (legalábbis a marketing anyagában ez szerepel.) Mivel a szenzor a gép orrán felül van ez némileg korlátozott képességet jelent a hagyományos lézeres célmegjelölő konténerekhez képest, amik akár már a gép repülési irányához képest hátrafelé is képesek nézni, viszont légellenállása és kompaktsága miatt korlátozottan, de megfelel a célnak.

Az orosz doktrínában évtizedek óta a lézervezérlésű rakétákat preferálják a lézervezérlésű bombákkal szemben, ennek lehetséges okait és következményeit lásd 7. fejezetben, a levegő-föld fegyverzetek bemutatásánál.

4.4. Repülőgép-fedélzeti önvédelmi rendszerek, radarkeresztmetszet

4.4.1. Önvédelmi módszerek és rendszerek, passzív- és aktív módszerek

4.4.1.1. Repülési profil

Ez idáig különféle módszerek kerültek bemutatásra, amivel egy vadászgép vagy légvédelmi rakéta-rendszer megpróbálhatja megkeresni illetve leküzdeni a célpontokat, de ezen fegyver-rendszerek elleni védekezés mikéntjéről ez idáig nem esett szó. A védekezésnek több formája létezik, ez lehet megelőző (preventív) vagy a már ismert fenyegetésre reagáló (reaktív) cselekvés is. Első lépésben ismerkedjünk meg a radarok és radarvezérlésű légvédelmi rakéta rendszerek elleni ellentevékenységekkel, illetve azok természettudományos és műszaki hátterével.

A radarvezérlésű légvédelmi rakéta-rendszerek elleni „legegyszerűbb” megelőző védekezés módja, hogy a lehető legalacsonyabban és leggyorsabban (értelmes harcászati hatósugarat figyelembe véve) repül a célpont. Ha egy légvédelmi rakéta-rendszer tűzvezető radarja nem lát rá a célra, akkor nem képes felderíteni és nyomon követni, tehát akkor rakétát sem tud rávezetni. Az infravörös vezérlésű rakétáknál is követelmény a célpont és a rakéta közötti folyamatos rálátás. Ez jelentheti azt, hogy kis távolságon kitakarja tereptárgy a rakétához képes a célt vagy azt, hogy a felderítő és/vagy tűzvezető radar radarhorizontja alatt repül a támadó gép.[321]

A legegyszerűbb szó azért idézőjeles, mert ez még nappal is nagy koncentrációt igényel a pilótától, éjszaka vagy rossz időben manuális módszerrel gyakorlatilag nem kivitelezhető. Amennyiben bármilyen, a közelben váratlanul felbukkanó légvédelmi rendszer mégis rakétát indítana, azt műszeres segítség nélkül a pilóta szinte biztosan nem venné észre egy fős személyzettel bíró gépen, mert figyelmének nagy részét a gép vezetése köti le. (Nem véletlenül kedvelték meg kezdeti ellenkezés ellenére az F-4 pilóták a fegyverzet operátor tisztet és az extra szempárt.) Éjszaka csak terepkövető radar és robotpilóta páros, de minimum éjjellátó rendszer vagy előre néző infravörös kamera szükséges az alacsonyan repüléshez. Az alacsonyan repülés alkalmazható folyamatosan preventíven, illetve rakétaindítást követően is, amennyiben van elég idő lesüllyedni a horizont alá. A közepes és nagy hatótávolságú légvédelmi rakéták esetén erre reális esély van, amennyiben a célpont közepes magasságban repül. Adott esetben a domborzat kitakaró hatását

[321] *Letölthető mellékletként egy Excel táblázattal adott radarantenna és célmagasság esetén számolható a radarhorizont távolsága. A számolt távolság elméleti érték, a domborzat torzító és zavaró hatásával nem számol, ami a felderítési távolságot befolyásolhatja. A mellékletben tükörsima domborzat vagy sík vízfelület esetén számolt értéket kapunk. A mellékletet Hpasp készítette.*

kihasználni, mielőtt a rakéta a célponthoz érne, valójában a horizont mögé süllyedés kombinálható a domborzat kitakaró hatásával, ez a kettős határozza meg, hogy egy radarhoz képest adott irányokban meddig hatásos ez a módszer.

A NATO légierőkben a '70-es évektől bevett gyakorlat volt a 30-60 méteren történő mélyrepülésben való támadásra való kiképzés, akár még éjszaka is a gép képességeitől függően, ezen képességüket a Sivatagi Vihar alatt demonstrálták is. Egy 30 méteren közeledő célt a földi telepítésű légvédelem legfeljebb 40-45 km távolságról deríthet fel ideális esetben, de a terep adottságoktól függően ez lehet jóval kisebb és nagyobbé érték is, mert a domborzat ritkán tükörsima.

A 40 km távolságot egy gyorsan közeledő (kb. 1000 km/h) támadó repülőgép kb. két perc alatt teszi meg, ha éppen egy légvédelmi rendszer felé repül, de a minimális megsemmisítési távolságot még hamarabb eléri a célpont. A másik tényező, hogy ritkán repül pont egy légvédelmi rendszer felé a célpont, tehát sok esetben ezek mellett valamekkora távolságban elrepülve csak nagyon korlátozott ideig tartózkodik egy légvédelmi rendszer megsemmisítési zónájában. Tehát mire a légvédelmi rendszer észleli, követésbe veszi a célt, majd rakétát indít és a rakéta odaér a célponthoz, adott esetben a célpont újra eltűnhet a horizont vagy tereptárgy mögött, tehát a rakéta elvéti a célt, vagy a rakéta egyszerűen nem is éri utol a célpontot. Ilyen profillal repülő célpont ellen nehéz volt hatékony ellenintézkedést tenni a régebbi, szinte semmiféle automatizálással nem bíró légvédelmi eszközökkel. (A légiharc-rakéták és légvédelmi rakéta-rendszerek megsemmisítési zónájától a 7. fejezetben esik szó.)

Az infravörös vezérlésű légvédelmi rendszerek rakétáinak hatótávolsága olyan kicsi (10 km alatti), hogy azok ellen az alacsonyan repülés csak az ellentevékenységhez szükséges reakció idő csökkentésében játszik jelentős szerepet. Amennyiben a célpont első vizuális észlelése 5-6 km-es távolságban történik akkor annak haladási irányától és sebességétől függően 5-15 másodperc áll rendelkezésre a célazonosításra, a célzásra és annak megítélésére, hogy tényleg megsemmisítési zónán belül van-e a célpont. Téves megítélés setén a rakéta gyakran zónán kívül van már indítva vagy nem is sikerül a célpontot támadni. (Nem véletlenül annyira alacsony élesben a vállról indítható rakéták találati aránya a lőtéri eredményekhez képest.) Téves célazonosítás esetén saját gépet lelőni meg nem olyan hőstett amiért a katona kitüntetésben vagy akár vállveregetésben részesülne...

1973-ban az arab légvédelem közel egyformán volt „eredményes” az izraeli és saját légiereje ellen is, közel ugyanannyi baráti, mint ellenséges repülőgépet lőttek le buzgón dolgozó arab légvédelmisek. Ebből született a vicc az arab légvédelem mottójáról: „Lődd le mind, a földön majd szétválogatjuk”.

További előny az alacsonyan repülésnél a földháttér adta védelem, amennyiben a behatolóra pályázó vadászgépek vagy azok keresésében résztvevő légtérellenőrző repülőgépek magasabban repülnek. A ’80-as évek elejétől és közepétől fogva ez önmagában már kevésnek bizonyult a csúcskategóriás légiharc-rakéták és radarok ellen, de nem jelenti azt, hogy haszontalan volt akkor vagy akár ma, csak a hangsúlyok tolódtak el. A földháttérben repülő vadászgép számára, a vele szembenálló repülőeszköz égháttérben van, tehát az alacsonyabban repülő gép számára a magasabban repülő gépek észlelése radarral könnyebb, ez előnyös.

Az alacsonyan repülés azonban számtalan komoly hátránnyal is jár a fent ismertetett előnyök mellett. A tartósan alacsonyan repülés egyik legnagyobb hátránya a jelentősen megnövekedett üzemanyag (tüzelőanyag) fogyasztás. Földközelben típustól függően 8-10 km-es utazómagassághoz képest 2-3-szor magasabb az üzemanyag fogyasztás azonos sebességen, a repülőgép csúcssebessége is kisebb. (Lásd később a 11. fejezetben.) Emiatt az alacsonyan repülést jellemzően csak harci zónában, az ellenséges terület felett, illetve ismert települési hellyel rendelkező légvédelmi rakéta-rendszerek közelében

használták, mert a teljes útvonalon alkalmazva még a legnagyobb harcászati vadászgépek és vadászbombázók hatósugarát is használhatatlan mértékűre csökkentené le. (A potenciális célpontok és célterületek el sem érnék folyamatosan alacsonyan repülve.)

A földháttér és alacsonyan repülés által biztosított védelemhez ragaszkodás taktikailag számtalan esetben alárendelt helyzetbe kényszeríti alkalmazóját, különösen akkor, ha az ellenfél azonos vagy jobb repülési teljesítményű vadászgéppel száll harcba. Amennyiben rakétát indít az alacsonyabban repülő vadászgép, a közte és a célpont közötti magasságkülönbséget is le kell gyűrnie a légiharc rakétának, emiatt az alacsonyabban levő gép rakétájának megsemmisítési zónája még azonos képességű légiharc-rakéta esetén is jelentősen kisebb a magasabban indítotthoz képest (Lásd 5. fejezetben). Amennyiben nagy távolságról nem sikerül leküzdeni a légi célt, a magassági fölény a manőverező légiharc kezdetekor előnyt jelent. A manőverező légiharc legfontosabb alaptétele, hogy a magasság szükség esetén sebességre váltható, illetve ez visszafelé is igaz, a manőverező légiharc alapvető fogásai közül több épít a magassági fölény kihasználására.

A földháttér az infravörös légiharc-rakéták keresőfejének hatékonyságát is csökkentheti, de ez erősen függ az aktuális éghajlati- időjárási viszonyoktól és magától a terep jellegétől is. A korai infravörös vezérlésű rakéták különösen érzékenyek voltak ilyen behatásokra. A korszerű infravörös rakéták és harcászati vadászgépek esetén ez ma már nem számít komolyabb korlátnak, de még a legújabb generációs légiharc-rakéták sem csodafegyverek, nem minden esetben használhatóak még ezek sem földháttérben repülő célok ellen. (Lásd a korábban, Load Diffuser 2008, Mi-24 kontra AIM-9X.)

4.4.1.2. Elektronikai zavarás

Az elektronikus zavarással a légvédelmi rendszerek számára a szükséges információk megtagadása vagy meghamisítása a cél, ami nehezebbé vagy akár lehetetlenné teszi egyes üzemmódok és célpontok esetén az automatikus, fél-automatikus vagy akár manuális módon a célfelderítést vagy az eredményes rakéta vagy vadászgép rávezetést.

Az ellentevékenység egy további lehetséges módja a radarvezérlésű légvédelmi rakéta-rendszerek felderítő és tűvezető radarjai ellen aktív (ECM)[322] vagy passzív elektronikai ellentevékenység folytatása. Az aktív zavarás rendkívül sokrétű lehet, a legegyszerűbb a „fehérzaj" zavarástól a sokkal komplexebb zavarási formákig bezárólag, amik akár több aktív sugárzót is használnak. (Egzakt példák, illetve részletesebb ismertetése az elektronikai zavarásnak a 4.4.2. fejezetben található.)

A fehér zaj zavaráskor egy adott frekvencia-tartományban nagy erejű kisugárzás a cél. Egy egyszerű, de nem pontos analógiával élve ez olyan, mintha egy sötét szobában hallás alapján kell adott frekvenciájú zajforrásokat megtalálni, de a szobát üvöltő zenével töltik meg a sugárforrások mellett, ami azonos frekvencián sugároz, mint amin keressük a célokat. Ez két dolgot jelent.

A zavarást végző cél hangosabb, tehát annak iránya megállapítható, de a távolsága nem, legfeljebb becsülhető, viszont ez a zaj a halkabb és kisebb források bemérését megnehezíti vagy ellehetetleníti. Az ilyen zajzavarás lényege, hogy a zavaró gép a többi támadó gép bemérését nehezíti meg, azok tűnnek el a zajban, illetve, ha esetleg az iránya még a céloknak meghatározható, azok távolsága, sebessége és haladási iránya nem. Az elektronikai zavarással önmagában nem mindig valósítható meg célfelderítés vagy célkövetés teljes ellehetetlenítése, de csökkenthető a kapott információ mennyisége és minősége, ami

[322] *Electronic Countermeasures, jellemzően valamiért csak az aktív zavarásra szokták az ECM rövidítést használni, de nagyritkán a passzív tevékenységekre is használja néhány forrás.*

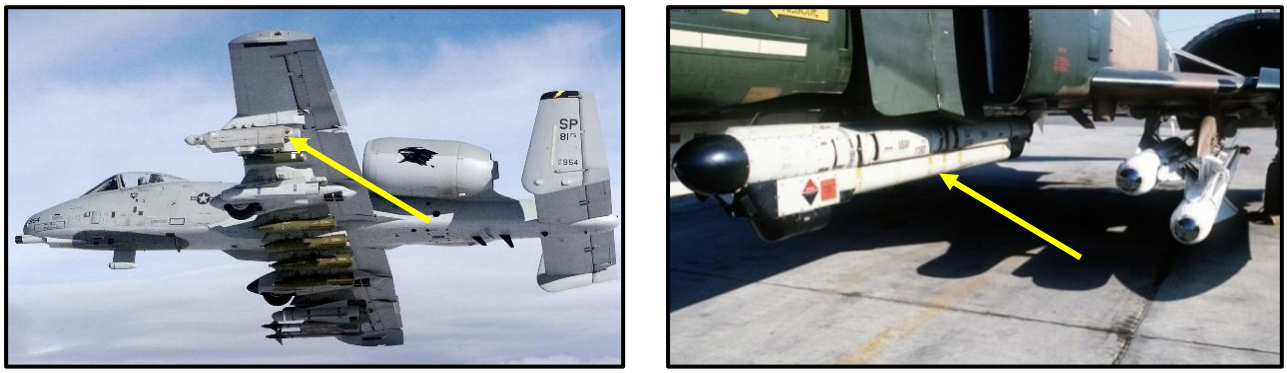
korlátozza a légvédelmi rendszerek hatásosságát. Az aktív zavarás természetesen kombinálható más passzív zavarási formával, illetve kitérő manőverekkel is.

Ahogy telt az idő és fejlődött a technika, jócskán finomodtak a módszerek is. Ma már külön frekvenciákon, irányítottan – akár több sávban is egyszerre – adott radar típusára szabva célzottan lehet zavarni.

Az elektronikai zavarásnak több szintje és alkalmazási módja létezik. Van, amikor már csak reagálnak az ellenséges tevékenységre, addig nincs bekapcsolva a zavarás, amíg az ellenfél még nem használja tűzvezető radarjait, ez jelentheti azt, hogy már csak rakétaindítás, vagy a célpont befogása után kapcsolják fel a zavarást, a másik alkalmazási módszer, hogy egy területet elérve zavarnak az ellenséges rendszerek megsemmisítési zónájában vagy akár azok felderítése előtt is.

A zavaróeszközök egy része csak önvédelmi zavarásra képes, ezeket többnyire nem preventív jelleggel alkalmazzák, több okból sem. Egyrészt maga a zavarás is érzékelhető, tehát az elektronikai védelem akár riaszthatja is az ellenfelet, mikor esetleg még nem is érzékelte a támadók közeledését. (Repülőgép-fedélzeti radarok használatánál is ez a helyzet, ezért ha földi irányítás vagy AWACS rendelkezésre áll akkor a vadászgépek igyekeznek csökkenteni a saját radarjuk használatát.) Ilyen zavaró eszközöket használnak jellemzően a harcászati vadászgépek.

A kisebb és régebbi vadászgépeken és vadászbombázókon nem volt integrált elektronikai zavarórendszer a rendelkezésre álló korlátozott hely, illetve az akkori elektronika színvonala (méret és tömeg) miatt. A repülőgépek emiatt sokszor csak konténerben vihették magukkal ezeket az eszközöket, jellemzően a szárny vagy a törzs alatti felfüggesztési pontok egyikén. Ahogy fejlődött az elektronika több olyan vadászgép is kapott beépített (integrált) elektronikai zavaró-rendszert, amelyeknek korábban évtizedekig elektronikai zavaró konténerekre kellett hagyatkoznia. A legkorszerűbb F-16C Block 52+ vadászgépek már integrált elektronikai zavarórendszerrel bírnak, ahogy az újabb dél-koreai F-16 változatok is, ezzel szemben az összes USAF üzemeltetésű F-16-os mind a mai napig konténereket használ, tehát az USAF F-16-os flotta ebből a szempontból korszerűtlenebb, mint több exportált F-16-os változat.



Bal oldalt fent A-10A ALQ-131 konténerrel a bal külső szárnyfelfüggesztőn, jobb oldalt F-4 Phantom II ALQ-119 konténerrel bal mellső törzsfelfüggesztési pont alatt, az egyik Sparrow rakéta helyén.

Szu-27P változat, szárnyvégi Szorbcija típusú elektronikai zavaró-konténerekkel.

A régebbi vadászgépek és vadászbombázók esetén nem minden esetben volt megoldott, hogy bekapcsolt zavaró rendszerek mellett a saját harcászati elektronika elemei (radar, besugárzásjelző-rendszer) megbízhatóan üzemeljenek. (Interferencia szűrés.)

Vietnám idején az AGM-45 „radargyilkos” rakéták indításának idejére ki kellett kapcsolni az elektronikai zavarást egyes gépeken, ami remek támpontot adott a vietnámi légvédelmi rakéta-rendszer kezelőknek, hogy mikor kapcsolják le az SzA-75 Dvina légvédelmi rendszer tűzvezető radarját, ezzel elkerülve a megsemmisülést. Az persze más kérdés, hogy a légvédelmi rendszer elnyomása ezzel megvalósult, mert kikapcsolt tűvezető radarral egy radarvezérlésű légvédelmi rendszer harcértéke nulla.[323]

A besugárzásjelzők működésnél is előfordulhat ilyesfajta korlátozás. Az, hogy ma milyen korlátozások vannak egyidejű működésre, arról nemigen van adat, de egyáltalán nem kizárt az, hogy adott elektronikai környezetben még ma sincs teljes szabadság, egyes saját képességek csökkenhetnek elektronikai zavarás használata esetén.

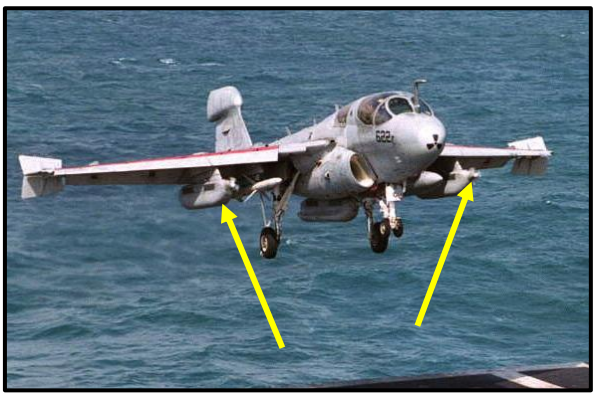
A zavarás másik módja kifejezetten preventív módon történik, angol terminológiában ez stand-off jamming (SOJ) néven ismeretes, jellemzően ezt a feladatot specializált repülőgépek látják el. Az erre a feladatkörre készült gépek széles frekvenciatartományban képesek zavarni radarokat, különféle kommunikációs rendszereket (rádió- és TV adást is), manapság valószínűleg már a mobiltelefon hálózatok és további vezeték nélküli technológia zavarására is lehetséges.

Régen kifejezetten nagyméretű repülőgépek tündököltek ebben a szerepben, mert a szükséges elektronikai és kiegészítő rendszerek csak ezeken fértek el az üzemeltető és operátor személyzettel együtt. A Szovjetunióban Jak-28, Tu-16, Szu-24 bombázó és csapásmérő repülőgépekből átalakított gépeket használtak ezekre, ez az USA-ban sem volt másképp. Ilyen volt az F-111 vadászbombázóból létrehozott EF-111A Raven, a haditengerészeti A-6 Intruder módosításából született EA-6B Prowler, a legújabb EA-18G Growler a Super Hornet típus speciális változata.

Ezek az átalakított taktikai (harcászati/hadászati) csapásmérők kellően nagyok voltak, illetve a miniatürizáció kellő szinten volt, hogy a fent említett képességeket bele tudják zsúfolni azokba és képesek legyenek biztosítani az elvtárt őrjáratozási időt. Az EA-6B Prowler ennek ellenére több ALQ-99 konténerrel látta el feladatát, mindegyik egy adott frekvenciatartományt fedett le.

A fejlődés és az automatizáció szintje is lemérhető a szükséges kezelő személyzet nagyságán. Az EA-6B típuson még három operátor szolgált, a későbbi EF-111A és az EA-18 Growleren már egy fő is elégséges az elektronikai zavarórendszerek használatához. (A EA-6B típust a US Navy 2015-ben nyugdíjazta, a Tengerészgyalogságnál is hamarosan leváltja a EA-18G Growler.)

[323] *A „kutyaólas” Dvina tűzvezető radar használata nélkül is képes volt rakéta rávezetésre optikai célkövetéssel, lásd később.*



EA-6B Prowler (baloldalt), EF-111A Raven (jobboldalt.)

A fenti képen baloldalt a US Navy Prowler gépe látható kettő elektronikai zavaró konténerrel, a jobb szárny alatt egy AGM-88 HARM, a bal szárny belső tartóján póttartály van. A jobboldali képen az EF-111A Raven látható az USAF színeiben.[324]

4.4.1.3. Vontatott csali (elektronikai zavarás)

Vontatott csali F-16C-n (balra) és üres kazetta az F-35-ön (jobbra) kiengedett állapotban. A lenti képen az 'F' jelű rekeszekben található a zavarótölteteket tartalmazó kazetták, az 'A' jelű részben kaptak helyet a vontatott csalik.

Egyes repülőgép típusok kábelen vontatott csalival is rendelkeznek, ezek a '90-es évek végén jelentek meg először az USAF által használt F-16C/D és a B-1B-n repülőgépeken, de más típusok is rendelkeznek ilyennel eszközzel, például a Super Hornet vagy a Eurofighter Typhoon. Az első ilyen eszköz az AN/ALE-50 volt, amit az 1999 Allied Force hadművelet alatt is használták már, ennek korszerűbb változata az AN/ALE-55.[325]

Elméletileg bármilyen repülőgépre integrálható a vontatott csali pénz és szándék esetén. Egyes típusoknál ez komolyabb szerkezeti módosítást igényel, más esetben csak a függesztő gerendák cseréjét, és egyéb, az üzemhez szükséges átalakításokat, kábelezés, energiaellátás, stb.

A vontatott csalit repülés közben, csak a levegőben lehet kiengedni, leszállás előtt meg kell szabadulni azoktól, ha már ki van(nak) engedve. A vontatott csali nem passzív eszköz, sugároznak is velük, nagy teljesítményű jellel elnyomják a célpontról érkező radarsugár visszaverődést. A következő egyszerű

[324] https://htka.hu/2010/04/11/general-dynamics-f-111-aardvark-avagy-a-rettegett-foldimalac *13. fejezet.*
[325] http://legiero.blog.hu/2011/09/01/kesei_felfedezes_ale_50_a_levegoben

analógiával írható la működési elve az eszköznek. Egy gyertya fényét nehéz vagy lehetetlen követni, ha viszonylag közel mögötte egy reflektorral a figyelő szemébe világítanak, továbbá kevés idő van annak megállapítására, hogy az erős fényforrás mellett hol van a gyengébb. (Az idő függésnél a mechanikus radarok legyezési ideje számít az elektronikus pásztázással összevetve, lásd később.)

Ez egyfajta speciális esete az elektronikai zavarásnak, ami attól tér el markánsan az összes korábbi zavarási módszertől, hogy a zavaró eszköz nem csak a repülőgépen, hanem attól távolabb van, továbbá azt sem szabad elfelejteni, hogy a repülőgép konténerben hordozott vagy integrált zavaró rendszere továbbra is üzemelhet, tehát olyan komplex zavarás lehetséges, ami két eltérő helyről történik összehangoltan. Ez apróságnak tűnik, de ettől működik az egész módszer.

A legyezés fontossága a zavarási módszernél szintén analógiával érthető meg. Az infravörös rakétáknál a képalkotós érzékelő (infravörös kamera) olyan felbontással bír, hogy pixelenkénti elemzéssel képes elkülöníteni a csalit a valódi céltól, ilyen felbontással önmagukban a radarok azonban nem bírnak kisugárzott nyalábok szélessége illetve a távolság felbontó képessége miatt. A radarvezérlésénél az egymáshoz közeli célok megkülönbözethetőségének problémáját, illetve a mechanikus legyezés időszükségletét használják ki. Az egymáshoz közeli célokat, amik ráadásul zavarnak gyorsan kell megkülönböztetni, mert a rakéta és a célpont relatív közeledési sebessége akár 400-2000 m/s is lehet rakéta típusától és a harci helyzettől függően.

Ebből az adódik, hogy villámgyors pásztázás szükséges, amiből egyenesen következik a fázisvezérelt antenna használata (elektronikus legyezés/nyalábeltérítés) attól függetlenül, hogy félaktív vagy aktív radarvezérléssel bír a rakéta. Félaktív rávezetés esetén – ez lehet SAGG vagy TVM – a célt megvilágító radarnak fázisvezéreltnek kell lennie. Ez a korszerű légvédelmi rendszereknél teljesül, a Patriot és Sz-300 összes változata, illetve a haditengerészeti nagy hatótávolságú légvédelmi rendszerek 30-40 éve ilyen radarokat használnak.

Az egyenlet másik fele a rakéta, amiben szintén antenna található, ami veszi a visszaverődéseket a célpontról. Amennyiben rakéta feje mechanikus kitérítésű, akkor az a végfázisban az idő rövidsége miatt csak a legerősebb visszaverődést követi, nem keresi az esetleges gyengébb visszaverődéseket. Elektronikus legyezésű vevő esetén villámgyorsan lehet legyezni oldal- és helyszögben a teret a célpont körül, ezzel kimérhető, hogy a legerősebben sugárzó cél – a vontatott csali – előtt van a gyengébb visszaverődést produkáló valódi célpont is. Ehhez viszont fázisvezéreltnek kell lennie a rakétában levő antennának is, tehát minimum PESA technológiát használó rakéta szükséges, aktív radaros rakétánál lehet PESA vagy AESA is.

3.4.3 Phased Array Antenna Beamwidth

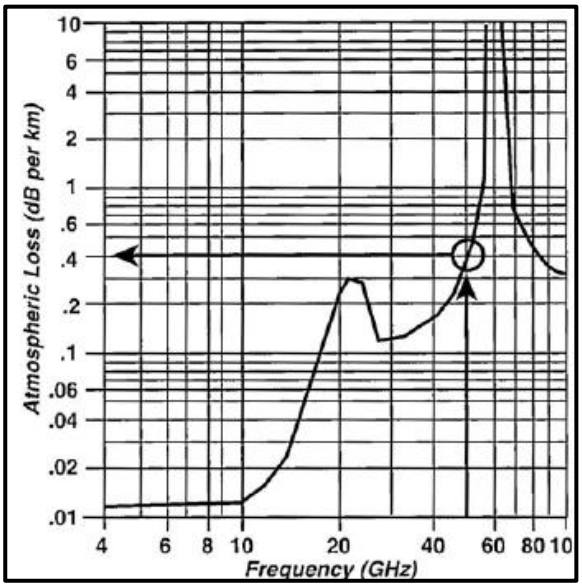
The beamwidth of a phased array with dipole elements is determined by the formula:

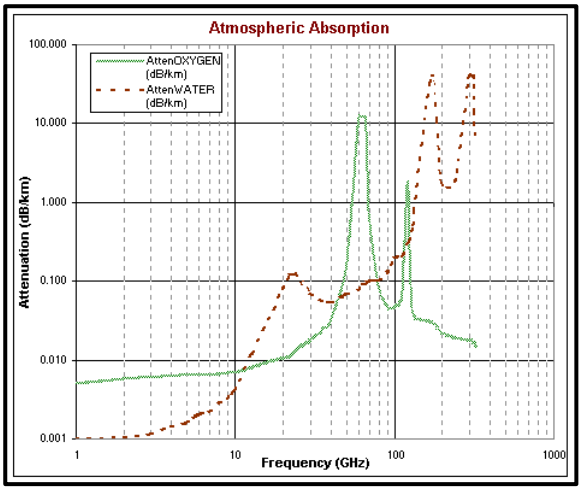
$$\text{Beamwidth} = 102/N$$

where N is the number of elements in the array, and the beamwidth is in degrees.

For example, the horizontal beamwidth of a 10-element horizontal linear array would be 10.2°. This is the beamwidth in the direction perpendicular to the orientation of the arrayed antennas.

A probléma a rakétáknál, hogy a fázisrács elemeinek száma arányos a felbontóképességgel, emiatt viszonylag sok elemű fázisrácsra van szükség úgy, hogy a legnagyobb méretű rakéta átmérője is lényegesen kisebb, mint egy repülőgép orrában rendelkezésre álló hely. A fent látható összefüggés szerint határozható meg, hogy adott szögfelbontáshoz hány darab antenna elem szükséges,[326] nyaláb szélesség= 102/elemszám.





Az Sz-300 és Patriot rendszer rakétái kb. fél méter átmérőjűek, a közepes hatótávolságú légiharc-rakéták 15-20 cm átmérővel rendelkeznek, a legnagyobb légiharc-rakéta, az R-33 38 cm átmérőjű. Ez a fizikai korlát megnehezíti a vontatott csali legyőzéséhez szükséges eszközök létrehozását, lássuk ezt néhány példán keresztül.

Vegyünk egy közepes hatótávolságú légiharc rakétát. 2 km-es rakéta és célpont közötti távolság esetén – hogy a rakétának legyen ideje manőverezni és legyezni is legalább néhányat tűpontos MCG/MCU esetén is – kb. 3 fokos felbontás kell ahhoz, hogy két egymástól 100 méterre levő célt meg lehessen különböztetni.

Ehhez a fenti formulát felhasználva kb. 35 db elem szükséges a légiharc rakétába. Ezekkel az elvárt értékekkel 20 cm-es rakéta átmérőnél minden 5,88 mm-re jut egy sugárzó, amik fél hullámhossz távolságra lesznek egymástól,[327] így 11,7 mm-es hullámhossz jön ki, ami nagyjából 25 GHz üzemi frekvenciát jelent.

Az a probléma, hogy 20GHz és annál magasabb frekvenciatartományban a radarhullám elnyelődése már olyan tényező (lásd balra a két ábrán), amit már nem lehet elhanyagolni. A vadászrepülőgépeken és légvédelmi rakéta-rendszereknél használt frekvenciatartományhoz képest egy nagyságrenddel nagyobb az elnyelődés. Minél kisebb a rakéta átmérője, annál nagyobb problémát jelent a szükséges felbontás megvalósítása, mert a sugárzási teljesítmény és a fél hullámhossz összefüggés miatt egyre nő a szükséges frekvencia.

Minél nagyobb sebességű a rakéta annál nagyobb távolságról szükséges mérni, tehát annál több elem szükséges a szűkebb nyalábhoz, ez szintén csökkenti az szükséges elemek méretét, ami viszont növeli az üzemi frekvenciát, ami viszont rontja az észlelési távolságot. Ördögi kör.

A rakéták harci része határozza meg a vontatott csali kábelhosszát (a szükséges vontatási távolságot), hogy a célpont biztonságban legyen, amikor a rakéta eltalálja a vontatott csalit. 100 méteres távolság a korszerű légiharc rakéták ellen valószínűleg elégséges, mert azok harci része sokkal kisebb, mint a régi hidegháborús BVR légiharc-rakétákon levő 40-70 kg-os robbanófej, manapság egy AIM-120 kategóriájú

[326] *A lent következő rész megírásában Hpasp-tól kaptam igen nagy segítséget.*
[327] *Ennek okát lásd a 4.2.3.1 fejezetben.*

rakétán 10-20 kg-os harci rész van, viszont a nagy hatótávolságú légvédelmi rakéták ellen is szükséges védekezni.

Az Sz-300 légvédelmi rakéta-rendszer család rakétáin hatalmas, majdnem 200 kg-os harci rész van, ezeknél a szükséges kábelhossz akár 200-500 méter is lehet – attól függ, hogy kit kérdez az ember –, hogy a rakéta felrobbanásakor biztonságos távolság legyen a rakéta és a csalit vontató repülőgép között. Ráadásul, ha a rakéta szemből közeledik és nincs idő manőverezni, akkor kis vontatási távolság esetén az oldalirányú eltérés igen kicsi lehet a csalihoz képest, tehát a csali alkalmazásakor erre is figyelni kell.

300 méteres vontatási és nagyobb, 4 km-es célpont távolsággal számolva, hogy a rakétának legyen ideje reagálni – Sz-300-nál a rakéta végfázis sebessége jellemzően 900-1200 m/s – kb. 4 fokos szükséges felbontás adódik ki, amihez 25 db antenna elem szükséges. Ebből és az 50 cm átmérőből számolt fél hullámhosszból kapott üzemi frekvencia 7,5 GHz. Ekkora frekvenciánál már nem probléma a légköri elnyelődés. Nagyobb vontatási távolság esetén kedvezőbb elem és hullámhossz értékek adódnak ki, nagyobb távolságban elvárt szükséges felbontó képesség a frekvencia ennél magasabb.

A fenti gondolatmenet lényege, hogy a vontatott csalik elterjedése estén úgy tűnhet, hogy azok kijátszásához a légvédelmi rendszerek viszonylag hamar (?) és egyszerűen (?) korszerűsíthetőek. A feladat „mindössze" annyi, hogy a rakétákban levő vevő hagyományos mechanikusan legyező réselt antennával dolgozó antenna rendszert kell PESA (vagy AESA) elven működőre cserélni. Ez elsőre egyszerűnek hangzik, csak a költsége valószínűleg elég borsos egy ilyen változtatásnak, főleg ha azt több ezer vagy tízezres nagyságrendű rakétán kell elvégezni.

Amennyiben a célpont tudja, hogy nem kell nagy robbanófejjel rendelkező rakétára számítani,[328] akkor nem szükséges 300 méteres vontatási távolság. ott bizony nagyon meg kell feszülni a szükséges felbontáshoz, ami nagyon magas érték felé viszi el az üzemi frekvenciát. Amennyiben légiharc-rakéta esetén is 300 m (vagy akár nagyobb távolságban) történik a vontatás, akkor AIM-120 méretű rakétába épített AESA radarral elvileg megoldható a probléma. A japán aktív radaros AAM-4 légiharc-rakéta 20 centiméteres átmérővel már AESA radart használ. (Az elemek számáról és üzemi frekvenciáról nincs adat.)

A fentiek fényében már érthető, hogy a Ostravában, a B-1 személyzete a csalik vontatási távolságára vonatkozó kérdésre miért azt volt a válasz, hogy „bizalmas információ".[329] Annak ellenére, hogy ez nem tűnik kardinális kérdésnek egy laikusnak, látható hogy nagyon komoly kihatása van a légvédelmi és légiharc rakéták műszaki követelményeire vonatkozólag.

Kicsit visszakanyarodva a radarokhoz. A radaroknál az antennákat szemrevételezve a fizikai törvényszerűségek miatt megállapítható, hogy azok milyen hullámhossz/frekvenciatartományban üzemelnek, illetve ebből egyéb paraméterük is számolható, illetve becsülhető. Ez igaz mind a kis fázistoló és aktív elemekből álló PESA és AESA, mind a hagyományos réselt mechanikus legyezésű síkantennák esetén.

A mechanikus pásztázású radaroknál a rések száma, a rések mérete, illetve a közöttük levő távolságból számolhatóak az üzemi paraméterek.

[328] *Nagy hatótávolságú légvédelmi rakéta-rendszerek és vadászgépek ritkán védenek egyszerre azonos légteret célazonosítási problémák miatt, nagy a veszélye a baráti tűznek. A nagy hatótávolságú SAM rendszerek bemérése nem megugorhatatlan feladat USAF szintű légierőnek, a radar hatalmas teljesítménye elég árulkodó. Tehát a vontatási távolság adott fenyegetésnek függően állítható be, amennyiben hajlandó a téves távolság beállítás kockázatát felvállalni az ember.*

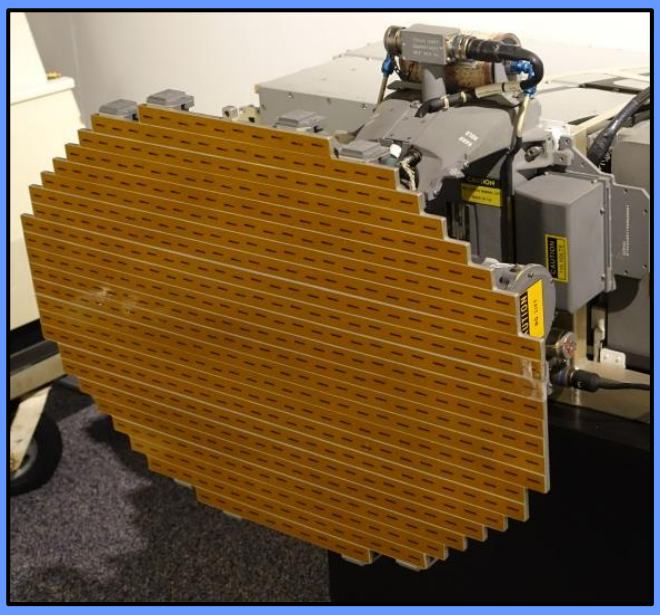
[329] https://htka.hu/2016/10/14/ostrava-2016-nato-day/

Az AN/APG-68 esetén (balra lent) a rések darabszáma = elemszám. 24 sorban vannak elemek, a középső sorban vízszintesen 28 elem van, ebből adódik ki a 4,25x3,6 fokos ellipszis alakú nyaláb, ezzel legyez a radar. (Az ellipszis tengelyei ívhossznak felelnek meg).

Mi a helyzet az üzemi frekvenciával? A radarantenna szélessége 715 mm, tehát (antenna szélesség) / (28 db elem) = Egy elem mérete kb. 25,5 mm.

*A rés-sugárzók az eredeti képen 18 pixel szélesek, közöttük 13 pixel távolság van. Vagyis a 25,5 mm egységnyi szélességre 18/(13+18)*25,5 = 14,8 mm sugárzó jut, ez adja meg nagyjából az üzemi fél-hullámhosszt. (A számolt értéknél kicsit kisebb is lehet, mert az elemek nem érnek össze). A teljes hullámhossz ennek kétszerese 29,6 mm, amiből 10,1 GHz üzemi frekvencia jön ki. Nem irreális eredmény.*

Ez alapján válnak érthetővé a 4. fejezet elején (97. oldalon) felvázolt AN/APG-68 radar legyezési paraméterei. Azért van 2,2 fok helyszög eltérés két legyezési sáv között, mert a fenti nyalábszélességgel ekkor távolság van két sáv között.



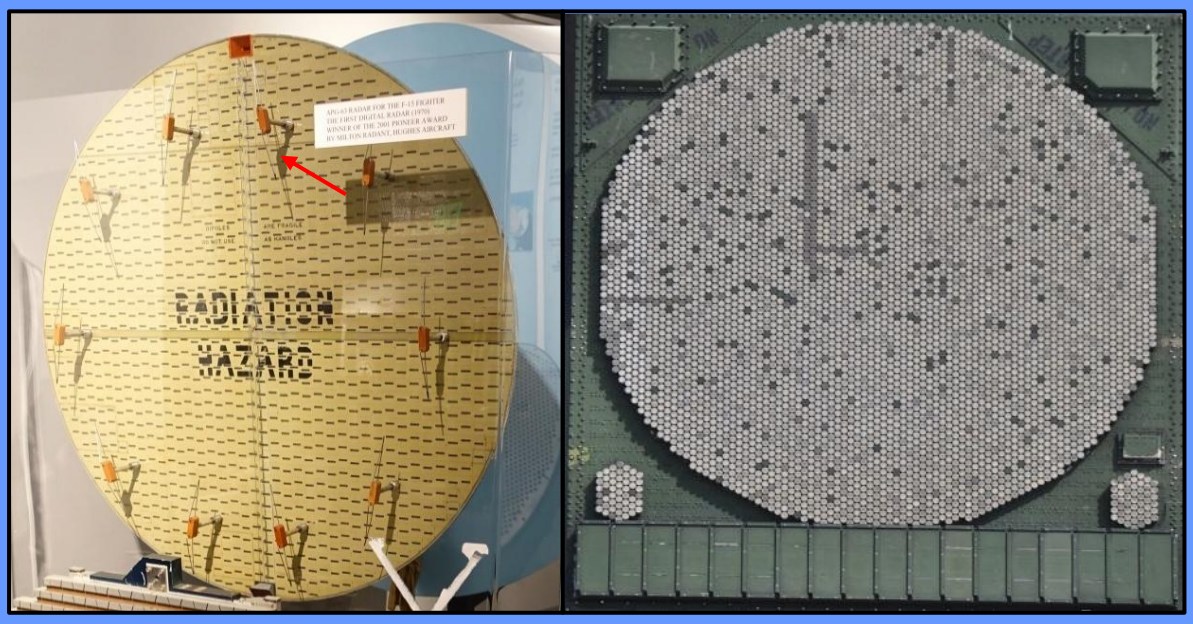
*Az R-77 aktív radaros légiharc rakétánál (jobbra fent) a rések darabszáma = elemszám. 10 db elem számolható meg a képen, 200 mm / 10 = egy elem mérete kb. 20 mm. Figyelembe véve a rések közötti távolságot, rés hossza 46 pixel, rések közötti távolság 20 pixel. 46/(20+46)*20 mm = 13,93 mm fél-hullámhossz, ebből 27,9 mm teljes hullámhossz, tehát 10,75 GHz frekvencia számolható, teljesen reális eredmény.*

Mi az, ami még látszik az R-77 rakétánál számolt értékekből? A kis elemszám miatt 12 fokos kör alakú nyalábbal legyez a rakétában levő radar. Ez az egyik oka annak, hogy az aktív radaros rakétáknál miért számottevően kisebb az észlelési távolság a vadászgépen levő radarhoz képest. Nem elég baj, hogy az antenna felülete kisebb, ami korlátozza a lesugárzott teljesítményt és érzékenységet is, ráadásul nagyobb térrészbe sugározza azt ki a berendezés.

*Az F-15A AN/APG-63 (következő oldalon balra) antennájának átmérője kb. 950 mm. A fenti módszerrel, a rések darabszáma = elemszám. 42 db elem, ebből kiadódik a 2,4 fokos kör alakú nyaláb. 950 mm / 42 = Egy elem mérete kb. 22,6 mm. Réssugárzó 32 pixel, a két réssugárzó közötti távolság 11 pixel, ezzel 32/(32+11)*22,6 = 16,8 mm a sugárzó, és 5,8 mm a szünet. Ebből a hullámhossz így kb. 33,6 mm, ebből a frekvencia kb. 9 GHz.*

A vadászgépek manőverező légiharc üzemmódjai esetén a szélesebb, de kisebb hatótávolságú nyalábokat úgy állítják elő, hogy nem minden rést táplálnak meg az antennán. Pl. az AN/APG-68 így biztosítja az F-16C számára a 10x60 fokos és 20x30 fokos pásztázási zónát, illetve BORE üzemmód esetén a fix előre néző nagy kúpszögű keresést. Ezekben az üzemmódokban csak 10 tengeri mérföldes távolságig keres célt a radar, kisebb tehát a teljesítménysűrűsége a nyalábnak. Ez nem probléma, a hangsúly a széles pásztázási zónán van, harcászatilag ez a fontos ezen üzemmódok esetén és nem nagy felderítési távolság.

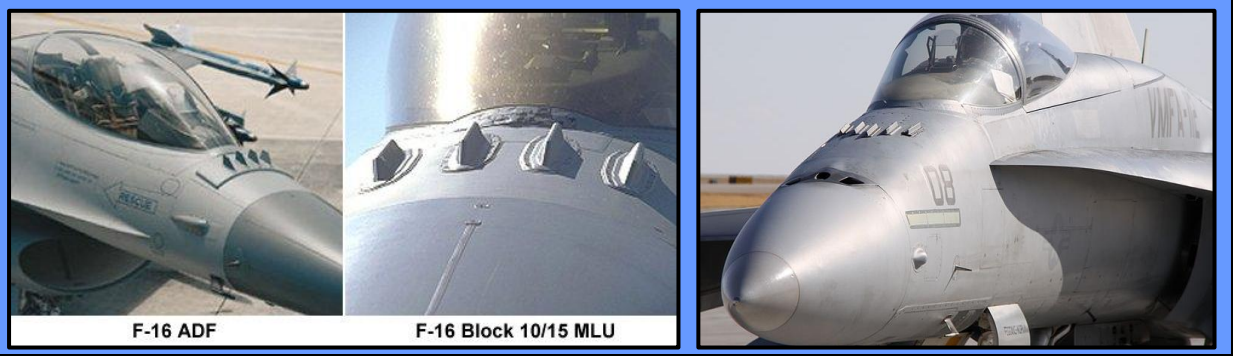
(A manőverező légiharc radar üzemmódok is megtalálhatóak a korábban már linkelt videóban. https://youtu.be/E4klLDqCGFs?t=2m5s)



A Patriot AN/MPQ-53 radarjánál (jobbra fent) az antenna átmérő 2440 mm, egy fázistoló elem mérete 39 mm, ez határozza meg a fél-hullámhosszt, tehát 78 mm-es teljes hullámhossznál 3,84 GHz üzemi frekvencia adódik. Ez sem meglepő eredmény, a szovjet Dvina és Volhov rendszerek közötti tartomány.

Valószínűleg az üzemi frekvencia optimális a tűzvezetés számára, a repülőgépeken és aktív radaros légiharc-rakétán a rendelkezésre álló hely korlátja és egyéb kompromisszumok eredményezték a 10 GHz üzemi frekvenciát.

Tehát miért előnyösebb a nagyobb antenna méret? (Nagyobb antenna mindig jobb! - Hpasp) Egyrészt érzékenyebb a nagyobb felület miatt, másrész több sugárzó elemből állhat, úgy, hogy a szerkezet benne marad az optimális hullámhossz tartományban, az E sávban.


F-16 ADF F-16 Block 10/15 MLU

Az elektronikai IFF rendszerek azonosítási korlátja is a fenti módon számolható, ezek a dm-es hullámhossz tartományban üzemelnek. Az AN/APG-63-nál a kis dipól antennák a F-15 IFF antennái, a Patriotnál a vízszintes antenna elemekből álló antenna rendszer. Az F-16 és F-18 vadászgépeken az orron található késantennák tatoznak az IFF rendszerhez. Az átlagos hullámhosszból adódik, hogy mekkorák az antennák fizikailag, az elemek számából a Patriot rendszernél kb. 6 fokos nyaláb adódik, a repülőgépek esetén 17-25 fok, tehát ha ezen a tartományon belül több célpont van, akkor azok között nem lehetséges különbséget tenni.

4.4.1.4. Radar besugárzásjelző-rendszerek,

A elektronikai zavarás eredményes használatához szükséges ismerni, hogy az eltérő feladatokra használt különböző radarok milyen irányban és mekkora távolságban üzemelnek. Ezek érzékeléséhez és azonosításához szükségesek a besugárzásjelzők, illetve a mögöttük levő számítástechnikai kapacitás, ezek együttesen alkotják a besugárzásjelző-rendszereket, angol rövidítéssel ezek az RWR rendszerek.[330] Ezek kezdetben primitív eszközök voltak, azonban az idők során hatalmas fejlődésen esetek át köszönhetően a digitális- és félvezető elektronikai forradalomnak.

Az első besugárzásjelző-rendszerek a vietnámi konfliktus idején jelentek meg amerikai vadászgépeken és vadászbombázókon „köszönhetően" a Vietnámban egyre inkább elszaporodó, és egyre nagyobb veszteségeket okozó Sz-75 Dvina légvédelmi rakéta-rendszereknek.[331] Először a légvédelmi rakétákra vadászó Wild Weasel alakulatok F-100F[332] és F-105G repülőgépei kapták meg ezeket, de később már minden harcászati repülőgép rendelkezett besugárzásjelző-rendszerekkel,[333] még ha nem is olyan kifinomult és sokat tudó berendezésekkel, mint a SEAD feladatra specializált F-100F, F-105G és a későbbi F-4G repülőgépek.

JAS-39 EBS HU Gripen függőleges vezérsíkján a hosszúkás dudor rejti az RWR rendszer egyik antennáját.

A besugárzást érzékelő antennák a repülőgépek függőleges vezérsíkjain, szárnyvégein és jellemzően törzs középső részén vannak, alul és felül. A korszerű katonai gépeken körkörös a lefedés, holttér nemigen van, de még ha létezik is ilyen, akkor minimális manőverezéssel ezek kiküszöbölhetőek, az egyenesen

---

[330] *Radar Warning Receiver*

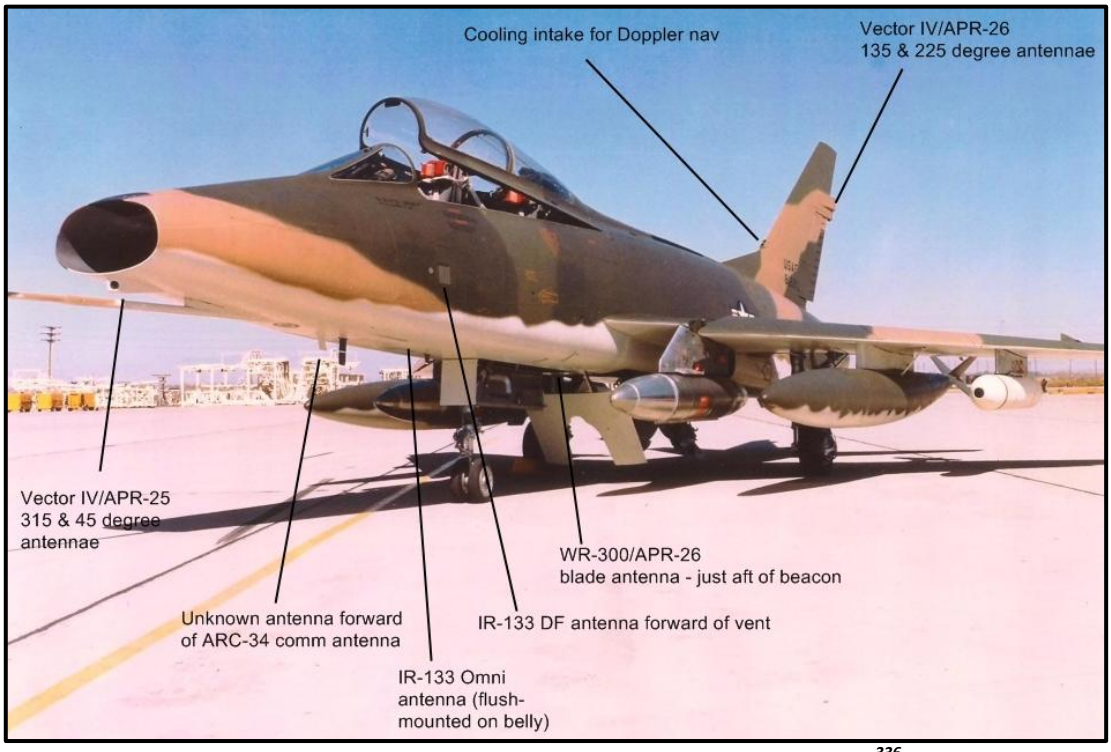
[331] *Az első légvédelmi rakéta által okozott veszteségre Vietnámban 1965 július 24-én került sor, egy F-4C Phantom II veszett oda. A történet abból a szempontból különleges, hogy Richard Paul Kerin százados, a gép fegyverzet operátor tisztje a II. világháborúban is részt vett, másodpilótaként szolgált B-17-en, gépének lelövésekor 1944 szeptemberében esett fogságba. A háború utáni leszerelések és pilótahiány miatt újra belépett a Légierőhöz és átképezték F-86, F-100 majd végül F-4 típusra, a 11. bevetésén lőtték le. Túlélte az ismételt lelövést és fogságba esett, de a szabadulásra ezúttal nem kilenc hónapot, hanem majdnem 9 évet kellett várnia, 1973 februárjában engedték szabadon. 1976-ban vonult nyugdíjba.*

[332] https://www.youtube.com/watch?v=lUW9_RWqsWk

[333] http://phantomphacts.blogspot.hu/p/usn-ew-equipment.html
http://www.designation-systems.net/usmilav/jetds/an-apr2aps.html *Lista az amerikai eszközökről.*

haladó repülőgéphez képest amúgy is változik a sugárforrások helyzete. Az antennák nem fémes anyagú, elektromágneses szempontból áteresztő burkolat alatt vannak elhelyezve.

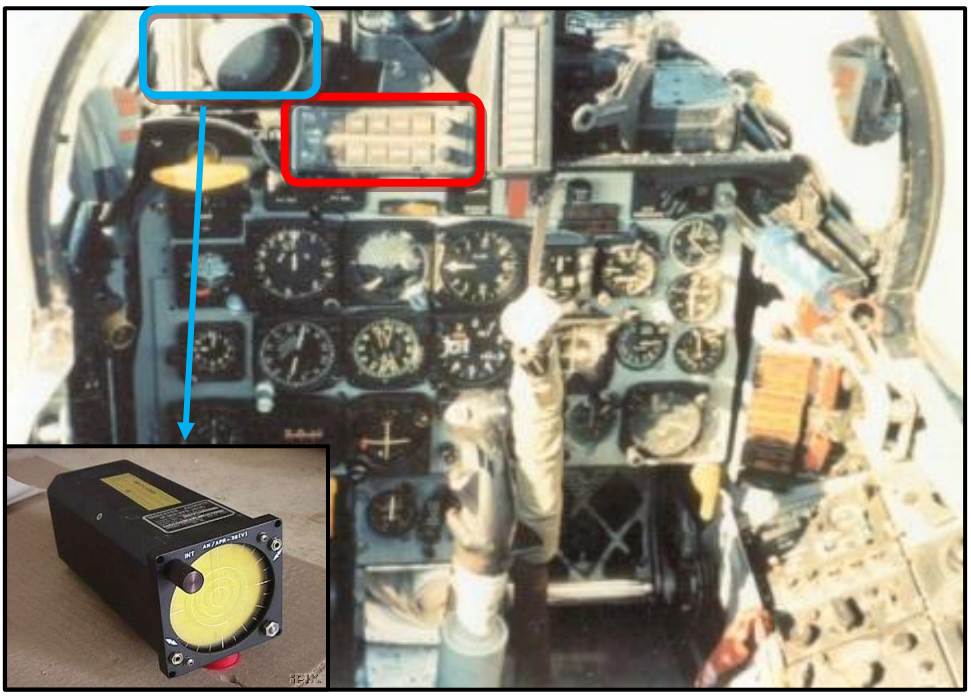
Az első komolyabb mennyiségben hadrendbe állt rendszerek AN/APR-25[334] és AN/APR-26 voltak. Az előbbi S sávban (~1,5-3,9 GHz),[335] C sávban (3,9-6,2 GHz) és részlegesen az X sávban (6,2-10,9 GHz) működő radarokat is képes volt érzékelni, az utóbbi az SzA-75 Dvina rádió-parancsközlő rendszerének dm-es hullámhosszú jeleit volt képes azonosítani (L sáv, 0,39-1,5 GHz). A Weasel gépek ezen felül az IR-133 típusú, nagyobb hatótávolságú S sávban dolgozó rendszert is megkapták.



F-100F Wild Weasel besugárzásjelző-rendszerének antennái.[336]

Megdöbbentő – főleg az első szovjet rendszerek képességeivel összevetve – , hogy már az első Wild Weasel típusok is 2-3 fokos (!) pontossággal képesek voltak meghatározni a SzA-75 légvédelmi rakéta osztályok irányát, viszont a rendszer távolság információt nem adott. Az átlagos harcászati vadászgépek besugárzásjelzői ahhoz már kellően pontosak voltak, hogy nappal az erős füsttel emelkedő rakétákat a pilóták képesek legyenek észlelni vizuálisan, így lehetségessé vált kimanőverezni azokat, de Weasel alakulatok gépei a SEAD feladatkör miatt már a kezdetektől komolyabb berendezéseket kaptak, mint az átlagos harcászati vadászgépek és vadászbombázók.

[334] http://airbase.blog.hu/2017/03/26/osszehangolt_tamadas
https://goo.gl/6kWrN0
[335] https://en.wikipedia.org/wiki/Radio_spectrum#EU.2C_NATO.2C_US_ECM_frequency_designations
[336] http://i40.photobucket.com/albums/e231/bebrown1/F-100FWildWeaseldetails.jpg



F-100F kabinban a rendszer kijelzője és kezelőpultja. A kék keretben a kijelző, a pirosban a rendszer kezelőpultja.

Az első széles körben elterjedt szovjet besugárzásjelző-rendszer az SzPO-10 (Szirena-3M) volt,[337] ennek képességei meglehetősen szerények voltak. A kereső és tűzvezető radarokat meg tudta különböztetni, de a szögfelbontása rendkívül gyenge volt. A lenti képen látható a rendszer kabinban levő kezelőpultja és kijelzője. A kijelző mérete jól látszik a mellette levő csavarok, illetve a kis lámpák méretéből, amik az információt szolgáltatták. A kijelző méretéből sejthető, hogy mennyire vették komolyan a rendszert. Az SzPO-10 nagyjából a fő irányokat tudta megadni, kb. 45 fokos felbontással, [338] ebből az következik, hogy a rendszer az átlagosan szóba jöhető harcászati körülmények esetén szinte semmiféle érdemi információt nem adott a felbontás, illetve a kijelzés fizikai korlátai miatt. Természetesen erről a színvonalról a szovjet-orosz gépek is elmozdultak, de elég szemléletesen mutatja a különbséget az USA rendszereivel összevetve.

Egy magyar MiG-21 pilóta is megerősítette a rendszer hasznosságára vonatkozó részt, ő leginkább az idegesítő szót használta rá. Folyamatosan sípolt és jelzett még egy viszonylag szerény méretű harcászati gyakorlaton is szinte minden irányból. Ez alapján fogalmat lehet alkotni arról, hogy egy nagyléptékű konfliktusban mennyi haszna lett volna a rendszernek...

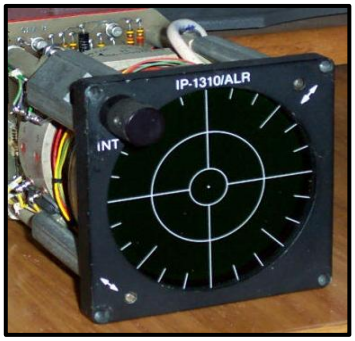
SzPO-10 besugárzásjelző-rendszer kijelzője és kezelőpultja. Nem túl összetett és kifinomult rendszer.

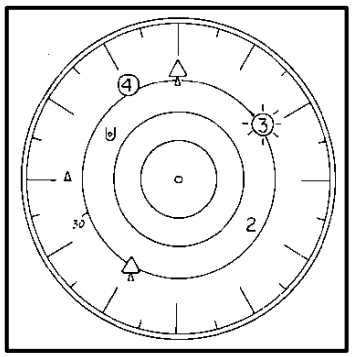
[337] http://oleg-tulin.narod.ru/index/0-28
[338] http://www.secretprojects.co.uk/forum/index.php?topic=48.0

Ahogy fejlődtek a besugárzásjelző-rendszerek azok képessé váltak megkülönböztetni a különféle típusú sugárforrásokat. Kezdetben csak a főbb típusokat és üzemmódbeli eltéréseket – kereső, tűzvezető, vagy repülőgép-fedélzeti radar kereső és célkövető/célmegvilágító üzemmódban – idővel végül a konkrét típust képessé váltak felismerni, illetve a sugárforrás irányát is egyre pontosabban határozták meg. A forrás távolságát a jelerősség alapján képessé váltak becsülni az ismert rendszerek esetében, pontosabban, mint a korábbi változatok.

A szovjet-orosz besugárzásjelző-rendszerek színvonala a hidegháborúban jellemzően alulmúlták az amerikai vadászgépeken használt eszközökét. Az USA 4. generációs gépein, illetve az F-4G típuson már a '70-es évek végétől kezdve olyan rendszerek üzemeltek, amik szinte mindegyik követelménynek képesek voltak eleget tenni valamilyen szinten. Ezzel szemben a szovjet 4. generációs vadászgépeken használt SzPO-15 csak a főbb radar típusok azonosítására képes, illetve azok irányának megadására 20-40 fokos pontossággal elülső légtérben, hátsó légtér irányába a felbontás még ezt a szintet sem érte el.

Az SzPO-15-ön a kijelzés módja is elég „oroszosra” sikeredett, továbbra is felvillanó lápmákkal dolgozott a kijelző, holott az amerikai gépeken már a kezdetektől katódsugárcsöves kijelzőkkel, kisméretű TV képernyőkkel volt ez megoldva, lásd a linkelt videón látható módon.[339]





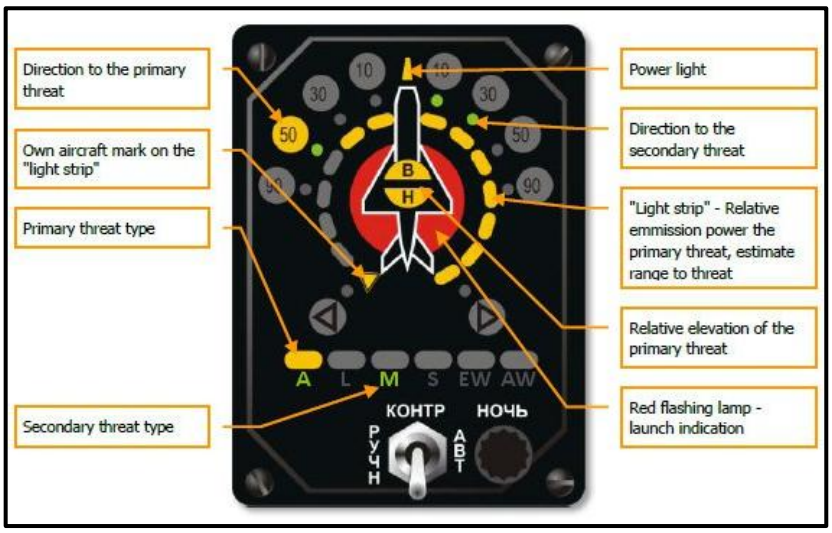
A katódsugárcsöves kijelzőn egyszerre több szimbólum eltérő távolságban jeleníthető meg, az egyes szimbólumok az észlelt radarok típusait, üzemmódját és a fenyegetettség mértékét (távolság becslés) ábrázolják. Az érzékelt irányok és a fenyegetettség mértéke könnyen leolvasható a kijelzőről. (Szűrés természetesen beállítható, amennyiben túl sok szimbólumot jelenít meg a rendszer.)

Balra fent az AN/ALR-56 rendszer kijelzője látható kiszerelve, az alatta levő ábrán egy elképzelt megjelenítés különféle szimbólumokkal. Az SzPO-15 kijelzőn ezzel szemben számtalan lámpa leolvasása szükséges, ahhoz képest, hogy csak elsődleges és másodlagos fenyegetés kijelzése történik meg. Az SzPO-15 rendszer kijelző panelje a lenti ábrán látható.

Az alsó hat lámpa és az alatta levő betűk felvillanása a radarok típusát jelzi (elsődleges és másodlagos), és ehhez villannak fel az irányok és a jelerősség mutatók, a rendszer természetesen rakétaindításra is figyelmeztet.[340]

[339] https://www.youtube.com/watch?v=yKq11SHZZ5A
https://www.google.com/patents/US4176468

[340] *Az rejtélyes, hogy ha két eltérő irányból érkezik rakéta, akkor azt hogyan jelzi ki a rendszer, mert egyszerűen ehhez nincs elég lámpa a panelon.*



Az is elég furcsa megközelítés, hogy míg az első 4. generációs szovjet vadászgépeken a kijelző periférikus helyen van elhelyezve, jobbra lent térd magasságban, ezzel szemben az amerikai és nyugati tervezésű vadászgépeken és vadászbombázókon az indikátor mindig szemmagasságban van elhelyezve, tehát egy pillantással szemügyre vehető. Ez logikus, így nem vonja el a pilóta figyelmét hosszú időre a kijelző megtekintése. A besugárzásjelző-rendszer kijelzőjének elhelyezése erősen arra utal, hogy az rendszer által szolgáltatott információkat kiemelten fontosnak tartja a nyugati tervezési filozófia, ezzel szemben a szovjet vadászgépeken még a ’80-as években sem tekintették annak.

Az újabb orosz gépeken a kabin belső elrendezése már a korszerű elveket tükrözi, követik a ma elterjedt *„glass cockpit”*[341] trendet. (Ezekből a vadászgépekből és vadászbombázóból viszonylag kevés van rendszerben az Orosz Légierőn belül, ezek túlnyomó része exportra készült eddig.)

MiG-29 kabin, az elterjedt változatok ezzel vagy ehhez nagyon hasonló kabin-elrendezéssel bírnak. A besugárzásjelző jobb oldalt lent található.

[341] *A hagyományos körskálás vagy egyéb mechanikus és elektromechanikus műszerek már csak tartalék funkciókat látnak el, szinte teljesen eltűntek a korszerű kabinokból, a legkorszerűbb gépeken minden fontos adat a többfunkciós képernyőkön jelenítenek meg. Ezek a ’70-es vagy ’80-as években még TV képernyők voltak, ebből eredeztethető a „glass cockpit” kifejezés azon repülőgépek esetén, ahol már csak ezek a kijelzők az elsődleges megjelenítők és minden más műszer csak tartalék funkciót lát el.*

F-15A kabin, besugárzásjelző jobb oldalt fent. A kijelző nagyméretű, jól látható helyen van.

F-16C kabin,a besugárzásjelző bár kisebb méretű, de jól látható helyen van, illetve ezen a típuson a többfunkciós kijelzőn is megjeleníthető a besugárzásjelző-rendszer kijelzőnek a képe nagyobb méretben.

A fent felsorolt képességek (típusok azonosítása, távolság becslése, könnyű értelmezhetőség) ma már alapvető elvárásnak számítanak, de az ehhez szükséges „elektronikus könyvtár” felépítése nem egyszerű feladat, a naprakészen tartása különösen nehéz. A hidegháború alatt a két nagy katonai tömb országai rendszeresen összeakaszkodtak a helyi háborúkban, de békeidőben is kóstolgatták egymást a szembenálló felek, így lehetőség volt felépíteni és relatíve frissen tartani a „könyvtárat”. Az egyes radarok kisugárzása majdnem olyan egyedi, mint az ujjlenyomat, „csak” megfelelő hardver és szoftveres háttér szükséges a felismeréshez, osztályozáshoz, illetve a fent említett elektronikus könyvtár megalkotásához.

Ezen a területen is kiütközött a nyugati és szovjet oldal közötti fejlődésbeli eltérés a digitális technika és számítástechnika terén. A ’80-as évekbeli szovjet-orosz rendszereknek az elektronikus könyvtára a csapatoknál nem, vagy csak körülményesen volt bővíthető, erősen hardveres megközelítésű volt. Az amerikai (és nyugat-európai gépeknél is többnyire) a szoftverfrissítéssel való képességbővítés uralkodik már’80-as évek eleje óta, amikor is elterjedtek a programozható mikroprocesszoros számítógépek, memóriák és megfelelő kapacitású egyéb háttértárak.

Itt sokan megvádolhatnak azzal, hogy lenézem az szovjet-orosz elektronikát. Ez nem így van, csak egyszerűen be kell látni, hogy körülbelül mire volt képes a szovjet elektronikai ipar és mi a realitás főleg úgy, hogy a hidegháború vége mennyi folyamatban levő fejlesztést kaszált el. Már a Szovjetunió összeomlása előtt is csak töredék forrásokból dolgoztak az USA-hoz képest. Csodák nincsenek és a COCOM lista sem viccből létezett, nem merő passzióból próbálta a Szovjetunió ott megkerülni azt, ahol csak tudta a KGST országok bevonásával és különféle fedőcégek alapításával külföldön.

A besugárzásjelző-rendszerek azonban a digitális technika elképesztő fejlődése ellenére nem 100%-ban megbízhatóak. A megbízhatóság alatt nem a rendelkezésre állást, hanem az adott jelforma pontos azonosításának képességét értjük illetve azt, hogy hogy mi az, amit a rendszer érzékel és, hogy a vett jelet miként kategorizálja.

A besugárzásjelző-rendszerek által szolgáltatott információk bizonytalanságának több oka is van. Egyes típusok esetében még a ’80-as években nem volt megoldott az interferencia szűrés, saját üzemelő radar kisugárzása mellett a besugárzásjelző nem volt megbízható, vagy egyenesen használhatatlan volt.

A másik ok a besugárzásjelző-rendszerek alapvető működési elvéből és a környezet jellegéből fakad. Egy besugárzásjelző-rendszer olyan sokfajta elektromágneses sugárzással találkozhat – különösen manapság – , akkora szórással a jelerősség és hullámforma terén, hogy 100%-ban megbízható rendszer nincs főleg úgy, hogy összevissza sugároz időben rengeteg forrás. Tehát a besugárzásjelző szakaszosan kap adatokat, így kell kihámozni a mért jelekből valami értelmeset.

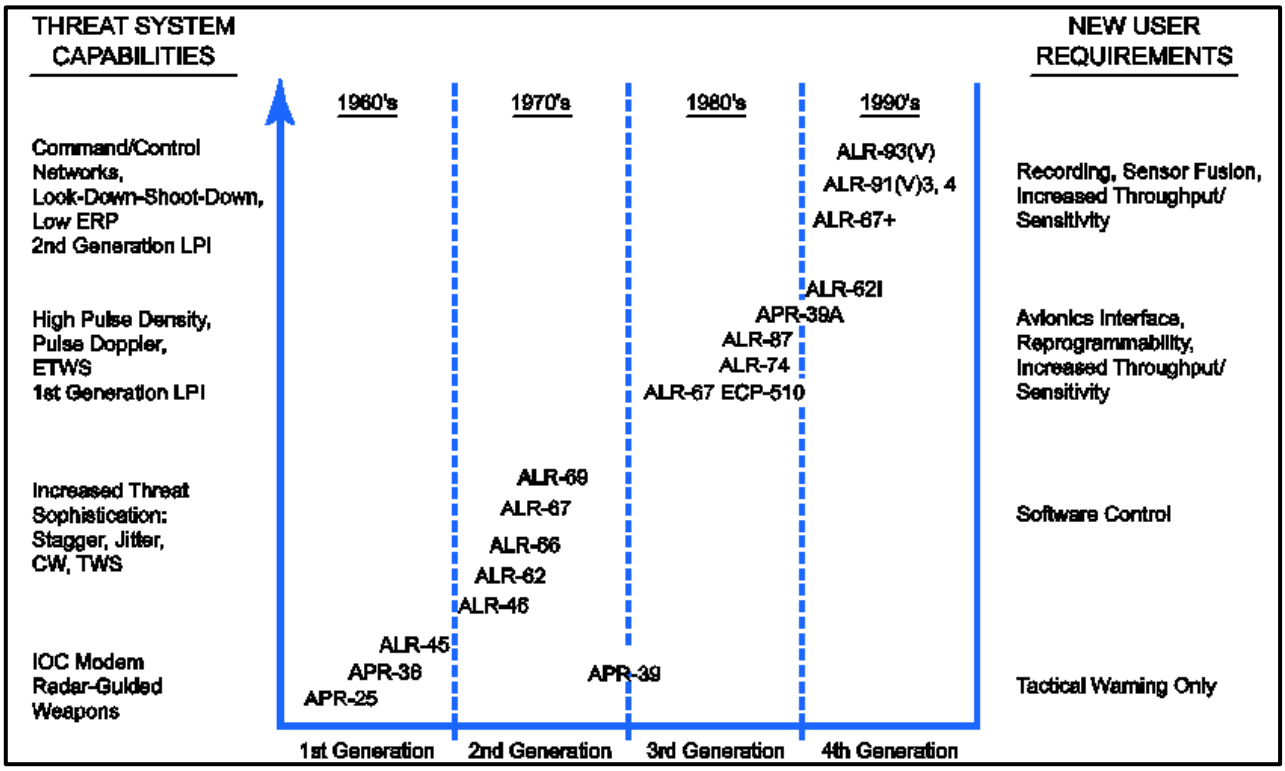
Sokak számára egyszerűnek hat olyan kijelentéseket tenni, hogy a radarját használó alacsony észlelhetőségű repülőgépet a besugárzásjelzővel vett jelek alapján könnyen ki lehet háromszögelni, de ez alapvetően téves, a valóság egészen más a fent felsorolt tényezők miatt.

Több repülőgép esetén a fent felsorolt bizonytalansági tényezők minden repülőgép és azon levő RWR rendszer számára eltérő hely és időfüggéssel jelentkeznek, ezért tűzvezetéshez szükséges adatot nyerni nehéz. A fázisvezérelt LPI radarok korában a probléma még nagyobb, ráadásul minden alacsony észlelhetőségű vadászgép fázisvezérelt radarral bír.

A fázisvezérelt radarok fizikailag hasonló pásztázást nem végeznek, mint a mechanikus legyezésű radarok, tehát a pásztázásnak nincs jellemző főideje a szélső tartományok között, hanem tűnyalábokat használva világítnak meg csak pillanatokra célokat. Ezen megvilágítások időtartamában és rendszerességében sokszor semmiféle mintázat nincs, ráadásul az egyes nyalábok sugárzása eltérő frekvencián is történhet, ami a besugárzásjelző rendszerek számára újabb problémát jelent.

F-35-ön jelenik először a világon az (más típusok esetén csak tippek és szóbeszédek vannak erről),hogy a besugárzásjelzők által szerzett és kielemzett információkkal, adatátviteli rendszerrel ezt egymást közti megosztással háromszögeléssel képesek bemérni nagy sebességű repülőgépeket is. Igaz még az F-35-ön sem tekintik ezt megbízható megoldásnak a fentiek miatt, pusztán csak egy kiegészítő lehetőség információszerzésre. Még a DAS + EOTS párost is megbízhatóbbnak tekintik időjárás függése ellenére, mert nem attól függ a módszer használata, hogy az ellenfél éppen használja-e a radarját vagy sem. Az MCU/MCG adásához szükséges céladat (track) passzív módon történő biztosítása lényegében a szerencsén is múlik a besugárzásjelzős elvi megközelítéssel, erre nem lehet építeni.

A ma elvárt hálózat alapú hadviselés célja, hogy a légtérellenőrző repülőgépek, földi telepítésű radar vagy bármilyen más baráti repülőgép által felderített célok pozíciói adatkapcsolaton keresztül is rendelkezésre álljanak a harctéren jelen levő többi résztvevő számára. Ezért a vadászgépek radarjai szakaszosan és véletlenszerűen világítják meg a célokat, akár nem is a rakétát indító repülőgép sugározza be a célokat. Nem szükséges nagy légteret belegyezni, mint a hidegháború mechanikus legyezésű radarjaival. A rövid időszakokban a PESA és AESA elven működő radarok szűk 2-3 fokos tűnyalábokkal csak a már felderített célok környékét tapogatják le, nem legyezik be a légtér akár 60-120 fokos szeletét, mint a hidegháborús mechanikus legyezésű antennával dolgozó gépei. Ha a légi helyzetkép teljesen vagy részlegesen ismert, akkor a fázisvezérelt radarok csak a felderített célokat világítják meg, tehát a többi gép legfeljebb a főnyaláb gyenge oldalszirmait képes érzékelni, de a legerősebb főnyalábot nem, ha őket nem világítja meg a radar.



Amerikai besugárzásjelző-rendszerek fejlődése a '90-es évekig.

A fenti tényezők miatt nem állja meg a helyét az a kijelentés, hogy egy alacsony észlelhetőségű repülőgép amint használja radarját már elveszti védettségét, a besugárzásjelzővel végzett háromszögelés ezért csak másodlagos vagy sokadlagos eszköz lehet.

4.4.1.5. Infravörös rakétaindításra figyelmeztető rendszerek

A radarvezérlésű rakéták indításának és rávezetésének érzékelése rádióelektronikai úton már viszonylag korán megoldott volt a radar besugárzásjelző-rendszerekkel – legalábbis az USA fegyveres erőinél – , így lehetséges volt azok indítására reagálni. Infravörös vezérlésű rakéta indításakor azonban jellemzően nincs radaros célmegvilágítás. (Vadászrepülőgépeknél sokszor manőverező légiharc radar üzemmóddal fogják be a célt és a befogott célra áll rá a rakéta infrafeje, de ez magát az indítást nem jelzi.) A fentiek következménye, hogy az infravörös vezérlésű rakéták ellen ellentevékenységet végrehajtani a megfelelő helyen és időben problémásabb, és a kis indítási távolság miatt eleve kevesebb idő van erre.

Egészen a közelmúltig nem álltak rendelkezésre megbízható berendezések, amik képesek lettek volna figyelmeztetni a pilótákat a közeli infravörös vezérlésű rakéta indítására, a pilóták évtizedekig csak vizuális észlelés alapján, a két szép szemükkel voltak képesek a kis hatótávolságú infravörös rakéták indítását észlelni. A sikeres és hatékony ellentevékenységhez viszont valamiféle figyelmezető rendszer szükséges. Az infravörös rakéták indítására figyelmezető eszközök gyűjtőneve angol terminológiában MAWS. [342]

Mivel radar/rádió hullámokat nem bocsátanak ki sem az infravörös vezérlésű rakéták, sem azok indító platformjai a rakétarávezetés alatt ezért kézenfekvőnek tűnt az indított rakéták hajtóművét lángját illetve gázcsóváját érzékelni, tehát infravörös vezérlésű rakéta ellen infravörös érzékelővel szállni harcba.[343] Az indítás észlelését elősegíti, hogy a rakéták indítási távolsága kicsi, ellenben a közeledő rakétára a rálátás szöge az emelkedési fázist követően sokszor nem ideális.

Az ilyen rendszerek természetesen bármilyen közeli rakéta indítást érzékelnek, nem a vezérléstől függ, de a radarvezérlésű rakétákat jellemzően nem kis távolságból indítják. Radarvezérlésű légiharc-rakéták kis távolságban indítása rendszeresen előfordult Vietnámban, jellemzően BVR/közeli légiharc átmenetben vagy már menekülő célpontra hátulról, lásd később a 7. fejezetben.

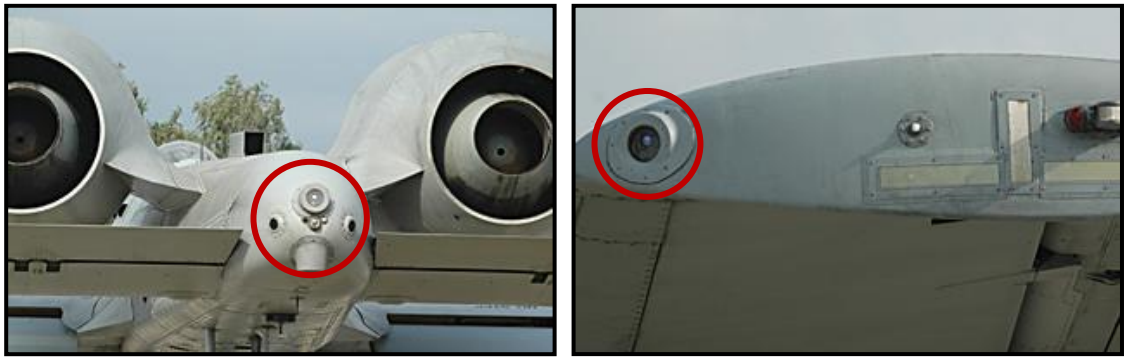
Balra fent F-111A függőleges vezérsíkjában az AN/AAR-34, jobbra fent az EF-111-en az AN/ALR-23.

Az első infravörös vezérlésű rakéta indításra figyelmeztető eszközök a ’60-as évek legvégén tűntek fel, ilyen volt az F-111A típuson az AN/AAR-34 rendszer, ami a vadászbombázó függőleges vezérsíkjába volt beépítve. Ekkor még csak hátrafelé figyelés volt a feladat, szemből indítható infravörös vezérlésű rakéták ekkor még nem léteztek. Az AN/AAR-34 azonban megbízhatatlan volt, rengeteg fals jelzést adott vagy nem jelzett, mikor kellett volna, ezen felül körülményes volt a karbantartása. A felsorolt okok miatt nem érte meg a használata ezért eltávolították azokat. A később kifejlesztett EF-111A Raven elektronikai zavaró gépek már a fejlettebb AN/ALR-23 berendezést kapták meg, ennek ellenére a típusról készült képek

[342] *missile approach warning system – rakéta közeledést jelző rendszer*
[343] *Némi humorral élve „sárkány ellen sárkányfű”...*

számottevő részén a Ravenen sem látni a rendszert, valószínűleg azokról is eltávolították. (Vagy már be sem építették...)

Ez a megbízhatatlanság korszak technológiai színvonalból eredt, ezért még évtizedekig nem erőltették hasonló berendezések beépítését az USA-ban egyetlen harci repülőgépen sem. A megbízható MAWS rendszerek elterjedésére még kb. három-négy évtizedet kellett várni, de ezek immáron már nem csak hátrafelé, hanem körkörösen figyelnek a szemből is indítható infravörös vezérlésű rakéták megjelenése miatt. Ilyen rakéta indításra figyelmezető rendszer volt látható a Kecskemétre gyakorlatra érkező A-10A repülőgépeken még 2008-ban.



A körkörös figyelő rendszer elemei az A-10 Thunderbolt II gépen.[344]

A Szovjetunióban a '70-es évek végén a Szu-24 és Tu-95 típusokon jelent meg a L-082 MAK-UL rendszer, azonban ez már nem csak hátrafelé, hanem körkörösen figyelte a repülőgép körüli légteret. (Ma már a Tu-22M3 Backfire típuson is megtalálható a berendezés, a hidegháború alatt még nem rendelkezett azzal a típus.)[345] A Szu-24-en a törzs felső részére építették be a rendszer érzékelőjét, mert a kis magasságon behatoló vadászbombázónál a rakétákra való rálátás biztosítása így volt nagyobb valószínűséggel biztosítható.[346] A légvédelmi rakéta rendszerek rakétái nagyjából szintben, a vadászgépekről indított rakéták jellemzően felülről érkeztek volna, a szemből indítható infravörös rakéták korában lényegében bármelyik irányból. A rendszer utódja, az L-136 MAK-UFM a korszerűbb harci helikoptereken és a Szu-34 vadászbombázón található meg.

Su-24 L-082 MAK-UL MAWS érzékelője, jobbra a Tu-95 egy változatán használt szenzor. A kettő szemmel láthatóan hasonló.

Az F-35 típuson már korábban említett DAS rendszer az IRST funkciója mellett egyben a MAWS feladatkörben is domborít, ez a többfunkciós megoldás valószínűleg a jövő útja a MAWS/IRST berendezések

[344] http://legiero.blog.hu/2008/08/15/kecskemet_2008
[345] https://thaimilitaryandasianregion.files.wordpress.com/2016/08/img_2754-lj.jpg?w=625
[346] *Hogy a Tu-95-be miért telepítették az számomra homályos, nemigen kellett kis hatótávolságú infravörös rakéták fenyegetésével szembenéznie a US Navy ellen végrehajtandó támadások során, ahol fő veszélyt az AIM-54 + F-14 kombináció jelentette.*

számára, az Eurofighter Typhoon vadászgépbe épített PIRATE rendszer is rendelkezik MAWS üzemmóddal annak ellenére, hogy annak elsődleges funkciója a célfelderítés.

Mivel a PIRATE rendszer látószöge hiába nem fix, nem fed le 360 fokot, ezért amellett további érzékelők szükségesek a körkörös lefedéshez, ami a Typhoon esetében különleges módon valósul meg, mert nem infravörös tartományban, hanem rádióelektronikai tartományban (32-38 GHz) működő kisméretű radarokkal oldják meg a közeledő rakétára történő figyelmeztetést.

Ennek előnye, hogy a hajtómű kiégése után is[347] bármilyen közeledő objektum érzékelése lehetséges, továbbá a rakéta sebesség és távolság paraméterei mérhetőek, ami lehetővé teszi az optimális védekező manőver végrehajtását, a rendszer automatikusan számolja és a HUD-on kijelzi a követendő repülési irányt. A Typhoon DASS[348] önvédelmi rendszer csomag – ennek része a rakétaindításra és közeledésre figyelmeztető rendszer is – különlegessége, hogy lézer besugárzásjelzővel is rendelkezik. Ezzel az IRST rendszerek távolságmérő, továbbá a lézer vezetősugaras vezérlésű[349] rakéták rávezető rendszerére is figyelmeztet.

A DASS radaros MAWS alrendszerének egy érdekes vetülete, hogy amennyiben folyamatosan figyeli a légteret, akkor folyamatosan sugároz ki. A kérdés az, hogy ezt mennyire képesek az ellenfél besugárzásjelző rendszerei érzékelni.

A korábban, a vontatott csaliknál bemutatott diagramon az látszik, hogy 20 GHz felett a légköri elnyelődés több, mint egy nagyságrenddel haladja meg, a 3-10 GHz tartományban mérhetőt, ahol a légvédelmi rakéta-rendszerek, illetve a vadászgépek radarjai működnek. Ez már önmagában limitálja a MAWS felderítési távolságát, viszont abból a szempontból előnyös, hogy ez messze kívül esik minden radar üzemi frekvenciáján, tehát van rá esély, hogy ezt a tartományt nem is figyelik, mert egész egyszerűen felesleges.

Ellenben a használt hullámhossz komoly hátránya, hogy eleve behatárolja a felderítési távolságot, de az antenna kis méretből következik, hogy értelmes teljesítménnyel sugárzás a fél hullámhossz korlát miatt csak ebben a frekvencia sávban lehetséges. Tekintve a kis antenna méretet és ezzel járó széles nyalábformálást számomra kérdéses, hogy mekkora a rendszer maximális érzékelési távolsága különféle méretű rakéták ellen. Még a kis teljesítményt is nagy térrészbe sugározza ki a rendszer, ahogy ez már a radarok ismertetésénél szóba került.

Az infravörös elven működő DAS az F-35-ön a nagy hatótávolságú légvédelmi rakétákat akár 50 km-ről is érzékelheti emelkedő fázisban (Sz-300/400, Patriot lásd a videót erről), erre egészen biztosan képtelen a Typhoon rendszere. A vadászgép felderítő radarja talán még képes lenne tized négyzetméteres radarkeresztmetszetű célok észlelésére ekkora távolságban, de a rendkívül kisméretű MAWS rendszer radarja egészen biztosan nem.

---

[347] *A DAS-ról videók alapján égháttérben a kiégett hajtóművel repülő rakéták követhetőek, valószínűleg emiatt rendelkezik az InSB detektorokhoz képest feletti érzékenységi tartománnyal is az F-35-re telepített rendszer.*

[348] https://www.youtube.com/watch?v=uwXcSrMl-qI *Defensive Aids Sub System*
http://ukarmedforcescommentary.blogspot.hu/p/eurofighter-typhoon.html
http://i4.photobucket.com/albums/y113/airforcefan1/Special%20Report/EF2.jpg

[349] *Lézer vezetősugaras vezérlésről eddig még nem esett szó, annak marginális volta miatt, a föld-levegő fegyvereknél kerül bemutatásra. Alig néhány légvédelmi rakéta-rendszer használja ezt, a svéd RBS 70, RBS 90, illetve az ADATS és Starstreak használja ezt melyek közül csak az RBS 70 számít relatíve elterjedtnek, de összevetve az infravörös vezérlésű légvédelmi rakétákkal kerekítési hiba a nagy összképben.*

A 360 fokos lefedéshez legyezni kell akár mechanikusan, akár elektronikusan, mert a nyalábok nem fedik le a teljes légteret, tehát a legyezés miatt lehetséges, hogy csak látszólagos 360 fokos lefedés van, mert a legyezésnek mérhető ideje van mechanikus megoldás esetén, továbbá több legyezés kell ahhoz, hogy a célpont iránya és sebesség paramétere mérhető legyen.

Ezzel szemben a DAS valóban folyamatosan 360 fokot fed le, nincs szükség legyezésre az infravörös kamera miatt, csak a célpontok infravörös kisugárzása, azokra rálátás, illetve az időjárás korlátozza, de ez utóbbi a DASS MAWS radaros érzékelőit is. Az vontatott csalik magyarázatánál bemutatott diagramon látszik, hogy a rádió frekvenciás MAWS-nál is korlátozó tényező az időjárás, mert a víz – tehát az eső és a vízpára is – számottevő mértékben elnyeli kisugárzott és a visszavert teljesítményt is...

Megbízhatóan működő MAWS hatalmas előnyt jelent, mert az infravörös rakéták indítására semmiféle berendezés nem figyelmeztetett az ilyen eszközök megjelenéséig, csak a pilóta saját vagy köteléktársak éles szeme szúrhatta ki az indítás tényét. Bármelyik esetben reakcióidő és a rádiózás lassúsága miatt vagy sikerült reagálni az indításokra időben, vagy nem, de optimális manőver végrehajtásáról szó sem lehetett, legfeljebb véletlenül. Egy erőteljes forduló végrehajtása, illetve infracsapdák szórása volt a maximum, amit egy ilyen helyzetből ki lehetett hozni.

A sikeres észlelés után tehát a következő feladat a megfelelő ellentevékenység végrehajtása, ha már annak lehetőségét megteremti a MAWS. Alapvetően a következő lehetőségek jönnek szóba:

- A MAWS rendszer elsődleges érdeme, hogy az infracsapdák alkalmazását nagymértékben elősegíti, hiszen jó esetben így megelőző (preventív) szórása azoknak nem szükséges, csak akkor dob a repülőgép infracsapdát (vagy akár azzal együtt pirofórikus töltetet), ha a MAWS rakétaindítást észlelt. A korszerűbb infravörös vezérlésű rakéták ellen a repülőgépek nagy részén nincs is annyi infracsapda, hogy preventív módon akár még csak egy áthúzás idejére kellő védelmet biztosítsanak, mert azok ellen egy igen rövid időszakban szükséges tömegesen alkalmazni azokat.

- Kitérő manőver végrehajtása. Az erre rendelkezésre álló idő igen rövid, a figyelmezetés és annak értelmezése között eltelt idő, illetve a pilóta reakcióideje sokszor nem ad túl sok lehetőséget erre, a repülőgép sebessége, pillanatnyi helyzete a hatásos megsemmisítési zónában alapvető hatással van a manőver sikeres kivitelezhetősége. A zóna szélén nagy sebességgel haladva erre sokkal több esélye van, mint ellenkező esetben.

- Nagyobb repülőgépeken és helikopterek fedélzetén levő berendezésekkel aktív zavarás is lehetséges DIRCM vagy ahhoz hasonló eszközök használatával, lényegében lézerrel elvakítják a rakéták érzékelőit. Lásd később a lentiekben.

4.4.1.6. Passzív infravörös- és radarzavaró eszközök

Első lépésben ismerkedjünk meg a passzív védelemi módszerekkel, ezek jellemzően kiszórható csalik (zavarótöltetek) alkalmazását jelentik, mind a radarvezérlésű, mind az infravörös (+UV) vezérlésű rakéták ellen különféle méretű és típusú csalikat fejlesztettek ki az idők során.

- Az infravörös vezérlés megzavarására használt pirotechnikai eszközök az infracsapdák, angol terminológiában ez a flare gyűjtőnevet kapták. A csalik kémiai reakcióval, égéssel fejlesztenek igen magas hőmérsékletet, így bocsátanak ki intenzív infravörös sugárzást.

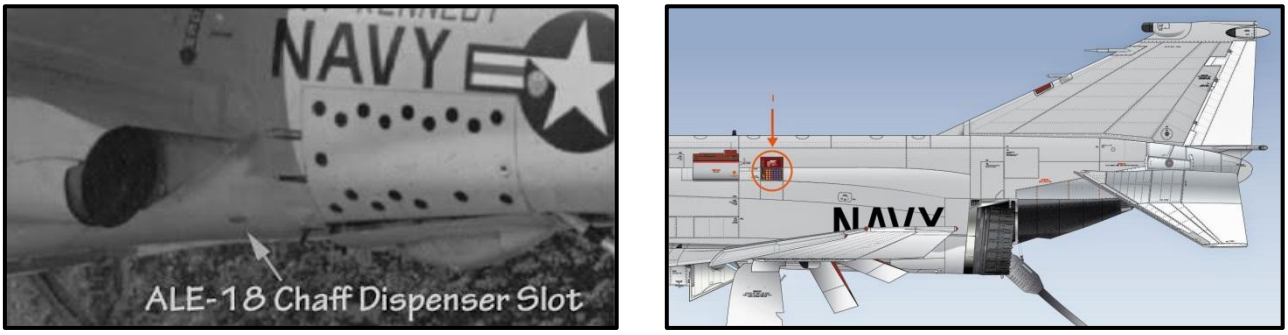
- A kettős, hőmérsékletet mérő érzékelők megzavarására fejlesztették ki a porifór tölteteket, ezek működési elve eltérő az infracsapdától.

A fenti különféle típusú csalik kivető/szóró berendezéskbe/kazettákba (dispenser) vannak betöltve, a csalikat szükség esetén a kellő pillanatban manuálisan, vagy automatikusan és programozottan lehet kidobni/kilőni azokból.

A Vietnámi háború elején lényegében nem léteztek ezek a rendszerek, a háború tapasztalatai adták meg az elterjedésükhöz szükséges hatalmas lökést, mind a harcászati, mind a stratégiai gépeken megjelentek a zavarótöltet szóró berendezések. A 4. generációs vadászgépek, illetve a ’70-es évek csapásmérő és vadászbombázóinak tervezése óta már minden harci repülőgép alapfelszereltségének a részei ezek.

A 4. generációs vadászgépek előtti régebbi harci gépeket is ellátták a korszerűsítések folyamán legalább konténer formájában hordozható zavarótöltet szórókkal, komoly elsővonalas harci gépnek csak az minősült már a ’80-as években, ami rendelkezett zavarótöltetekkel.

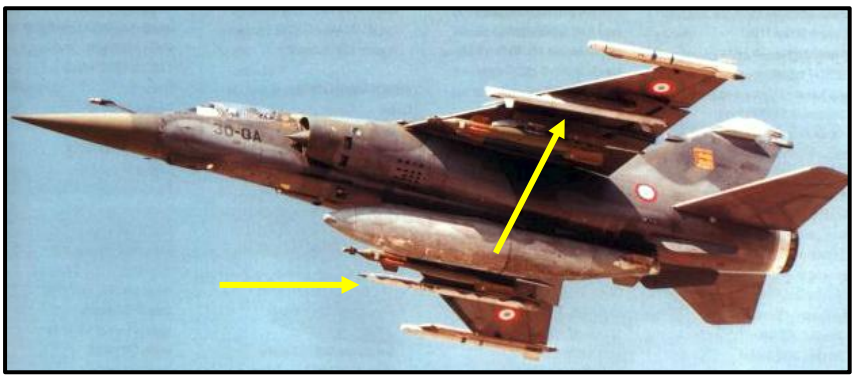
A B-52 bombázókon az AN/ALE-20 rendszer már 1961-től (Phase-II / III ECM Suite), az AN/ALE-18 az A-6A Intruder típuson,[350] illetve az AN/ALE-29 a Haditengerésznél 1966-ban jelent meg az F-4B Phantom II típuson.[351] A ’80-as években a régebbi szolgálatban álló amerikai repülőgépek gyakorlatilag mind rendelkeztek zavarótöltetekkel, a 4. generációs gépeken már az alapfelszerelés része volt.



Balra egy A-6A Intruder ALE-18 rendszerrel, jobbra F-4B ALE-29-cel.

Egyes repülőgépek esetén a hordozott fegyverzetet nem csökkentette zavarótölteteket tartalmazó konténer hordozása, mert eleve olyan függesztési pontokra szánták, ahol csak ezek voltak függeszthetőek, ilyen például a Panavia Tornado típuson használt elektronikus zavaró, illetve a zavarótölteteket tartalmazó konténer. Egyes típusok esetén az utólagos módosítás azonban a hordozható fegyverzet rovására ment, pl. Mirage F.1 esetében.

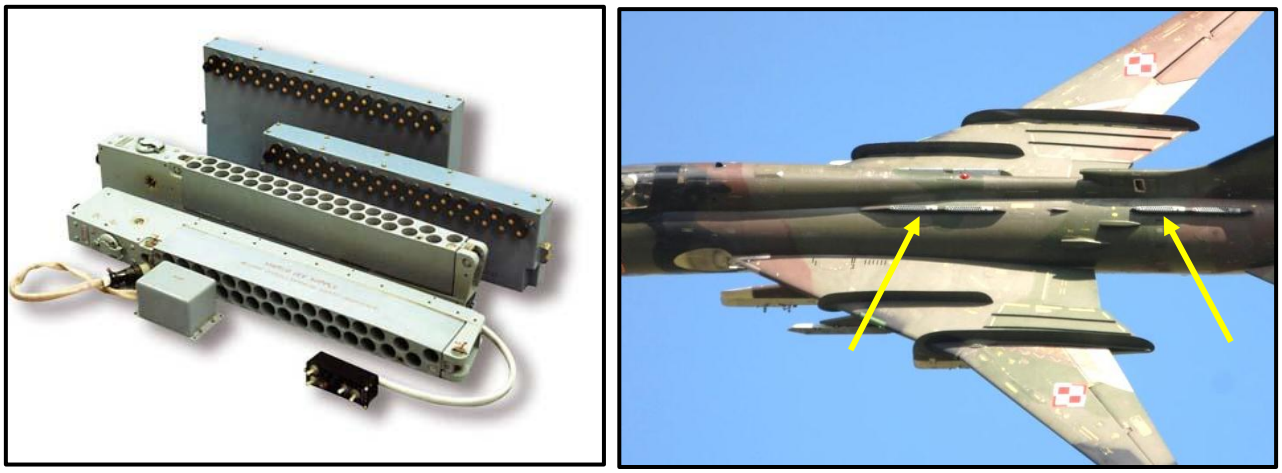
[350] http://tailspintopics.blogspot.hu/2015/09/grumman-6a-vs-6e-intruder.html
[351] http://phantomphacts.blogspot.hu/p/anale-29.html



Mirage F.1 vadászgép Barax elektronikai zavaró (bal szárny) és Phimat zavarótöltet szóró konténerrel (jobb szárny).

Ahol és amikor lehetőség volt rá, ott igyekeztek a repülőgép sárkányszerkezetébe építeni a zavarótölteteket tartalmazó kazettákat vagy valamilyen módon ahhoz rögzíteni, még ha ez a megoldás csökkentette a repülési teljesítményt és hatósugarat, mert az általuk nyújtott védelem messze többet jelentett,mint a néhány százalékos teljesítmény és hatósugár csökkenés. Erre példa a Szu-17/22M3 és M4 vagy a Szu-24, ahol a géptörzs felső részén ezek utólag kerültek beépítésre, ellentétben a Szu-27Sz sárkányszerkezetbe süllyesztett vagy a MiG-29 9.12 függőleges vezérsík előtt áramvonalasan elhelyezett kazettáival. A Szu-17/22 rendelkezett törzse süllyesztett kazettákkal a kabin mögött, de azok kapacitása csak tucatnyi töltethez volt elegendő. Az F-14, F-15,[352] F-16, F-18 és Gripen[353] típusokon a törzsbe süllyesztve kerültek ezek beépítésre, ahogy az A-10-esen is.

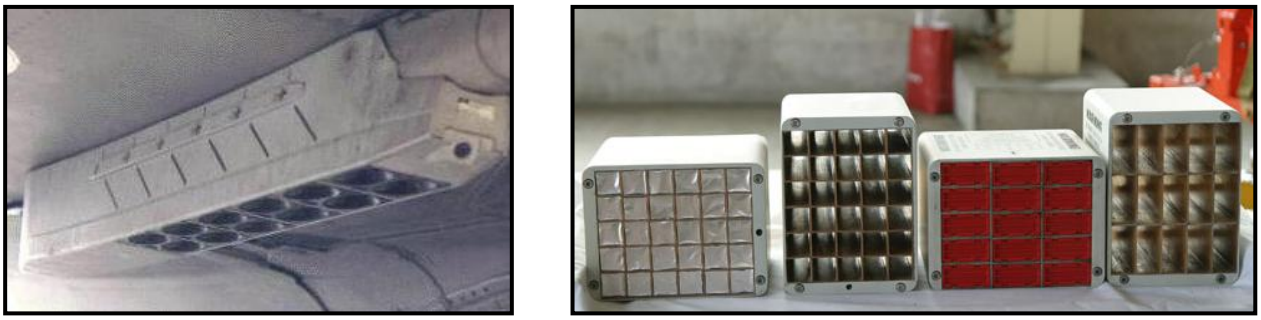
A Szovjetunióban az afganisztáni tapasztalatoknak köszönhetően – saját, afgánok által zsákmányolt vállról indítható rakétákkal, illetve amerikai FIM-92A Stinger típusokkal találták szembe magukat –egyes típusokon drámaian megnövelték a töltetek mennyiségét, a Szu-25-ön megduplázták a készletet, ahol pedig már akkor is százas nagyságrendű volt, a Szu-17/22 vadászbombázók kései változatára 4-8 darab ASzO-2 típusú „gerendát” szereltek fel, amik egyenként 32 db töltet befogadására voltak alkalmasak. A Szu-17/22 típus eredeti konfigurációban mindössze 2x6 töltettel rendelkezett, rendkívül beszédes a fejlesztés nagyságrendje.



ASzO-2 gerendák kiszerelve (balra) illetve a lengyel Szu-22-es csapásmérőn kettes csoportokban felszerelve. (A jobboldali képet Kővár László készítette Ostravában 2012-ben.)

[352] https://htka.hu/2012/12/04/mcdonnell-douglas-f-15-eagle/ *132. oldal.*
[353] https://htka.hu/2014/03/29/gripen-faq/ *9. fejezet*

Zavarótöltetet tartalmazó kazetták a Szu-27Sz (balra) illetve MiG-29 9.12 típusokon.[354]



Kivető rendszer egy svéd A-37 Viggen csapásmérőn (balra), látható, hogy ez utólagos átalakítás, nem volt lehetséges a süllyesztett alkalmazás, mint mondjuk 4. generációs vadászgépeken, például a Sz-27Sz vagy az F-15 esetésben. Jobbra fent az AN/ALE-45 rendszer különféle méretű kazettái (jobbra).

Az fenti képen néhány zavarótöltet kazetta kialakítás látható, hogy kör és négyzetes alakú töltetek is használatosak, igény szerint történik a különböző méretű tölteteket befogadni képes kazetták tárazása.

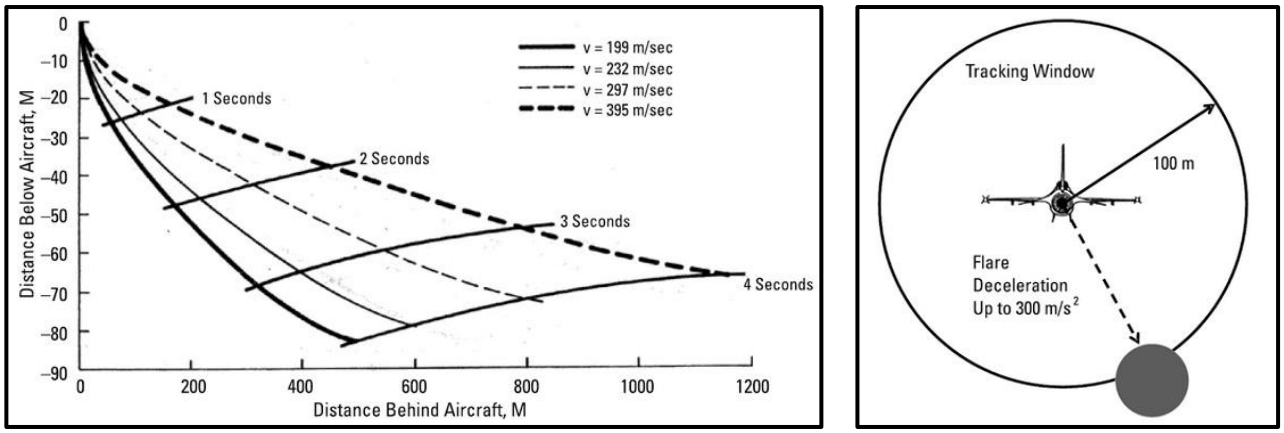
Az infracsapdák elhelyezése a repülőgépeken immáron tisztázott – természetesen helikopterek is rendelkeznek ilyen rendszerekkel –, a következő kérdés tehát az, hogy ezek hogyan működnek. Az infracsapdák magnézium alapú, de nem tisztán magnéziumból anyagot tartalmazó csalik, anyaguk egyfajta keverék, hogy elérhető legyen a legoptimálisabb hőmérséklet, begyulladási idő, stb. Az egyik legnépszerűbb a magnézium, teflon és viton (ez utóbbi is fantázianév a DuPont terméke) keverékéből álló töltet, de ammónium perklorát, antracén és vörösfoszfor is elképzelhető alkotóelemei az infracsapdáknak. Ezen kémiai eltérések miatt léteznek eltérő infracsapdák, egyes típusok egy darabban égnek, de olyan változatok is léteznek, amik több részre szakadnak. Az infracsapda kémiai összetételtől függ az égés stabilitása, illetve az infracsapda infravörös spektruma is.

[354] http://www.airliners.net/photo/Russia-Air-Force/Sukhoi-Su-27S/1103584/L
http://www.airliners.net/photo/Hungary-Air-Force/Mikoyan-Gurevich-MiG-29B-9-12B/1348719/L

Tornado a BOZ-107 konténerrel a jobb szárny alatt infracsapda szórása közben (balra), izraeli F-15, „szétszakadó" infracsapdát szór (jobbra)[355]

Ezeket tölteteket szórják ki a repülőgépek és helikopterek, adott esetben igen nagy mennyiségben infravörös keresőfejek megzavarása céljából. Többféle méretben is léteznek ilyen töltetek, igény szerint tárazhatóak be a gépek, de vannak tipikusan használt és elterjedt méretek, jellemzően az 1-2 hüvelykes méret tartományban. A svédek által kifejlesztett BOL sínekben egyenként 160 db ilyen töltet van, de ezek rendkívül kisméretűek. A töltetek kivetése történhet mechanikusan vagy pirotechnika elven.

Fontos, hogy az infracsapda a kazetta elhagyását (kilövést) követően gyorsan elérje az üzemi hőmérsékletét, erre az infravörös rakéták optikájának látószöge és az infracsapda lassulása miatt van szükség. A rakéta közeledési irányától függően 4-6 másodpercnél tovább nem marad a rakéta látószögében egy infracsapda még akkor sem, ha azokat legmegfelelőbb időben dobják ki. Emiatt elvárás, hogy az infracsapda kb. 0,5-1 másodperccel a kidobást követően már teljes energia kibocsátással égjen. A lenti ábrán látható közelítő becslés arra vonatkozólag, hogy jellemzően mekkora látószöge van az infravörös rakétának a rávezetés végfázisában illetve, hogy az infracsapda mennyire lassul le az hordozó repülőgéphez képest. 2-4 fokos látószögű rakéta esetén a 3 km-es céltávolságnál a lenti képen látható keresési ablak kb. 100-200 méter.

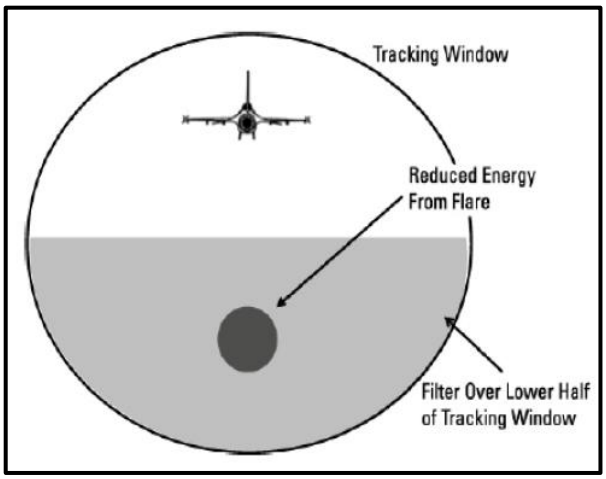


Balra az infracsapda zuhanása és lemaradása, jobbra a infravörös rakéta infrafejének látószöge, illetve a érzékelt terület 3 km távolságból.

A infracsapdák eleinte rendkívül hatásosnak bizonyultak. Az első generációs amplitúdó-modulált vezérléssel bíró rakéták, amik analóg elektronikai elemekből épültek fel, azok már egyesével kidobott csapdáktól is igen nagy valószínűséggel eltévesztették a célt. A korszerűbb frekvencia-modulált vezérléssel

[355] http://www.flickr.com/photos/n-g-p/3688063016/

bíró infrafejek sem jelentettek önmagukban védelmet az infracsapdák ellen, a félvezető elektronika és fedélzeti számítógépek megjelenésével voltak megtehetők az első komoly lépesek ezen a területen.



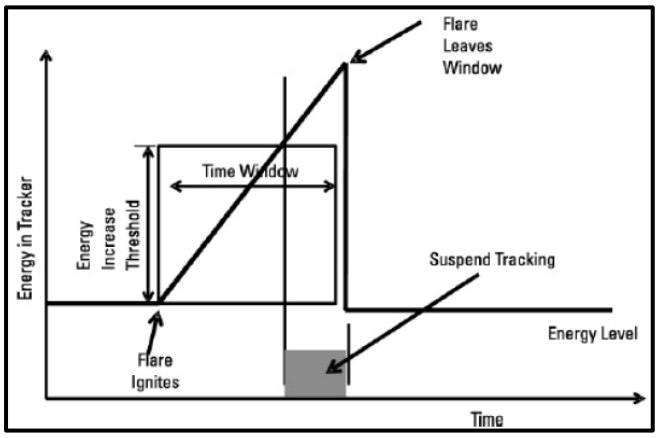
Egy viszonylag egyszerű, de korlátozottan működő módszer a szektoros szűrés (balra fent), ezt alkalmazta pl. a Sztrela-10M. Egy repülőgépről kidobott infracsapda jellemzően lefelé esik a gravitáció miatt, tehát a kereső látószögének alsó része szűrhető bizonyos módszerekkel. A gyengesége ennek a megoldásnak, hogy ez legfeljebb nem manőverező csapásmérő gépek ellen használható és akkor is csak egy rövid időszakban.

A repülőgépek ugyanis képesek manőverezni, emiatt a kidobott infracsapda és a manőverező repülőgép pályája ennek megfelelően egymáshoz képest szinte bármilyen lehet, lásd jobbra fent a képen. Egy egyszerű fél-orsó manőver közben kilőtt infracsapdák az infrafej teljes látószögét képesek telíteni, a szektoros szűrés ebben az esetben semmit sem ér. A linkelt videón [356] látható, ahogy emelkedés közben orsózva infracsapdákat szórva azok iránya a gép haladási irányához képest más irányokba mutatnak. A videón nagyon kevés infracsapda kiszórása történt meg, de semmi sem gátolja meg, hogy a fenti képen látható időközzel kerüljön erre sor, akkor a képhez hasonló végeredményt kapnánk.

A következő videó[357] egy repülőgép szimulátorral készült, ezen látható, hogy ha a repülőgép a süllyedést orsókkal és fordulókkal párosítja az infracsapdák szórását, akkor jól együtt lehet süllyedni az infracsapdákkal úgy, hogy azok a gép alatt és felett is láthatóak a közeledő rakéta szemszögéből nézve. Ez különösen igaz akkor, ha a repülőgépek nem lefelé lövi ki a csalikat, hanem felfelé vagy előre-felfelé vagy előre-lefelé. A szovjet-orosz repülőgépek döntő részén felfelé lövik ki az infracsapdákat, lényegében az összes hadrendbe álló harcászati és hadászati vadászgépen és vadászbombázón, a Szu-24/25/27/30/33/34, MIG-29/35, de a korábbi Su-17/22 típuson is. Ezzel egészen érdekes kontrasztot alkotnak az amerikai gyártású vadászgépek és csapásmérők, ahol mindegyiken lefelé történik az zavarótöltetek kilövése.

Létezik olyan zavarótöltet is, amit előre felé lőnek ki, így tovább marad a rakéta látómezejében és mozgásparamétere jobban hasonlít a célponthoz. Egy videón látható volt, ahol egy F-18 Hornet használt ilyen infracsapdát, napokon belül eltávolították a legnépszerűbb videómegosztó oldalról...

[356] https://youtu.be/V9wJxU0p0Kk?t=5m25s
[357] https://www.youtube.com/watch?v=Z60ptlPMSJI



Egy további lehetséges zavarszűrési módszer az infracsapdák alapvető tulajdonságát használja ki, a rövid idő alatt felépülő lesugárzott teljesítmény változást. A repülőgépek hajtóműve közel sem képes annyira dinamikus változást produkálni, mint az 0,5-1 másodperc alatt felépülő infracsapdáé (elviekben, mert a repülőgép fordulhat és a hajtómű teljesítmény is változhat).

Ezt a jelenséget kihasználva az intenzitás változást mérve digitális elektronikával fedélzeti számítógéppel erre a változásra fókuszálva lehetséges szűrni a zavaró céljeleket. Az AIM-9M rakéta rendelkezett ezzel a módszerrel, a Sivatagi Vihar hadművelet alatt azonban meglepően gyengén muzsikált ez a zavarszűrési módszer. Ennek oka a szovjet-orosz infracsapdák gyatra minősége volt, ami furcsa módon előnyt jelentett, a várnál hosszabb idő alatt érték el üzemi hőmérsékletüket az iraki gépeken használt csalik, illetve azok spektrális képe is nagyobb szórást mutatott, mint a saját gyártású infracsapdák, amik ellen tesztelték az USA-ban az rakétákat. A Sivatagi Vihart követően módosították a rakéták szűrés paramétereit.

Az infracsapdák hatásosságáról a korszerűbb rakéták ellen csak korlátozott információk állnak rendelkezésre az éles bevetések tapasztalatai alapján. Enne több oka is van, de az egyik maga a konfliktusok jellege. A hidegháború alatt a helyi háborúkban a korszak csúcstechnológiás légiharc rakétái alig jutottak szóhoz, de amikor erre sor került, akkor jellemzően a célpontjaik alárendelt helyzetben szálltak harcba és legtöbbször infracsapdákkal sem rendelkeztek.

1982-ben a Falkland-szigetekért vívott konfliktusban az angolok rendkívül sikeresen használták az AIM-9L légiharc rakétát, de a célpontok harcászatilag alárendelt helyzetben voltak, ezen felül infracsapdával sem rendelkeztek, ezért reális és teljeshez kicsit is közelítő képet kapni a rakéta maximális képességeiről nem lehetséges. Az argentin pilóták gyakorlatilag nem is bocsátkoztak kezdeményezően légi harcba, feladatuk az angol flotta támadása volt, a szuperszonikus vadászgépek még az utánégető hajtómű teljesítményt sem használhatták, mert a repülőgépek a hatósugaruk szélén teljesítették bevetéseiket.

Az 1991-es Sivatagi Vihar hadműveletben a legkorszerűbb AIM-9M változattal szálltak harcba a amerikai vadászgépek, azonban a célpontok tekintélyes hányadán továbbra sem volt infracsapda, illetve harcászatilag alárendelt helyzetben harcoltak az iraki pilóták, AWACS támogatással nem rendelkeztek, sokszor egyesével szálltak szembe a koalíciós géppárokkal, kötelékekkel.

A Sivatagi Vihar alatt F-15 Eagle vadászgépek aratták szinte az összes légi győzelmet és minden olyan gépet, ami rendelkezett infracsapdákkal azt amerikai Sasok lőtték le. A megdöbbentő az volt, hogy az akkor legkorszerűbb AIM-9M7 rakéták nagyjából fél tucat-tucat nagyságrendű infracsapda zavarását sem voltak képesek kivédeni még akkor sem, amikor ideálisnak tekinthető célpont ellen volt indítva. Ilyen eset például utánégetővel repülő MIG-25 ellen hátsó fél-légtérből indítás, ahol a MiG-25 infracsapdákkal többször is sikeresen tévesztette meg a rakétákat, és nem ez volt az egyetlen eset, amikor azok sikeresen zavarták meg a rakétákat.[358] A lábjegyzetben említett esetben az infracsapdák minden egyes alkalommal elérték a kívánt hatást. Az 5 darab indított AIM-9M7 rakétákból 3 darabot megtévesztettek az infracsapdák, 1 db (valószínűleg) műszaki hiba miatt nem talált, csak 1 db találta el a célt, amit már amúgy is megsemmisített egy AIM-7M Sparrow rakéta.

[358] https://htka.hu/2012/12/04/mcdonnell-douglas-f-15-eagle/ *256-258. oldal.*

Emlékszünk még a 4.3.4. pontra, ahol fel lett vázolva, hogy azért az AIM-9M nem is volt annyira csúcstechnika 1991-ben a vezérlését nézve? A Sivatagi Vihar tapasztalatai megfelelő indikátora ennek.

A fenti történet annak fényében érthetetlen, hogy az infracsapdák hatásosságáról és kémiai összetételének kapcsolatáról volt némi információjuk. Néhány éve került nyilvánosságra egy tesztsorozat eredménye, ami az amerikai rakéták zavarvédelmi tesztjeiről csepegtetett némi tapasztalatot. Még a '80-as években az utolsó szériás AIM-9P változatok (ez P-4 vagy P-5 lehetett) tesztelése idején az amerikai gyártású infracsapdákat viszonylag jól kiszűrte a rakéta keresőfeje, de a szovjet infracsapdákkal már kevésbé boldogult. Hogy a szovjet gyártású infacsapdákra honnan tettek szert, arról nem szólt a fáma..

Az 1973-ban a 4. arab-izraeli háborúban az infracsapdák elterjedtsége marginális volt – ha egyáltalán volt a gépeken –, hogy ha használták is őket statisztikai adatot vonni nemigen lehet belőle. Az 1982-es 5. arab-izraeli háborúban az izraeli oldalon az F-15 és F-16 vadászgépeken már alapfelszerelés része volt az infracsapda, illetve szemből is indítható infravörös rakétákkal szálltak harcba. Az szír vadászgépek egyetlen légi győzelmet sem értek el, de hogy ennek oka a 4. generációs vadászgépek repülési teljesítménye, az izraeli pilóták kiemelkedő tudása, az infracsapdák és/vagy ezek kombinációja a szerencsével azt már nehéz megmondani. Az szír gépek légiharc fegyverzete jellemzően az akkor már kőkorszakinak számító R-3Sz rakétát jelentette. A MiG-21bisz gépeken már rendelkezésre állt az R-60 – talán még a korlátozottan szemből is indítható R-60M változat is – ezzel érték el az egyetlen találatot egy F-15 ellen, ami bár igen súlyos sérülésekkel, de haza tudott térni.

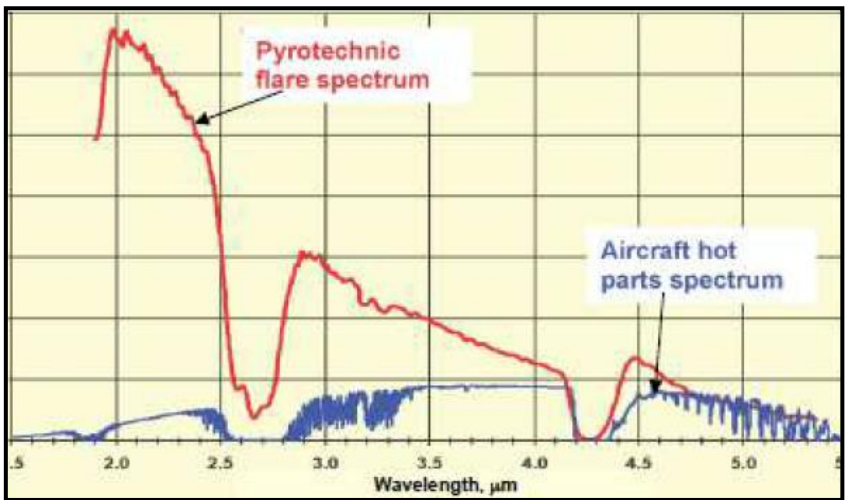
Vietnám felett mindkét oldal használta az akkori csúcstechnikás légiharc rakétát, de azok akkor olyan gyenge teljesítményűek voltak, hogy azok legfeljebb csak sikertelenségre adnak referenciát. Az infracsapdák használata nem volt jellemző háború teljes időtartamára,[359] a konfliktus közben már megjelentek egyes típusokon, de összességében nehéz megmondani, mennyire voltak elterjedtek,

Vietnám alatt voltak bizonyos korlátozások, hogy mit lehet bevetni és mit nem, például az ADM-20 Quail csali drónok használatát nem engedélyezték a B-52 gépeken még a Linebacker II hadművelet alatt sem, annyira titkosnak számított.

A fent ismertetett infracsapdák a pirotechnikai eszközök. Ezek az újabb generációs kettős infravörös érzékelők ellen önmagukban (elvileg) hatástalanok, ez ellen a pirofór zavarótöltetek is szükségesek, amik a hajtóművek üzemi hőmérsékletéhez közelebbi hőmérsékleten „égnek".[360]

A pirofór[361] töltetek nem az magnézium alapú infracsapdákhoz hasonlóan égnek, hanem egyfajta oxidációs folyamat során bocsátanak ki sugárzást,tehát légköri oxigén szükséges a folyamathoz. Barna parázsló színűk van, de ez olyan kis fénykibocsátással jár, hogy még éjszaka sem láthatóak. Harcászatilag nincs jelentősége annak, hogy nem jár fényhatással a pirofór töltet működése. A zavarótöltet lényege, hogy a repülőgéphez sokkal inkább hasonló spektrális zavarás valósítható meg az ilyen töltetekkel. (Lásd bővebben Hpasp által készített *History of the Electro-Optical Guided Missiles* mellékletének 66. oldalán.)

[359] http://www.designation-systems.net/usmilav/jetds/an-ala2aln.html#_ALE
[360] http://www.ordtec.com/FlaresIR.html *A GA9116 típusjelzésű a porifór csali.*
[361] *Pyrophoric angol terminológiában.*



A pirotechnikai infracsapda és repülőgép célpont spektrumának összehasonlítsa.

A helikoptereknél és vadászgépeknél is lehetséges módszer az infravörös kisugárzás csökkentésére, hideg környezeti levegő bekeverése a kilépő gázsugárba. Sugárhajtású repülőgépeknél ez jóval nehezebben oldható meg amiatt, hogy a hajtómű gázsugarának tolóereje hatja előre a repülőgépet. Légcsavaros gázturbinánál könnyebb ezt a módszert használni, ilyen erőforrással üzemelnek a helikopterek. A módszer hátránya, hogy kismértékben a hajtómű teljesítményét is csökkenti. Egy ilyen szerkezet látható a balra egy Mi-24 helikopteren, jobbra fent az AH-64 Apache helikopterre felszerelve. Ezek feladata nem csak a levegő bekeverés, hanem az, hogy a turbinalapátokra való közvetlen rálátást is blokkolják.

A radarok zavarására alkalmas csalik már a II. világháború idején megjelentek. A zavarni kívánt hullámhossztól függő, eltérő hosszúságú szál formájú zavaró anyagok a dipólkötegek (alufólia-csíkok).[362] Angol terminológiában ezek a chaff (szecska) gyűjtőnevet kapták, utalva a hasonlóságra egyes szálas takarmányokra.

A radarvezérlésű légiharc és légvédelmi rakéta-rendszerek zavarására van lehetőség passzív módon, dipól-kötegekkel. Ez a zavaró eszköz egy valamilyen fém vagy fémmel bevont felületű (pl. üvegszál cink bevonattal) szálakból álló töltet vagy méretre vágott szalag, ami kivetés után szétszóródik a levegőben. A

[362] https://en.wikipedia.org/wiki/Chaff_(countermeasure)

szálak különböző hosszúságúak is lehetnek, hogy szélesebb frekvenciatartományban generáljanak fals célokat.

A szálforma azért előnyös, mert így lehet kis anyagmennyiséggel hatalmas visszaverő felületet létrehozni is, „radarkeresztmetszet" szempontjából minél ideálisabb fals célok generálása a fontos. (A radarkeresztmetszettel a 4.4.3. fejezet foglalkozik.)

A chaff passzív zavaró hatásosságáról sincs túl sok adat az infracsapdához hasonlóan, itt is a Sivatagi Vihar hadművelet tapasztalataiból származik a legtöbb elérhető adat, de alig néhány esetre korlátozódik. Érdekes módon a tapasztalatok hasonlóak ahhoz, amit az infracsapdák esetén. A semmiféle aktív zavarórendszerrel nem rendelkező gépek minden egyéb elektronikai támogatás nélkül pusztán manőverezés és dipól-kötegek használatával képesek voltak megtéveszteni (a kis minta ellenére) statisztikailag számottevő mennyiségű F-15C vadászgépekről indított AIM-7M félaktív vezérlésű légiharc-rakétát.

A Varsói Szerződés rendelkezett egy különleges és egyedinek mondható módszerrel passzív rádiólokációs zavar (chaff felhő) létrehozására. Az UB-16-57 nemirányított rakétablokkok nem csak pusztításra alkalmas rakéták voltak betölthetőek, hanem olyan Sz-5P1 típusúak is, amik normál töltetek helyett radarjel visszaverő fémszálakat tartalmaztak. Ezekkel nagyméretű zavarfelhők voltak létrehozhatók egy légvédelmi rakéta osztály, és az azt támadó célpontja között, amivel elvben lehetséges volt a légvédelmi rakéta rávezetésének megszakítása.

Az Sz-5P1 rakéta legnagyobb hátránya, hogy a kisebb repülőgépeken (MiG család) az eleve kis mennyiségű csapásmérő fegyverzetet még inkább korlátozta volna, így ott inkább a hasonló elven működő PRL-AM-GS-23 passzív radarzavart létrehozó gépágyú lőszert tervezték alkalmazni csapásmérő küldetés esetén. Ezeknek a módszereknek az éles alkalmazásáról nincs tapasztalat.

A fejezet végére kívánkozik a zavaróeszközöknek egy hibrid formája, amik a passzív és aktív zavarás határmezsgyéjén mozog. A korszerű elektronikai rendszerek már annyira kompaktak, hogy a zavarótöltetet szóró rendszerekbe betárazható, aktívan sugárzó csali is elfér. Ilyen eszköz például a Britecloud, ennek létezik 2 hüvelyk átmérőjű illetve 2x1 hüvelyk téglalap alakú változata is. Azért hibrid módszer, mert az dipólkötegekhez hasonlóan egyszer használatos kiszórható csali, viszont ellentétben a dipól zavarókkal aktívan sugároz – még, ha csak rövid ideig is –, mint a vontatott ALE-50/55 csalik vagy a repülőgépek elektronikai zavaró rendszerei, még ha az utóbbiaknál primitívebb módon is.

4.4.1.7. Aktív infravörös védelmi eszközök

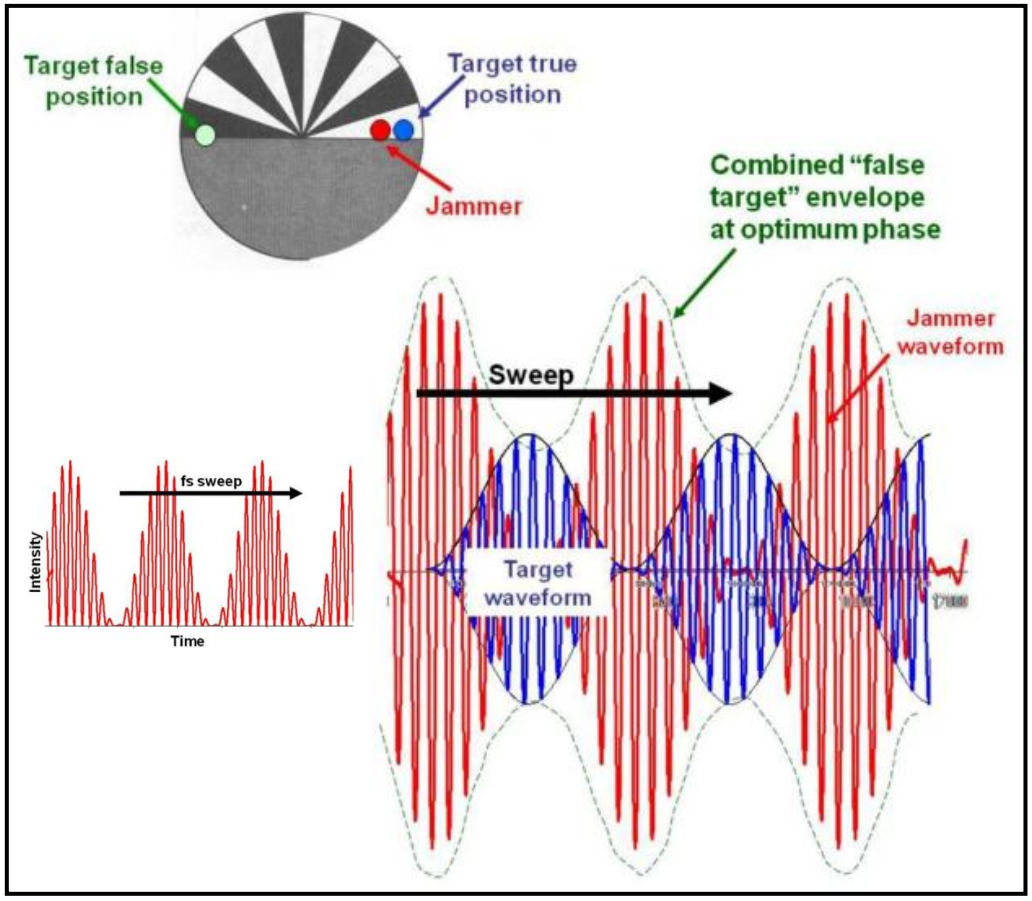
Az infravörös vezérlésű rakéták ellen aktív módon is lehetséges védekezni, nem csak infracsapda vagy hideg levegő bekeverésének használatával Az első módszer már említésre került az infravörös vezérlés részletesebb ismertetésénél „hot brick" vagy „thermal jammer" angol néven. Ilyen eszköz például a Mi-24-en használt L166V-11E Iszapanka cézium lámpa vagy az amerikai AN/ALQ-144, ami szintén helikopteren, illetve a kis sebességgel repülő OV-10 Bronco repülőgépre is felszerelhető.[363] Nagy sebességű repülőeszközökre a körkörös lefedettséget biztosító eszköz annak nagy légellenállása miatt nem telepíthető/építhető be.

Ezek a berendezések modulált infravörös sugárzást bocsájtanak ki, amivel megzavarják a rakéta irányítórendszerét. Ezeket az eszközöket az amplitúdó-modulált (AM) rakéták ellen fejlesztették ki, ahogy

[363] http://wiki.scramble.nl/index.php/Sanders_AN/ALQ-144
https://fas.org/man/dod-101/sys/ac/equip/an-alq-144.htm

az AN/ALQ-144-et is, bár korlátozottan a frekvencia-modulált (FM) rakéták ellen is használhatóak. A korszerűbb kettős érzékelővel ellátott vagy infrakamerával rendelkező infravörös vezérlés ellen hatástalanok sőt, a használatukkal csak megkönnyítik a gépek észlelését, hiszen ezek a zavarók azon az elven alapulnak, hogy erős IR kisugárzásuk van.

Ez a fajta zavarás csak akkor lehet eredményes, ha a fenyegetést jelentő rakéta tárcsájának forgási sebessége legalább nagyjából ismert, így vihető be hibajel annak vezérlésbe. Az eltérő rakéták eltérő tárcsa forgási sebességgel rendelkezhetnek, de ez nem végzetes probléma, a zavaró berendezések több csatornán, illetve egymáshoz képest elcsúszó frekvenciával is képesek zavarni.



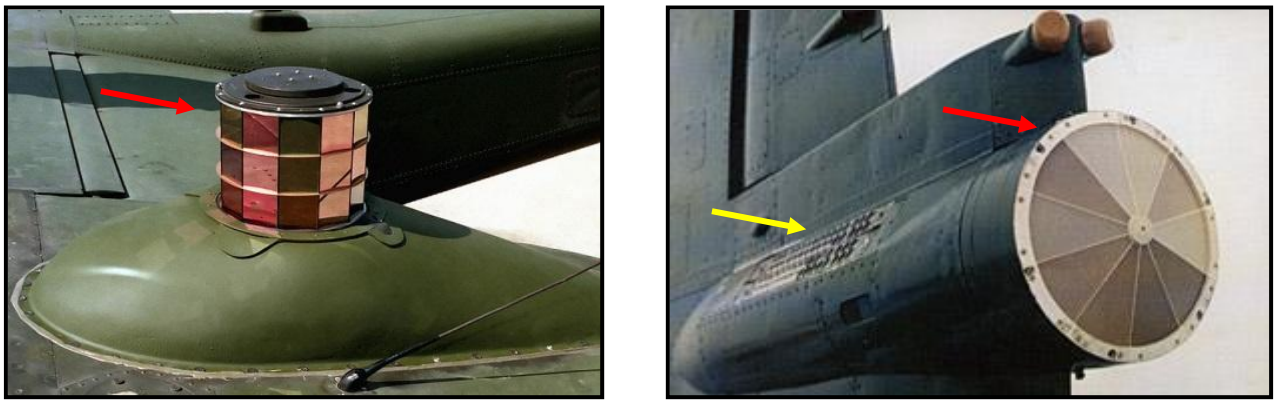
Az amplitúdó-modulált vezérlés alapelve szerint az előállított jel maximum amplitúdója által meghatározott irányban van a célpont, ez a fenti ábrán a kék görbe maximuma. A megfelelő frekvenciával és nagy teljesítménnyel történő jel bevitellel el lehet elérni, hogy a zavaró és a célpont összegzett jele az infrafej számára akkor lesz maximum, amikor valójában a célponttól elkanyarodik a rakéta. Ez a fenti ábrán a szaggatott vonallal jelzett jel optimális zavarási esetben. Tökéletes zavarás esetén a rakéta rossz irányba korrigál és egyszerűen kimanőverezi magát végül az infravörös érzékelő látószögéből, de még ha nem sikerül eltalálni a frekvenciát tökéletesen, akkor is valamekkora hibát visz be a vezérlésbe.

Ezen berendezések legnagyobb előnye, hogy míg az infracsapdák csak igen rövid ideig biztosítanak védelmet, addig ezek folyamatosan üzemelnek és biztosítják a védelmet. Mivel amplitúdó- és frekvencia-modulált vezérléssel bíró régebbi infravörös vezérlésű vállról indítható rakéták elterjedtsége mind a mai napig magas, ezért ezeket az eszközöket továbbra is használják annak ellenére, hogy a legkorszerűbb rakéták ellen (elvileg) haszontalanok.

Az L166 Afganisztánban a szovjet helikoptereken bevált ameddig csak FIM-43 Redeye és zsákmányolt vagy Egyiptomból, izraeli és iráni úton 9K32 Sztrela-2M rakétákkal kellett szembe néznie. A FIM-92A Stinger

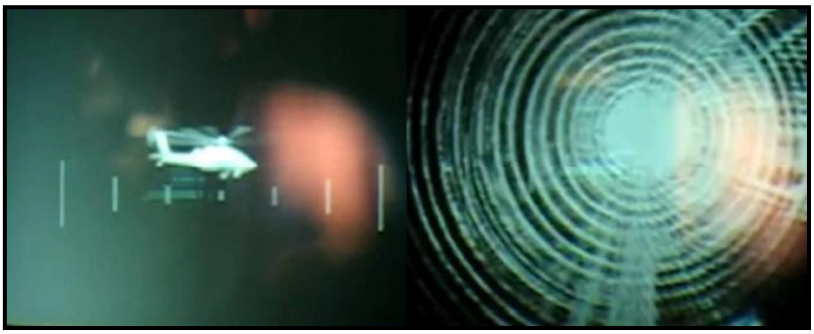
elleni használhatóságáról nincs egyértelmű bizonyíték.[364] Az FIM-92A még frekvencia modulált vezérléssel bírt, az ellen csökkentett hatásosságról már szó esett a IR vezérlések részénél szó esett. Az L166 tehát részben beváltotta a hozzá fűzött reményeket, de bár egyes beszámolók szerint a meghibásodások közötti üzemideje elég rossz volt.

Balra fent az ALQ-114 egy AH-64, jobbra az L166V-11E Iszpanka egy Mi-24 helikopteren.



Balra az ALQ-114-es egy OV-10 Bronco szárnyán, jobbra azL166SI Szukhogruz egy Szu-25T gép farok részébe építve, kicsit előrébb zavarótölteteket tartalmazó kazetták láthatóak (sárga nyíl).

Az aktív védelem következő fokozata a jelenleg használt összes infravörös vezérlésű rakéta ellen védelmet nyújt, a publikus források szerint jelenleg csak az IRIS-T légiharc-rakéta van ilyen zavarási módszer ellen felkészítve. Az aktív védelmet a repülőgép fedélzetére telepített lézeres rendszer képezi, ami megvakítja a közeledő légiharc vagy légvédelmi rakéta keresőfejét. Ilyen zavarásra képes rendszer például a AN/AAQ-24 DIRCM.[365] A rendszer működési elvéből fakadóan az irányított lézeres zavarás csak MAWS rendszerrel együtt működőképes, hiszen ismertnek kell lenni a rakéta helyzetének.



AN/AAQ-24 rendszer a cél vakítása előtt és vakítása közben infravörös kamerán.

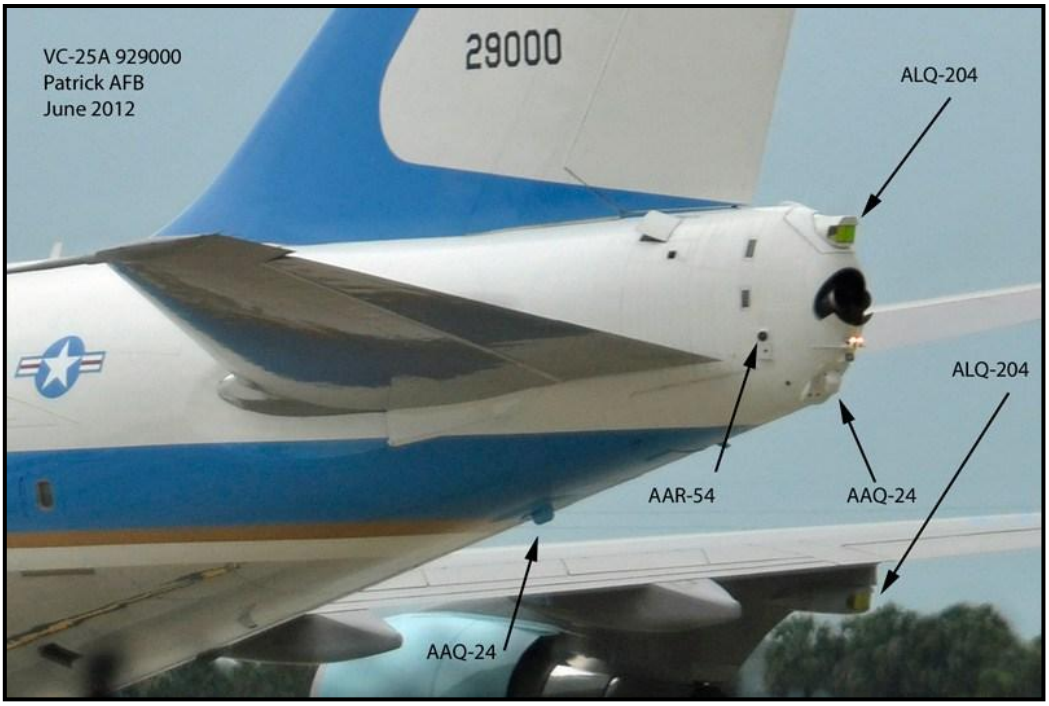
---

[364] http://lhsn.hu/a-mil-helikopterek-hokoveto-raketak-ellen-kidolgozott-harmas-vedelmi-rendszere/
Itt 80% szerepel, de mivel az oldalon több technikai pontatlanság is van, ezért hajlok arra, hogy ez az arány a régebbi rakéták összevont átlagával jöhetett ki.

[365] *Földi telepítésű szenzoron tesztelve egy ilyen rendszer .* http://www.youtube.com/watch?v=7qqQuwRX-ps
Directional Infrared Counter Measure – irányított infravörös ellentevékenység

Hogy az aktív védelem kihívásairól képet alkossunk, arról van szó, hogy egy nagyjából 1,5-2 Mach sebességgel haladó rakétát céloznak meg – bár a relatív közeledési sebesség ennél kisebb is lehet, ha nem szemből vagy oldalról indították a rakétát – ami kb. 7-12 cm átmérőjű. Mindezt egy mozgó repülőgép vagy helikopter fedélzetéről 2-4 másodperc alatt semlegesíteni kell,tehát ebbe az időtartamba bele kell férnie a fenyegetés felismerésének, illetve a célzásnak is. A módszer korlátja, hogy egyszerre csak egy rakétát képes zavarni, ha egynél több rakéta egyidejű zavarása a cél, akkor több berendezés beépítése szükséges, ami még nagyobb méretű repülőgépeken is problémás, ráadásul a rendszer minden, csak olcsónak nem nevezhető.

A vadászrepülőgépeken a lézerrel való aktív védelem egyelőre nem lehetséges, az ehhez szükséges eszközök túl nagyok és nem eléggé áramvonalasok ehhez a „hot brick" zavarókhoz hasonlóan. Teherszállító és egyéb nagyobb méretű gépeken a repülőgépek farok részén lehetséges beépíteni úgy, hogy viszonylag jó körkörös lefedést biztosítson a helikopterekhez képest sokkal nagyobb repülési sebesség ellenére. Katonai teherszállító, tanker és egyéb hasonló méretű és kiemelt fontosságú gépek fedélzetén már alkalmazott az AN/AAQ-24 DIRCM.



Az USA elnöki különgépén, a VC-25-ön levő érzékelők és a DIRCM.

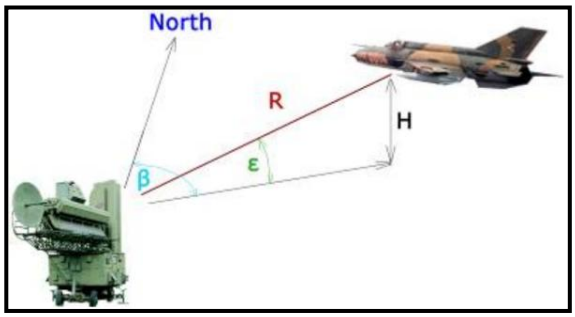
Balra A P-8 Posedion tengerészeti járőrgépen, jobbra egy C-17-esen[366] szállítógépen a DIRCM.

[366] http://legiero.blog.hu/2009/07/14/a_haw_elso_gepe

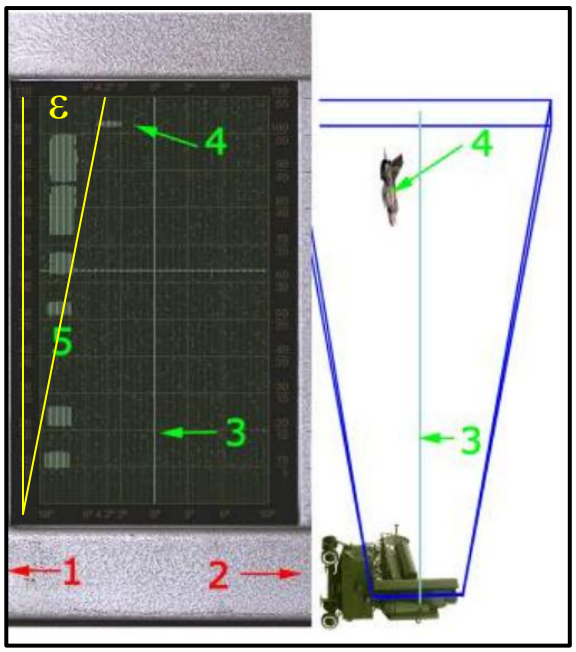
4.4.2. Elektronikai zavarás néhány konkrét példán keresztül

A fentiekben szó esett az elektronikai zavaró-berendezésekről, azok két fő alaptípusáról, illetve azok hordozási módjairól is. A következőkben néhány konkrét példán keresztül történik az elektronikai zavarás bemutatása illetve azok korlátairól és eredményességéről a vietnámi konfliktustól kezdve az 1999-es Allied Force hadműveletig bezárólag.

Az elektronikus zavarással a légvédelmi rendszerek számára a szükséges információk megtagadása vagy meghamisítása a cél, ami nehezebbé vagy akár lehetetlenné teszi egyes üzemmódok és célpontok esetén az automatikus, fél-automatikus vagy akár manuális módon a célfelderítést vagy az eredményes rakéta rávezetést.



Az elektronikai hadviselés komoly sebességbe a vietnámi konfliktus során kapcsolt, az SzA-75 Dvina légvédelmi rakétarendszer megjelenésével azok kezdeti sikereit követően, emiatt az elsődleges és sürgető feladat a Dvina felderítő illetve tűzvezető radarjainak zavarása volt. Az első elektronikai zavarási típusok működési elvének megértéséhez szükséges minimálisan megismerni az SzA-75 Dvina légvédelmi rakéta-rendszer működési elvét.



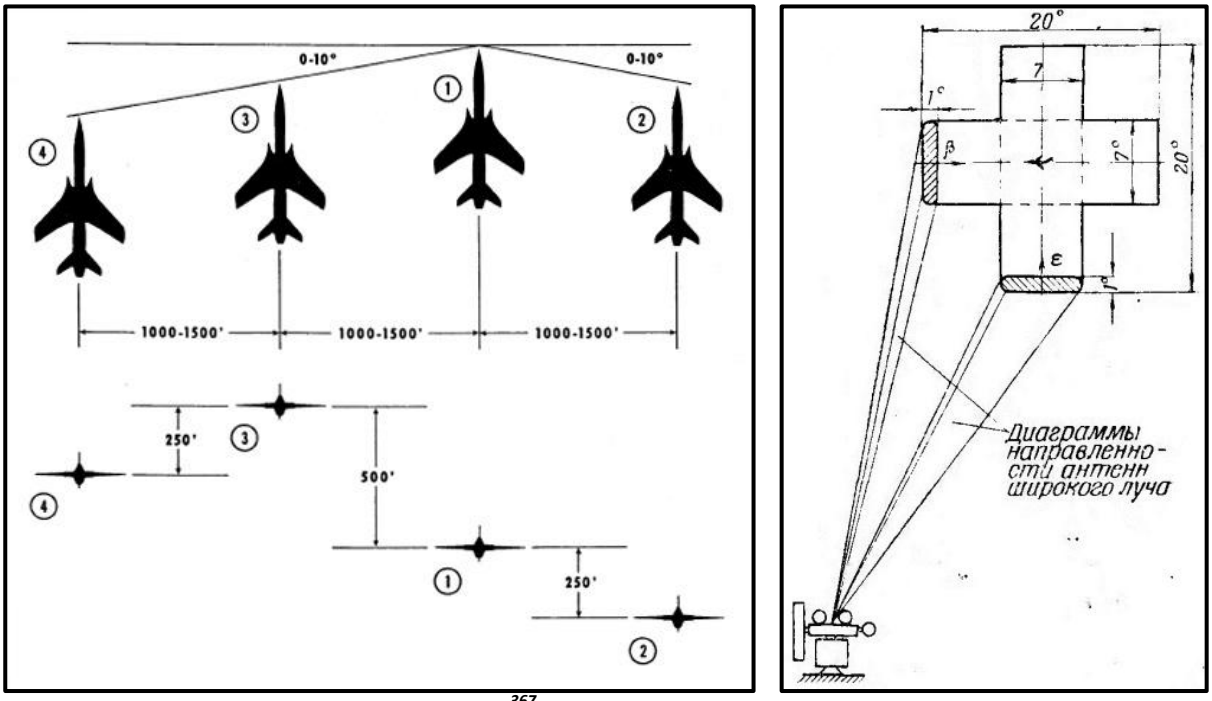
A Dvina tűvezető radarja (rávezető állomás) a céladatokat két kijelzőn jelenítette meg. Az egyiken a helyszög (ε) és távolság, a másikon oldalszög és (β) távolság adatokat jelenítette meg, minden érzékelt célpontot egy lencse formájú jelként ábrázolt.

A SzA-75 Dvina tűzvezető radar indikátorai zavarás nélküli esetben a bal oldalt láthatóhoz hasonlóan néznek ki. Az 1-es 2-es irányban a helyszög (bal-jobb), függőleges irányban a célpontok távolság adat volt megjelenítve, a másik kijelzőn a 1-es és 2-es irányokban az oldalszög függvényében ábrázolta a célokat. A balra levő képen az 5-ös jelsor a talajról visszaverődő zavarjeleket mutatja az indikátor bal szélén, tehát ez a helyszög (ε) és távolságot ábrázoló indikátor.

A pásztázást két antenna valósította meg, oldalszögben 2 fok, helyszögben és 10 fok széles nyalábbal ± 10 fokos legyezési tartományban, tehát az a terület, ahol mindkét szög-információ rendelkezésre állt korlátozott volt, ez csak 10x10 (Dvina) vagy 7x7 fokos (Volhov) négyzetben valósult meg. (Következő oldali ábrán a Volhov rendszerre vonatkozó értékek vannak ábrázolva.) A tűzvezető rendszert alapvetően egy célpont követésére szánták, ha több céljel is megjelent az indikátorokon, azt csak a harcászati helyzetből adódhatott, amikor kötelékben repülő közeli repülőgépeket derített fel a rávezető állomás radarja a viszonylag keskeny pásztázási zónával.

A légvédelmi rakéta-rendszer alapvető feladata, hogy a kezelők dolgát megkönnyítse, hogy ne a személyzet „kézügyességén” múljon a siker. Ez automatikus célkövetést jelent, a rendszer normál esetben automata üzemmódban (ASz) követi a célpontot a hely- és oldalszögben, illetve céltávolságot mér, ezen mért adatok alapján történik a rakéta rávezetés. A zavarás célja első lépésben az automatikus

célkövetésnek és rávezetésnek az ellehetetlenítése, így a pontos automatikus célkövetés (ASz) helyett a három kézikövetővel (helyszög – oldalszög - távolság) manuálisan követték (RSz) a céljelet (zavarsávot) az operátorok. (Kis kormánykerekeket forgatva állították be a rendszer számára a fenti hármas értékeket.) Az indikátoron megjelenő adatok alapján az operátorok kézileg, becsléssel állították be a célpont lehetséges helyzetét, a rakétát ez alapján irányította a rendszer, ami a célponthoz kellő közelségbe érve közelségi gyújtó segítségével semmisíthette meg azt.

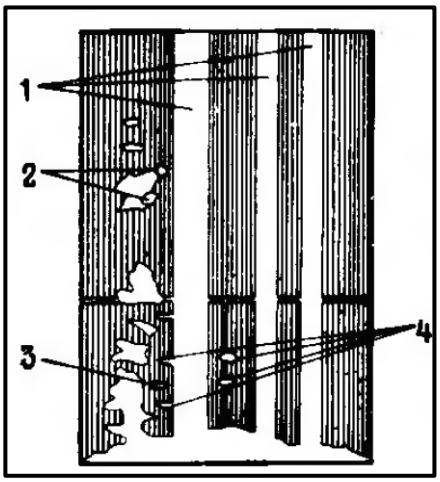


A zavaráskor alkalmazott formáció[367] és az SzNR-75(Fan Song) radar pásztázási zónája.

A kézikövetős célkövetési módszer hátránya, hogy manőverező és zavaró cél ellen az operátorok ügyességétől és szerencséjétől is függött, hogy a találat egyáltalán lehetséges volt-e. Amennyiben a célpont a rakéta becsapódása előtti pillanatban hirtelen és nagy túlterhelésű manővert hajtott végre, az nagyrészt sikertelenné tette a kézikövetők munkáját. (A kis indikátoron a hirtelen változást nehéz volt nyomon követni.) A legprimitívebb zavarás célja tehát a komplexum automatikus célkövetésének megakadályozása, és ezzel a pilóták lehetőségeinek tágítása volt a manőverezéssel történő kitéréssel a rakéták elől. Ebből az is következik, hogy ez csak harcászati repülőgépek számára volt opció, a B-52 számára ez nem jelentett hatékony megoldást. A zavarás alkalmazásához nem volt hátrány, ha a repülőgépen besugárzásjelző is volt.

A folyamatos zajzavar (noise jamming) a távolságban történő célkövetést teszi lehetetlenné, tehát a távolság információ nem áll rendelkezésre a rávezetéshez. A zavarás egy függőleges sávot eredményez a Dvina rávezető állomás kijelzőin a célpont irányában, azonban, ha a célpont egyedül repül, akkor manuálisan követhető (RSz) oldal- és helyszögben, hiszen két sáv iránya mérhető. Vietnámban ezért a vadászgépek és vadászbombázók meghatározott alakzatban repültek (jamming formation), hogy a zavarási sávok az indikátoron összemosódjanak.

[367] *Dr Alfred Price - War in the Fourth Dimension - 58. oldal*



Az ábrán jobbra[368] sematikus ábrázolása látható a zajzavarásnak, a Dvina operátorok az indikátoron zajzavarás esetén ehhez hasonló sávokat láthattak. (A magasság - helyszög indikátor látható az ábrán.)

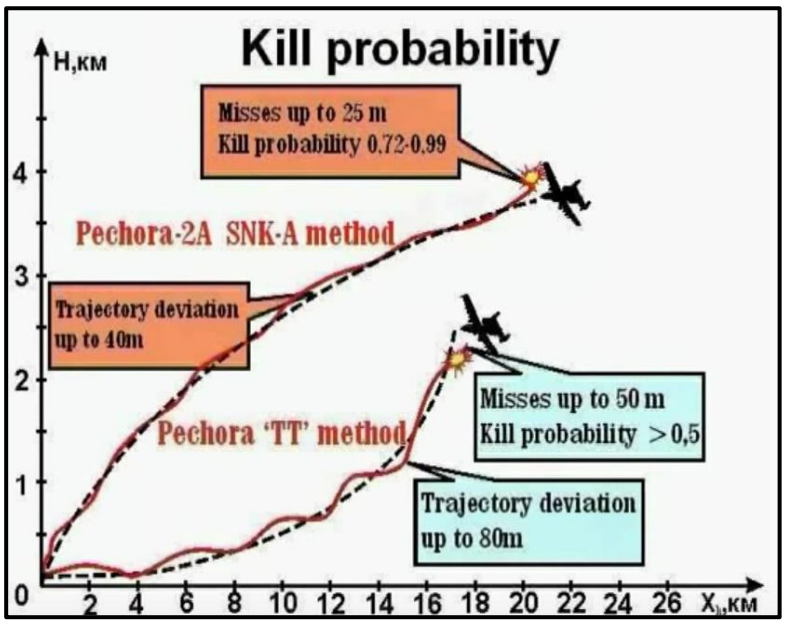
- 1 a zavaró célok függőleges sávként láthatók.
- 2 földről visszavert jelek
- -4 célok amelyek nem alkalmaznak zavarást

A módszer működött, de csak több zavaró repülőgép meghatározott formációja esetén volt csak igazán hatékony. Kellően szoros kötelékben nem csak a zavaró berendezéseket hordozó gépeket védte a zajzavarás, hiszen a sávokban repülő többi célpont sem volt látható a Divna rávezető állomásának kijelzőin. A probléma az volt, hogy a pilótáknak nehéz volt elhinni, hogy amikor feléjük száguld akár 2-3 darab rakéta nagyjából 200 kilós harci résszel, akkor jobb, ha tartják a formációt. Az ember ösztönösen ki akar térni a közeledő rakéták elől és nem abban bízik, hogy a rakéta nem fog találni, mert a „varázsdoboz” a repülőgépeken a helyes formációt tartva megakadályozza azt.

Amennyiben a pilóták kitértek és bontották az alakzatot, akkor a zavarás részben értelmetlenné vált. A zavarást végző egyes repülőgépekre a három pont rávezetés már működött, továbbá a zavaró berendezésekkel nem rendelkező repülőgépeket nem védte az elektronikai zavarás. Annyi haszna azért még ekkor is volt a zavarásnak, hogy a hárompont rávezetés az arányos/fél-előre tartásnál kinematikailag rosszabb – lásd a 4.1.2.2. fejezetben –, ami növelte a rakéta sikeres kimanőverezésnek esélyét köszönhetően a rakéta gyenge manőverező képességének. Zajzavarást az USAF F-4, F-105 gépei Vietnámban a QRC-160-1 konténer segítségével alkalmazták.

Az SR-71 elektronikai zavarás nélkül Sz-75M Volhov komplexumokkal szerencsével leküzdhető célpontnak számított, a maximális zavarás nélküli célsebessége a rendszernek 1000 m/s volt, adott pálya és céltáv esetén lehetséges lett volna leküzdeni a Blackbird-öt is. Elektronikai zavarás használata esetén azonban a három pont rávezetéssel a maximális, nem manőverező célpont esetén is a célsebesség 700 m/s-ra csökkent. Ez a rakéta manőverező képessége, illetve a három pont módszer együttes korlátaiból következik, a „kutyagörbe” pálya esetén a rakéta még a nem manőverező célt sem volt képes lekövetni, mert a végfázisban akkora túlterhelésű fordulóra kényszeríti a rakétát ez a rávezetési mód, amit képtelen végrehajtani. (Lásd később a rendszer bemutatásánál.)

[368] http://historykpvo.narod2.ru/
Боевое применение ЗРВ.(по опыту боевых действий ЗРВ вьетнамской народной армии) - 202. oldal



Balra fent. A fél-előre tartás (SNK-A) és a három pont (TT) rávezetés közötti pontosság különbség a Sz-125 Pecsora rendszernél. A Dvina és Volhov esetén sem volt ez másként. A rakéta rávezetés jóval pontatlanabbá volt, a hiba a duplájára nőtt.

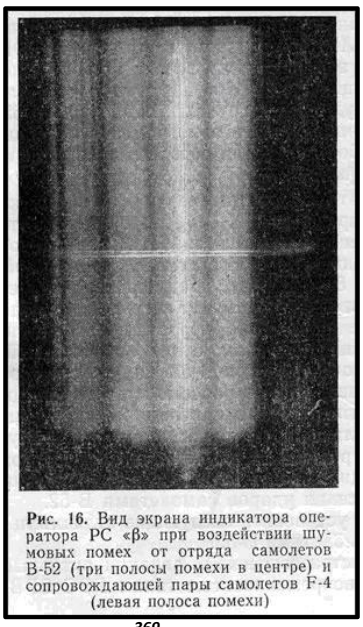
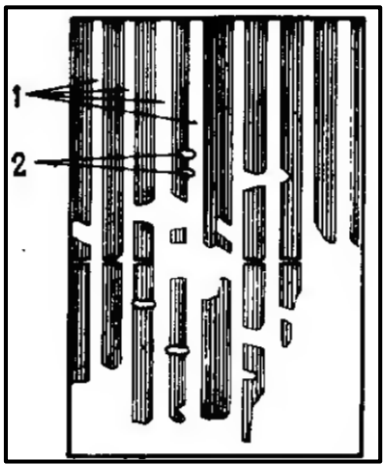


Рис. 16. Вид экрана индикатора оператора РС «β» при воздействии шумовых помех от отряда самолетов B-52 (три полосы помехи в центре) и сопровождающей пары самолетов F-4 (левая полоса помехи)

Jobbra fent. [369] ***Függőleges sávok az SzNR-75 indikátorán, a kép bevetés közben készült.***

A zajzavarás (barrage noise jamming) a csöves légvédelmi tüzérség által alkalmazott SzON-4 vagy SzON-9 típusú radarok ellen is hatásos. A távolság információ megtagadásával a légvédelmi ágyúk esetén az előre tartás kiszámítása nem lehetséges. Míg a távolság-információ megtagadása esetén lehetséges a rádiótechnikai rávezetés légvédelmi rakétával, addig ez a ballisztikus pályán repülő irányítatlan lövedékeket használó légvédelmi tüzérséggel nem, csak optikai távolságmérés lehetséges elektronikai zavarás esetén, ami nagymértékű képességcsökkenést okoz.

1966-ban a CIA-nek sikerült Indonéziából egy komplett SzA-75MK (SA-2B) komplexumot vásárolni, így a rendszer megismerése után pontosan modulálni lehetett zajzavarást (modulated noise jamming). Ezt a zavarási képességet a QRC-160-1A zavaró konténer biztosította, [370] ennek hatása az indikátoron a lenti ábrán látható. [371] Ez a zavarási módszer egyetlen zavarforrás esetén is több sávot jelenített meg az indikátoron.



1 A moduláció miatt, minden egyes zavarást alkalmazó reülőgép 6-8 darab függőleges sávot jelenített meg az indikátoron.

2 Célok amelyek nem alkalmaznak zavarást.

Egyedül repülő zavaró célpont esetén a középső sávot (valós cél)

[369] http://historykpvo.narod2.ru/
Боевые действия войск ПВО и ВВС Вьетнамской народной армии в декабре 1972 г - 85. oldal
[370] *Dr Alfred Price - The history of US Electronic Warfare Volume III - 81. oldal*
[371] http://historykpvo.narod2.ru/
Боевое применение ЗРВ.(по опыту боевых действий ЗРВ вьетнамской народной армии) - 202. oldal

továbbra is eredményesen lehetett követni manuálisan, viszont több zavarógép esetén a sávok mozogtak és összemosódtak nehezítve, erős zavarás esetén teljesen ellehetetlenítve még a kézikövetők munkáját is. Természetesen itt is szükséges volt a zavarást alkalmazó gépek egymáshoz közeli repülése

A QRC-160-1A konténert az USAF AN/ALQ-71 (SzA-75 Dvina ellen, jobbra a képen), és AN/ALQ-72 (Sz-125 Nyeva ellen) jelzéssel rendszeresítette 1967-ben.[372] A konténer számára az szükséges villamost teljesítményt az orrán levő pörgő propellerekkel meghajtott generátor szolgáltatta. A zavarási frekvenciákat a földön, csak felszállás előtt lehetett beállítani, a pilóta számára csak be/ki kapcsoló állt rendelkezésére.

Mivel a Haditengerészet A-4 Skyhawk, A-7 Corsair II és F-8 Crusader repülőgépein nem állt rendelkezésre elegendő hely és elektromos energia forrás a hatékony zajzavaráshoz, így azokon a csökkentett mennyiségű gépágyúlőszer helyére építették be az ALQ-51 válaszimpulzus zavart előállító rendszert. (Az A-4 típuson mindössze 20 lőszernek maradt hely.)

Az AN/ALQ-51 rendszer a tűzvezető radar két oldalszirmába küldött egy-egy válaszimpulzust, de a fő nyalábot nem zavarta.[373] Ezen válasz impulzusok miatt az eredetileg lencse alakú céljel két szélén egy-egy „bajusz” jelent meg, lásd a következő oldali ábrán[374].

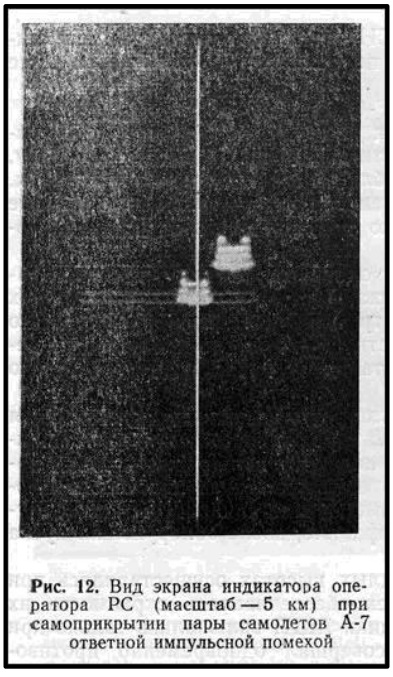


Рис. 12. Вид экрана индикатора оператора РС (масштаб — 5 км) при самоприкрытии пары самолетов А-7 ответной импульсной помехой

Mivel az automata célkövető rendszer a céljel (lencse) közepét annak vastagsága alapján állapította meg, ez használhatatlanná tette az automatikus célkövetést. A Dvina ilyen zavaráskor helytelenül állapította meg, hogy a cél pontosan hol repül, az automatika a céljel szélére célzott. (A mérés közepének „súlypontja” mozdult el.) Az SzA-75 Dvina ebben az esetben is csak a hárompont rávezetésre volt képes, tehát a rakéta kimanőverezése könnyebb volt, de ez a módszer sem volt csodaszer, önmagában nem akadályozta meg a rávezetést, csak annak hatékonyságát csökkentette lényegesen.

A különbség a légierős sávos zajzavaráshoz képes az volt, hogy hiába repültek egymáshoz közel a gépek, rávezetés teljes ellehetlenítése nem volt lehetséges, hiszen a kijelzőt nem tudták sávokkal telíteni, tehát ez a zavarási módszer csak zavaróberendzéseket hordozó repülőgépek számára tágította a lehetőségeket a rakéták kimanőverezésére, de a többi repülőgép számára semmiféle védelmet nem jelentett. Ezt fajta zavarás a szögkoordináták szerinti eltérítő válaszimpulzus zavarjel módszer (Angle deception jamming – inverse amplitude modulation).

Az optikai célkövetést[375] ezen zavarási módszerek ellen találták ki. Ha már nagyjából sejthető volt, hogy merről érkeznek a célpontok, akkor megfelelő időjárási viszonyok esetén a televíziós kamerával meg lehetett találni a célokat – főleg, ha a P-12 körkörös felderítő radart nem zavarták – azokat követve a

[372] *Dr Alfred Price - War in the Fourt Dimension - 74. oldal*
[373] *Dr Alfred Price - War in the Fourt Dimension - 43. oldal*
[374] http://historykpvo.narod2.ru/
Боевые действия войск ПВО и ВВС Вьетнамской народной армии в декабре 1972 г - 84. oldal
[375] https://youtu.be/vuIcJl08sXs?t=5s *Optikai célkövetés Nyeva rendszerrel. A Sz-75 Volhov később ugyanezt a kamera rendszert kapta meg.*

helyszög és oldalszög adatok mérhetőek voltak a rávezető állomás radarjának használata nélkül is. Ez azt jelenti, hogy három pont rávezetéssel célra vezethetőek voltak a rakéták akkor is, ha a rávezető állomás indikátorait teljesen elborították a függőleges zavaró sávok illetve akkor is, ha „bajuszt növesztettek" a céljelek. A haditengerészeti zavarás esetén ráadásul a rávezető állomás csak kis szöghibával követte a célt, tehát könnyű volt optikával megtalálni azokat. Az SzA-75M/MK Dvina "kutyaólas" komplexum (SA-2F) tűzvezető radarján 1969-től jelent meg a optikai célkövetést lehetővé tevő rendszer, ami később az Sz-75M Volhovnál továbbfejlesztésre került. (Lásd később az 6. fejezetben az SzA-75 és az Sz-75 rendszer bemutatásánál.)

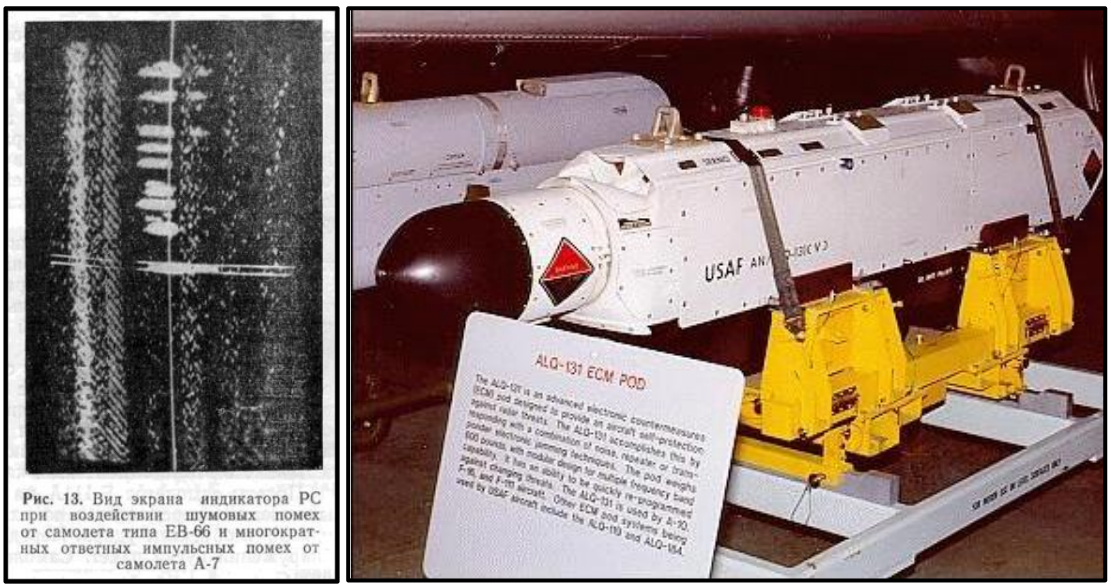
1967-ben az amerikaiaknak sikerült kideríteni, hogy az SA-2B/F változatok rakétáinak válaszjeladói igen keskeny, 20 MHz-en működő frekvencián üzemeltek. A QRC-160-1/1A konténerekkel ez zavarható volt, indítás után az indított rakéták hónapokig egyszerűen lezuhantak. Ameddig a problémára a szovjetek nem találtak megoldást, addig a zavarás észlelése esetén rakéta indítása tilos volt. Az 1969-re bevezetett módosítási csomag során a rakéták válaszjeladóinak teljesítményét négyszeresére emelték, ezzel a szovjetek megoldották ennek a zavarásnak a problémáját. (Ekkor került fel a „kutyaól" is az SzNR-75-re, ez az optikai célkövető rendszer.) A szovjetek a közelségi gyújtó zavarására is felkészültek, noha azt az amerikaiak soha nem próbálták meg zavarni. Az USA fegyveres erők közötti együttműködésének hiányát (és a haderőnemek közötti ostoba versengést) mutatja, hogy 1972-ben a Linebacker II hadművelet során a SAC B-52-esei továbbra is próbálkoztak a válaszjeladók zavarásával, holott a Haditengerészet már évek óta tudta, hogy ez módszer hatástalan. [376].

A QRC-160-2 (AN/ALQ-72) konténereket bár Vietnámba küldték, de használatukra nem került sor, mert az Sz-125 Nyeva rendszer nem került Vietnámba a háború alatt, ezzel az is zavarható lett volna. Az AN/ALQ-101 konténert felkészítették a Dvina és Volhov elleni zavarásra is – a Dvina 10 cm, a Volhov 6 cm-es hullámhosszon működött –, de mivel Volhov sem került Vietnámba, ezt sem használták. 1970-től került rendszeresítésre az AN/ALQ-101 konténer ami 2,6-5,2 GHz közötti tartományban volt képes zavarni a radarokat. (Ezt az F-105G Wild Weasel változaton AN/ALQ-105 típusjelzéssel használták.)

Az 1970-es években a mikroelektronika fejlődése[377] alkalmazásával lehetővé vált a zavarandó impulzus radar típusának (SA-2/3/4/8), a radar frekvencia ismétlési idejének (PRF) ismeretében szinkronizált többszörös válaszimpulzust kelteni egy időben, akár több komplexum ellen. Ezt a RANRAP (RANdom RAnge Program, véletlenszerű távolság) üzemmódot alkalmazza az AN/ALQ-131 (USAF), és az ALQ-126 (US Navy). [378]

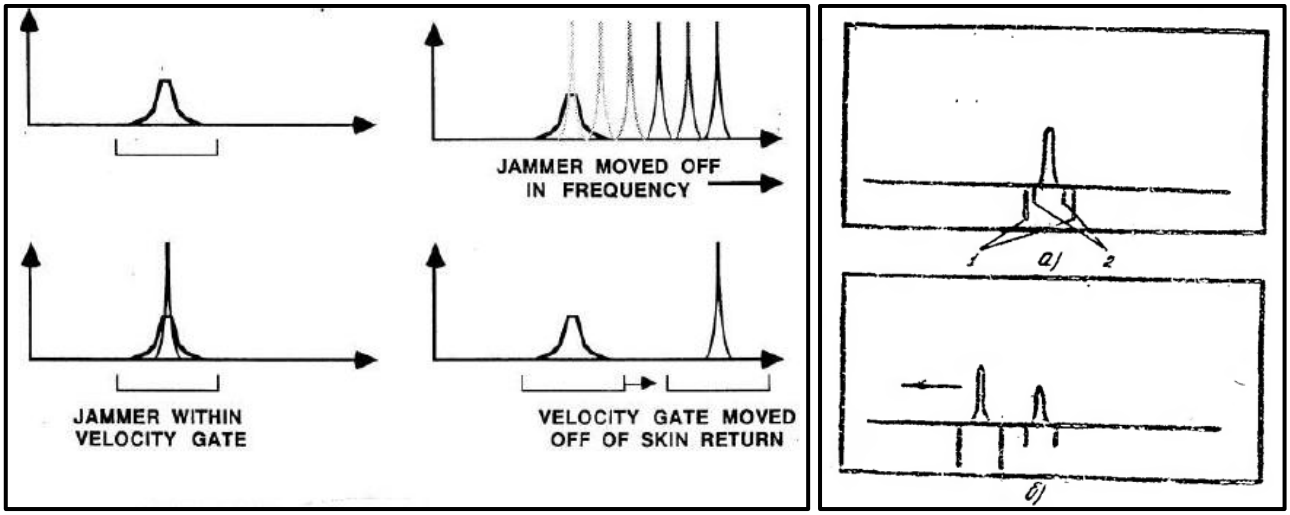
A zavarás hatására az indikátoron többszörös céljel jelent meg az valós céljel közelében fals távolság információt adva a rendszernek, ezzel ellehetetlenítve mind az automatikus és részben a manuális célkövetést is. Természetesen ezt a zavarást már a célkeresés megkezdése előtt alkalmazni kellett, hiszen felkapcsolás után a kezelő láthatta, hogy melyek a fals céljelek az eredetihez képest. Találomra tehát lehetséges volt rávezetni bármelyik céljelre a rakétát manuálisan, de annak esélye, hogy ez a valós céljelre történt, meglehetősen alacsony volt.

[376] *Dr Alfred Price - The history of US Electronic Warfare Volume III - 140-142. oldal*
[377] *Nagyságrendileg 1 MHz-es órajelű processzorok megjelenése.*
[378] *Dr Alfred Price - War in the Fourth Dimension - 146. oldal*



Balra fent RANRAP[379] zavarás, jobbra fent az ALQ-131 zavaró konténer.

A folyamatos hullámú (CW) tűzvezető lokátorok monoimpulzus rendszerű antennáját szögben nem lehet zavarni, minden beérkező jel csak javítja a célkövetés pontosságát. A HAWK légvédelmi rakéta-rendszer 1960-as megjelenésekor az USAF abból kiindulva, hogy előbb utóbb Szovjetunióban is megjelenik hasonló antennát használó légvédelmi rakéta-rendszer kifejlesztette a QRC-249 elektronikai zavaró konténert, ami sebesség szerinti elvivő zavart alkalmazott (VGPO, Velocity Gate Pull Off). A később megjelenő szovjet Sz-200 (SA-5), és a Kub (SA-6) rendszerek ellen ezt a zavarási elvet módszert szánták. [380].



Fent, a jobb oldali ábrán a következő látható. „a)” képen céljel a doppler indikátoron vízszintesen a cél radiális sebessége van ábrázolva, a mért átlagnál van a nagy csúcs. (Az Sz-200 Vega rendelkezett ilyen típusú indikátorral.) Fokozatosan változtatva a zavarójel frekvenciáját, a komplexum sebességben célt követő kapui lehúzhatók a valódi (kisebb) céljelről. A radar és a repülő radiális sebességének megfelelő doppler frekvencia eltolódással zavarjel kerül kiadásra, ami erősebb mint ami a gépről visszaverődik. Ekkor egy kitérő manőver és/vagy hamis céljel megszüntetése megszakítja a légvédelmi rendszer automatikus célkövetését (track breaking). Nem manőverező célpont esetén kérdéses a módszer használhatósága.[381]

[379] http://historykpvo.narod2.ru/
Боевые действия войск ПВО и ВВС Вьетнамской народной армии в декабре 1972 г - 84. oldal
[380] *Dr Alfred Price - War in the Fourth Dimension - 75. oldal*
[381] http://forum.index.hu/Article/viewArticle?a=108409961&t=9120320

Működő 2K12 Kub (SA-6) komplexumra 1987-ben Csádban, Sz-200 Vegára (SA-5B) csak a német újraegyesítés után sikerült szert tenni vagy megvizsgálni azokat az USA-nak, ezért 1986-ban az Operation Prairie Fire hadművelet alatt a US Navy nem zavarta a Vega rendszer tűzvezető radarjait. A pilóták kimanőverezték a rájuk indított rakétákat vagy a horizont alá süllyedtek amikor a líbiaiak Vega rendszerrel indítottak rakétát amerikai gépekre. (Természetesen a fent említett komplexumok impulzus felderítő radarjait továbbra is lehet zavarni.) Izrael 40 db AN/ALQ-119 konténerrel bírt 1973-ban, de csak a Volhov és Nyeva rendszerek zavarására használták, a Kub ellen nem merték azokat használni, a rakéták ellen manőverezéssel védekeztek a pilóták[382].

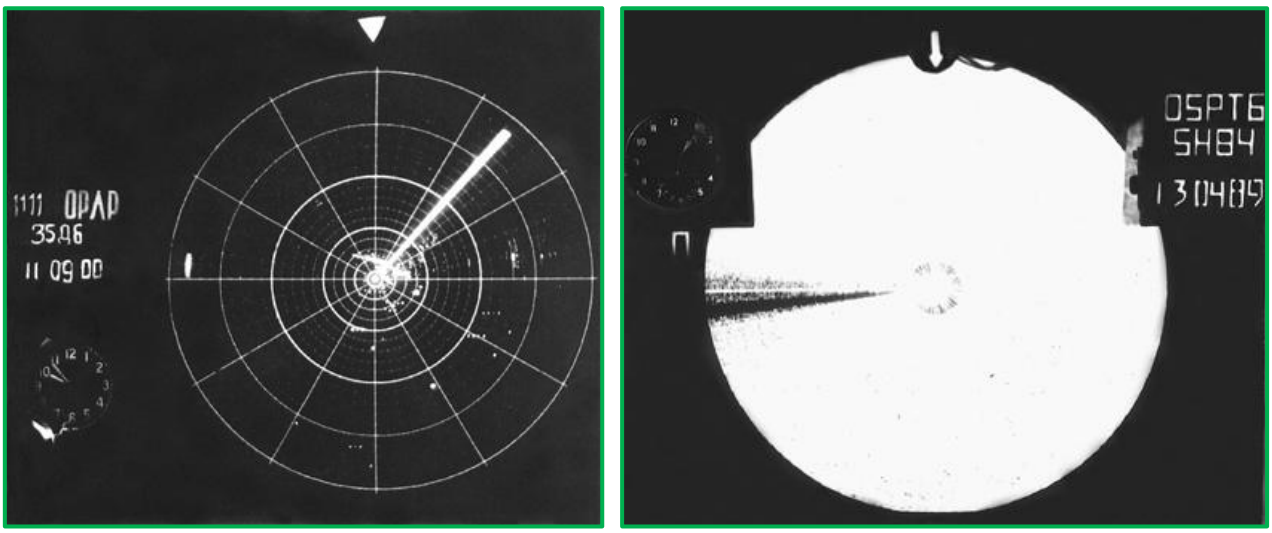
A Sivatagi Vihar alatt lehetséges, hogy használták a VGPO zavarást a Kub rendszer ellen, de erre konkrét bizonyíték nemigen van. A linken[383] levő videón látható a manőverezés, de ez önmagában is hatásos és elégséges lehetett a Kub ellen, főleg hogy az F-16-nál gyengébb repülési teljesítménnyel bíró gépek is képesek voltak kimanőverezni azokat 1973-ban. Ettől persze még lehetséges, hogy a VGPO zavarással kombinálták a videón látható manővereket.

Élesben zavarást , amiről tudjuk, hogy bevált a fenti folyamatos hullámú radarok ellen és a jelenlegi legkorszerűbb PESA antennával szerelt, TWM/SAGG rávezetést alkalmazó rendszerek ellen is tervezték, az az 1999-ben bevetett ALE-50/55 vontatott csali. A zavaró konténerekkel az erősen hardveres megoldású 2K12 Kub (SA-6) rendszert olyan szinten sikerült zavarni, hogy egyetlen találatot sem értek el velük a kívánt célpontokon, ellenben számtalan csalit találtak el velük az Allied Force hadművelet alatt a szerbek. Mivel a Kub rendszert akkorra sikerült már megismerni a német újraegyesítés által, ezért annak a hardverbe „kódolt” módszeri miatt hatékony zavarás volt kifejleszthető. Érdekes módon az elavultabb, de sokkal manuálisabb módszert alkalmazó Volhov és Nyeva ellen az ALE-50/55 nem sokat ér, hiszen egy operátor okosabb, mint a Kub rendszer beépített, de az emberi intelligenciához képest primitív hardvere.

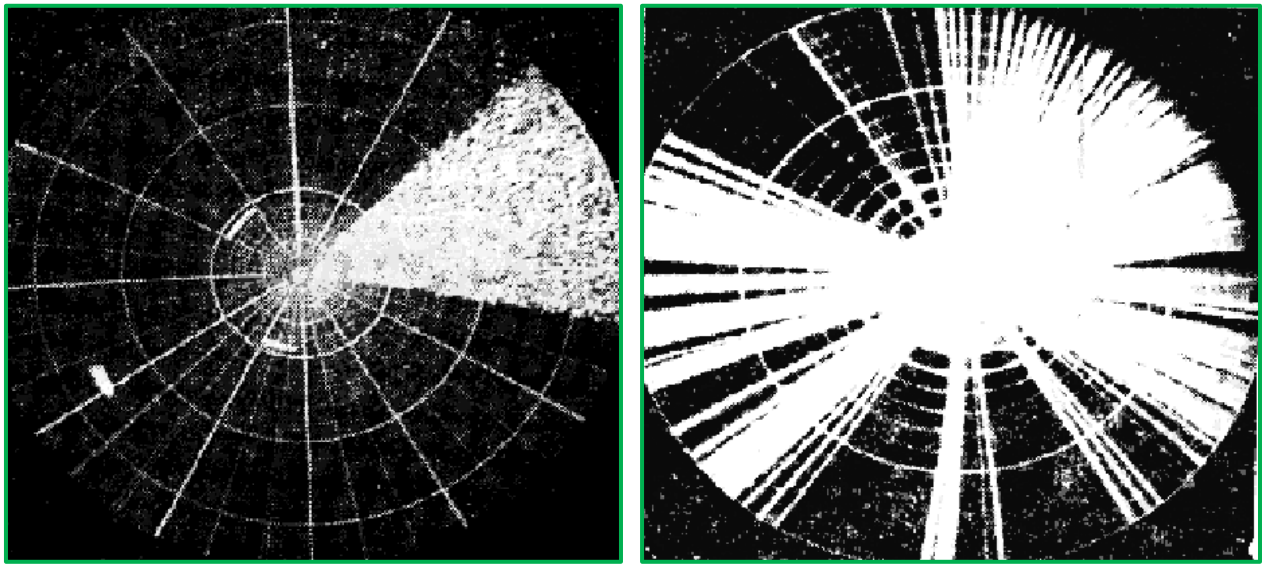
Eddig csak a tűzvezető radarok zavarásáról volt szó, de a szovjet-orosz rendszerek alapvető működési elve is támadási pontot jelent. A légvédelmi rakéta-rendszerek a nagy hatótávolságú kereső radarokra hagyatkoznak a célkeresés és célkiosztás során és az azok által felderített célokra dolgoznak a tűzvezető radarral, majd indítanak és vezetnek rá rakétát. Tehát, ha a kereső radarokat sikerül kellő mértékben zavarni akkor a korai célfelderítés és célkiosztás megakadályozható sőt, adott estben a tűzvezető radarral kell célt keresni, amik ezen képessége rendkívül korlátozott, hiszen nem erre tervezték őket. Az SzNR-75-nél látható, hogy mennyire szűk a pásztázási zónája a radarnak.

Természetesen a rávezető állomás tetszőleges szögbe állítható, de ez nem folyamatos körbeforgatást jelent, nem erre tervezték a rendszert, ez igaz a sokkal fejlettebb SA-10/SA-20 (Sz-300P, PT, PS/PMU-1) légvédelmi rendszer estén is, ahol a Flap Lid (30N6) radar elsődlegesen tűnyalábokkal történő célmegvilágításra és nem keresésre van tervezve. Az Sz-300 rendszer felderítő radarjai a 36D6 Tin Shield és a kismagasságú 76N6 Clam Shell típusok, amik körbeforgó radarok. A körkörös felderítő radarok zavarásáról láthatóak alant képek, régebbi szovjet-orosz felderítő radarok indikátorairól készültek a képek.

[382] *Dr Alfred Price - War in the Fourth Dimension - 156-157. oldal*
[383] *https://www.youtube.com/watch?v=2uh4yMAx2UA*



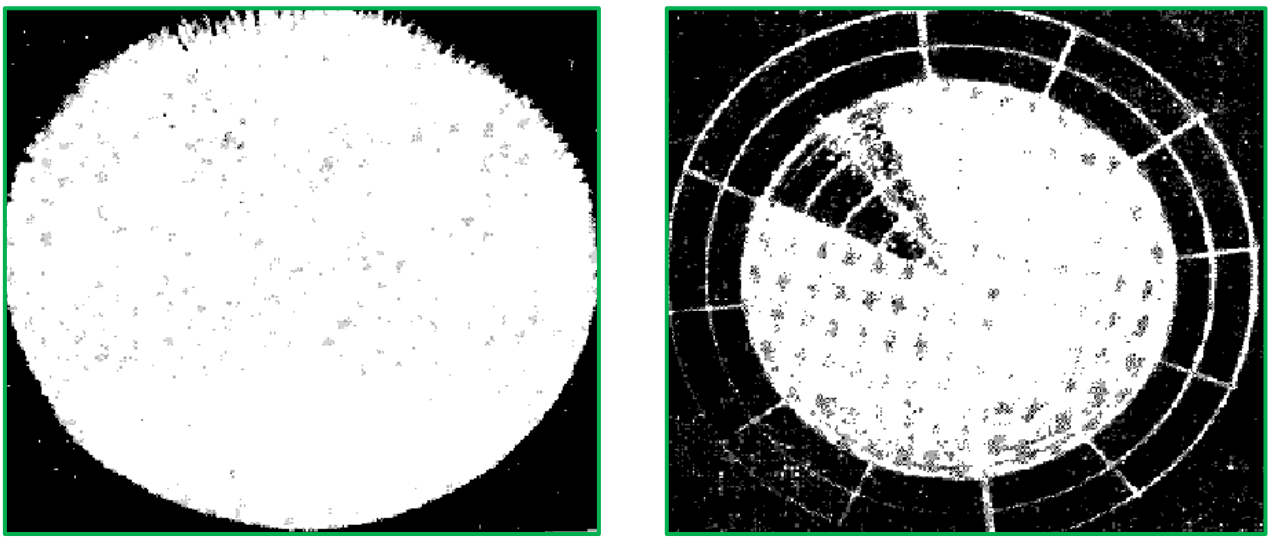
Gyenge, illetve erős zajzavarás P-14 radar indikátorán.



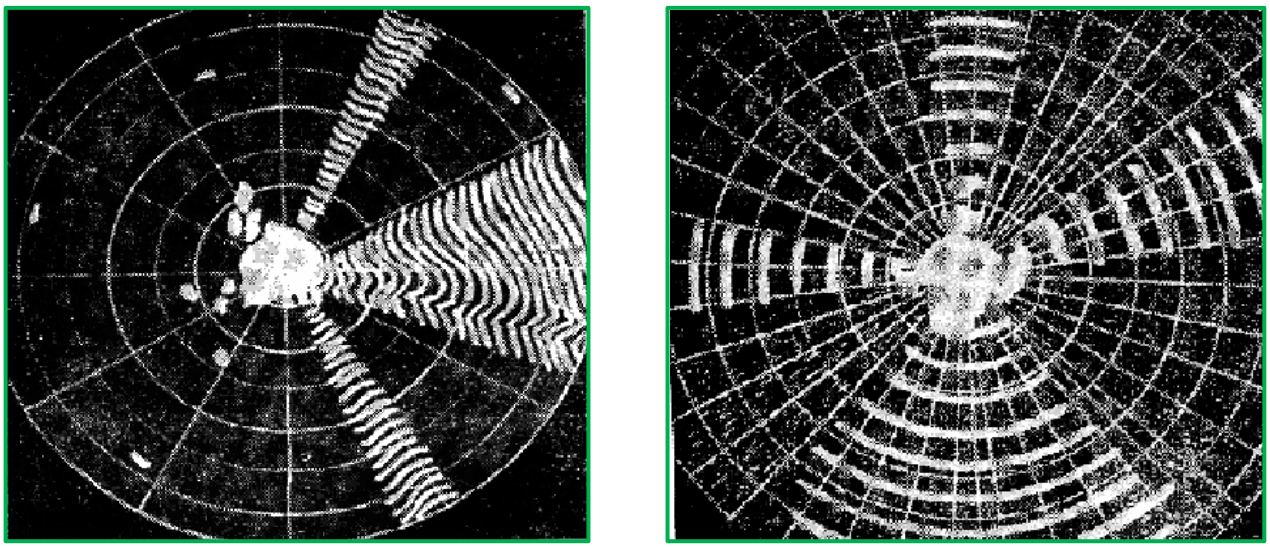
Különféle zavarások a P-12 radar indikátorán.

A fenti képek alapján felmerül a kérdés, hogy hogyan lehetséges ennyire „behavazni” több irányból is a radarok indikátorait. Ehhez több elektronikai zavarógép szükséges eltérő irányból történő zavarással, illetve a minél közelebbről történő zavarás is tényező, hogy az indikátoron megjelenő sávok elnyomjanak minden egyéb visszaverődést.[384] A többi irányból zavarás során nem csak a főnyalábba, de az oldalszirmokba (side lobes) is zavarjelet visznek be, ami a képen látható többszörös, sűrű, illetve kellő zavarógép használata esetén egy idő után összefüggő sávokat hoz létre.

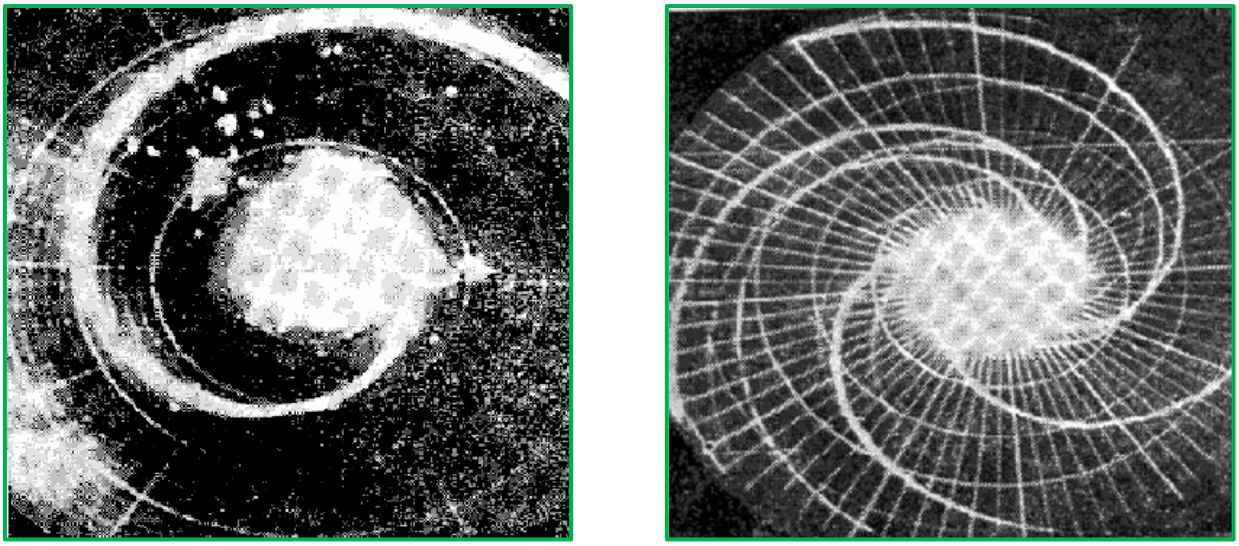
[384] https://youtu.be/pyFqaaqqph0?t=8m33s



P-12 indikátora zavarás közben. Balra fent a teljesen behavazott kijelző, jobbra fent egy szűk tartományban még képes a radar célt keresni.



Érdekes zavarási formák. Balra fent több céljel is látható, egyes irányokban a keresés nem lehetséges. A céljelek egy része fals az indikátoron. Jobbra fent a sávok válasz impulzusos zavarásra utalnak.



P-12 radar, spirál forma, egy másik, a közelben üzemelő P-12 okozza ezt a zavart.

A különféle amerikai elektronikai zavaró-konténerek és berendezések az alábbi típusú zavarásra képesek:

- folyamatos zajzavar - QRC-160-1, ALT-6B, ALQ-99, ALQ-76
- modulált zajzavar - QRC-160-1A, ALQ-71/72, ALQ-101, ALQ-105, ALQ-119, ALQ-135, ALQ-184 , ALQ-126B
- szögkoordináták szerinti eltérítő zavar - ALQ-51 , ALQ-100
- válaszimpulzus zavar - ALQ-126A, ALQ-131
- távolságban eltérítő válasz zavar - ALQ51, ALQ-126B
- sebesség szerinti elvivő zavar - ALQ51, QRC-249, ALQ-184, ALQ-162
- aktív zavarás - ALE-50

A fentiek alapján nagy valószínűséggel kijelenthető, hogy nincs olyan elektronikai zavarási módszer, ami minden komplexum, összes üzemmódja ellen hatásos lenne, sőt, adott típusú zavarás éppenséggel néha csak ront a helyzeten, és segíti a rávezetést a zavarást végző gépre. Ha egy területen többféle radar és légvédelmi rendszer üzemel, akkor mindet hatékonyan zavarni nagyon nehéz vagy egyenesen lehetetlen feladat. A bevetéstervezés során nem véletlenül fontos a támadási irány, a csapásmérő és a zavarógépek megfelelő pozícionálása és összehangolása.

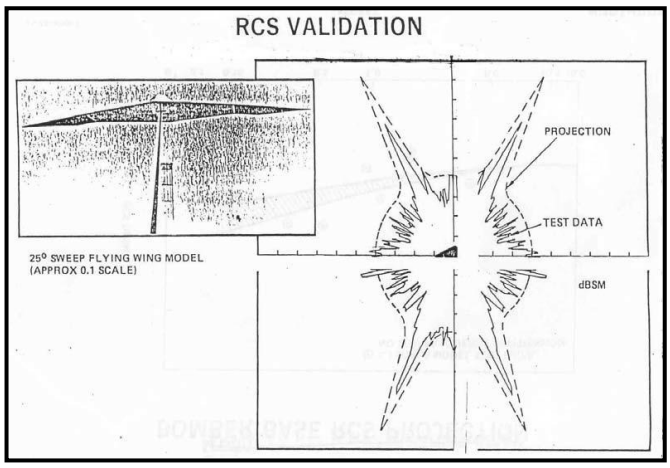
4.4.3. Radarkeresztmetszet, csökkentett és alacsony észlelhetőség

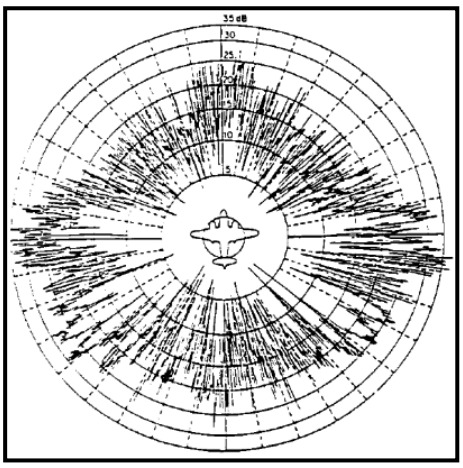
Ez idáig már sok szó esett a radarokról, ideje szót ejteni egy igen fontos tényezőről, ami komolyan befolyásolja a radarok felderítési távolságát, ezt hívjuk radarkeresztmetszetnek.[385] Egy repülőgép radarkeresztmetszete az alacsony és csökkentett észlelésű repülőgépeket megelőzően főleg azok méretétől függött, csak nagyon különleges formájú repülőgépeknél volt nagyon eltérő a radarkeresztmetszet, csak véletlenül eredményezett a repülőgépek aerodinamikai kialakítása alacsony RCS értéket. Erre volt példa az YB-49 kísérleti bombázógép, ahol fény derült a csupaszárny kialakítás előnyeire, a repülőgép méretéhez képest meglepően kis távolságról volt csak érzékelhető radarral. (Később ez vezetett el a B-2 Spirit alapformájának kiválasztásához.)

A radarkeresztmetszet alatt azt értjük, hogy a repülőgép mekkora méretű merőleges felülettel egyenértékű objektum egy adott radar számára.[386] Ez az érték nem fix, függ a radar üzemi frekvenciájától illetve attól is, hogy milyen irányból lát rá a célpontra a radar, továbbá összefügg a repülőgépek alakjával (geometriájával.). A linkelt videón látható, hogy egy repülőgép radarkeresztmetszete nagyban függ a felületek összességére történő rálátásától a radar számára, emiatt erősen irányfüggő az RCS, ezért vannak tartományok megadva az egyes repülőgépek becsült RCS értékére.

Az alacsony és csökkentett észlelhetőségű repülőgépek megjelenésével elérkezett az a korszak, amikor egy repülőgép gép méretéből nem következik annak radar visszaverő keresztmetszetének még a nagyságrendje sem, ahogy ezt a későbbiekben látható lesz. A hasonló fő befoglaló méretekkel (hossz, fesztávolság, magasság) rendelkező F-4 Phantom II és F-117 között kb. 2-4 nagyságrend eltérés van egyes irányokból mérhető a radarkeresztmetszetben.

[385] *RCS– radar cross section, http://www.aerospaceweb.org/question/electronics/q0168.shtml*
[386] *https://www.youtube.com/watch?v=0LIqRshUoPc*





Az egyes harci repülőgépek pontos RCS karakterisztikái titkosak, csak szóbeszédek, kiszivárogott információk, becslések, illetve matematikai modellek állnak rendelkezésre azok RCS értékeit illetően, jellemzően a repülőgép-fedélzeti és légvédelmi rendszerek tűzvezető radarjainak frekvenciatartományában, vagyis X sávban (6-11 GHz). Fent jobbra egy II. világháborús, B-26 bombázó RCS karakterisztikája látható (decibel skálán), 3 GHz frekvenciánál, illetve balra fent B-2 radarkeresztmetszetének jellege, a tervezett és mért jelleg közötti eltérés konkrét RCS értékek nélkül.[387]

Látható, hogy közel sem állandó az RCS értéke az irány függvényében (oldalszög), és ez csak egy síkmetszete az RCS karakterisztikának, hiszen az alulról/felülről (helyszög) rálátás miatti irányfüggése nincs ábrázolva a radarkeresztmetszetnek. Ez hatás az esetek nagy részében valószínűleg elhanyagolható, ez nem jelent nagy eltérést. Nagy keresési távolság esetén a repülőgépekre nagyjából ugyanazon, néhány fokos szögben lát rá a radar, ez egyszerű trigonometriai számítással belátható. Közeli célpontnál már szinte lényegtelen a komolyabb szögeltérés, mert előbb utóbb még a az alacsony észlelhetőségű repülőgépet is képes érzékelni a repülőgép-fedélzeti, szárazföldi vagy haditengerészeti felderítő, illetve tűzvezető radar. A kérdés az, hogy ez a pillanat mikor, mekkora távolságnál jön el. A kulcs az, hogy a harcászati lehetőségeket mennyire változtatja meg bármelyik fél számára a célpont RCS értékének csökkentése.

Mivel az RCS-nek komoly hatása van a felderítési távolságra, ezért azok titokban tartása fontos. Az USA vadászgépei és más légierők vadászgépei is a külföldi látogatásokra, szinte mindig úgy érkeznek, hogy az egyik Sidewinder rakéta helyén a Sidewinder súlymakett orr részén egy szögvisszaverő van elhelyezve, ami mesterségesen megnöveli a repülőgép radarkeresztmetszetét, hogy az vadászgépek valós RCS karakterisztikája titokban maradhasson. Az F-22 Raptor ezt az RCS maszkolást a repülőgép hasán, egy kis szögvisszaverő, úgynevezett Luneberg-lencse kibocsátásával oldja meg.

[387] http://www.radartutorial.eu/18.explanations/ex09.en.html
B-2 Systems Engineering Case Study www.dtic.mil/get-tr-doc/pdf?AD=ADA464771

Mielőtt az alacsony észlelhetőség további boncolására sor kerülne először ejtsünk néhány szót a hagyományosan elterjedt vadászgépek jellemző RCS paramétereiről. A lentiekben néhány adatot található tájékoztató jelleggel a vadászgépek visszaverő felületéről, ezek X sávban (frekvenciatartomány) üzemelő radarokra vonatkoznak, szemből vagy a legrosszabb irányból nézve.

Az ma elterjedt korszerűnek mondott 4+ (+). generációs vadászgépek radarjainak észlelési távolsága ideális esetben, elektronikai zavarás nélkül, égháttérben repülő, 1 m^2 nagyságrendű RCS-ű ellen kb. 100-150 km (erősen antennaméret és radar típus függő). Földháttérben, elektronikai zavarás vagy a célpont manőverei esetén ez az érték drámaian változhat, pl. mert földháttérbe repül a cél illetve beaming manőver során a célpont radiális sebessége is befolyásolja a felderíthetőséget. A földháttér zavaró hatása az függ a terep jellegétől is, sík terepen vagy hullámzó vízfelületnél más a földháttér hatása, mint mondjuk egy dombos, vagy sziklás-hegyes terepviszonyok esetén. Nagyméretű célokat, mint például B-52, teherszállító gépek, akár már 300 km távolságról is képesek követni égháttérben a vadászgépek radarjai, de ez sok változótól függ.[388] A fentihez hasonló felderítési távolságokat a földi telepítési felderítő radarok évtizedekkel korábban képesek voltak elérni, hiszen azok hullámhossza, antenna mérete és teljesítményük jelentősen eltérő volt.

Egy F-16/MiG-29 méretű vadászgép egyenértékű visszaverő felülete X sávban szemből (± 30-45 fokos aspektussal) kb. 3-7 m^2, a nagyobb iker vezérsíkos vadászgépek (pl. F-15 és Szu-27) ezen a téren rosszabb mutatóval rendelkeznek, azoknál 7-15 m^2, a B-52-nél az RCS akár 100 m^2 körüli érték is lehet. A 4. generációs gépek legújabb tagjainál tervezéskor már szempont volt az RCS csökkentése, de természetesen csodákat nem tudtak tenni, főleg a külső függesztmények miatt, amik szintén jelentős reflexiós felületek. A Super Hornet, Eurofighter Typhoon és a Rafale típusok esetén a RCS nagyjából a 0,1-1 m^2 tartományba esik, de ebbe belerondítanak a függesztmények. Ezeket az újabb tervezésű 4. generációs vadászgépeket szokták csökkentett észlelhetőségű gépeknek hívni. Ezek az első 4. generációs vadászgépekhez képest kb. egy nagyságrenddel alacsonyabb radarkeresztmetszettel bírnak, de ennek ellenére közelében sincsenek az alacsony észlelhetőségű (stealth) repülőgépeknél elért rendkívül kis RCS értékekhez.

Az alacsony észlelhetőségű F-117 esetében a minimális egyenértékű visszaverő felület a néhány ezred (0,001) négyzetméteres tartományba esik, a többi hadrendben álló alacsony észlelhetőségű repülőgép is ebben a tartományban van, de konkrétum azokról még annyi sincs, mint az F-117 esetén, inkább csak modellezési eredmények. A fenti RCS értékek a legkedvezőbb irányban érvényesek. (szemből, szemből-oldalról.)

A radarkeresztmetszettől közel sem lineárisan függ a detektálhatóság. A felderítési távolság az RCS változásának negyedik hatványával arányos. Tehát, ha egy 1 m^2 radarkeresztmetszettel bíró gép észlelési távolságát meg akarja felezni az ember, akkor $0{,}5^4$ mértékben kell csökkenteni a visszaverő felületet. Ez körülbelül az eredeti felület 6%-a, tehát 0,06 m^2. Ha még további felezése cél a felderítési távolságnak, akkor a 0,06 m^2felület 6%-át kell elérni, ami 0,0035 m^2. Nem semmi kihívás ez, annyi szent…

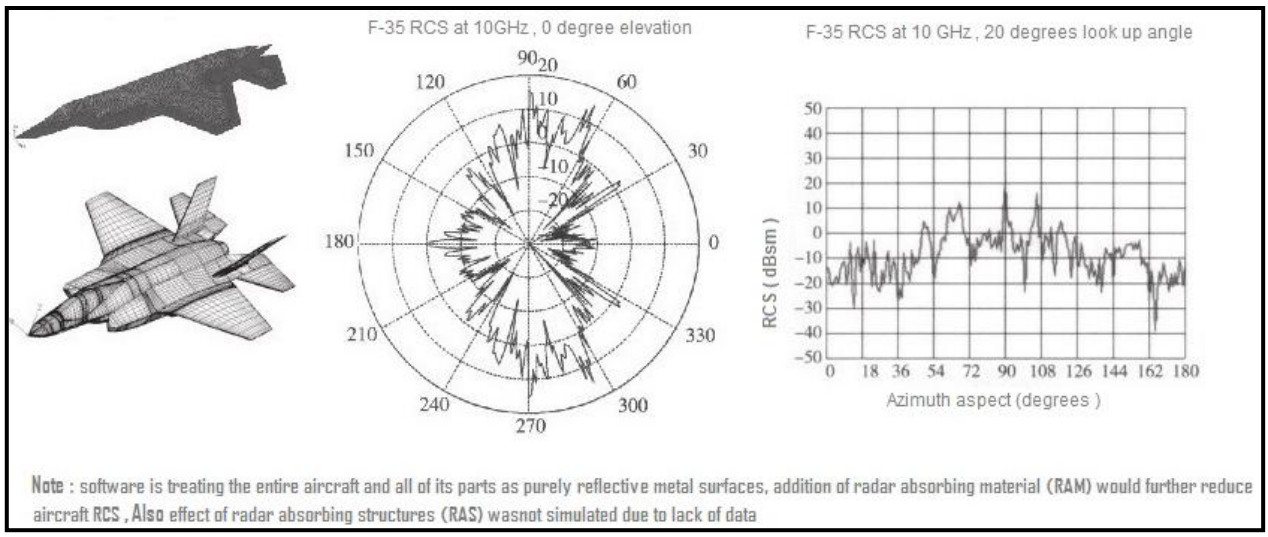
Ez fordítva is igaz, tehát ha egy repülőgép RCS értéke nagyjából 16-szorosa egy kisebb repülőgépének, akkor a felderítési távolság kb. a duplája lesz. Ezért van az, hogy a hatalmas interkontinentális bombázók elleni felderítési távolság nem száll el végtelenbe, de ennek ellenére drámai a különbség a hagyományos harcászati repülőgépekhez képest.

[388] https://basicsaboutaerodynamicsandavionics.wordpress.com/2016/03/04/stealth-techniques-and-benefits/
https://basicsaboutaerodynamicsandavionics.wordpress.com/2016/04/12/radar-electronic-countermeasure/

A radartechnikában a decibel (logaritmikus) skálával dolgozás célszerűbb, az RCS karakterisztikákra vonatkozó ábrák mindig így vannak megadva, mert máskülönben ábrázolhatatlanok lennének értelmes formában. 10 dB különbség az abszolút négyzetméter RCS értékben tízszeres eltérést jelent, 20 dB százszoros, 30 dB ezerszeres eltérést, stb. Az 1 m^2 RCS felülethez tartozik a 0 dBsm[389] tehát a -30 dBsm RCS érték 0,001 m^2 RCS értéket jelent. Ez alapján idealizált testet (gömb) figyelembe véve a következő adódik ki.

1	m^2	+0 dBsm	112,8	cm átmérőjű fém gömb
0,1	m^2	-10 dBsm	35,7	cm átmérőjű fém gömb
0,01	m^2	-20 dBsm	11,3	cm átmérőjű fém gömb
0,001	m^2	-30 dBsm	3,6	cm átmérőjű fém gömb
0,0001	m^2	-40 dBsm	1,1	cm átmérőjű fém gömb

A lenti következő ábrákon több repülőgép modellezett és számszerű RCS értéke látható. Az első ábrán az F-35 Lightning II [390] modellezett RCS értéke látható a radar elnyelő festék figyelembe vétele nélkül, az egész repülőgépet teljesen és egységesen visszaverő felületnek tételezve fel 10 GHz frekvencián. A bal oldali kördiagramon körkörös irányban azonos magasságból nézve látható a számolt RCS, a jobb oldali diagramon 0-180 fok között 20 fokos [391] irányban felfelé nézve (légvédelmi rendszer szemszögéből nézve), ezen túl szimmetrikus az ábra. Mindkét esetben az olvasható le a diagramokról, hogy ± 30 fokos aspektusig jó stealth képességgel bír az F-35, de azon a tartományon kívül a -10 és -20 dBsm környékén van az RCS, ami már jelentősen nagyobb érték, ± 60 fokon túl a gép kb. a hagyományos repülőgépek szemből mérhető, külső függesztmények nélküli RCS értékével bír.



A következő oldalon a baloldali ábra az F-22 Raptor modellezett radarkeresztmetszetét ábrázolja, ami még az F-35-nél is kedvezőbb értékeket mutat. Szemből egyes irányokban -40 dBsm (!) érték alá megy a karakterisztika, az alacsony RCS tartomány némileg szélesebb tartományban, kb. ± 40 fokig marad meg.

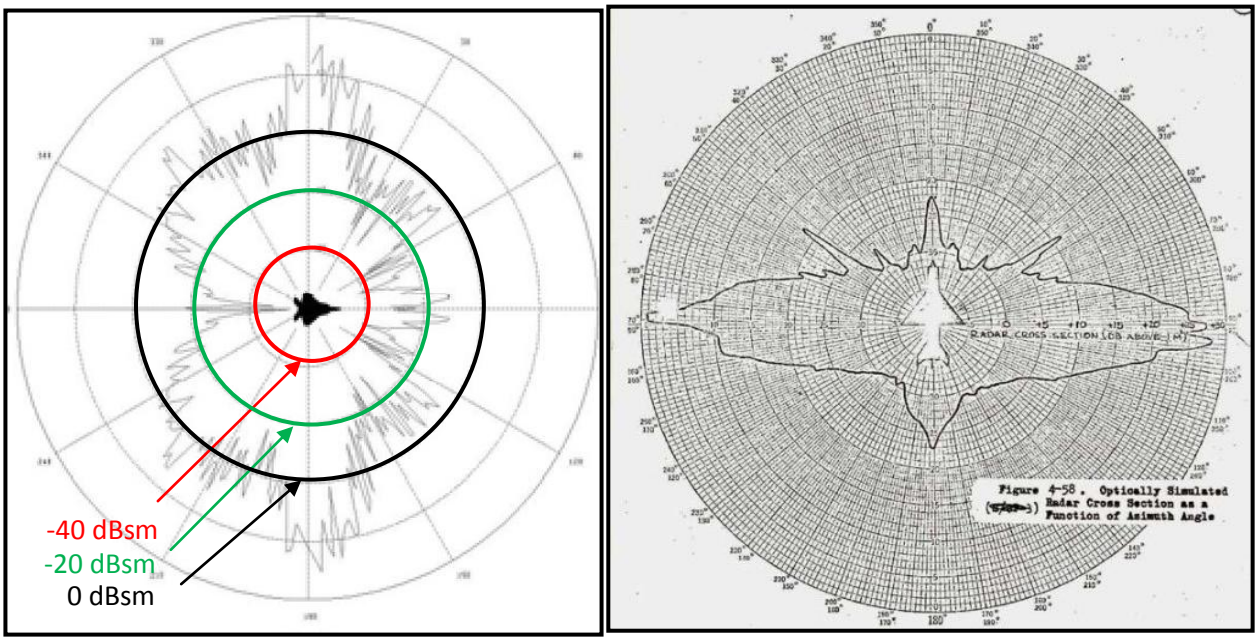
A harmadik ábrán, az F-22-től jobbra a MiG-21 modellezett radarkeresztmetszete látható. Figyelemreméltó, hogy a semmilyen nem RCS optimalizált repülőgép, még ha csak igen szűk tartományban,

[389] *sm jelentése square meter, négyzetméter*

[390] *https://www.youtube.com/watch?v=Qwh-1jRGuDc Egy igen jó és szemléletes videó, egyedül a teljesítmény résznél van benne hatalmas tévedés, az impulzus csúcsteljesítményt összekeveri az effektív teljesítménnyel. (A kitöltési tényezőről sem vesz tudomást a videó.)*

[391] *Szerintem nem túl szerencsésen megválasztott érték. Földi radar esetén 10 km-en repülő célnál ez 30 km-es ferde távolságot jelent. Ez kb. a minimális távolság az, ahol a stealth értelmezhető a korszerű radarok ellen. 10 fokos értéknél lett volna célszerűbb a vizsgálat, ahol kb. 55 km-es ferde távolság adódik.*

de 0 dBsm alatti értékek is adódtak. Csökkentett észlelhetőségű repülőgép ettől a MiG-21? Természetesen nem. Oldalról nézve a MiG-21-re 30 dBsm-et meghaladó a felület nagyság adódik ki, ez 1000 m^2 az előző oldali logaritmikus skálát alkalmazva. Természetesen itt is vannak elhanyagolások pl. nincs függesztmény és a vizsgált radar hullámhosszát sem adták meg. Ami nagyon fontos az RCS irányfüggősége. A hagyományos vadászgépek és vadászbombázók a legkedvezőbb, teljesen ideális esetben tudnak kb. olyan RCS értéket felmutatni egy igen szűk tartományban, ami a stealth kialakítású repülőgépeknél a legrosszabb esetnek tekinthető. Ez hatalmas különbség.



Ezek modellezett esetek, ezért a feltüntetett RCS értékeket nem kell szentírásnak tekinteni, ahhoz viszont több mint elég alapot adnak, hogy legalább közelítően levezethető adatokat kapjunk harcászati képességekhez, ne csak a levegőbe beszéljen az ember. A néhány oldallal ezelőtti B-2-ről készült RCS ábra a ’80-as években történt modellezést és a mért eredményeket mutatja számszerű érték nélkül, de jellegre helyesen. A mért eredmények a tesztek során az előrejelzéseknél kisebb értékeket adott és az abszolút érték és jelleg is szépen egyezett, tehát már akkor is képesek voltak modellezni ezeket. (Mára már kereskedelmi forgalomban kapható rádióelektronikai modellezésre használt szoftverek is képesek erre.)

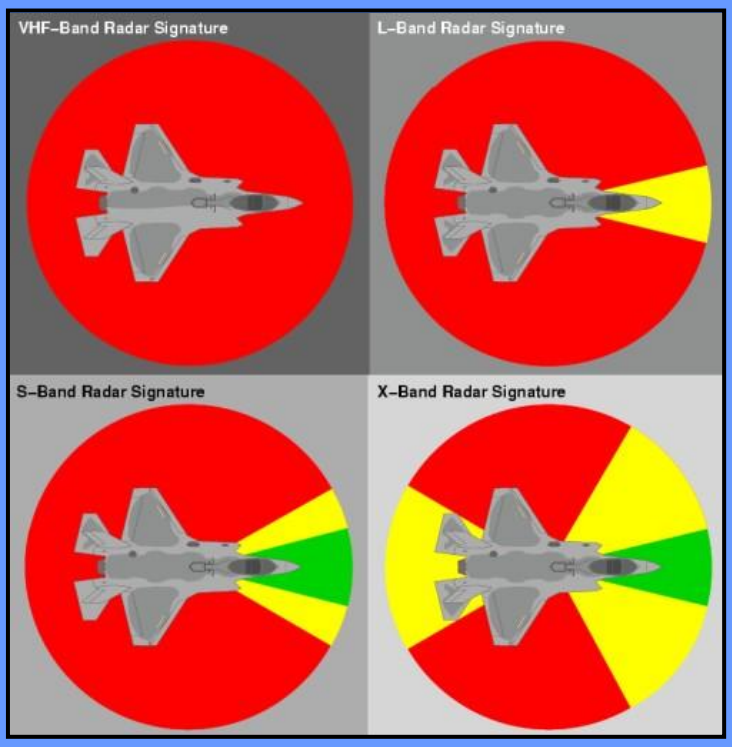
Amelyik irányban nagyságrendi RCS eltérést láthatunk az ábrákon, ott lehet vitatkozni, hogy akkor 8 vagy 10-szeres a differencia, de azon már nem nagyon, hogy hol kezd a stealth képesség elveszni, illetve azzal sem nagyon lehet vitatkozni, hogy hol létezik. (A radar abszorbens festékkel a fenti RCS értékeknél kisebbek is elképzelhetőek.)

Az F-117 esetében komolyabb referencia van annak radarkeresztmetszetére vonatkozólag. 1999-ben az Allied Force hadművelet alatt a P-18 nagy hatótávolságú felderítő radar kb. 25-30 km távolságból vette követésbe az F-117-est – az adat személyesen az F-117 lelövését elérő Dani Zoltántól származik, aki a szerb haderő légvédelmi rakétás tisztje volt –, ami a hasonló méretű F-4 Phantom II esetén kb. 280 km-ről már képes volt erre. Az F-4 Phantom II RCS értéke a 10 m^2-es nagyságrendben van X sávban.

A fenti említett negyedik hatványos összefüggéssel számolva némi kerekítéssel a következő adódik ki. A Dani Zoltán által megadott távolságot kerekítsünk fel 30 km-re, ezzel az F-117 és F-4 felderítési távolság aránya 9,3. (280/30 = 9,3), amit vegyünk 8-nak az egyszerűség kedvéért. 8 =2^3, tehát ez alapján az F-117 RCS értékére kb. 0,0025 m^2 adódik, ami egészen közel van a fent említett 0,001 m^2 (-30 dBsm) értékhez. A modell a P-18 radarral számol, viszont az nem centiméteres, hanem méteres hullámhossz tartományban

dolgozik, tehát a légvédelmi rakéta-rendszerek dm-es és a vadászgépek cm hullámhossz tartományban üzemelő radarjai ellen valószínűleg még ennél is kisebb RCS értékkel bírt az F-117 a számára legkedvezőbb irányból nézve.

Az RCS irányfüggése egyes források szerint nem csak egy adott hullámhosszon belül létezik, hanem hullámhossztól is függ az irányérzékenység. A lenti ábrán látható, hogy X sávban dolgozó radarok esetén honnan nézve rendelkezik az ábra készítője szerint az F-35 kis RCS értékkel (zöld terület) és hogyan válik elméletileg egyre inkább észlelhetővé a hullámhossz növekedéssel, illetve X sávban aspektustól függetlenül.

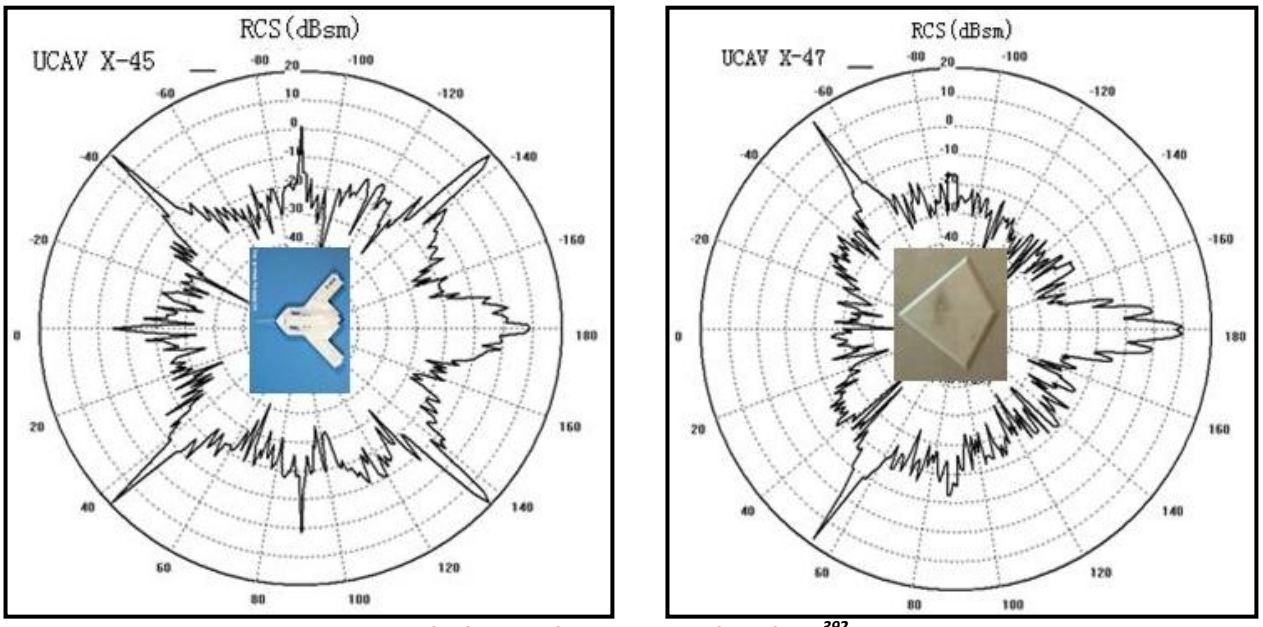


Az ábra gyakorlatilag azt sugallja, hogy L vagy VHF sávban(méteres hullámhossz) minden repülőgép könnyedén felderíthető, a stealth kialakítás hatástalan. Ehhez képest az F-117 élő példája teljesen másról regél, a VHF sávban dolgozó P-18 a hagyományos kialakítású repülőgépekhez képest nagyjából tized akkora távolságban volt csak képes felderíteni azt. A hullámhossz növekedésével valóban csökken a stealth kialakítás hatásossága, de az közel sem annyira drámai, mint ahogy az ábra szemléleti, méteres hullámhosszú radar ellen is működik az alacsony észlelhetőség.

Még a stealth képesség terén csúcskategóriás F-22 alacsony radarkeresztmetszete sem egyenszilárd, pedig az RCS minden irányból történő minimalizálása hangsúlyosabb volt az F-35-höz képest, hiszen a vadászgépek sokkal inkább bármilyen irányból jelenthetnek fenyegetést, mint a valamennyire megjósolható pozíciójú légvédelmi rakéta-rendszerek.

Az egyenszilárdság fizikailag nem megvalósítható azzal repülési teljesítménnyel, amit az F-22-től elvártak. Léteznek olyan alapformák, amik még oldalról nézve is -10 dBsm vagy -20 dBSm alatti RCS értéket biztosítanak, de azokkal manőverező légiharcra alkalmas vadászgépet nem lehetséges megalkotni, legfeljebb szubszonikus csapásmérő

repülőgépeket. Nem véletlenül néz ki úgy az X-47B ahogy (előző oldal alján balra a képen), lásd a lent látható alapformákkal történő összehasonlítást.



Példák a hatékonyabb alapformákra.[392]

A fentiekben eddig csak a célpont észlelésről és követéséről volt szó, arról nem, hogy rakétát is célra kell vezetni valahogy. A következő probléma tehát felderítés és a tűzvezetés közötti dilemma, az alkalmazott hullámhossz megválasztása, ami alapvetően meghatározza a radarantenna méretét és kialakítását.

Az alkalmazott hullámhossztól függ a radarok távolság- és iránymérési pontossága is. A régi szovjet távolfelderítő radarok több százméteres vagy akár kilométeres nagyságrendű pontatlansággal mértek távolságot, az iránymérés hibája elérhette akár az 1 fokot.[393] (Ezek a P-18 paraméterei.) Az már csak hab a tortán, hogy a P-18 magasságot nem volt képest maghatározni, arra is külön radart használtak. (Már, aki rendelkezett vele, ez nem volt általános a légvédelmi rakéta osztályoknál.) Ekkora mérési hibával még 1 kt hatóerejű harci résszel rendelkező nukleáris töltető rakétát sem lehetne hatékonyan használni, ezen felül nukleáris robbanófejet nem opció minden célpontra használni, a légvédelmi rakéta-rendszerek túlnyomó többsége nem rendelkezik ilyen rakétával. A szuperhatalmakon kívül meg senki sem, ők biztosították ezeket azon rendszerek esetén, amit szövetségeseik használtak, például a Nike Hercules légvédelmi osztályoknál a NATO-ban.

Tehát hiába észleli egy méteres hullámhosszon dolgozó radar az alacsony észlelhetőségű repülőgépeket – tegyük fel, hogy megdöbbentően nagy távolságról –, ha a vadászgépeken vagy a légvédelmi rakéta-rendszereknél a deciméteres vagy centiméteres hullámhosszon üzemelő tűzvezető radarok azonos távolságból képtelenek felderíteni a célpontot. A jelenleg hadrendben levő fegyverrendszerek többségnél elkerülhetetlen, hogy a rávezető állomás világítsa meg a célpontot (SAGG és TVM és SARH vezérlés esetén), vagy aktív radarvezérlésű rakétánál a rakétát rávezető adatkapcsolaton keresztül megkapja a célkoordinátákat a megfelelő frissítési gyakorisággal.

Maga az adatkapcsolat nem megoldhatatlan, ez évtizedek óta működik – tegyük fel, hogy kellően gyors a frissítése annak is és nincs időbeli késés (lag) – azonban a körkörös felderítő radarok forgási ideje kb.

[392] https://goo.gl/1TjZc8
[393] http://www.radartutorial.eu/19.kartei/11.ancient/karte049.en.html
http://www.hmarzenal.hu/vedelmi-ipar/p-18-radar.html

5-10 másodperc táján van, tehát túlságosan ritkán frissül az információ – különösen manőverező célpontok ellen – az MCG/MCU jelek biztosításához arról nem is beszélve, hogy ezek a radarok több száz méteres hibával határozzák meg a célpont helyzetét.

Pusztán a felderítő radar adatai alapján nem minden esetben lehetséges rakéta rávezetése, sem repülőgépről indított rakétával sem légvédelmi rakéta-rendszerrel, mert azoknak saját maguknak is fel kell deríteni a célokat.

A nagy hatótávolságú korszerű digitális légvédelmi rakéta-rendszereknél (Patriot, Sz-300/400) a műszaki és technikai feltételek adottak lehetnek korlátozott sikerességgel kecsegetető alkalmazáshoz. A régebbi hidegháborús szovjet légvédelmi rakéta-rendszerek esetén az automatizált vezetési rendszerekbe (AVR, lásd később) bekötött felderítő radarok adatai alapján 10 másodpercenként frissítéssel lehetséges volt célpont felé vezérelni rakétát a rávezető állomás felkapcsolása nélkül, de ezzel csak a reakció ideje volt csökkenthető a célpontnak, hogy kevesebb ideje legyen reagálni. A számított becsapódás előtt 20 másodperccel a rávezető állomásnak meg kellett világítania a célpontot. Ez igazából csak elméleti megjegyzés, mert a hidegháború idején az F-117-esen nem volt besugárzásjelző, de fontos a helyzet megértéséhez.

A P-18 távoli leszármazottjának tekinthető az 55Zh6ME Nyebo (mellékletben marketing anyaga angol nyelven megtalálható) méteres hullámhosszú felderítő radartól kapott adatok alapján az Sz-300/400, illetve azokkal egy hálózatban levő légvédelmi rakéta-rendszereknél felmerül több lehetőség is az alacsony észlelhetőségű célok elleni hatékonyabb küzdelemre. Ehhez első körben az szükséges, hogy a P-18-nál említett oldalszög mérés pontossága 12 szögmásodperc, tehát 0,2 fok legyeb 1 fok helyett, azonban még ezzel is 175 méteres a mérési hiba 50 km-es távolságban. Ekkora távolságban már nem feltétlen biztosított a célpont megsemmisítése a hatalmas harci résszel sem még ekkora, nemhogy nagyobb távolság esetén. Még, ha a Nyebo képes is felderíteni a célpontot, pusztán annak mérési adataival nem lehetséges rádió-parancsvezérelt rávezetés, aminek kb. 55 km a távolsági korlátja, afelett nem is alkalmazták soha, csak nukleáris harci résszel. (Lásd később a légvédelmi rakéta-rendszerek bemutatásánál.)

A Nebo háromféle módon képes üzemelni, teljes 360 fokos körbeforgatás esetén békeidőben 10, háborús üzemmódban 5 másodpercenként fordul körbe, illetve képes szektoros keresési üzemmódra is. Ez utóbbi esetben az antenna nem forog, adott irányban van beállítva, csak elektronikus nyalábeltérítéssel üzemel és keres, 90 fokos oldal és 80 fokos helyszög korlátozással. (Tehát a 360 fokos pásztázás helyett a légtérnek csak egy kis szeletét, egy szektorát tapogatja / pásztázza le.)

Ezzel elvileg elérhető az, hogy kellő gyakorisággal frissüljön az információ úgy, hogy az Sz-300/400 rávezető állomás „vakon” indíthasson akár aktív radaros, akár SARH/SAGG/TVM vezérlésű rakétát úgy,[394] hogy a rávezető állomás nem képes érzékelni a célt, hanem csak a Nyebo-tól kapott célkoordinátával számol a rendszer, arra területre sugároz a tűvezető radar. Bár maga a rávezető állomás adott estben soha nem lesz képes az a stealth célpontot érzékelni, de a megfelelő irányba haladó rakéta kellő távolságba érve érzékelheti a visszaverődést és képes magát rávezetni. Ilyesféle utólagos célbefogásra a korábbi légvédelmi rendszerek is képesek voltak, az Sz-200 Vega a céljel elvesztése és ismételt felbukkanása után a rakétát képes volt a célpont felé irányítani.

A probléma az Sz-300/400 esetében az, hogy körkörös keresés esetén csak 5 másodpercenként frissül a céladat, ezzel lényegben a meglevő rakétákkal nem lehetséges még a nem manőverező célpontokat sem

[394] *A SAGG és TVM vezérlés az rádió-parancsközlő és félaktív keveréke, rádió-parancsközléssel megoldható elvileg a feladat.*

eltalálni a több száz méteres mérési hiba miatt, emiatt szükséges a Nyebo szektoros keresése, viszont ezzel nincs 360 fokos lefedés. 4 db Nyebo radar szükséges egyetlen légvédelmi osztály esetén is a 360 fokos lefedéshez, ha szektoros keresés alkalmaznak. Ez nyilvánvalóan irreális feltételezés.

Az F-35 esetén továbbra is probléma a vontatott csali, főleg, hogy a rávezető állomás nem is látja a célt, a rakéta sikeres kúpos keresés esetén a legerősebb visszhangra fogja magát rávezetni, mást mérni a hatalmas relatív sebesség miatt nemigen van másra lehetőség, ezen a fázisvezérelt vevővel vagy fázisvezérelt aktív radaros rakéta segíthetne elsősorban.

Tehát alacsony észlelhetőségű repülőgép felderítésére a Nyebo alkalmasabb és képes „repedéseket találni a páncélon", de korántsem az a csodafegyver, mint amennyire beállítják egyesek. (Az F-35 ellen meg főleg annak rétegzett védelme miatt A DAS figyel, az F-35 radarja távolságot is mérhet és vontatott csali használható ARH/TVM/SAGG vezérlésű légvédelmi rakéták ellen.)

A vadászrepülőgépeken a helyhiány miatt méteres hullámhosszú radar alkalmazása a kis antennaméret miatt lehetetlen, még a dm-es hullámhosszú radar léte is megkérdőjelezhető azon tényezők miatt, ami a vonatott csaliknál és radaroknál már kifejtésre került. (Nyaláb és teljesítmény paraméterei a radaroknak.)

Elvi szinten a lehetséges megoldás a kombinált vezérlésű infravörös rakéta használata lenne, amit viszonylag pontatlan távolság- és iránymméréssel is a cél közelébe lehet vezérelni annyira, hogy az infrafej indítás után be tudja fogni a célpontot. A hátránya a módszernek, hogy időjárásfüggő ennek az alkalmazása, előfordulhat olyan eset, hogy a végfázisban az infravörös érzékelőt korlátozza az időjárás. (Nagy magasságú célpontoknál ritkán.) Ilyen rendszer jelenleg (2017) nem létezik, marketing anyagokban szerepel a tervek között ehhez hasonló, ami még meg is haladja ezt a koncepciót, ez lenne a Skyceptor.[395]

A Skyceptor rakéta-rendszer kétfokozatú, 300 km hatótávolságú rakétája milliméteres hullámhosszú aktív AESA radar, illetve képalkotós infravörös érzékelővel rendelkezne, lehetőséggel TVM rávezetési móddal kiegészítve. Ez a jelenleg összes ismert védelmi módszer áttörésére képes elméleti szinten, bár nyugaton az alacsony észlelhetőségű gépek felderítésére a méteres hullámhosszú felderítő radar hiányzik a repertoárból, de a rendszer a Patriottal ellentétben rendelkezne körkörös felderítő radarral.

Moszkva körül körkörösen 10 db Nyebo van jelenleg telepítve, jelenlétének jelenleg sok értelme nincs, lévén a harcászati repülőgépek hatótávolságán kívül esik és alacsonyan észlelhetőségű robotrepülőgépek (még) nem elterjedtek. A B-2 lopakodó bombázó nagy hatótávolságú robotrepülőgép hordozó képessége miatt közelébe nem repül soha ezen radaroknak.

A Nyebo széleskörű exportja évtizedes távlatban lehet és a szükséges mennyiségben nagyon kevés állam képes azok rendszeresítésére, tehát az elkövetkező évtizedekben a potenciális proxy konfliktusokban ezzel jelen állás szerint nem kell amúgy sem szembenéznie az F-35-nek és más alacsony észlelhetőségű repülőgépnek sem, tehát ebből a szemszögből nézve a fenti gondolatmenet jelenleg erősen elméleti és a távoli jövőre vonatkozik.

A stealth képesség és RCS alapvető kapcsolatának ismertetése után érdemes néhány szót szólni a módszer működési elvéről, annak alapvető céljairól és korlátairól. Az alacsony érzékelhetőségű repülőgépek geometriai kialakítása, vagyis azok alakja biztosítja, hogy szétszórják a beérkező radarhullámokat, tehát a kibocsátó felé a lehető legkevesebb sugárzást verjék vissza.

[395] http://www.raytheon.com/ourcompany/rtnwcm/groups/public/documents/content/missile-defence12-16.pdf

Azért a szemből mérhető radarkeresztmetszet csökkentése a kiemelt szempont, mert ez jelenti a legjellemzőbb irányt a fenyegetések szempontjából. Egy távolodó céllal a védelmi rendszerek nehezebben birkóznak meg, egy célpontot a rakéta adott esetben már egyszerűen nem képes utolérni. Olyan esetet is el lehet képzelni, ahol az alacsony észlelhetőségű célpont a rakéta indításkor még észlelhető, de mire a rakéta a cél közelébe érne, a célpont további követésére már képtelen a légvédelmi rendszer.

Annak ellenére, hogy egy stealth célpont nem minden irányban rendelkezik a -30 dBsm nagyságrendű RCS értékkel beaming és manőverezés kombinációjával a folyamatos célkövetést meg lehet akadályozni, tehát az alacsonyan repüléshez hasonló hatás érhető el úgy, hogy nem szükséges alacsonyan repülni. A SAGG/TVM/SARH vezérléshez folyamatos vagy időszakonként adott hosszúságú folyamatos célkövetésre van szükség a rádiótechnikai rávezetés illetve a rakéta manőverező képességének a korlátai miatt.

A koncepciónak természetesen korlátai vannak. Minden sugárhajtású repülőgép közös tulajdonsága, hogy a hajtómű turbinalapátokkal érdemben nem lehet mit kezdeni a hajtómű működési elve miatt, azok hátulról nézve látszanak – szemből nézve a kompresszorokra a szívócsatornába nincs rálátás –, tehát a repülőgép könnyebben felderíthető hátulról nézve. Az persze más kérdés, hogy egy távolodó célpont észlelése mit segít azon, akire már rakétát indított vagy be is vitte a találatot a célponthoz közeledő alacsony észlelhetőségű repülőgép, vagy ha már kioldotta csapásmérő fegyverzetét...

A stealth képesség azon tulajdonságát, hogy visszaverődés van a célpontokról, csak más irányban, mint amerről érkezett a sugárzás elméletileg lehetséges kihasználni, erre épít a bi- illetve multistatikus légvédelmi radar-rendszerek megközelítése.

A hagyományos, jelenleg hadrendben álló radaroknál a gond az, hogy azonos antenna sugároz és veszi a visszavert jelet. Az esetlegesen a szórt sugárzást érzékelő másik vevő antenna és a mögötte levő rendszer nem tudja, hogy mikor lett a jel kibocsátva, tehát nem tud távolságot számolni, még ha képes is érzékelni valamiféle visszaverődést másik, nem a sugárázást kibocsátó radar-rendszer. Ezen úgy lehet segíteni, hogy ha több radar is keresi a célt egyszerre szétszórva, eltérő irányból. Tehát a adó- és vevőantennák fizikailag nem egy helyen vannak, ezzel elérhető hogy különböző irányokból látnak egy adott célpontra.

A multistatikus rendszerek számára pozitív fejlemény, hogy egyes irányokból nézve a repülőgép csökkentett észlelhetősége közel sem működik olyan jól, mint szemből, tehát a szétszórtan telepített vevők eleve nagyobb visszhangot kaphatnak a kibocsátott sugár visszaverődése után.

Alapvető feltétele egy ilyen rendszernek gyors, titkosított és zavarásvédett adatátviteli rendszer, hogy a radar által kinyert adatok gyorsan továbbíthatóak legyenek és a rendszer elemei (vevők és adók) tökéletesen pontos időszinkronban legyenek. Több fajta üzemmód is elképzelhető egy ilyen rendszer esetén. Egy radar sugároz és több vevő fülel, vagy több sugároz és egy fülel eset is. Az, hogy hogy melyik előnyösebb a keresés szempontjából az nem feltétlen evidens, de a rendszer túlélése szempontjából – feltéve, hogy minden vevő egyben lehet adó is – előnyösebb, ha egy sugárzó van, kevésbé fedi fel a rendszer többi elemét, még ha el is pusztítják az egyik adót, akkor egy másik át veheti a szerepét. Az adók és a vevők lehetnek akár szárazföldi, hajóra vagy akár repülőgépre telepített eszközök is, lényegében hálózatba kötött radarrendszerről van szó. A repülőgép-fedélzeti radar túlélőképesség és jobb pozícionálhatóság miatt előnyösebb a szárazföldi telepítésű radarokhoz képest, de rendelkezésre állás szempontjából rosszabb. Földi telepítés esetén műholdas kommunikáció szükséges, ha a sugárzók nagyobb távolsága vannak egymástól, mert a radarok egymáshoz képest horizont alatt vannak.

A fentiekből látható, hogy ha még méteres hullámhosszú radarokból bi- vagy multistatikus radarrendszert építene ki bárki is, akkor annak megvalósítása, hogy a jelenlegi légvédelmi vagy légiharc-rakétákkal együtt tudjon működni, az nem lenne egy egyszerű kanyar. Még normál, egyszerű radarként sem nagyon lehetséges a mai rakétákkal megoldani a rávezetést és komolyan letörni az alacsony észlelhetőség előnyeit. Nem véletlen, hogy boldog-boldogtalan alacsony észlelhetőségű repülőgépet fejleszt vagy szerez be minden magát komolyan vevő középhatalom is.

Minden eszmefuttatás bi- és multistatikus radarrendszerről erősen elméleti, hadrendbe egyedül csak egy 2007-ben bemutatott típus került, a korlátozott képességekkel bíró méteres 52E6MU Sztruna-1MU / Barrier E lokátor rendszer. [396] *Tíz darab egymástól kb. 40 km-es távolságban elhelyezett adó és vevő, összesen kb. 400 km hosszú és 20 km széles felderítési sávot képes létrehozni, amiben legfeljebb 8 km magasan repülő célokat észlelhet.* [397] *A rendszer csak ebben a keskeny sávban képes célokat érzékelni, nem körkörösen, ahogy a hagyományos 360 fokban legyező távolfelderítő radarok. Még ha exportálják is, a képességei korlátozottak és egyetlen elemének kiesése még ezt is szinte azonnal megszünteti. A maximális észlelési magassága annyira alacsony, hogy még a harcászati kategóriát jelentő F-35 ellen is elégtelen nemhogy a B-2 ellen, aminek repülési magassága harci zónában 14 km körül van. Véleményem szerint még középtávon sem várható, hogy ez vagy hasonló rendszer drámai vagy egyáltalán bármilyen módon átalakítaná a légi harcászatot. Ez mind a képességei, mind a felépítési korlátaiból következik.*

A fent említett megoldásokkal az alacsony észlelhetőség leküzdésére azonban még csak gondolatkísérlet szintjén is számtalan probléma van. Az első, hogy ha sok radar működik egyszerre hosszútávon a túlélésük kérdéses egy olyan szintű ellenfél ellen, aki minőségileg és mennyiségileg is igen potens elektronikai felderítés és/vagy SEAD képességekkel rendelkezik, márpedig középtávon is ilyen hatalmaknak van/lesz alacsony észlelhetőségű vadászgépe. A legerősebb és élesben is helyt álló SEAD képessége pontosan annak az országnak van, aki jelenleg egyedüliként tart rendszerben alacsony észlelhetőségű vadászgépeket, illetve a jövőben a legnagyobb mennyiségben az fog rendelkezni ezekkel, ez az Egyesült Államok.

A másik probléma egy ilyen rendszer költségvonzata. Tegyük fel, hogy a jövőbeli vadászgépek képesek lesznek egy ilyen rendszer elemei lenni. Egyes kisebb mennyiségben gyártott 4+(+) generációs gépek ára a jelenlegi harcászati elektronikai rendszereikkel nagyjából annyiba kerülnek, mint a légierős/szárazföldi bázisról üzemelő változata az F-35-nek, az F-35A.

A fenti elmélet szerint legalább 3 db vevő/adó szükséges ahhoz, hogy egyetlen repülőgép kiesésekor a rendszer életképes legyen. Tehát nem nagyon érdemes egy bizonyos fejlettségi szintet meghaladó ellenfél ellen 4++ generáció vadászgépeket gyártani vagy tovább hadrendben tartani egy ponton túl. Inkább hasznosabb olyan alacsony észlelhetőségű vadászgépekkel vagy szubszonikus alacsony észlelhetőségű csapásmérőkkel rendelkezni, ahol az ellenfélnek is nagyon komoly erőfeszítéseket kell tenni egy csökkentett észlelhetőségű gép észlelésére, illetve a saját platform túlélőképessége is jobban biztosított a csökkentett észlelhetőség által.

Persze az is egy opció, hogy alacsony észlelhetőségű gépek is képesek legyenek ilyen „hálózatban történő fülelésre", persze ennek minden költség-vonzatával...

[396] http://www.ausairpower.net/APA-52E6MU-Struna.html
[397] http://forum.index.hu/Article/viewArticle?a=145549909&t=9120320

4.4.4. F-117 és a „láthatatlanság” mítosza, gyakori téveszmék

Az alacsony észlelhetőséggel kapcsolatban külön szükséges kitérni egy esetre, 1999-ben az Allied Force hadművelet alatt a szerbek által lelőtt F-117 esetéről van szó.

Egyes hírforrások azt állították, hogy egyes régi radarok ellen az alacsony észlelhetőség egyáltalán nem működik, sőt odáig mentek, hogy már-már szinte gyakorló célpontnak titulálták az alacsony észlelhetőségű gépeket, továbbá ezek feleslegességét és a csökkentett észlelhetőségű gépek rövid úton történő kihalását vizionálták. Ezek a kijelentések több szempontból is megmosolyogtatóak és cáfolhatóak.

- Radarok számára észlelhetetlen („láthatatlan”) repülőgép nem létezik, ezt legfeljebb csak a bulvársajtó hirdette. Ez az eddig leírtakból eléggé nyilvánvaló kijelentés. Az alacsony észlelhetőségű kialakítás nem teszi „láthatatlanná” és lelőhetetlenné a repülőgépet, „csak” megnehezíti a felderíthetőséget és nyomon követhetőséget a radarok számára, a távolság csökkenésével az észlelés feltételei adottak lesznek. A kérdés az, hogy ez mikor következik be és mennyire tág lehetőségeket biztosít az ellenfél számára.

  Lelőhetetlen repülőgép nem létezik, ahogy elsüllyeszthetetlen hajó sincs. Egy alacsony észlelhetőségű gép is csak akkor hatásos harceszköz, ha megfelelően használják. Az F-117-nek nagyon is megvoltak a maga korlátai, ahogy a mai alacsony észlelhetőségű repülőgépeknek. Ezért is van, hogy sem az F-22 sem az F-35 és egyik jövőbeli alacsony észlelhetőségű repülőgép nem pusztán erre a képességére támaszkodik, Az F-117-en semmiféle önvédelmi rendszer nem volt, még besugárzásjelző sem, manőverező képessége össze sem mérhető az 5. generációs vadászgépekével.

Infravörös sugárzása mindenképpen van a repülőgépeknek, optikailag (látható fény tartományában) meg aztán végképp nincs láthatatlanság, bár az éjszaka közepén bevetett fekete festésű gép azért elég nehezen felderíthető. Az infravörös felderítés korlátairól a 4.3.4. fejezetben már szó esett.

- A 1991-ben a Sivatagi Vihar hadművelet alatt nagyjából ugyanolyan légvédelmi rakéta-rendszereket használt Irak, amelyeket a szerbek is. Hogyan lehetséges, hogy azokkal nem voltak képesek lelőni egyet sem a kb. 1200 harci bevetés alatt, vagy legalább az első napon, mikor a légvédelmi rendszer még nagyon is egyben volt? Talán azért, mert egy eszköz csak annyit ér, amennyit az azt üzemeltető személyzete,[398] meg nem árt a szerencse sem...

- A nagyjából 1200 bevetés alatt egy darab lelőtt, és egy darab eltalált, de hazatért repülőgép arány olyan típusú bevetéseken, amikre a F-117 gépeket küldték, több, mint jó arány a támadó fél szemszögéből nézve.

  Az F-117 kiemelt „kemény célpontok” elleni bevetéseket hajtott végre, ez a fegyverzetéből is adódott. A Sivatagi Vihar alatt egy maroknyi gép volt képes csak saját célmegjelölővel támadni a célokat lézervezérlésű bombákkal. Oda, ahova fényes nappal 2-4 darab F-4G, 2-4 darab F-15C és 8-12 darab F-16 butabombákkal repülő hatalmas kötelék menne elektronikai zavarógép támogatással, oda elég volt 2-4 darab F-117 azonos zavarógép támogatással.

[398] *Egy F-117 pilóta véleménye szerint ez a különbség a gyengén képzett arab és a mérnöki tudással rendelkező személyzet között*

Eleve ott kezdődik, hogy precíziós páncéltörő bomba hiányában egyes célokat a hagyományos csapásmérők nem is voltak képesek támadni, pl. repterek megerősített betonfedezékeit, viszont ezek a célok jellemzően jól védettek. Így kell kezelni azt, hogy milyen bevetésarányos veszteséget szenvedett el az F-117 és mellette milyen eredményeket értek el velük. Bár az F-117 operálhatott volna elektronikai-zavaró támogatás nélkül, de jellemzően megkapta ezt a támogatást, tehát egyes forrásokban nem igaz az, hogy a gép teljesen önállóan operált volna. A lelövésének egyik oka pl. ennek a támogatás hiánya volt, az elektronikai zavarásoknál bemutatott behavazott P-18 indikátor esetén erre esély sem lett volna.

- Az alacsony észlelhetőségű repülőgépek kihalását jósolókat cáfolja az tény, hogy az USA, más középhatalmak, illetve fejlettebb és gazdagabb országok hosszú távon már nagyrészt csak alacsony észlelhetőségű vadászgépek beszerzésével számolnak, de minimum vegyes üzemeltetést képzelnek 4+(+) generációs vadászgépekkel. Az USA, Oroszország, Kína ilyen gépeket fejleszt, és ezen országok bevett vásárolói is tőlük tervezik beszerezni az ilyen kategóriájú repülőgépeket. Már középhatalmak is alacsony észlelhetőségű vadászgépek saját erőből történő fejlesztésében is gondolkodnak, pl. Japán és Dél-Korea. Sőt, nem csak repülőgépeknél, de manőverező robotrepülőgépeknél (cruise missile) és pilótanélküli repülőeszközöknél (UCAV) is egyre inkább teret nyer ez a megoldás.

- Egyesek szerint az F-117 egy bukott repülőgép és azért vonták ki a szolgálatból váltótípus nélkül, de természetesen ez sem igaz. Mikor a típust 2007-2008 körül kivonták az aktív szolgálatból – pontosabban tartalék állományba helyezték – azt annak fényében tették, hogy az F-35A rendszeresítése néhány éven belül megtörténik, az F-117-et messze felülmúló képességekkel. Abban a pillanatban az F-35A közelgő rendszeresítése miatt értelmetlennek tűnhetett az F-117 flotta további finanszírozása és reptetése. A porszem a gépezetbe akkor került, amikor az F-35A rendszeresítése kb. fél évtizedet csúszott. Az F-117 annyira volt „bukott”, hogy az első és egyetlen harci vesztesége után még nagyjából 9 évig hadrendben volt. Ha a típus megbukott volna, akkor nem költöttek volna még rá 9 évig rengeteg pénzt...

Az F-117 lelövésének körülményeiről a mai napig túl sok városi legenda és téves információ kering a neten és bulvárlapokban , annak ellenére, hogy név szerint ismert, hogy ki volt az osztályparancsnoka a Nyeva osztálynak ami az F-117-es lelőtte. Dani Zoltán, a szerb hadsereg magyar (székely) származású tisztje volt a sikert elérő osztály parancsnoka, a következő információk egy vele való beszélgetésből származnak. A másik oldal viszont nem igazán részletezi a körülményeket, érthető okokból.

Kezdjük magával az alakulat által használt technikával. A sikert az Sz-125M Nyeva (SA-3B Goa) légvédelmi rendszerrel érték el, de a normál Nyeva osztálytól eltérő eszközökkel. A szerb légvédelem az Sz-75M Volhov (SA-2E Guideline) légvédelmi rakéta-rendszerek Daytoni békeszerződés által megkövetelt kivonása után az azokhoz tartozó P-18 (Spoon Rest) méteres hullámhosszú felderítő radarokat nem selejtezte le. Ez a radar az Sz-125 rendszer P-15 (Flat Face) kismagasságú felderítő radarjához képest hosszabb hullámhosszon dolgozott, deciméter helyett méteresen, és ami lényegesebb, maximális felderítési távolsága is majdnem kétszeres volt (140 km helyett 270 km) vadászméretű célok ellen. Tehát eleve nagyobb maximális felderítési távolsággal rendelkezett, az, hogy a hullámhossza megfelelőbb volt az már csak külön szerencse volt. Dani Zoltán alakulata ilyen P-18 radart használt, ami lehetővé tette, hogy a F-117-et még éppen a megfelelő távolságból képes legyen észlelni, hogy az alakulat tűzvezető radarjával tudják hol keressék, befogják a célt indítsák a rakétát és még azelőtt találatot érjen el, hogy az a minimális megsemmisítési zónán belül kerülne vagy éppen a tűzvezető radar rávezetési távolságán túlrepüljön.

Balra a P-15, jobbra a P-18 radar.

Dani Zoltán kisebb változtatásokat hajtott az ő egysége által üzemeltetett légvédelmi eszközben, de ezt nem hivatalosan tette, a felettesei engedélye nélkül hajtotta végre azokat. Ez VSz-ben közismert, de békeidőben tiltott gyakorlat volt, mivel zavarta a környékbeli TV adását/vételét. Ez a változtatás minimális volt, kb. 6 MHz-el hangolta el a szokásos adás frekvenciától a P-18-at.[399] Az, hogy e nélkül mekkora távolságból lett volna hatásos a P-18 nehéz megmondani, az viszont biztos, hogy kb. 25-30 km-es távolságból kb. 10 km-es oldaltávolság paraméterrel – lásd a Nyeva HMZ diagram magyarázatát a 6. fejezetben – vette követésbe az F-117-et a P-18 azon az éjszakán.

A P-18 felkapcsolásakor a legközelebbi gépet vették célba, de másik három repülőgépet is észlelt a P-18 kicsit nagyobb távolságban, eltérő irányban amint azok éppen Belgrád légteréből fordultak ki. A célpont egyedül és nem kötelékben repült, ami azért adhatott némi támpontot a cél típusát illetően, de Dani Zoltán elmondása szerint ettől még nem tudták, hogy F-117-et derítettek fel, ez csak a lelövés után derült ki.

A kezelőknek még így is gyorsan kellett dogozni, mert az F-117 repülési sebessége kb. 800 km/h volt, ami kb. 220 m/s célsebességnek felel meg. A későbbiekben az Sz-125 rendszernél (5.2.1.2.3. fejezet) bemutatott HMZ diagramra nézve látható, hogy a minimális megsemmisítési zónán kívül repült az utánlövéssel számolva 10 km-es távolság esetén még lehetséges volt a rávezetés, de 6 km-es távolságban már nem. Az indítás után a rakétának időbe telt a kb. 8 km magasságban repülő F-117-hez érni, a találat pillanatában ezért a közeledési irányt nézve már oldalt-hátrafelé fordult a rávezető radar miközben persze a rakéta is fordult a cél után. A rakétát három pont (TT) módszerrel vezette rá az osztály a célra, ami a kutyagörbe típusú rakéta röppályát eredményezi, de ennek ellenére a rávezetés sikeres volt, a célpont nem manőverezett. Az F-117 lelövése nagy fegyvertény volt, azonban mi is kellett hozzá?[400]

---

[399] *Ezt itthon is csinálták stikában egyes alakulatok, amikor nagy sebességű MiG-25 sikeres elfogást ez segítette és a sikerért jutalom járt.*

[400] *Hpasp kiegészítése. „Azért nem kell túllihegni. A VSz-ben 1989-től lopakodót szimuláló célra is kötelező jelleggel hajtottak végre eredményes lövészetet a magyar légvédelmi rakéta osztályok Asulukban." Az én véleményem az, hogy mindez szép, csak éppenséggel a lőtéri eredményei a légvédelmi rendszereknek jellemzően 90% felett vannak. Ezzel szemben a valóságos arány és a baráti gépek lelövésének aránya meg a helyi háborúkban olyan volt, amilyen. A lőtéren pl. ritkán lőnek vissza HARM rakétával...*
A szituáció kipróbálható a SAM SIMULATOR játékban, http://sites.google.com/site/samsimulator1972/home
Lent egy magyar Nyeva osztály volt parancsnoka mutatja be az F-117A lelövésének mozzanatait: https://www.youtube.com/watch?v=PYXVXMZEOeU

- Igen képzett személyzet, akik a minimális automatizálással rendelkező régi technikát használva képesek voltak a szűk megsemmisítési ablakban megoldani a feladatot. Nagyjából 60 másodperc volt az idő, ami alatt az egészet folyamatot be kellett fejezni, de ebben benne tudtak maradni.

- A P-18 felderítő radar használta a P-15 helyett. Ez szintén csak véletlen volt náluk, nem minden Nyeva osztály azt használta, hanem a többség az eredeti P-15-öt.

- Az, hogy éppen Dani Zoltán osztályát választották le a Belgrád körüli gyűrűről a dandárból, az szintén csak a véletlen műve volt. Más alakulat estén a P-15-tel igen valószínű, hogy nem értek el volna sikert főleg, ha elfogadjuk azt a magyarázatot, hogy az a 6 kHz-es változtatás olyan sokat számított a P-18-nál.

- Hatalmas szerencse volt az is, hogy az osztály pont jó helyre települt. A SzNR-125-öt ugyanis csak kb. 15 km-es távolságból volt képes követésbe venni a célt, tehát ez még inkább szűkítette a rendelkezésre álló időt és a cél oldaltávolság paraméterét, azt, hogy mennyivel repülhetett el az osztály mellett az F-117. A normál célokhoz képest sokkal nagyobb súlya volt ennek. Ha csak néhány km-rel odébb repült volna az F-117 vagy 30-40 fokkal eltérő irányban, akkor már a HMZ-n kívül esett volna a cél vagy a minimális rávezetési távolságon belül lett volna az utánlövés miatt.

- Az alakulat azon az estén egy régi Dvina tüzelőállásban települt, a háború első napjától fogva ott voltak. Igaz, hogy nem sugároztak ki korábban, nem használták még a P-18 radart sem, csak telefonon tartották a kapcsolatot a parancsnoksággal, de valahol megdöbbentő, hogy a fix tüzelőállásokat nem tartották szemmel (?) a bevetés tervezők.

- Az is szerencse kérdése volt, hogy ekkor nem kapott az osztály HARM-ot,[401] bár azt hozzá kell tenni, hogy Dani Zoltán igen kemény korlátozást szabott meg a kisugárzásra. 21 másodpercnél hosszabb SzNR-125 használatot ritkán engedélyezett, és ha használták a tűzvezető radart, akkor a használat után rögtön neki is láttak az áttelepülésnek akkor is, ha nem indítottak rakétát.

  Érdekes módon a P-18 használatát nem korlátozta le az osztályparancsnok, előfordult olyan is, hogy a egy tüzelőállásból 12 órán keresztül használták a P-18 radart. Bár a P-18 immúnis a HARM rakétára, ellenben az elektronika felderítő gépeknek ennyi idő alatt elvileg gyerekjáték bemérni egy ekkora teljesítményűr radart és radargyilkos rakéta nélkül precíziós fegyverekkel támadható SHORAD és MANPAD hatásos megsemmisítési zónáján kívül is. Nem véletlenül mobil – már amennyire lehet egy ekkora jármű és antenna – a P-18 távoli rokonának és leszármazottjának tekinthető 1L119 Nyebo radar.

Összegezve, a szerb légvédelem egyik kiemelkedően sikeres egysége kemény munkával és szerencsével érte el a sikert, de a hadművelet végkimenetelét semmilyen mértékben nem befolyásolta. A bevetésarányos veszteség alacsony maradt, a legfontosabb eredményt a szerbek részéről az jelentette, hogy az Allied Force utolsó napján is pont olyan erős SEAD kíséretet kellett adni, mint az első nap. Csak éppen eközben is elvesztették légvédelmük számottevő részét.

---

[401] *A teljes hadművelet ideje alatt Dani osztálya körül 23 db HARM roncsot számoltak meg, pontosabban csak azon rakétákat tartalmazza, amit megtaláltak, a rájuk indított rakéták száma ennél magasabb is lehetett. A Nyeva LORO rávezetési módjával nem lehetett észrevenni a közeledő HARM rakétákat csak azon ritka esetben, ha az a gép indította, amire a Nyeva dolgozik. (Lásd a rendszer részletes ismertetésénél.)*
http://jetplanes.blog.hu/2017/03/27/mitoszrombolo_18_eve_lottek_le_a_lopakodot Az írás a korábban megszűnt jets.hu oldalon is megjelent, a mellékletek között elérhető korábbi változata.

A másik helyenként, komolytalan forrásokáltal említett hatás sem igaz. A jövőbeli alacsony észlelhetőségű gépek fejlesztését egyáltalán nem gáncsolta el az eset, ellenben az Allied Force idején meglehetősen gyengén muzsikáló SEAD képességek erőteljes fejlesztésére ösztönözte az amerikaiakat. (Pontosabban a SEAD, vagyis az elnyomás működött, de a megsemmisítés már kevésbé.) Úgy is lehet fogalmazni, hogy felébresztették az alvó oroszlánt. Azóta kombinált vezérlésű AGM-88 HARM – lásd később – magasabb szintű szenzorfúzió valósult meg, illetve adatkapcsolaton keresztül külső elektronikai hadviselési és felderítő rendszerekkel.

Ma már elképzelhetetlen egy USA ellenfeleként, hogy valaki 12-24 órát sugározzon radarral egy helyen maradva anélkül, hogy ne kapna igen komoly figyelmet. Olyan egészen brutális koncepciót is felvázoltak, hogy BGM-109 manőverező robotrepülőgépnek „radargyilkos" multiszenzoros változatát is megalkotják, ami akár még a visszatérésre is képes, tehát indítás után nem feltétlen veszik kárba az igen drága fegyver. Az eszköz hatósugarát őrjárati időre váltanák a harcászati zónában, ráadásul a legújabb BGM-109 változatok már kétirányú adatkapcsolattal is rendelkeznek. (Ezt végül egyelőre elvetették, de ki tudja mit hoz a jövő.)

Tehát azt vizionálni, hogy a jövőben bármelyik nagyobb vagy akár kisebb léptékű konfliktusban halomra mészárolna a Nyeva, Dvina vagy bármilyen régi légvédelmi rakéta-rendszer P-18 felderítő radarral vagy hasonló eszközzel alacsony észlelhetőségű repülőgépeket teljesen nevetséges feltételezés főleg úgy, hogy az alacsony észlelhetőségű F-35 és jövőbeli gépek csapásmérési távolsága radargyilkos rakéta nélkül is sokkal inkább ki van tolva a kisméretű siklóbombák által, illetve az F-117 a ma szolgálatban álló 5. generációs gépekhez képest süket és vak volt, lévén nem rádiózhattak és besugárzás jelző sem volt rajta.

A 5. generációs gépeken már megoldott a besugárzásjelző használata, illetve az F-35-ön még ehhez jön a DAS adott esetben folyamatos adatkapcsolattal megspékelve, az 5. generációs vadászgépek manőverező képessége és repülési teljesítménye messze jobb, és több mint elegendő egy olyan ősrégi légvédelmi rendszer rakétájának kimanőverezésére, mint a Nyeva. Valójában még az F-117 is képes lett volna kimanőverezni magasságvesztéssel azt, ha tudott volna a rakétaindításról és a közeledő rakéta irányáról. Ezen felül nem egyesével repülnek az alacsony észlelhetőségű repülőgépek, ahogyan az F-117 tette, hanem egymással adatkapcsolatot tartva. Összefoglalva egy fecske nem csinál nyarat főleg, ha az a fecske igen öregecske...

Dani Zoltán egysége egy B-2 lelövését is jelentette, de ezt soha nem tudták igazolni a szerbek semmivel. Ez már csak azért is lehetetlennek tűnik, mert a Spirit 12-15 km magasan repülte le bevetéseit, tehát mindkét radar számára átlagosan nézve a B-2 követési távolságon kívül repült. A P-18 esetenként még talán-talán érzékelhette a B-2-őt, de az SzNR-125 rávezető állomásnak erre elvileg semmi esélye nem volt még akkor sem, ha pontosan az osztály felé repült a B-2. Arról, hogy az ominózus esetben, amikor a B-2 lelövés történt milyen célmagasság volt, arról Dani Zoltánt – jobbra fent a képen a lelőtt gép egy darabjával[402] – kellene megkérdezni...

[402] *A képet Hpasp készítette.*

5. Légvédelmi, légiharc és levegő-föld rakéták „hatótávolsága”

5.1. Légvédelmi rakéta-rendszerek

A légvédelem rakéta-rendszerek megsemmisítési távolságát, vagy szakszerűbben hatásos megsemmisítési zónáját rengeteg tényező befolyásolja, a „hatótávolság” okkal szerepel a fejezet címében idézőjelben, mert rendkívül pontatlan fogalom.

A marketing anyagokban, félrevezető és leegyszerűsített anyagokban a laikus azt láthatja, hogy egy adott pont, a légvédelmi osztály vagy jármű köré kisebb/nagyobb átmérőjű köröket húznak, ami azt a fals képzetet erősíti, hogy egy légvédelmi rakéta-rendszer megsemmisítési zónája körszimmetrikus, továbbá minden irányban és célsebességre nézve egyenszilárd sőt, akár egy időben többirányú célleküzdés fals képzetét is adhatják ezek az ábrák. Bár tény, hogy megjelenésük óta a légvédelmi rakéta-rendszerek hatalmasat fejlődtek és a korlátok egyre inkább eltűntek, de ez még ma sincs így.

Első lépésben a légvédelmi rakéta-rendszerek korlátai kerülnek bemutatásra, ami után érthető lesz, hogy mennyivel bonyolultabb a helyzet a légiharc-rakéták esetén. Első körben a következő fogalmakkal ismerkedjünk meg pusztán kinematikai (mozgási energia) szerint vizsgálva, ezek értelmezhetőek légvédelmi és légiharc-rakéták esetén is, de eltérő módon szükséges azok alkalmazása. Csökkenő méret szerint (közeledő célpontok ellen) tehát a következő zónák állapíthatóak meg:

- Indítási zóna. Az a zóna, ahol a cél tartózkodik az indításkor, amennyiben feltételezzük, hogy manőverezés (és zavarás) nélkül, állandó sebességgel repül tovább. Ebben a távolságban indítva a rakéta a találkozási pontban rendelkezik még a találathoz szükséges manőverek végrehajtásához szükséges mozgási energiával.
- Tüzelési Zóna, az a távolság, ameddig a rakéta elrepül és még irányítható, képes manőverezni. A tüzelési zóna közeledő célok ellen kisebb, mint az indítási zóna, távolodó célpontok ellen ez a viszony megfordul.
- Hatásos megsemmisítési zóna, (a továbbiakban HMZ). A tüzelési zóna azon része, melyben a cél megsemmisítése adott valószínűséggel, manőverezés és zavarás nélkül biztosított. Ez komplexum és az indított rakéták számától is függ, a Volhovnál 3 db rakéta indítása esetén 99%-os valószínűségre vonatkozik, lásd később a rendszer bemutatásánál.
- Garantált indítási zóna. Az a távolság, ahol a célpont tartózkodik az indításkor, ha feltételezzük, hogy tetszőleges manővert alkalmaz és ennél az indítási távolságnál sem fog a célpont kirepülni ekkora távolságnál a HMZ-ből, ameddig a rakéta odaért a célponthoz. Tetszőleges manőver persze az adott célpontra vonatkozik, ami nem azonos, emiatt eltérő célok ellen ez a zóna eltérő.

Ha nem a tudományos alaposság a cél, akkor a tüzelési zóna véleményem szerint elhagyható kategória, mert harcászatilag haszontalan amit mutat, ennek indikátora, hogy a fenti listában is változik a sorrendje ezeknek. Konkrét példán keresztül lásd később.

A légvédelmi rakéta-rendszerek bemutatásánál mind az orosz, mind az amerikai filozófia is a HMZ-t adja meg, mert az a legszemléletesebb és célravezetőbb azon okból kifolyólag, hogy jó definiálja azt, hogy hol van veszélyben bármilyen célpont, ha az nem reagál semmilyen módon a fenyegetésre. A HMZ a tartomány, ameddig a rakéta képes leküzdeni a célt, tehát nem a rakétaindítás pillanatában levő távolságot ábrázolja a célpont és a rakétaindító között.

Ebből az következik, hogy egy légvédelmi rakéta-rendszer figyelembe véve a célpont sebességét és repülési irányát már azelőtt indíthat rakétát – amennyiben képes befogni a célpontot infravörös szenzorral vagy radarral – hogy a célpont a HMZ-be érne, mert mire a rakéta a célpont közelébe ér, addigra a célpont is a HMZ-be repül, ha az légvédelem bízik abban, hogy a cél nem változtat sebességet, irányt vagy magasságot. Egyes célpontok esetén ez lehet merész feltételezés – harcászati vadászgépek esetén – de nagy sebességű rakéták, interkontinentális bombázók esetén ameddig bombafegyverzettel támadtak, ahol a célpont minimum sejthető vagy ismert, ott elég jól megjósolható, hogy a HMZ-be belépés mikor fog bekövetkezni, ez igaz nagyjából robotrepülőgépekre is, mint pl. a BGM-109 Tomahawk.

Ez alapján a garantált indítási zóna az lényegében a manőverező céloknál van értelmezve, amik adott sebesség és távolság esetén egy idő után elhagynák a HMZ-t. Tehát a indítási zóna és a garantált indítási zóna azok lényegében a célparamétertől függően a HMZ „kitolása” vagy „összenyomásai”, de ezeket nem nagyon szokták ábrázolni. Ennek oka, hogy a harcászati gépek paraméterei és képességei között nagy különbség van, ezek csak becsülhetőek – ahogy a pilóták cselekedetei és reakciói, továbbá manőverei – tehát a kapott távolság értékek legfeljebb ökölszámok lehetnének. Egy későbbi ábrán szemléletesek lesznek ezek a fogalmak, de ezek megértéséhez további tényezők megértése is szükséges.

Az célpontok az esetek legnagyobb részében nem a légvédelmi rakéta-osztályok vagy járművek felé repülnek, hanem valamekkora távolsággal elhaladnak mellettük. A szovjet-orosz terminológia ezt hívja „paraméternek”. Mivel a „paraméter” szó önmagában félrevezető, ezért a továbbiakban (és már a korábbiakban is), amikor egy célpont általános tulajdonságairól van szó (távolság, magasság, sebesség, aspektus, RCS, stb.) akkor a célparaméter a terminológia, a mellérepülés esetén „oldaltávolság paramétert” használja az összefoglaló. Az oldaltávolság paraméter tehát minden esetben távolság, a célparaméter viszont egészen változatos lehet annak függvényében, hogy mit és milyen szempontból vizsgálunk.

A légvédelmi rendszerek megsemmisítési zónájának tehát minimális és maximális szélső paraméterei vannak, amit a következő fő paraméterek és tényező határoznak meg:

- a célpont:
  - távolsága
  - magassága
  - haladási iránya
  - oldaltávolság paramétere
  - radarkeresztmetszete
  - manőverező képessége
  - végez-e zavarást vagy sem

- a légvédelmi rakéta rendszer képességeiből és kialakításából adódó korlátozások:
  - a rakéta típusa, használ-e pl. gyorsító fokozatot, maximális elérhető túlterhelése
  - vezérlési módja, pl. a rádió-parancsközlő vezérlés korlátozza a HMZ-t
  - az indító platform tengerszint feletti magassága
  - a levegő hőmérséklete (kismértékben)

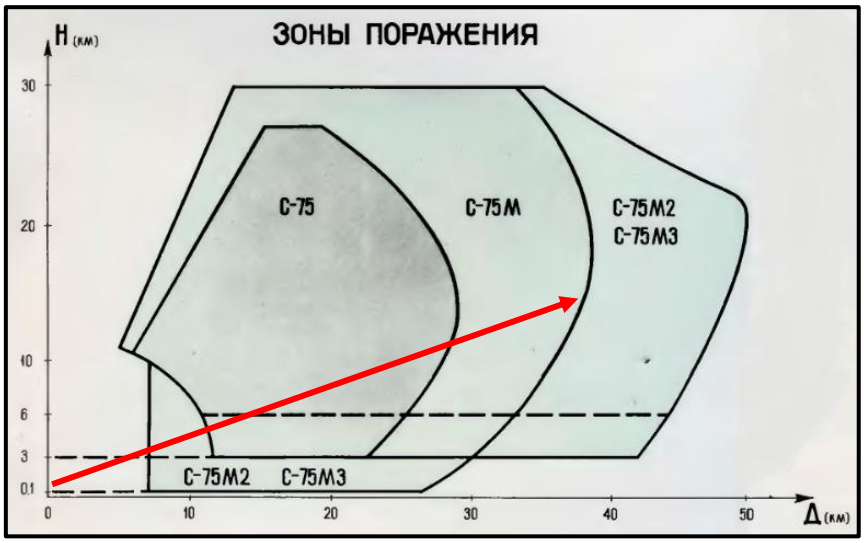
A fentieken felül fontos faktor a domborzat jellege is, ami a rávezetés és célfelderítés során alapvető korlát, ezzel már a radarok bemutatásnál foglalkoztunk. A későbbiekben bemutatott HMZ diagramok a légvédelmi rakétákra mindig 15-20 fokos tengerszinti levegő hőmérsékletre és 0 méteres tengerszint feletti magasságra vonatkoznak, ehhez képest változik meg a (kinematikai) HMZ a külső paraméterek függvényében.

A minimális rakétaindítási távolság és magasság, illetve az ebből adódó minimális megsemmisítési magasság és távolság több tényező miatt léteznek. A régebbi szovjet és amerikai honi légvédelmi rakéták indítása szilárd hajtóanyagú indítófokozattal történt annak kiégéséig a rakéta nem végezhetett manővereket.[403] Még, ha egyfokozatú (egylépcsős) a rakéta, akkor is egy bizonyos sebesség alatt gyengén manőverezik, nem ébred elegendő kormányerő a kormányfelületeken, amíg el nem ér egy sebességet, így nincs remény találatra még nem manőverező célpont ellen sem. Korlátozó tényező lehet pl. az is, hogy milyen gyorsan képes mozogni a célpontot megvilágító antenna, illetve milyen szögtartományon belül.

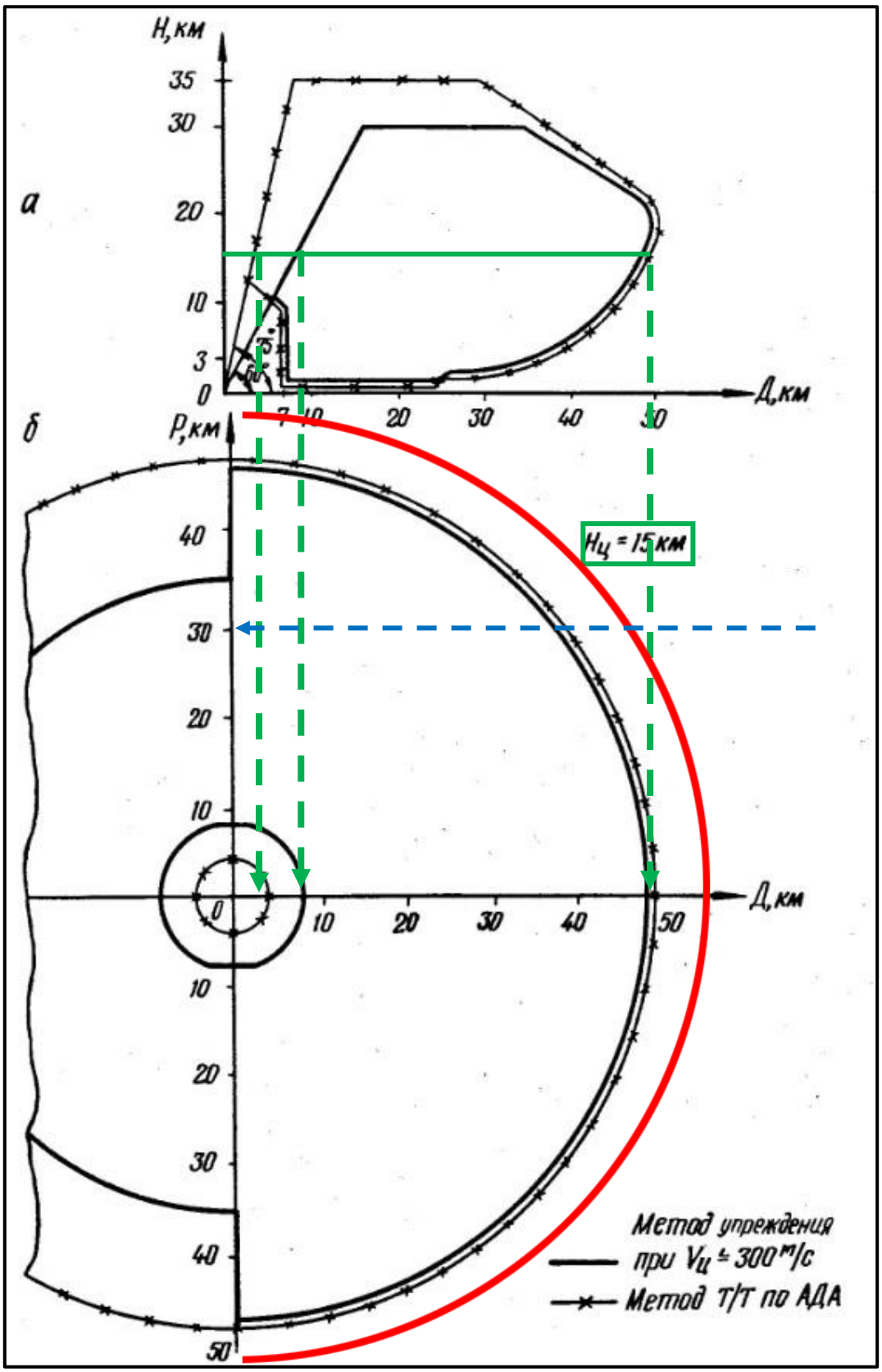
A légvédelmi rakéta-rendszereknek minimális alsó- és felső célleküzdési magassága van a fent felsoroltak okok miatt sőt, a fentieken túl kezdetben kismagasságú célok ellen még a megfelelő rádiógyújtó (közelségi gyújtó) kialakítása is problémát jelentett.

A rendszerek minimális és maximális célsebesség-korlátai a radar, illetve a rakéta korlátjaiból vezethetőek le. A radartól függ, hogy meddig képes pontosan mérni a célpont paramétereit és mekkora távolságon, továbbá a rakéta manőverező képessége és a rávezetés módja a rakétától megköveteli bizonyos túlterhelésű manőverek végrehajtását, amire a rakéta adott esetben nem képes még akkor sem, ha a célpont nem végez semmiféle kitérő manővert. Ilyen eset pl. amikor három-pont rávezetésre vannak kényszerítve elektronikai zavarás miatt a rakéták és azok manőverező képessége erősen korlátozott, lásd később az SzA-75/Sz-75, Sz-125 rendszerek bemutatásánál.

A HMZ diagramok bemutatása előtt szükséges annak tudatában lenni, hogy a HMZ diagramok többsége a legegyszerűbb helyzeteket mutatja be. A teljes, térben igen komplex HMZ diagram egyetlen metszetét mutatják be egyetlen célsebességre vonatkozólag úgy, hogy az zavarást nem végző, nem manőverező célpontra vonatkozik. A lenti ábrán az Sz-75 Gyeszna és Sz-75M Volhov rendszer különféle változataival és eltérő rakétáival elérhető HMZ-t mutatja be hangsebességnél lassabb célpontok ellen, 0 km oldaltávolság esetén, tehát a célpont pontosan a légvédelmi osztály felé repül. A piros egy adott pontra értelmezhető ferde lőtávolságot mutatja, mivel a radarok ezt a távolságot mérik és jelzik ki, ezért a rendszerek megsemmisítési távolságai is mindig ferde lőtávolságban vannak értelmezve.

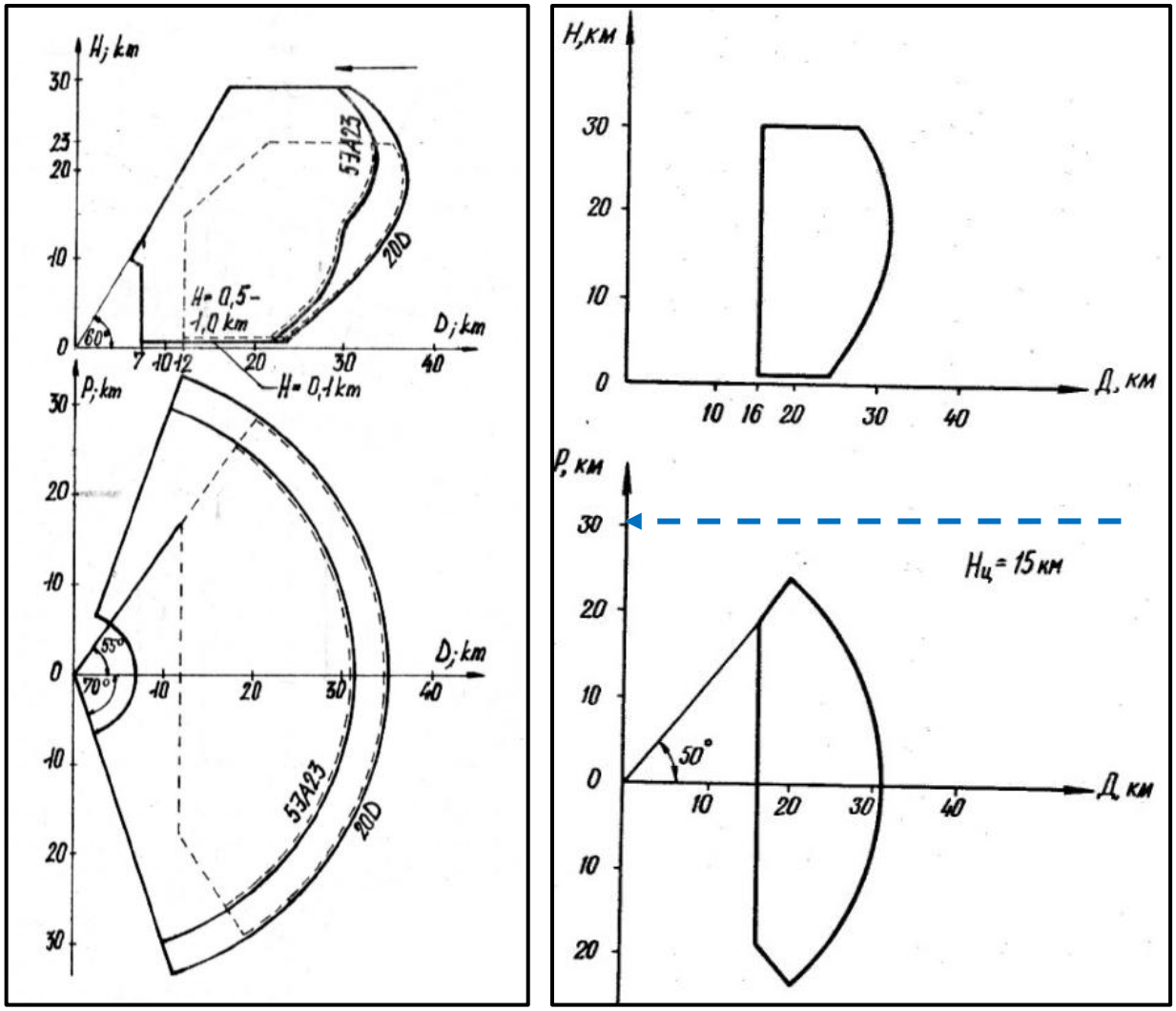


[403] *Alapvető cél a fejlesztésnél, hogy egylépcsős rakétát készítsenek, amennyiben a kinematika lehetővé teszi. Mára már a kétfokozatú rakéták is egyszerűbbek, mint az „ősidőkben" voltak a Volhov és Nyeva idején. Érdekesség, hogy OSza/Tor/Sztrela-10 fejlesztői sikeresen támadták a Tunguzkát azzal az indokkal, hogy a Mach 3 sebességű gyorsító fokozat a védett csapatok fején landolhat, ellentétben az ő rendszerük egylépcsős rakétájával szemben, a Tunguzka viszonylagos sikertelenségét ez okozta. Érdekes módon a honi légvédelemnél ez az érv már nem számított amikor az Sz-300-ast kell megvédeni a Pancírral... (Hpasp kiegészítése)*



Az egyszerűsített esethez képest a fent látható diagram már két nézetből ábrázolja a HMZ-t, a fekete görbékkel határolt terület mutatja a zónát. A diagram bal oldalán látható, hogy távolodó célpontok ellen kisebb a HMZ. Amennyiben szubszonikus célra szeretnénk ábrázolni az indítási zónát, akkor a piros színű görbével határolt zónát kapnánk. A rakéta repülési ideje a HMZ széléig kb. 50 másodperc, ami azt jelenti, hogy közeledő célpont ellen már akkor indítható, amikor az HMZ-nél nagyobb távolságban van. A fenti ábrán a 30 km oldaltávolsággal közeledő célpont pályáját mutatja a kék színű szaggatott nyíl.

A lenti két ábrán szintén az Sz-75M Volhov HMZ diagram látható, a jobb oldali ábrán[404] a 640-1000 m/s közötti célpontkra vonatkozó HMZ van ábrázolva. (Az AGM-28 maximális sebessége kb. 700 m/s volt.) A HMZ maximális távolsága alig 30 km a legoptimálisabb esetben is, a minimális céltávolság immáron 16 km-re nőtt a szubszonikus célok elleni 7 km-rel összevetve. A cél oldaltávolság paramétere korlátozott, az osztály mellett kb. 18-23 km-en túl elerepülő célra nem képes rakétát rávezetni, tehát ha szubszonikus célpont helyett mondjuk egy AGM-28 közeledne pontosan azonos pályán, a rendszer abban az esetben kisebb eséllyel vagy egyáltalán nem képes a célpontot megsemmisíteni. Mivel a HMZ adott valószínűségre vonatozik, ezért nem megállapítható, hogy mekkora eséllyel lőne egy ilyen célpontot a Volhov rendszer, vagy az, hogy egyáltalán képes-e rá.



Ebben az esetben tehát a 0 km oldaltávolságban készített HMZ metszet igencsak elhallgatná azt, hogy mennyie korlátozott is a rendszer HMZ-je nagysebességű célpont ellen, jól látszik, mennyivel eltérőbb és nehezebb célpont egy ilyen a szubszonikus célokkal összevetve. Emiatt van az, hogy a ballisztikus rakétaelhárításra alkalmas rendszerk képességei kezdetben szinte csak az osztály saját önvédelmére és legfeljebb néhány km-es oldaltávolságra terjedt ki. Tehát a saját csapatok védelme még harcászati ballisztikus rakéták ellen sem volt lehetséges, amik maximális sebessége legfeljebb 800-900 m/s volt a végfázisban és viszonylag jól előrejelezhető azok pályája, hiszen a ballisztikus rakéták (kevés kivételtől eltekintve és ezek is a ’80-as években jelentek csak meg) pályája jól meghatározható néhány mérés alapján.

[404] http://historykpvo.narod2.ru/ - *правила стрельбы комплекса С-75М Волга ПС 75 - 44.oldal*

A fentiek alapján ezek után nyilvánvaló, hogy a laikusok számára bevett, egyetlen hatótávolság értékkel dobálózni és azzal érvelni mennyire értelmetlen. Ez egyébként a légiharc-rakétákra is igaz, lásd később.

Azt is fontos megérteni, hogy a fenti komplexebb HMZ ábrák nem csak a kinematikai, de adott esetben más tényezőkből származó korlátokat is ábrázolhatnak annak ellenére, hogy a fejezet elején pusztán mozgási energia szempontjából kezdtük vizsgálni a különféle zónákat.

Mivel a célpontok légvédelmi rakétáknál többségében szubszonikus repülőgépek ezért terjedt el a 0 km-es oldaltávolság metszetét ábrázoló diagram, mert ezek még a korai rendszereknél is viszonylag jól lefedték a teljes HMZ tartományt körszimmetrikusnak feltételezve, annak ellenére, hogy ez nem így van. A rendszer képességeinek nagyságrendi pontosságának bemutatására több, mint alkalmasak ezek. A probléma ott kezdődik, amikor ezekből levezetve a laikusok azt képzelik, hogy ez alapján sokkal kisebb radarkeresztmetszetű célpontok – pl. hajó elleni vagy radar elleni rakéták, robotrepülőgépek – vagy nagysebességű célpontok és ballisztikus rakéták ellen is ezek a HMZ-k érvényesek, holott ez már viszont nagyon nem igaz.

A 200-350 km-es HMZ-vel rendelkező Sz-300VM csapatlégvédelmi rendszer ballisztikus rakéták ellen azok sebességétől függően legfeljebb 30-40 km-es HMZ-vel bírnak úgy, hogy ezek oldaltávolságát nem adták meg. Még körkörösnek is feltételezve ezt a kisebb értéket is belátható, hogy mekkora szakadék van képességek terén az eltérő célpontok között. A szubszonikus repülőgépek ellen nézve az Sz-300VM a világ egyik legkomolyabb területvédelemre képes légvédelmi rakéta-rendszere, azonban ballisztikus rakétaelhárító képessége még ennek is legfeljebb néhány közeli hadosztályra terjedhet egy Sz-300V harci (rakétás) osztályt nézve, ezért szükséges több Sz-300V osztály egy 150-200 km-es frontszakasz védelmére.

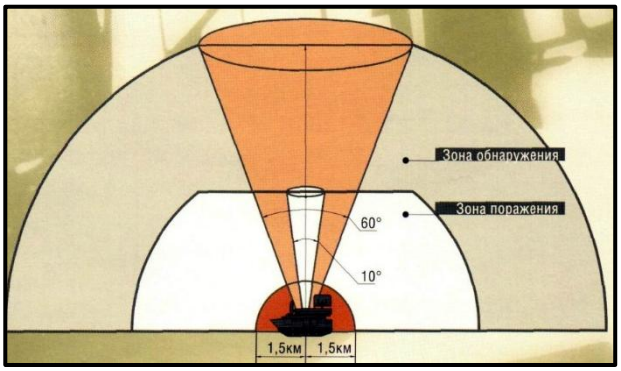
A fenti diagramok további értelmezésnél szükséges megjegyezni, hogy nem manőverező célokra vonatkozik, alapvetően azt mutatja meg, hogy mekkora távolságig képes elrepülni a rakéta, de azt már nem mutatják meg, hogy mekkora túlterhelésű manőverek végrehajtására képesek. Hiába repül el pl. a 2K12 Krug rakétája akár 50 km távolságba is, ha annak maximális túlterhelése mindössze 6G. Egy hangsebesség közelében repülő gép pilótája amennyiben tudatában van, hogy támadás alatt áll és képes észlelni az erősen füstölő rakétát, akkor nem számít nehéz feladatnak a rakéták kimanőverezése.

Ezért fontos faktor például az is, hogy a rakéta hajtóműve meddig üzemel és hogy mennyire erősen füstöl. Az újgenerációs légvédelmi rendszerek esetén nem ritka hatalmas végfázis sebesség (3-6 Mach) úgy, hogy a rakéta hajtóműve csak az indítás utáni 10-20 másodpercben üzemel, ami vizuális úton észrevehetetlenné teszi a rakétákat. Még, ha a célpont mozgási energiája (sebesség) és a repülőgép manőverező képesség szerint képes lenne kitérő manőver végrehajtására, a pilótának fogalma sincs arról hogy azt mikor kellene megtennie.

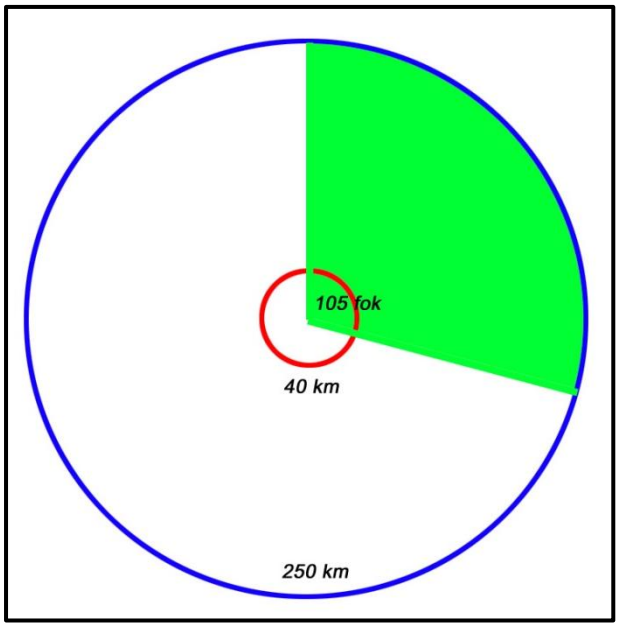
A ma hadrendben levő repülőgépek többségére is igaz az, hogy fogalmuk sincs a feléjük közeledő rakéták helyzetéről, ez alól az Eurofighter Typhoon radaros MAWS berendezése, illetve az F-35 DAS rendszere jelent kivételt, de ezeknél is csak korlátokkal igaz az észlelési képesség, az F-35-nél is csak adatkapcsolaton keresztüli háromszögeléssel lehetséges az észlelt infravörös források távolságának meghatározása.

A Typhoon rendkívül magas hullámhossz tartományban dolgozó rendszerének hatótávolsága valószínűleg 10-15 km az antenna mérete és teljesítménye alapján, tehát az igazán nagysebességű rakéták esetén nincs idő érdemben reagálni. Az Sz-300VM és Sz-300/400 család rakéta sebessége még 100-200 km távolságban is 1200-1400 m/s, tehát néhány másodperc alatt céloz érnek az első radaros MAWS észlelést

számítva, ami azt jelenti, hogy nincs idő sebességet gyűjteni kitérő manőverhez, ha éppen utazósebességgel haladnak a gépek. (A rakéták maximális túlterhelése amúgy is akkora, hogy adott esetben legfeljebb elvi esélye van a sikeres kitérő manővernek.)



Maga a radar fizikai kialakítása is korlátozó tényező lehet a megsemmisítési zóna tekintetében, hogy mekkora szögben képesek pásztázni helyszög és oldalszög szerint. Emiatt van az, hogy egyes újgenerációs támadó rakéták ezt próbálják kihasználni és az ilyen vakfoltok irányából támadni. Persze ehhez olyan indítási pozíció is kell, ami lehetővé teszi azt, hogy a bomba vagy rakéta egyáltalán képes legyen ilyen helyzetbe manőverezni magát. Balra fent az ábrán a Tor-M2 (SA-15) helyszög szerinti „vakfoltja” látható, közeli és magasan átrepülő célokat nem képes követni, tehát adott estben megszakadhat a rávezetés is, ha ezen a zónán halad át a célpont.



A fentieken túl még a legkorszerűbb légvédelmi rendszereknél is korlátozó tényező a tűzvezető radarok által meghatározott tűzív. Nincs olyan rávezető állomásos nem aktív radaros rakétát használó légvédelmi rendszer, aminek körkörös megsemmisítési zónája lenne egy adott antenna oldalszög beállítás esetén.

Az Sz-300VM esetén a teljes kör, amit az osztály köré rajzolnak azt mutatja, hogy tetszőleges irányba beállítható a tűzvezető radar, de a 360 fokból ebből egyidejűleg egyetlen osztály csak 105 fokos zónát képes lefedni, továbbá a ballisztikus rakéták ellen töredéke a HMZ kiterjedése szubszonikus célpontokkal összevetve.

További korlátozó tényező a digitális radaroknál a célpontok minimális radiális sebessége, ami a beaming manővernél fontos tényező, ez az Sz-300PMU rendszer HMZ diagramján lesz látható, lásd később a rendszer bemutatásánál.

A fentiek függvényében később bemutatásra kerülő légvédelmi rendszerek, továbbá a részletesen be nem mutatottak esetén is érhetővé válik, hogy miért olyan a HMZ-jük amilyen, miért nem egyenszilárdak és miért találhatóak benne első látásra anomáliák.

5.2. Légiharc-rakéták

A légiharc-rakéták esetében a helyzet még bonyolultabb a légvédelmi rakétákhoz képest, mert az indító repülőgép mozog, továbbá annak repülési magassága és sebessége is igen széles tartományban változhat, ami meghatározza a rakéta kezdősebességét és helyzeti energiáját is, amit a végfázisban sebességre (mozgási energiára) válthat át.

A fenti tényezők felvetik azt a kérdést, hogy a rakétaindítás pillanatában hogyan és milyen távolságokat (zónákat) határozzanak meg a különféle zónák értelmezéséhez. A rakétaindítás helye térben egy fix pont,

de maga az indító repülőgép ettől még adott irányba és sebességgel repül tovább, ami vadászgépek közötti összecsapás esetén felveti azt a kérdést, hogy a rávezetés ideje alatt – félaktív és aktív radarvezérlés esetén – az indítási ponttól mekkora távolságra kerül a célpont és maga az indító repülőgép is, illetve hogyan változik ezek magassága és egy hogyan befolyásolja a rakéta hatótávolságát és manőverező képességét.

A légvédelmi rakéta-rendszereknél ezek a változók sokkal kevésbé szélsőségek a 0 méteres indítási magasság és 0 sebesség miatt, de a néhány oldallal korábbi Volhov HMZ ábrán jól látható, hogy a HMZ a célmagasság emelkedésével nő Sz-75M változnál. Ez azt jelenti, hogy hiába kerül adott mennyiségű energiába (tolóerő = teljesítmény * idő) adott magasságba emelkednie a rakétának, ezt hosszútávon kompenzálja a légkör sűrűségének változása, az egyre kisebb légellenállás nagyobb magasságban. A légiharc-rakétáknál ez a hatás még inkább szélsőséges esetekhez vezethet, mert az indító repülőgép már indításkor is repülhet 8-10 km magasan, ahol a légkör sűrűsége kisebb, nagyjából harmada a tengerszinten mérhetőnek. Emiatt lehetséges az, hogy mind az indító repülőgép, mind a célpont magasságától függően egészen elképesztő nagy vagy fordított esetben, akár elképesztően kis indítási és megsemmisítési zóna adódhat ki még hatalmas méretű és tömegű légiharc-rakétákkal is.

A légvédelmi rakétáknál ismertetett négy zóna-kategória ismételt értelmezéshez azonban érdemes néhány konkrét esetet is megvizsgálni általános megállapítások előtt, amik érthetővé teszik a légiharc-rakéták megsemmisítési zóna ábráit, illetve alátámasztják azok értelmezésének helyességét is.

A légiharc-rakétáknál az indítási magasság még azonos indítási sebesség esetén is számottevően befolyásolja a rakéta égésvégi sebességét, ami után a rakéta lassulni kezd, de még radikálisabb a hatása a rakéta lassulására. A lenti diagramokon látható, hogy a repülési magasság függvényében (meg nem nevezett, valószínűleg AIM-9L) Sidewinder rakéta esetén mekkora a rakéta sebessége. Mindhárom esetben M0,9 sebesség mellett történt az indítás tengerszinten 10 ezer láb illetve 20 ezer láb (3 és 6 km) magasságban. Az elért csúcssebességek láb/méterben vannak megadva, amik sorrendben 2600, 2900 illetve 3100 láb/sec (790, 880, 940 m/s). Ami sokkal figyelemreméltóbb az, hogy hány másodperccel az indítás után lassul vissza a rakéta hangsebesség közelébe (kb. 1100 láb/sec, 330 m/s) és az, hogy ezalatt mekkora utat tesz meg a rakéta.

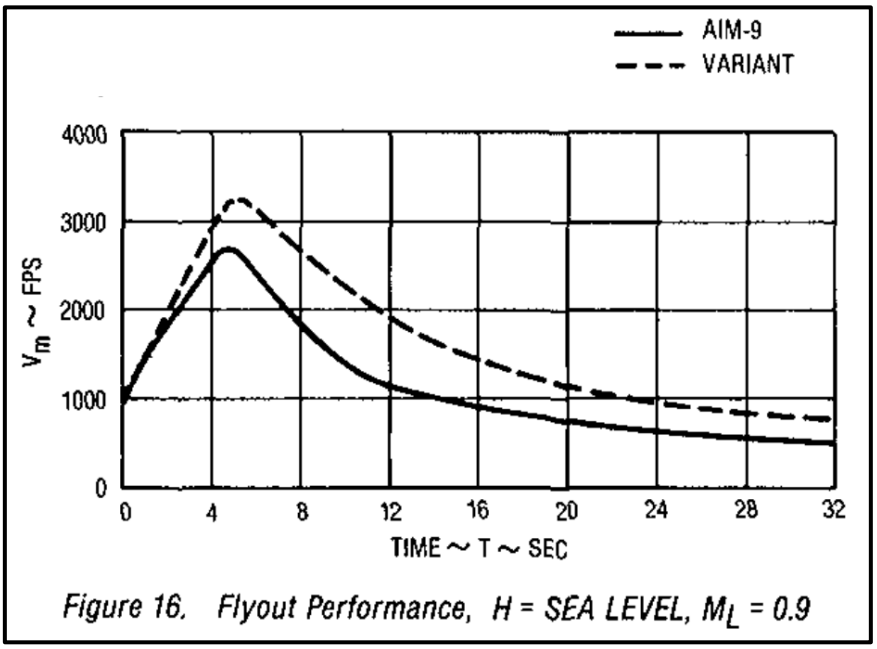


Figure 16. Flyout Performance, H = SEA LEVEL, M_L = 0.9

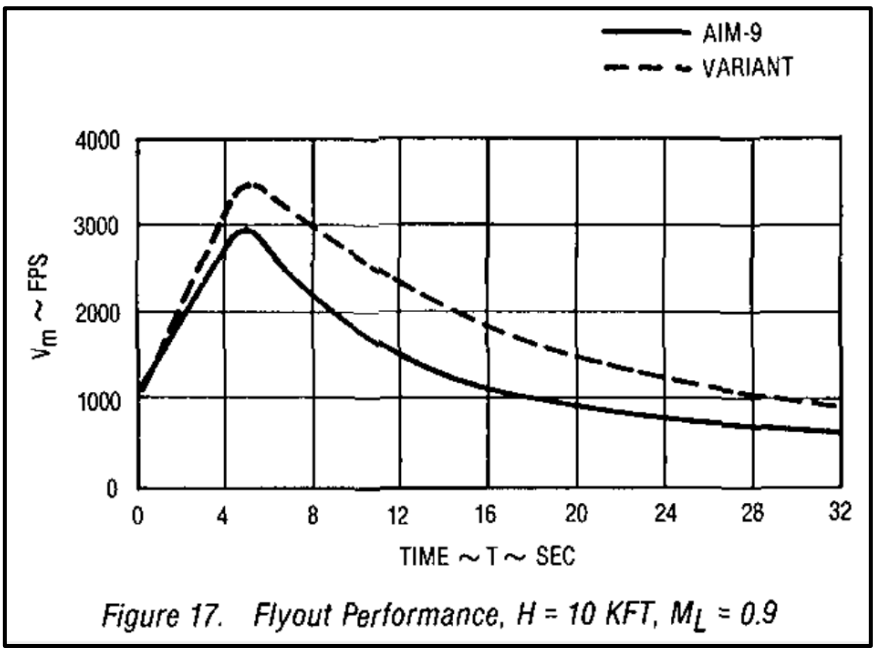


Figure 17. Flyout Performance, H = 10 KFT, M_L = 0.9

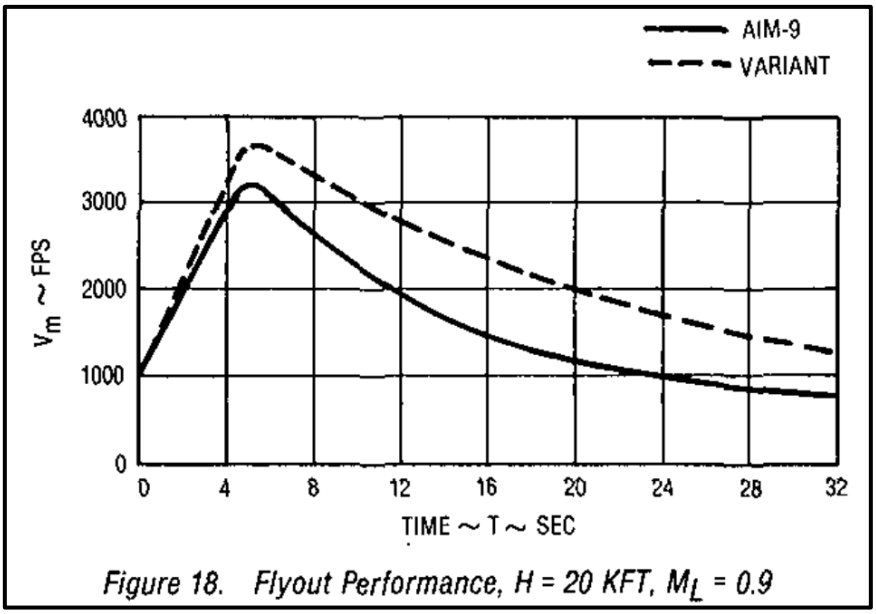


Figure 18. Flyout Performance, H = 20 KFT, M_L = 0.9

Nagyon durva lineáris közelítéssel a gyorsuló és lassuló szakaszokra a következő eredményeket kapjuk. Az átlagsebesség a gyorsulási és lassulási szakaszban azonos egy adott magasságú indításnál, csak a magasság emelkedésével a lassuló szakasz hosszabb ideig tart a szubszonikus sebességig. Ez látható a lenti táblázatban.

Átlagsebesség	*Repülési idő*	*Megtett távolság*
[m/s]	[s]	[m]
564	4,5 + 13 = 17,5	9 900
610	4,5 + 17 = 21,5	13 100
640	4,5 + 24 = 28,5	18 200

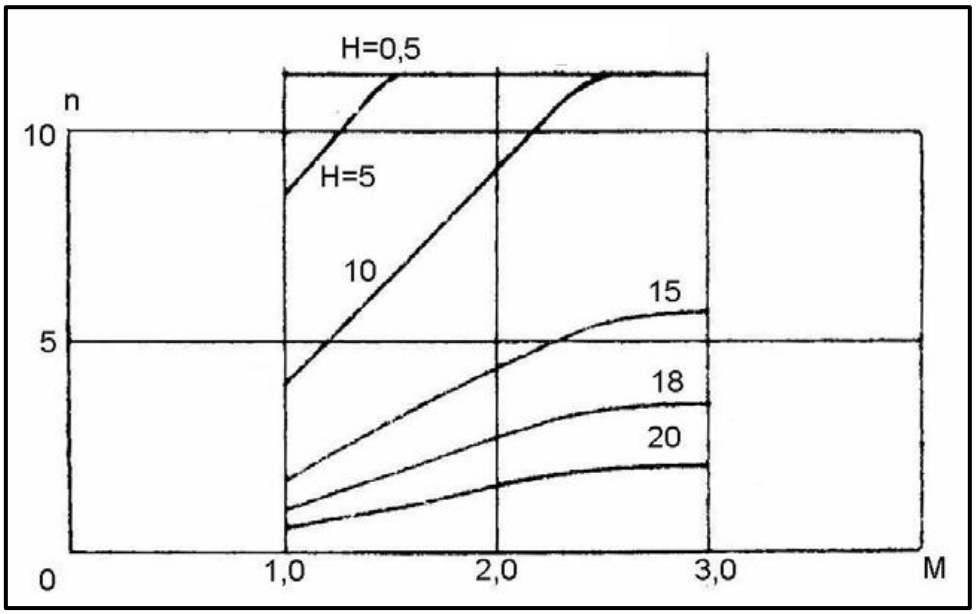
A fenti táblázat szerint tengerszinten (0 méter) indított rakéta által megtett távolsághoz képest a 6 km magasan indított nagyjából kétszer akkora távolsága repül el, amíg azonos sebességre lassul vissza. Ez nem csak azt jelenti, hogy a rakéta nagyobb távolságra repül el, de a hajtómű kiégése utáni passzív szakaszban a kisebb mértékű lassulással a rakéta rávezetés végén a végfázisban a rakéta manőverező képessége nagyobb távolságon maradhat kedvező, de azt nem szabad elfelejteni, hogy a kevésbé sűrű légkör miatt a rakéta

által elérhető maximális túlterhelés is csökken, hiszen kisebb kormányerő és felhajtóerő ébred a szárnyakon és vezérsíkokon azonos sebesség mellett, mint kisebb magasságon.

A lenti diagramon az AIM-9B rakéta elérhető maximális túlterhelése van ábrázolva a magasság és Mach szám függvényében (1 Mach ~ 330-340 m/s). A realitás az, hogy a légiharc-rakétát harcászati vadászgépek ellen használják, tehát a 10 km magasság alatti tartomány a fontos. Az ábra azt mutatja, hogy adott sebesség mellett mekkora túlterhelés létrehozására képes a rakéta. A diagram helyes értelmezéséhez szükséges figyelembe venni, hogy a rakéta manőverezés nélkül is lassul, tehát amikor manőverezik, akkor néhány másodperc alatt akár 100-150 m/s-ot is lassul.

Látható, hogy a 12G[405] maximális túlterhelésű forduló képesség csak az égésvégi sebesség közelében fenntartható, a lassuló rakéta manőverező képessége nagy magasságban már 2 Mach felett is csökken, de még a reálisabban elképelhető manőverező légiharc magasságában 5 km-en szubszonikus tartomány felé haladva is romlik ez a mutató. Az ábra igen szemléletesen azt is bemutatja, hogy a rakéták szuperszonikus sebességre tervezett kormányfelületeik a hangsebesség alá való lassulás után elveszítik hatásosságukat, 1 Mach sebesség alatt ezek a rakéták irányíthatatlanok, ez igen fontos tényező, ezért van az, hogy minden további esetben 330 m/s rakéta sebesség a vizsgálat alsó határa. Hiába repül fizikailag messzebbre el a rakéta, ha manővereznie kellene, akkor már nem képes semmilyen célpontot eltalálni.

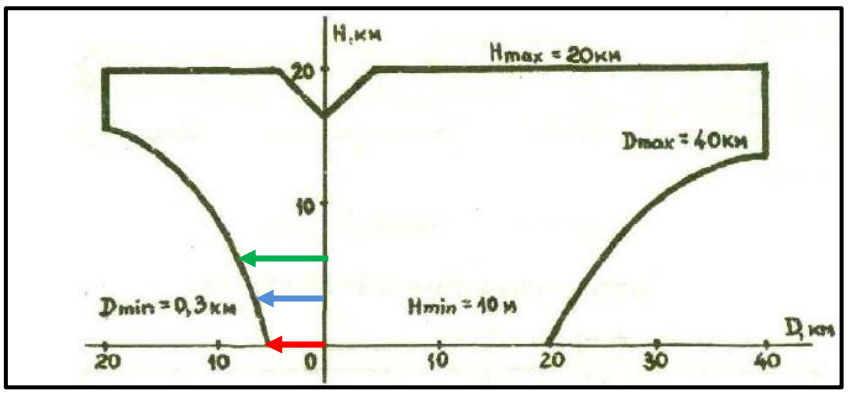
A fentiek okozták azt, hogy a vietnámi háború során használt AIM-9B és korai infravörös rakéták manőverező célpontok ellen elképesztően kis indítási távolsággal bírtak, nagyon hamar elvesztették sebességüket még annak ellenére is, hogy korlátozott manőverező képességük volt a még a ’70-es évek végi és ’80-as évek légiharc rakétáival összemérve is.



AIM-9B rakéta által elérhető maximális túlterhelés sebesség és repülési magasság függvényében.

A következő oldalon az R-73 indítási zónáját bemutató diagram látható, ennek bizonyításához és értelmezéséhez fenti AIM-9L rakéta konkrét számai nyújtanak segítséget. Az AIM-9L rakéta mérete és ebből kifolyólag kinematikai paraméterei nem manőverező célpont esetén közel esik az R-73-hoz, azonos generációba tartozó rakétákról van szó.

[405] *A nehézségi gyorsulás értelmezését lásd az aerodinamiktát és repülési teljesítményt taglaló fejezetben.*



R-73 rakéta indítási zónája., baloldalt a hátsó légtérből, jobboldalt szemből indítva.

A korábbi táblázatban azon távolság értékek vannak feltüntetve, ameddig a rakéta elrepül az indítási ponttól és sebessége abban a távolságban még 330 m/s. Ez azt jelenti, hogy az indító géppel azonos irányba és sebességgel repülő M0,9 sebességű célpontnál ekkora távolságban a rakéta már nem közeledne célpontjához, hiszen a célpont és a rakéta sebessége közötti különbség szinte 0 m/s.

A fent látható ábrán tengerszinten az indítási távolság kb. 5 km, ezt a piros nyíl mutatja, 6 km magasságban kb. 8 km az indítási távolság. A rakéta átlagsebessége tengerszinten történő indításnál az AIM-9L esetében 564 m/s, tehát az a távolság, amit azonos sebességgel, azonos irányban haladó repülőgépek között megtesz csak (564-330 m/s) *17 s = 4,1 km. Ez kisebb, mint a fenti ábrán levő távolság, de azonos nagyságrendbe esnek. ez R-73/AIM-9L tömeg arányának nagyjából megfelel. Ugyanezt a számítást elvégezve 10 ezer és 20 ezer lábon (3 és 6 km, kék és zöld nyilak), 6 km és 8,9 km indítási távolságokat kapunk, amik illeszkednek a fenti gondolatmenetbe és megmagyarázzák az ábrán látható indítási távolságokat.

Közeledő célpontra is elvégezhető a fenti számítás. Tengerszinten a 20 km indítási távolság úgy adódig ki, hogy a rakéta elrepül 10 km távolságra 17,5 másodperc alatt, de ezalatt a célpont 300 m/s sebességgel 5 km-et közeledik a célponthoz. (Itt a hiba abszolút értéke már nagyobb, ami azt mutatja, hogy az R-73 égésvégi sebessége és átlagsebessége is kismértékben magasabb. A rakéta hajómű üzemideje is nagyobb, kb. 6 másodperc.)

A fentiekben számolt esetekben feltételeztük, hogy a rakéta végig azonos magasságon repül. Ez a légiharc-rakétáknál nem általános, azonban azonos magasságon repülő és kis hatótávolságú infravörös rakétáknál ez nagyjából igaz, lásd ennek magyarázatát később a légellenállás és energiamenedzsment tekintetében.

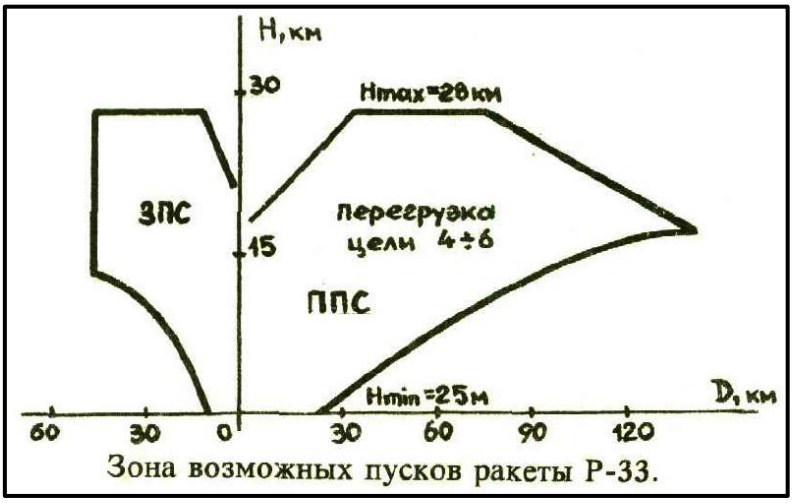
A fenti levezetés alapján kijelenthető, hogy a fentihez hasonló, a légiharc-rakéták kinematikai határait bemutató ábrák a következő feltételek szerint ábrázolják a légiharc-rakéták paramétereit:

- A diagramok az indítási zónát mutatják
- 0 km oldaltávolság paraméterrel,
- valószínűleg kb. M0,9 indítási sebességgel, (a HMZ kiterjedése és fenti táblázat nagyság alapján) hacsak nincs feltüntetve másképpen a diagramon,
- az indító gép és célpont magassága (valószínűleg) azonos, az indító gép magasságnál nagyobb zóna a maximális indítási magassággal azonos,
- nem manőverező célokra vonatkozik,

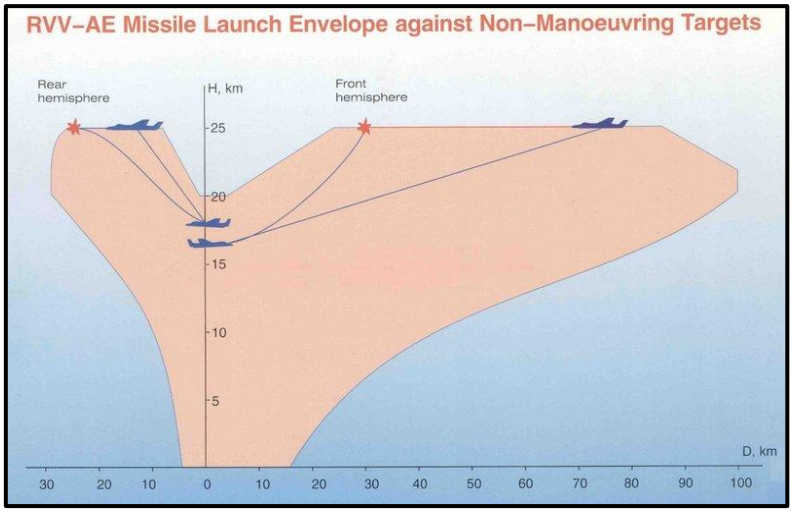
- az indítási zóna szélén a rakéta nyilvánvalóan nem lassul le 0 m/s sebességre, a rakéta sebessége kb. 1 Mach, (ezzel még képes nem manőverező célpont eltalálására)
- a diagramokon adott esetben a minimális indítási magasság és távolság is fel van tüntetve, vagy egyéb célparaméter, pl. a maximális túlterhelése a célpontnak vagy rakétának

A légiharc-rakéta indítási zóna (launch envelope) ábrákon pusztán a rakéták kinematikai hatótávolsága látható, azt nem mutatják meg hogy milyen egyéb korlátozó körülmények állnak fent, ami lehetetlenné teszi a találatot vagy akár magát az indítást is. Ilyen korlátozás például az infravörös vezérlésű rakétáknál az infravörös keresőfej befogási korlátja, a radar célkövetési korlátja, stb.

Tehát például az R-73 esetében jól mutat papíron 10 km magasan szemből 30 km-es indítási távolság szemből közeledő célra, de pontosan szemből, 0 km oldaltávolság paraméterrel közeledő célpontot nagyjából a népmesékben képes bármilyen infravörös rakéta befogni ekkora távolságról. Tehát a diagram az elvi maximális indítási távolság megítéléséhez nyújt segítséget, de jelentéstartalma a felsorolt korlátok szerint értelmezendő. A diagram a pontosan közeledő vagy távolodó, 0 km oldaltávolsággal rendelkező célokra vonatkozik, ezen értékekből becsülhető / számolható a más célparaméterrel rendelkező célok ellen az indítási zóna.



R-33 rakéta HMZ diagramja, baloldalt a hátsó légtérből, jobboldalt szemből indítva.



R-77 légiharc-rakéta indítási zónája. Jól látható, hogy a harcászatilag fontos magasság-tartomány (<10 km) alatt az indítási távolság mennyire nincs köszönőviszonyban a marketing anyagokban feltüntetett „hatótávolság" értékekkel. Azok a diagramról leolvasható számított/elméleti maximális értéket tüntetik fel, ezek értelea gyakorlatban nulla..

A fenti rakétaindítási-zóna diagramokon attól függetlenül, hogy a célpont és az indító repülőgép azonos magasságú indítási távolságát mutatja nem jelenti azt, hogy a rakéta azonos magasságon fog haladni. Az légvédelmi rakétáknál már említett magasság (helyzeti energia) és a légellenállás miatti mozgási energia veszteség optimalizálható a rakéta pályájának helyes megválasztásával.

Még a félaktív vezérlésű légiharc-rakéták esetén is megoldott volt a digitális korszakban az, hogy adott célparaméterekhez optimalizálták a rakéta energiafelhasználását azzal, hogy a gyorsítási szakasz alatt a rakéta magasságot is gyűjtött, hogy kisebb légellenállású magasságban tegye meg a röppálya túlnyomó részét. A végfázisban a magasságvesztéssel a rakéta sebessége akár még nőhet is, de nagyon nagy magasságkülönbség esetén a légellenállás miatti lassulás számottevő.

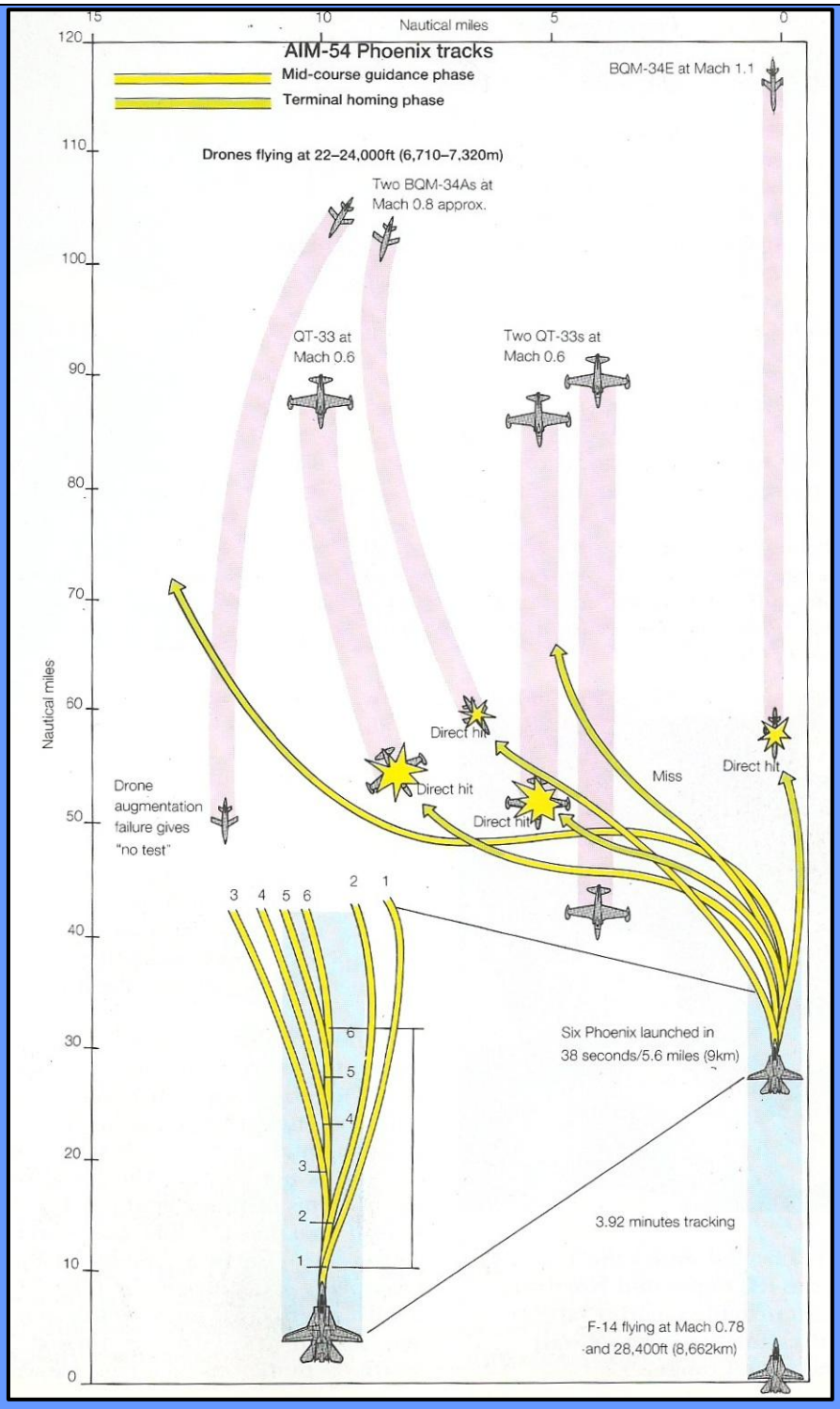
Ennek a röppálya optimalizálási módszernek a következménye, hogy a ’80-as évek félaktív, illetve az aktív vezérléssel rendelkező légiharc-rakéták indítási zónája az indítási magasság, illetve a célpont repülési magasságának növekedésével drámai mértékben megnő, különösen az 5 km feletti tartományban. A vadászgépek reálisan értelmezhető üzemi tartománya légiharcban kb. 10 km-es magasságban ér véget – lásd később a repülési teljesítményt taglaló fejezetben – az 5 km-es magassággal összehasonlítva kb. a duplájára nő az indítási távolság, a tengerszintivel szemben kb. háromszorosára 10 km magasan. Ez durva becslés, de nagyjából ez az arány igaz némi szórással a légiharc-rakéták esetén.

A magasság hatása az indítási zónára az AIM-54 és R-33 esetén különösen hangsúlyos, mert azok átmérő/tömeg és átmérő/hossz aránya eltér a közepes hatótávolságú légiharc-rakétákétól (AIM-7, R-23, R-27, stb.), ahogy a hidegháború utáni igen karcsú aktív vezérlésű légiharc-rakétákhoz (AIM-120, MICA ER, R-77, Derby, stb.) képest is. Kis magasságban a fenti két hatalmas légiharc-rakéta indítási zónája lényegesen kisebb, egész egyszerűen akkora légellenállásuk van, hogy a rakéták hajtóművének hatalmas tolóereje csak nagy magasságban érvényesül igazán. Kis magasságban az AIM-54 és R-33 rakéták égésvégi sebessége nem haladja meg a közepes hatótávolságú rakétákét, csak némileg hosszabb ideig üzemel azok hajtóműve és tartják (nagyjából) a sebességüket, a hajtómű kiégése után viszont erőteljesebben lassulnak.

Az AIM-54 esetén a hajtómű üzemideje 27-30 másodperc, de nem rendelkezik kettős tolóerő fokozottal, mint az AIM-7F/M, aminek hajtómű üzemideje 5+11 másodperc. Tengerszinten a két rakéta indítási zónája emiatt nagyjából azonos. Nagy magasságban azonban egészen más a helyzet.

8-10 km indítási magasságban azonban az AIM-54 igen hosszú működési idejű és hatalmas tolóerejű hajtóműve magasabb égésvégi sebességet eredményez ráadásul nagyobb magasságban, mint az AIM-7F rakétánál. Ezzel volt képes elérni az AIM-54 nagy magasságú és közeledő célpontok ellen az egészen elképesztő nagyságú indítás távolságokat. A következő oldali ábrán az AIM-54 és F-14-gyel végrehajtott egyetlen 6 db cél szimultán célleküzdésének tesztelése, amire 1973. november 21-én került sor.[406]

[406] *Amennyire tudni lehet soha többé nem került sor ilyen tesztre, 4 db célpont szimultán célleküzdését kétszer végezték el az F-14 és AIM-54 hadrendbe állítása előtt, lásd a mellékletek között megtalálható dokumentumban. (AIM-54 - F-14-NAVAIR - NewsStory-2943.pdf)* https://www.youtube.com/watch?v=3fNcGFNLPHE



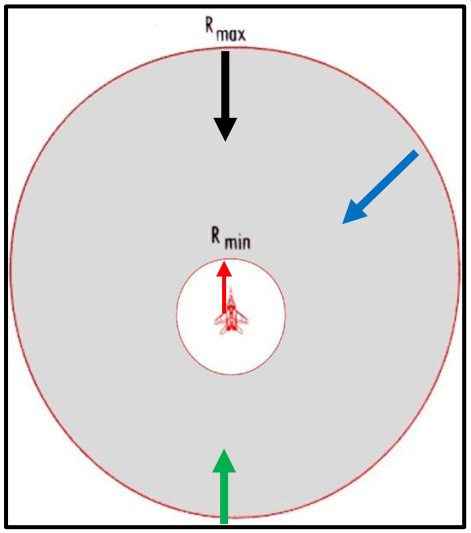
Az ábrán látható, hogy a legnagyobb indítási távolság a BQM-34E drón ellen volt kb. 90 tengeri mérföld (165 km) távolságból, de az elfogási pont ennél természetesen lényegen közelebb volt, tehát a rakéta nem ekkora távolságot repült le. Egy korábbi teszten állította be a sokáig fennálló rekordot az F-14 és AIM-54 párosa, amikor 110 tfm (204km) kb. távolságból indított AIM-54 rakétával lőttek le a tesztek alatt egy szintén egy nagy sebességgel közeledő BQM-34E-es drónt, a becsapódási pont „csak" 134 km-re volt az indítási ponttól.

Ezt a rekordot múlta felül 1994-ben az R-37 aktív vezérlésű légiharc-rakéta MiG-31-ről indítva 300 km-es indítási távolsággal. Az R-37 hadrendbe állítására Oroszország gazdasági problémái miatt soha nem került sor.

A fenti ábrákon láthattuk a 0 km oldaltávolsággal rendelkező célpontok elleni indítási zónákat, de csak nagyon leegyszerűsített esetekre. A kérdés az, hogy hogyan vezethető le ezekből a harcászatilag hasznosabb megsemmisítési zóna különböző esetekre. Az egyszerű és rövid válasz az, hogy sehogy, ezek mindig csak becsülhetőek maradnak. Ennek oka az, hogy nem lehetséges megjósolni, hogy a célpont hogyan és mikor reagál az indításra – ha egyáltalán észlelte azt – vagy csak teljesen véletlenül változtatja meg drámaian mozgásparamétereit.

Egy célpont közeledhet 8 km magasságon közel hangsebességgel, azonban reagálva a fenyegetésekre dönthet menekülés mellett is, amikor leborítással süllyedve megfordul és gyorsít. Nem csak az indító géphez képesti relatív sebességvektor (közeledési sebesség és irány) változik meg, de a magasságának változtatásával az ellene indított rakéta indítási és megsemmisítési zónáját is csökkenti azzal, hogy a végfázisban a rakétát sűrűbb légrétegekbe kényszeríti.

Az, hogy egy célpont mondjuk egy bombákkal megrakott szubszonikus csapásmérő (pl. Il-28, A-6 Intruder) vagy egy szuperszonikus vadászgép szintén nem ismert, nem megadható paraméter a rendszernek, ami jelentős eltéréseket okoz a különféle zónák nagyságának számításakor. Még, ha ismert is lenne a célpont típusa és annak manőverjellemzői, egyszerűen akkor sincs idő végrehajtani és bevinni minden célpont minden adatát. A különböző repülőgép típusok manőverező képessége, gyorsulása és maximális sebessége is eltérő sőt, még azonos típusoké is a hordozott fegyverzet és üzemanyag mennyiségétől függően teljesen eltérő manőverezeő és gyorsulási paraméterekkel bírnak. Még, ha azonosítva is lenne a típus, akkor is csak bizonytalansággal állapítható az, hogy milyen kitérő manőverekre képes pontosan. Tehát az, hogy a célpont reakciója mennyire változtatja meg az indítási és megsemmisítési zónát emiatt csak becsülhető, ami egyes esetekben alsó, más esetekben felső becslés.



Balra adott sebességű célra vonatkozó minimális és maximális indítási távolság adott célsebesség, aspektus és oldaltávolság esetén. A célpont a MiG-29-es, aminek sebességvektorát a piros nyíl mutatja, az eltérő irányból érkező rakéták irányát a fekete, kék és zöld nyilak mutatják.

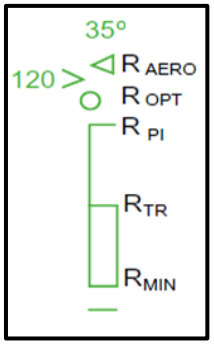
Az ábrán az R_{max} és R_{min} távolságok aránya nem szemléletes, pusztán illusztráció, ezek nagyságrendileg is eltérhetnek, de ennek ábrázolása olvashatóság miatt nem lehetséges. A fenti két érték mutatja a maximális és minimális indítási távolságokat.

A korábban látott 0 km oldaltávolságú indítási zóna ábrákon a fekete és zöld nyilakkal ábrázolt R_{max} távolságnak megfeleltethető maximális indítási távolságokat ábrázolták. A R_{max} távolság azért ilyen furcsán torzult, mert a rakéta közeledő sebességkomponense, illetve a végfázisban elvárt rakéta sebesség minimuma ezt a sajátos formát határozza meg. A rakéta minimális indítási távolsága hátulsó megközelítés esetén nagyobb, mint szemből a mozgásparaméterek, illetve a harci rész elműködése utáni biztonsági távolság miatt.

A fenti tényezők miatt a nyugati terminológia a lent felsorolt távolságokat definiálja a légiharc-rakéták számára. A fedélzeti rendszer ezeket a jelzi ki a radar által mért célparaméterek, továbbá az indító

repülőgép mozgásparamétereinek megfelelően, a fedélzeti számítógép folyamatosan frissíti és számolja a zónák nagyságát:[407]

R_{AERO}	Indítási távolság nem manőverező célpont ellen, ez volt látható a fenti diagramokon.
R_{OPT}	Indítási távolság csak a végfázisban manőverező célpont ellen, feltételezve, hogy a rakéta teljes röppályájának 75%-át megette már. Tehát a célpont sebesség vektorának megváltozásának hatását kisebb súllyal tételezi fel, mint a lentebb felsorolt esetek. A távolság optimális megközelítési szöget tételez fel, tehát a rakétának indítás után nem kell fordulnia a célpont felé.
R_{PI}	Indítási távolság abban az esetben, ha a rakétának indítás után a célpont irányába szükséges fordulni. Amennyiben az indító repülőgép optimális helyzetben van, akkor $R_{PI} = R_{OPT}$
R_{TR}	Indítási távolság a legrosszabb esetet feltételezve, amikor a célpont indítás után azonnal védekező manővert hajt végre és megfordul.
R_{MIN}	A minimális indítási távolság. Ez adódik a célpont mozgásparamétereiből illetve a biztonsági távolságból, ahol az indító gépre már nem jelent veszélyt a saját rakétájának felrobbanása.



A fentiek alapján az indítási zóna egészét hívja az angol terminológia dinamikus indítási zónának (Dynamic Launch Zone, DLZ) és az R_{MIN} és R_{TR} közötti távolságot garantált találati zónának (No Escape Zone, NEZ). Az előző oldali ábrán az R_{max} az vonatkozhat az R_{OPT}, R_{PI} és R_{TR}-re is, de ezek mérete egymáshoz képest eltérő. A NEZ azt takarja, hogy a célpont közelébe mindenképpen elrepül a rakéta, de a találat még ekkor sem garantált. Infravörös és radarvezérlés esetén a csalik megtéveszthetik a rakétákat, illetve lehetséges, hogy a célpont képes olyan túlterhelésű védekező manőver végrehajtására, amit a rakéta már nem képes lekövetni. Mivel a NEZ becsült, ezért nem meghatározható az, hogy meddig és mekkora túlterhelésű fordulóra lesz képes a rakéta végfázisban.

Azért indítási zóna használata terjedt el a légvédelmi rakétáknál használatos megsemmisítési zónával szemben, mert repülőgépek esetében a harcászati elvek érvényesítése miatt ez lényeges még akkor is, ha az indítási zóna – ami mindig nagyobb a NEZ-nél– annak lehetőségét is magába foglalja, hogy a rakéta a célpont közelébe sem fog jutni adott esetben. Amennyiben az ellenfél nem képes észlelni és reagálni az indított rakétára, akkor akár a DLZ szélén indított rakéta is találhat. Erre jó példa a Vietnámban a besugárzásjelzővel nem rendelkező J-6 és/vagy MiG-17-esek elleni AIM-7E használat az F-4 Phantom II különféle változatairól. Amennyiben képes érzékelni a rakéta indítást – pl. erősen füstölő rakétát – akkor viszont a célpontnak ezekre reagálni kell. Tehát az indítási zónák ismeretében a nagyobb indítási távolságú BVR rakéta fegyverzettel repülő pilóta képes akaratát részben ráerőszakolni az ellenfélre azzal, hogy reagálásra és kitérő manőverre kényszeríti, ezzel részben alárendelt helyzetbe hozza vagy feladásra kényszeríti előnyös pozícióját.

Ezért van az, hogy az F-15 BVR képessége miatt a szovjetek annyira alacsonyra értékelték a MiG-21-es legkorszerűbb változatának harcértékét is, és tartották szükségesnek a 3:1 vagy 4:1 arányban történő alkalmazását a sokkal fejlettebb amerikai vadászgép ellenében. Lásd a mellékletek között a „Szovjetunio erők felmerese” könyvtárban levő dokumentum 10. oldalán (pdf).

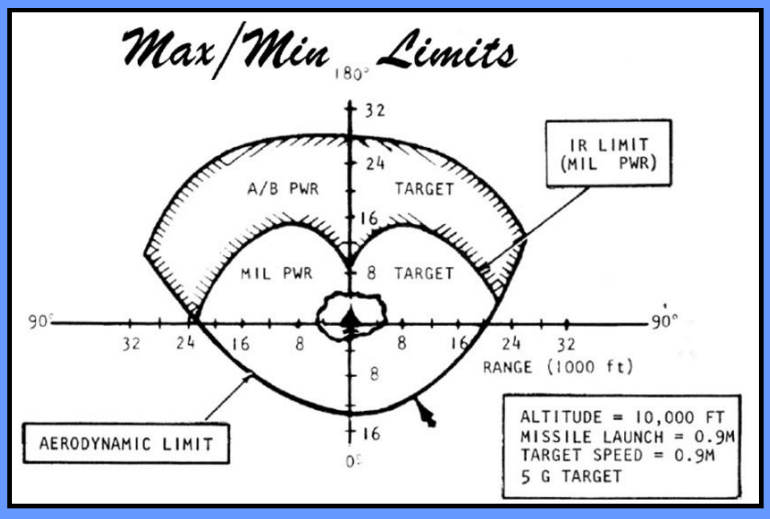
[407] https://youtu.be/aYmtVZqMrDM?t=10m56s
Kereskedelmi repülőgép szimulátorban ezek magyarázata és ábrázolása. Látható a folyamatos frissítés is.

A fenti diagramok alapján az is látható, hogy azonos kategóriájú és hasonló légiharc-rakéták esetén (pl. AIM-7E és R-23R) a DLZ/NEZ értékek nagyban függenek az indító és a célpont mozgásparamétereitől (sebesség, irány, magasság, helyzetük egymáshoz képest). A magasabban és gyorsabban repülő vadászgép messzebbre „hajítja” el a rakétáját, illetve képes úgy manőverezni, hogy akár félaktív rávezetés alatt megkövetelt repülési irány ellenére késleltesse az ellenséges repülőgép felől érkező rakéta becsapódási idejét vagy akár kívül is maradjon annak NEZ zónáján, miközben az ő rakétája azon belül lett indítva, de minimum a DLZ-n belül a NEZ-hez közelebbi távolság elérésére képes.

Emiatt van az, hogy nem a vadászgépek csúcssebessége a mérvadó, hanem a harcászatilag fontos tartományban a forduló és gyorsulási képességek, mert döntő részben ezek határozzák meg azt, hogy egy vadászgép mennyire gyorsan és milyen mértékben képes befolyásolni a saját és az ellenfél számára érvényes DLZ és NEZ nagyságát, illetve azok közti arányt. Egy lassú célpont esetén a NEZ és DLZ közel van, a célpotn haladási irányának megváltozása kismértékben befolyásolja csak a számított találkozási pontot, nagy sebességű célpontnál akár 2-3-szoros eltérés is lehet a kettő között főleg, ha magasságot is változtat a célpont nem csak irányt.

A fentieknél komplexebb indítási diagramok is léteznek, amelyek kombinálják a kinematikai és például az infravörös vezérlés korlátait, de ezek nagyon ritkák, ilyen például lent az AIM-9L rakéta indítási távolságát bemutató ábra. Ez szemléletesen bemutatja több tényező hatását is annak ellenére, hogy igen specifikus helyzetre vonatkozik, de ezekből lehetséges levezetni vagy legalább becsülni más esetekre vonatkozó indítási zónákat. Eltérő célsebesség és magasság esetén összenyomódik vagy kitolódik a zóna. Ennek mértékét a korábban látott diagramon lehet látni közeledő és távolodó célra, de a lenti ábrán az aspektusfüggés is látható.

Az ábráról egy tipikus harci helyzetben értelmezhető maximális indítási távolságok olvashatóak le. Az indító repülőgép és a célpont egyaránt 10 ezer láb (~3 km) magasságban repül, és micsoda „véletlen”, hogy itt is mindkettő sebessége M0,9, a célpont 5G túlterheléssel végez védekező manővert.



A célpont a diagram közepén van, az indító gép aspektusa és távolsága a két tengelyen olvasható le. Az ábrán szemléltetésképpen a célhoz képest jobbra 8 ezer láb és hátra 13 ezer láb távolságban található az indító gép. Itt húzódik az „aerodynamic limit”. Ez a rakéta kinematikai hatótávolságát mutatja. Látható, hogy ez a távolság egyre inkább nő, ahogy a célpont közeledési sebesség komponense nő az aspektusa miatt. Oldalról való indítás esetén – 90 fok akár balról vagy jobbról – a teljesen hátulról történő legfeljebb 13 ezer láb (kb. 4 km) távolság helyett már 21 ezer lábat (kb. 6,4 km) eléri a maximális indítási távolság.

Minél inkább közeledik az aspektus a 180 fokhoz, a hajtómű hátsó felületei és a kilépő forró égésgázok egyre inkább le vannak árnyékolva a repülőgép által. Itt jön a képbe az infravörös szenzor képességeinek korlátja, ami ebben az esetben felülírja kinematikait. A 'MIL PWR' zóna az, ahol a maximálgázzal repülő célt még képes érzékelni a rakéta infrafeje. Tökéletesen szemből közeledő célra a befogási távolság mindössze kb. 9 ezer láb, ez alig 2,7 km. Amennyiben a célpont utánégetővel repül – 'A/B PWR' tartomány – a távolság ugrásszerűen megnő. ez látszik az maximális indítási távolságon is, ami elérheti ebben az esetben a 28 ezer lábat, ami 8,5 km. Érdemes összevetni ezt a hasonló méretű R-73 rakéta kinematikai korlátaival, ami ezen a magasságon kb. 20 km. Látható, hogy az érzékelő korlátai és a kinematikai korlát nem egyezne meg. A célpont és az indító gép azonos magasságban repül, tehát még a földháttér sem zavar be.

A diagramon látható zónákból következik, hogy létezik egy határhelyzet, amikor a rakéta kinematikailag még képes elérni a célt, és a szenzor már érzékei a célpontot. Ez az, ahol a 'MIL PWR' vagy a 'A/B PWR' vonal és a 'aerodynamic limit' vonal találkozik.

A fentiek után eztán egyértelmű, hogy az egyetlen számmal „leírt" légiharc-rakéta „hatótávolság adat" mire használható. Nagyjából szinte semmire, hacsak az ember nem áll neki fenti diagramok ismeretében visszafelé gondolkozni, hogy ezek mit is jelenthetnek. Már maga a laikusok által használt „hatótávolság" (range) is nehezen értelmezhető, jellemzően az indítási távolságot értik alatt a legelképzelhetetlenebb helyzetben. Emiatt van az, hogy a legtöbb forrás a fenti indítási zóna diagramok legelképzelhetetlenebb helyzeteire vonatkozó adatokat közli, aminek a reális harcászati alkalmazásokhoz nagyjából semmi köze nincs.

A wikipediától kezdve szinte minden más forrás az R-27R, AIM-7F és hasonló kategóriás légiharc-rakéta esetén 80-120 km közötti szórásokat adnak meg „hatótávolság" címszó alatt. Ez a fenti indítási diagramok alapján indítási távolság olyan indítási és célpont magassággal, ami lényegében elképzelhetetlen, nem létező harcászati helyzetekre vonatkoznak. 12-14 km-es indítási magasság ugyanilyen magasan repülő célpontok ellen. Apró hiba, hogy ilyen harcászati helyzet lényegében nem létezik. Tehát, ha csak a harcászati célok elleni indítási magasságokat ebből becsüli az ember a fenti diagramok alapján, akkor azt kapja, hogy 5-10 km közötti magasságban 40-60 km-ről van szó, de a NEZ ennek töredéke.

A Sivatagi Vihar és egyéb konfliktusok légiharc beszámolói alapján tökéletesen látszik, hogy a kis hatótávolságú infravörös rakéták indítási távolsága soha nem haladta meg az 5-8 km még közepes és nagy repülési magasságban sem. Ez részben a célok manőverező képességéből, részben az infravörös érzékelők korlátaiból, továbbá a régebbi rakéták igen korlátozott égésvégi sebességéből és rövid hajtómű üzemidejéből adódott. Hasonló méretük és tömegeik ellenére az AIM-9L/M kinematikai hatótávolsága sokkal nagyobb volt, mint a korai változatoké.

A közepes hatótávolságú rakétákat – még a legjobb paraméterekkel rendelkező félaktív vezérlésű AIM-7F/M esetén is – a légiharc jellemző magassági tartományában 40 km-nél kisebb távolságról indították. A 40 km-ről történő indítások is 30 ezer láb (kb. 9 km) magasságban történtek közeledő célok ellen, hogy legalább reakcióra kényszerítsék az ellenfelet, de szó nem volt arról, hogy a NEZ tartományon belül indították volna az AIM-7M rakétákat pl. a Sivatagi Vihar alatt ekkora távolságból, vagy az AIM-120 AMRAAM rakéták az Allied Force hadművelet alatt.[408]

Ökölszabályként elmondható, hogy kis hatótávolságú infravörös rakéták indítási zónája LoAL képesség nélkül legfeljebb 10-15 km, de ez is csak nagy magasságban és keresztben repülő vagy közeledő célpontok

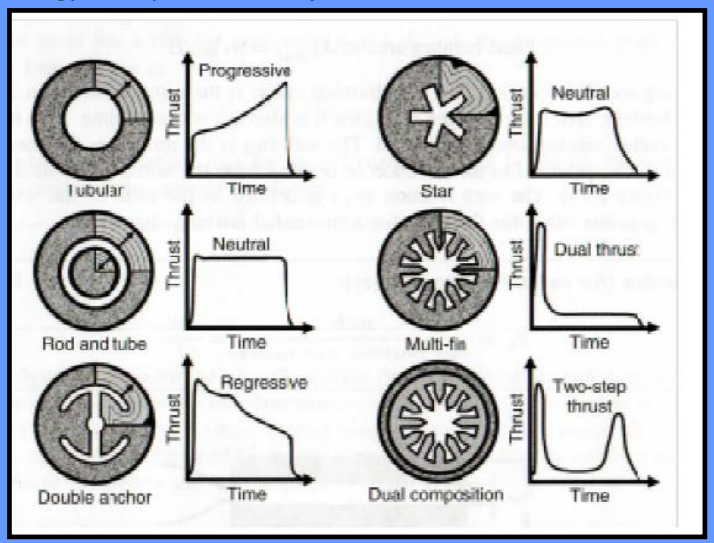
[408] https://htka.hu/2012/12/04/mcdonnell-douglas-f-15-eagle/ *8.2.4. és 8.3.2. fejezetek.*

ellen igaz, 5 km-en ennek kb. fele, tengerszinten kb. 1/3-a, és minden esetben figyelembe kell venni az infrafej képességeinek korlátait, nem csak azt, hogy kinematikailag képes-e a rakéta elérni a célpontot. A NEZ még ennél is kisebb, főleg ha a célpont sebessége hangsebességhez közeli vagy nagyobb és az indító gép lassabb a célpontnál. Minél nagyobb a célpont sebesessége, ráadásul annál kisebb az időtartam, ameddig a célpont a NEZ-en belül tartózkodik, ami csökkenti a sikeres indítás esélyét illetve a NEZ és a teljes DLZ aránya is romlik, hiszen a manőverek hatása a számított ütközési pont áthelyeződésére annál drasztikusabb sőt, nagyobb sebességgel a magasabb túlterhelésű manőverek kivitelezhetősége is jobb. (Magasabb maximális G. terhelés és/vagy hosszabb ideig kitartott forduló.)

A ’70-es és ’80-as évek közepes hatótávolságú, kettős tolóerő fokozat nélküli légiharc rakétái esetén (AIM-7E/E-2, R-23R, Super 530) az indítási távolság szemből tengerszinten talán 15 km, nagy magasságban is kb. 40 km. A kettős tolóerő fokozattal rendelkező AIM-7F és M változatok jelentettek előrelépést ehhez képest nem csak a kettős tolóerő fokozat, de jobb fajlagos impulzussal – 1 kg hajtóanyagból kinyerhető tolóerő – rendelkező rakéta hajtóanyagok miatt is, de ez kb. „csak” 25-35%-os javulást jelentett magasságtól függően azonos tömeg és rakéta méret mellett.

A nagy hatótávolságú rakéta kategóriát lényegében alig néhány rakéta képviselte az AIM-54 és az R-33. Bár a Tu-128-on használt R-4R hasonló tömegű volt azokhoz, annak rakéta hajtóműve és aerodinamikai kialakítása ellenére kb. a későbbi AIM-7E és R-23R kinematikai hatótávolságát érte el. A szintén kb. 500 kg tömegű R-40 család sem érte el az AIM-54 és R-33 kinematikai paramétereit. Közeledő célok ellen ezek indítási távolsága nagy magasságban bőven 100 km feletti, azonban a korábban említett tényezők miatt az iráni F-14-esek az iraki vadászgépek ellen igen ritkán indították azokat 60-70 km-nél nagyobb távolságról.

Szó esett az AIM-7F és M változatoknál a kettős tolóerő fokozatú hajtóművekről. Ez nem fizikailag kétlépcsős rakétát takar, azonban a rakéta hajtóművének tolóerő karakterisztikája – hajtómű üzemidő-tolóerő kapcsolata eltér a hagyományos rakéta hajtóművekétől.



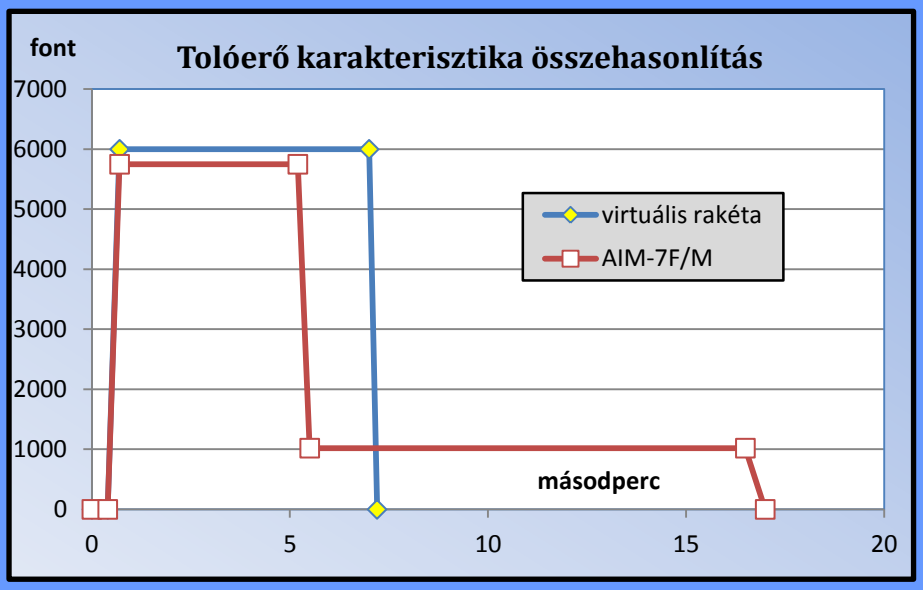
Néhány szilárd tüzelőanyagú hajtómű égéstér--profilozás elméleti tolóerő karakterisztikája

Konkrétan számokban kifejezve ez az eltérés a következőket jelenti. Az AIM-7E Sparrow hajtóműve kb. 5 másodpercig gyorsította rakétát, a későbbi F és M változatnál az új hajtómű speciális kialakítása két tolóerő fokozatot biztosított, egy gyorsítási majd egy utazó tolóerő szintet. Az indítás után a gyorsítási szakaszban a tolóerő 4,5 másodpercig kb. 5750 font (2600 kg) majd azt követően 11 másodpercig kb. 1020 font (460 kg)[409]

[409] *Az értékek tengerszinten 60 Fahrenheit fok mellett értendő névleges értékek.*

Ez a kettős működés közepes magasságban 3 Mach, nagy magasságban 4 Mach fölé képes gyorsítani a rakétát. Ennek köszönhetően az új Sparrow az utazó szakaszban, egyenes vonalban, azonos magasságban haladó pályán csak kismértékben vagy egyáltalán nem lassul.

Egy „virtuális", mindenben azonos – tömeg, geometria, teljes impulzus – de hagyományos profilozású és tolóerő-karakterisztikájú Sparrow rakétához képest az indítási távolság nagyobb. A lenti diagramon az AIM-7F Sparrow és a virtuális rakéta tolóerő-karakterisztikái láthatóak.



A tolóerő karakterisztika idő szerinti integráltja – szemléletesebben az idő-tólóerő görbe alatti terület – adja meg a rakéta teljes impulzusát, azt az energia mennyiséget, amivel a rakéta gyorsítató. Az ábrán a két görbe – piros és kék vonalak – alatti terület megegyezik, mégis, a piros görbe teljesítmény kihasználása optimálisabb az azonos felhasznált energiamennyiség ellenére.

A különbség a virtuális rakéta és az AIM-7F között az, hogy amíg a kék görbe esetében a teljesítmény nagy része arra menne el, hogy nagyon rövid időre felgyorsítsa rakétát, amit a légellenállás gyorsan „megesz", különösen kis magasságon. A virtuális rakéta a hajtómű kiégéséig gyorsabb, tehát nagyobb távolságot tesz meg az első 5 másodperc alatt, de nem sokkal. A probléma a hajtómű kiégése után következik, ugyanis hamar – kis magasságon ez néhány másodperc – a virtuális rakéta az AIM-7F/M sebessége alá csökken, ezzel szemben a piros színű görbe által leírt tolóerő karakterisztikával rendelkező AIM-7F/M még mindig tartja a sebességét vagy csak enyhén lassul, amikor a másik rakéta már mögötte van és lassabb.

Tehát a virtuális rakétánál kisebb indítási távolság (kisebb DLZ és NEZ) mellé kisebb manőverező képesség is társul, hiszen a rakéta sebességétől is függ a manőverezési tartalék a végfázisban is.

Kis magasságon olyan szélsőséges helyzet is előfordulhat, hogy az egy tolóerő fokozattal rendelkező rakétát a hajtóműve egészen odáig gyorsítja rakétát, hogy az eléri a maximális sebességet, tehát nem gyorsul tovább a rakéta. Tehát úgymond feleslegesen biztosítja a hatalmas tolóerőt. A sokkal nagyobb, de rövid ideig tartó teljesítmény szinte semmi plusz sebességet nem biztosít, ellenben sokkal rövidebb ideig tart ki a tüzelőanyag, mint kisebb tolóerő esetén.

A kettős tolóerő fokozattal rendelkező rakéta azért nem gyorsul a gyorsító tolóerővel elérhető elméleti maximális sebességre, mert a hajtómű nem biztosítja elegendő ideig ezt a tolóerőt. Ellenben az utazó fokozattal elérhető maximális sebesség az a gyorsító fokozat kiégésekor elért sebességhez közel esik és ezt számottevő ideig biztosítja.

A magasság növekedésével a kettős tolóerő fokozattal bíró rakéta előnye nagy valószínűséggel csökken, mert az „egy nagy löket" 10-12 km magasságban akár 30%-kal nagyobb égésvégi sebességet jelenthet.[410] Az esetben a kettős tolóerő fokozat nélküli rakéta sebesség és távolság előnye hosszabb ideig, illetve nagyobb távolságon érvényesül.

A vietnámi háború során kiderült, hogy a légi harcok jellemzően 6-8 km magasság alatt zajlanak, ezért egyértelmű volt az amerikaiak számára, hogy milyen magasságra optimalizálják az új Sparrow, az AIM-7F tolóerő karakterisztikáját. Ez olyan jól sikerült, hogy van rá esély, hogy az egy generációval újabb aktív radaros orosz R-77 indítási távolságát is felülmúlja, de a kortárs R-27R-t egészen biztosan. Ugyanis ezek a rakéták hajtóművei egy tolóerő fokozatot biztosítanak. Az R-77 hajtóművének üzemideje még közepes-nagy magasságban is csak kb. 5-6 másodperc.[411]

Persze igen nagy különbség az R-77 számára, hogy az aktív vezérlés miatt az indító gép kifordulhat, ezáltal közelebb mehet a célponthoz, ha az csak félaktív vezérlésű rakétával rendelkezik. Indítás után nem kell folyamatosan megvilágítani radarral a célpontot, a fordulóval akár a nagyobb indítású távolságú rakéta megsemmisítési zónáját „összeomlasztja", amíg a saját „rövidebb" de más kategóriát képviselő „kardja" célba ér.

Érdekes és kissé megmagyarázhatatlan az, hogy miért nem rendelkezik kettős tolóerő fokozattal a '80-as években hadrendbe állt R-27R, amikor az 9K33 Osza rakétája is ilyen kettős tolóerő fokozattal bírt, ami a rakéta méretéhez meglepően kedvező megsemmisítési zónát biztosított. A francia-német Roland légvédelmi rendszer rakétája és az AIM-120A és B változatok is kettős tolóerő fokozatot kaptak.

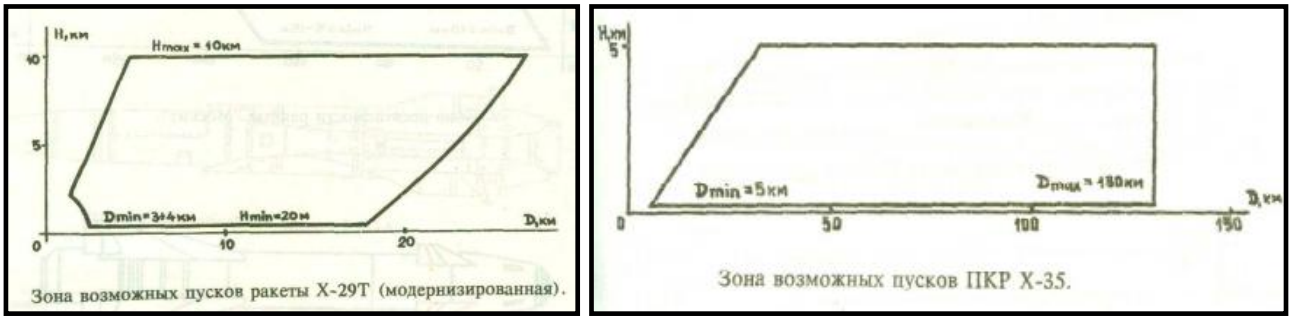
A szóbeszédek szerint az AIM-120C esetén nem alkalmaznak kettős tolóerő fokozatot, de hosszabb ideig és alacsonyabb tolóerőn üzemel a hajtómű, mint a korábbi változat esetén, ez mutatja azt, hogy koncepcionálisan közepes helyett inkább már a nagyobb magasságú indításokkal számoltak a tervezők az AIM-120C alkalmazás során.

[410] *Megjegyzés arról, hogy az R-27R „gyors". Ez arra vonatkozik, hogy a rakéta nem rendelkezik kettős tolóerő fokozatú hajtóművel, tehát az első 6-7 másodperc alatt kicsivel nagyobb utat tesz meg, mint az AM-7F/M, de a rakéta indítási távolsága a kicsit kisebb tömegű fenti Sparrow változatoktól mégis elmarad. Nem csak a kettős tolóerejű hajtómű hiánya miatt, hanem a nagyobb átmérő (25%-kal nagyobb homlokfelületű) rakéta miatt, ami számottevően nagyobb légellenállást, tehát lassító erőt generál a hajtómű kiégése után.*
http://legiero.blog.hu/2009/10/05/lengyel_mig_29_malbork

[411] *http://www.youtube.com/watch?v=Y2uFiLwgdQc*

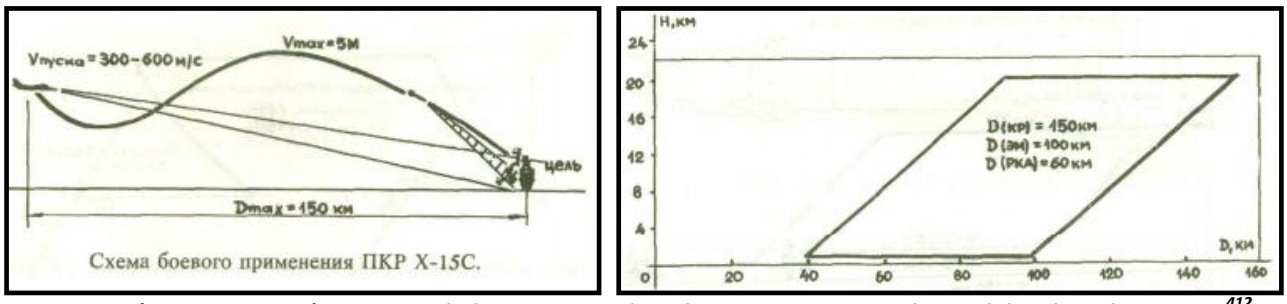
5.3. Levegő-föld, levegő felszín rakéták és robotrepülőgépek

A levegőből indítható fegyverek számára is léteznek HMZ diagramok, ezek értelmezése fordított a légiharc-rakétákkal szemben. A felszíni célpontok állók, vagy a légi indítási fegyverhez képest kvázi állónak tételezhetőek fel (mozgó hajó esetén a HMZ-t nézve arra minimális hatása van.) A lenti ábráknál tehát a célpont van a bal alsó sarokban és ahhoz képest látható a fegyver indítási zónája.

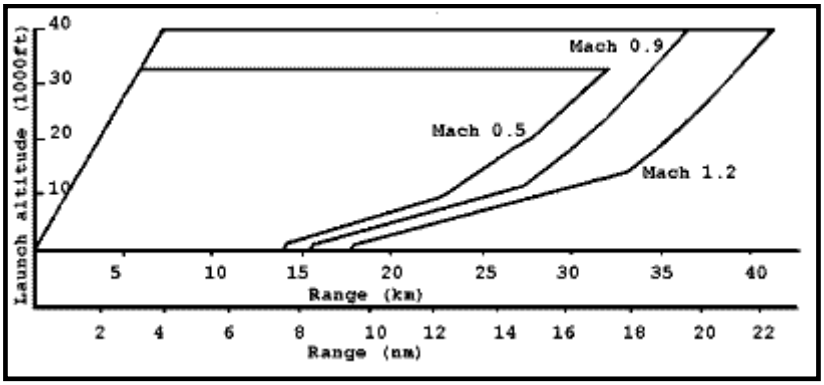


H-29T (AS-14 Kedge) TV vezérlésű rakéta indítási zónája (balra) illetve a H-35 (AS-20 Kayak) robotrepülőgép indítási zónája. Jól látható, hogy a gázturbinás, tengerfelszín felett kismagasságon haladó gázturbinát használó fegyver indítási zónájának a maximuma lényegében független az indítási magasságtól annak profilja miatt. (A H-35 nagyjából az amerikai AGM-84 Harpoon-nak megfelelő eszköz.)

Az ábrákon látható, hogy a levegő-föld fegyvereknek is van minimum indítási zónája még akkor is, ha azokat 0 oldaltávolság paraméterrel indítják. Egyes fegyvere estén azok speciális támadó profilja miatt a minimális indítási távolság meglepően nagy lehet ilyen helyzet áll fent pl. a H-15Sz (AS-16 Kickback) hajó elleni rakéta esetén.



A H-15Sz (AS-16 Kickback) emelkedő és felülről lecsapó profilja, emiatt a minimális indítási távolsága 40 km.[412]



AGM-65 indítási zónája a minimális indítási távolság nélkül eltérő indítási sebességek mellett. (Ez nagyjából a H-29-nek megfelelő rakéta.)

[412] *А.В. Карпенко - Российское ракетное оружие 1943-1993 г.г.*

6. Légvédelmi rendszerek alapvető felépítése és képességeik

6.1. Vadászgép rávezető-rendszerek, bevezetés

A telepített és mobil légvédelmi rakéta-rendszerek előtt röviden érdemes minimálisan áttekinteni a vadászgép rávezető rendszereket. Lényegében ezekből fejlődtek ki a légvédelmi rakéta-rendszerekhez, illetve később ezeket és a vadászgépeket együttesen kezelő automatizált vezetési rendszerek (AVR). Az AVR fejlesztésének gyökerei egészen a 1930-as évek végig nyúlnak vissza, bár ekkora automatizáltságról még szó sem volt.

A radar megjelenése előtt akusztikus „fülelő” rendszerekkel (lásd jobbra)[413] viszonylag pontosan mérhető volt korlátozott távolságon belül nagyobb repülőgép kötelékek iránya, de ezekkel a távolság- és magasságmérés lehetetlen volt hiszen csak irányt tudtak mérni, az észlelt zajból távolság adat nem volt megállapítható. Az akkori adatátviteli sebesség az emberi beszédre, a telefon illetve a rádió által nyújtott lehetőségekre korlátozódott. Ezek peremfeltételek eleve behatárolták a rávezető rendszerek hatékonyságát főleg, ahogy nőtt a repülőgépek sebessége. Magányos repülőgépekre történő rávezetésre ezek az eszközök lényegében alkalmatlanok voltak.

Az első radart felhasználó komplex előrejelző és rávezető rendszer Angliában állt szolgálatba az 1930-as évek legvégén, ez hamar élesben is bemutatkozott az Angliai csatában 1940 nyarán és őszén. Az akkori radarok hatótávolsága és felbontása nagyjából azt tette lehetővé, hogy nagy bombázó kötelékekre vezessék rá a nagyobb vadászkötelékeket, viszont immáron sokkal pontosabb adatokkal, hiszen a radarral távolság mérése lehetséges volt, illetve korlátozottan a magasság mérése is. Ez az akkori harcászati módszerek mellett megfelelt, messze meghaladta az akusztikai rendszerek hatékonyságát. Ahogy a repülőgépek sebessége nőtt úgy vált szükségessé az észlelési távolság növelése is, hogy a védekező fél vadászgépei időben képesek legyenek felszállni. Ekkor még nem volt szokás[414] folyamatosan őrjáratoztatni vadászgépeket azok korlátozott hatósugara illetve repülési ideje miatt, ilyen feladatokra csak rendkívül korlátozottan voltak alkalmasak. Lényegében csak a repülőgép-hordozók vadászgépei végeztek ilyen feladatot, ahol a védendő objektum helyzete pontosan ismert volt és nem területvédelem volt a feladat.

A II. világháborús vezetési rendszer az úgynevezett tervtáblás módszer volt. A radarállomásoktól beérkező adatokat egy központba továbbították telefonon, ott összegezték az adatokat és állították össze a helyzetképet, ez alapján hozták meg a szükséges döntéseket és irányították a vadászokat.[415] Ez vagy azt

---

[413] https://goo.gl/31Qmwl
http://www.douglas-self.com/MUSEUM/COMMS/ear/ear.htm

[414] *Inkább azt mondanám,h hogy nem is igen volt lehetséges. A háború végi nagy hatósugarú amerikai vadászgépekkel (P-38, P-51) persze lehetett volna ilyet csinálni, de akkor meg nemigen volt rá szükség. A V-1 szárnyasbombák ellen volt/lett volna egyedül értelme ennek, de mivel azok megközelítési iránya kvázi fix volt, ezért légvédelmi lövegek használata sokkal olcsóbb és célszerűbb volt.*
A Cerberus hadművelet idején a német vadászgépek folyamatos őrjáratot adtak a Csatorna felett a repülőgép-hordozók védelméhez hasonlóan, de csak erőik töredékével, a vadászgépek többsége a támaszponton várakozva várta a felszállási parancsot, rövid idő alatt növelhetővé vált a hajókat az átkelés ideje alatt oltalmazó vadászgépek mennyisége.
https://hu.wikipedia.org/wiki/Cerberus_hadm%C5%B1velet
https://moly.hu/konyvek/adolf-galland-104-legigyozelmem

[415] http://www.battleofbritain1940.net/document-12.html
https://www.youtube.com/watch?v=oaASXVW3G5o

jelentette, hogy üvegtáblára rajzolták fel zsírkrétával a kötelékek pillanatnyi utolsó helyzetét vagy hatalmas asztalokon kézi erővel mozgattak kötelékeket szimbolizáló jelöléseket, bábukat, stb. Ez a módszer azonban sok és gyorsan repülő cél esetén alkalmatlanná válik a feladat ellátáshoz, az információk lassú átfutási ideje miatt. A harcérintkezés felvétele után, amikor „szétestek"a kötelékek, akkor azok összerendeződése szinte lehetetlen volt, tehát a rávezető rendszer innentől fogva hasztalan volt. A rendszer két fő célja az volt, hogy a kötelékek a lehető legoptimálisabb helyen találkozzanak a célpontokkal, és az erőforrások optimális használatát segítette harcbavetés előtt. Tehát az első találkozásig volt ez a módszer használható, utána a gépek már maguk keresték meg céljaikat a köteléken belül és a századok visszatéréséig – ez volt az alapegység – és a rendelkezésre állás bejelentéséig a rendszer a hazatérő gépeket úgymond nem látta. Alapvetően századméretű kötelékek rávezetésére volt alkalmas a rendszer.

Tervtáblás módszer használata az Angliai csata alatt.

A II. világháborút követő időszakban a rávezető rendszerek továbbra is a földi telepítésű radarokra alapoztak, de a köréjük kiépített technika egyre inkább automatizált megoldásokkal egészült ki, illetve lehetővé tette már nem csak rádión keresztüli beszéddel történi információ közlést (adatátvitel), hanem analóg vagy digitális adatátviteli rendszereken keresztül is.

A svéd Draken vadászgép és a földi rávezetés számára a STRIL 50/60 már az '50-se évek végén (!) rendelkezésre állt, digitális adatátviteli rendszer volt. Mind a szovjeteknél és az USA-nál hasonló eszköz sokkal később került kifejlesztésre. A STRIL 60 rendszert sem Dániának, sem Finnországnak nem adták át – ők az 1980-as években saját adatkapcsolatot fejlesztettek ki hozzá – de érdekes módon Ausztriának igen.

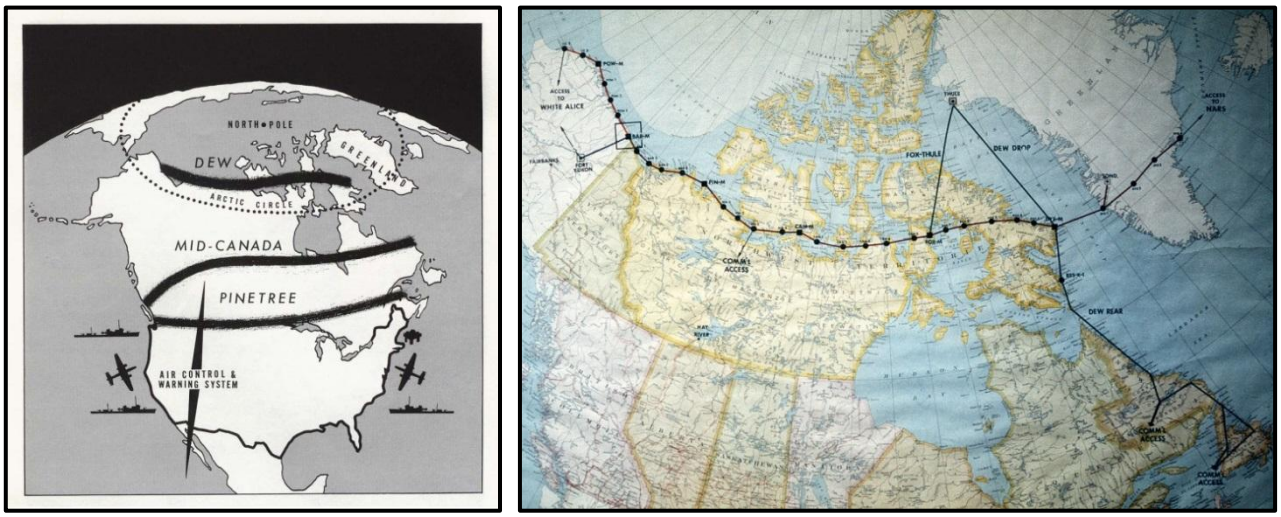
A tervtáblás rendszer továbbfejlesztése az amerikaiak által kifejlesztett fél-automatikus SAGE[416] (Semi-Automatic Ground Environment) rendszer a hozzá tartozó Nike/BOMARC SAM ütegekkel, és F-102 Delta Dagger és F-106 Delta Dart vadászokkal, ez védte az USA és Kanadát az '50-es évek végétől.

[416] https://www.youtube.com/watch?v=06drBN8nlWg
https://www.youtube.com/watch?v=euL4y49mGqw
https://www.youtube.com/watch?v=dF75jHfawtM
https://en.wikipedia.org/wiki/Semi-Automatic_Ground_Environment
http://fortwiki.com/Gunter_SAGE_Direction_Center_DC-09

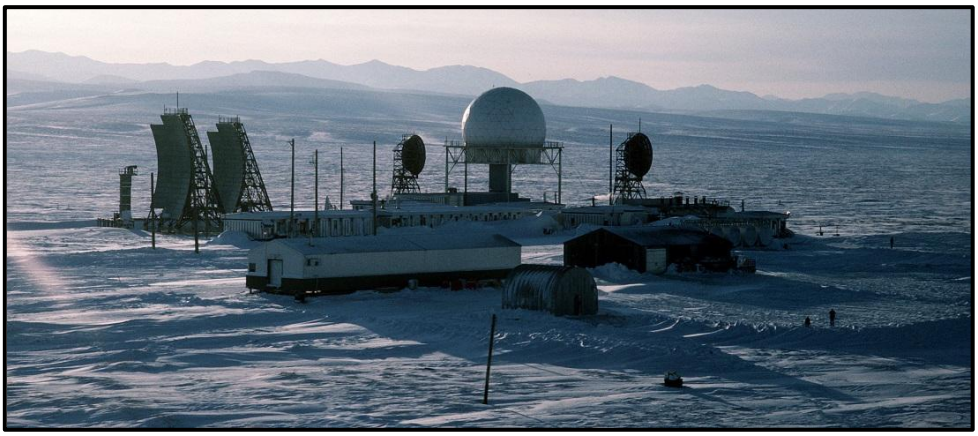
A fél-automatikus rávezető rendszer SAGE (Semi-Automatic Ground Environment) a maga korában kisebbfajta csodának számított, 1958-ban állt szolgálatba. A radarláncok által felderített adatokat összesítve jelenítette meg egyetlen kijelzőn, így maximalizálva a rávezetés és elfogás hatékonyságát, illetve vezérelte a BOMARC rakétákat. A szükséges számítási kapacitást az IBM AN/FSQ-7 számítógép biztosította. A kor technológiai színvonalán persze a létesítmény mérete hatalmas volt.

A SAGE épülete a MCGuire támaszponton (McGuire Air Force Base). A kép bal oldalán látható a generátorok hűtő rendszere. A „kockában" négy szint volt, légkondicionáló és a kábel csatlakozások a földszinten, a számítógép a második emeleten, irodák a harmadikon és a harcászati központ a legfelső negyedik szinten.

Az operátorok számára a SAGE az USA és Kanada területén levő korai előrejelző radarrendszer[417] által gyűjtött adatokat összegezte és képes volt megjeleníteni az operátor képernyőjén. A Pinetree radarlánc az 50. szélességi kör mentén 1955-ben, a DEW vonal (Distant Early Warning Line) a sarkkörtől kb. 300 km-re északra 1957-ben, a MID-CANADA vonal 1958-tól állt csatasorba, ez utóbbi kis magasságban kereső doppler radarokat használt.



A három radarlánc és a DEW vonal állomásainak helyei.



Point Lay radarállomás Alaszkában, a DEW vonal egyik eleme.

[417] https://en.wikipedia.org/wiki/Distant_Early_Warning_Line

A SAGE rendszerhez hasonló a szovjet honi légvédelem (PVO) által használt automatizált vezetési rendszereket (a továbbiakban AVR) a korábban ismertetett (2.1.3. fejezet) PVO által használt elfogóvadászokhoz fejlesztették ki illetve a légvédelmi rakéta rendszerek koordinálására, ilyenek például a Vektor és Szenyezs. Az első szovjet AVR-eket szintén interkontinentális bombázók elfogására fejlesztették ki, ami alapvetően egyszerűbb feladat, mint frontvonal közelében a sokkal dinamikusabb környezetben operáló vadászok irányítása, ahol a az összecsapás kezdete után teljesen összekeveredhetnek a baráti gépek az ellenséges erőkkel. Az szovjet AVR-ekről a szovjet honi légvédelmi rakéta-rendszerek bemutatását követően esik szó a 6.2.3. fejezetben specifikusabban tárgyalva azok képességeit, elsősorban a szovjet rendszereken keresztül.

A szovjet vadászgépek számára készült a Lazur rávezető rendszer. Egy kabinban egy külön kijelző csoport mutatta a pilótának – tehát ez sem igényel folyamatos rádiózást élőszóban – hogy merre repüljön, és mikor kapcsolja be a radarját, hogy a lehető legtovább mellőzhető legyen a repülőgép radarjának használata, elektronikus kisugárzás nélkül közelíthesse meg a célt a támadó. Ez nem minden vadászgépen állt rendelkezésre, elsősorban a PVO (Szovjet Honi Légvédelem) repülőgépeire építették be a rendszert, de a VSz MiG-21 és MiG-23 vadászgépeibe építve is megtalálható volt. A Lazur rendszeren keresztül konkrét utasításokat adtak a pilótának – sebesség, magasság és irányszög –, a pilóta a döntési folyamatban egyáltalán nem vett részt.[418]

A valamikori szovjet (és VSz) műszeres elfogóvadász-rávezető rendszer a LAZUR-rendszer volt, aminek volt egy földi parancs-adó rész-rendszere, és egy vadászgép-fedélzeti kijelző-rendszere. Ez nem automatikus volt, de lehallgatható rádiós szövegelés helyett kódolt rádió-parancsjeleket közvetített az elfogást végrehajtó vadászgép műszereire (magasságmérő, sebességmérő, irányszög-kijelző, LAZUR központi műszer és LAZUR-kezelő és kijelzőpanel).

A földi részről kevesebbet tudok, csak mások elbeszélése alapján, de az "üvegtérképen" radar alapján ábrázolt légi helyzet szerint állítólag írógéphez hasonló szerkentyűkkel gépelték be az elfogáshoz szükséges parancsjeleket, amik kódolt rádió-adással kerültek a vadászgépre, és a rendszer kijelezte azokat a gép műszerein. A pilóta ezeket követve repült és fordult be a cél mögé a megfelelő magasságon és sebességgel, majd a parancsjelre a saját radarját bekapcsolva fejezte be az elfogást.

Emlékeim szerint a rendszer 144 egymástól független előre lehangolt hullámhossz-csatornával rendelkezett, tehát ennyi gépet, géppárt vagy köteléket lehetett vele irányítani, ha volt ennyi földi és légi kapacitás. Mivel szerintem ennyi egy időben soha nem volt (legfeljebb. a teljes VSz szinten), a sok csatorna elsősorban zavarás esetére volt fenntartva, hogy ezt észlelve gyors csatorna-váltással lehessen folytatni az elektronikus zavarást kiküszöbölve az elfogást.

A pilóta számára minden parancsjel-változást egy búgó/sípoló hangjel is jelzett a fülhallgatójában, hogy figyelje a műszereken megjelenő parancsjelek változását.

A központi LAZUR-műszer világító nyilakkal kijelezte, hogy emelkedni, süllyedni, jobbra vagy balra kell fordulni, az adott műszerskálák peremén lévő kis háromszög alakú indexjel pedig megadta a manőver pontos értékét (pl. : központi műszer : balforduló-jelzés, emelkedj-jelzés, irányszög-műszeren : 320-fok parancsjel, magasságmérőn 8700 m-es parancsjel stb.), a hangjelzés addig szólt, míg a parancsjelek a műszerek szerint végre nem lettek hajtva, tehát a műszerek mutatója a parancsjel-indexre nem mutatott).

[418] *Mellékletek között elérhető egy rövid összefoglaló a Lazur és Vozduh-1M rendszerről Palik Mályás Csabától.*

Csatornaváltási parancsot a kezelőpulton az újonnan kijelölt csatorna pirosan világító gombja jelzett (meg itt is a hangjelzés), a gombot benyomva megtörtént a csatornaváltás, kialudt a fényjelzés és megszűnt a hangjel. A központi műszeren volt a "Radar-kisugárzás" parancsjel jelzőfénye és a "kötelező kiválás" jelzőfény, ami az elfogás befejezését vagy megszakítását jelezte.

A korszerűbb gépeken (pl. a MiG-23 is) a robotpilóta képes volt végrehajtani a LAZUR parancsokat, vagyis feszállás után a pilóta futót-fékszárnyat behúzott, bekapcsolta a LAZUR-t és a robotpilótát, legfeljebb a gázkart kellett kezelni, és a gépet földi parancsjelekkel kivezették a célkörzetbe elfogási pozícióba, majd jött a „radar-kisugárzás" parancs, ettől kezdve a pilóta dolgozott. Az utóbbi megoldás tekinthető szerintem – legalábbis valamennyire – (fél)-automatikus elfogó rendszernek.

(Molnár László kiegészítése kismértékben szerkesztve.)

A fenti robosztus rendszerek honi légvédelmi célokra készültek, azonban háborús helyzetben a taktikai vadászgépek közötti összecsapások sokkal dinamikusabb környezetet jelentenek, egészen más személet szükséges. Ma a pilóta többnyire csak információt kap adatátviteli rendszeren vagy rádión keresztül, a kivitelezés terén a pilóta dönthet saját maga, nem feltétlen a földi vagy légi rávezető parancsnok, a vezetési központ „csak" a tűzparancs kiadásáért felel. Ez nagyobb cselekvési szabadságot ad, viszont nagyobb megterhelést jelent a gépszemélyzetnek. A tűzparancs kiadása és az azonosítás az szintén az adott helyzettől függő dolog, amit az éppen aktuálisan definiált szabályok[419] határoznak meg.

A fenti két megközelítés – hogy a pilóta döntési helyzetben van vagy sem – részben kulturális jellegű, az oroszok mindig is ragaszkodtak a hidegháború alatt ehhez a centralizált módszerhez, de nem feltétlen szovjet/orosz sajátosság. Mind az MiG-25 PVO változatainál, mind az amerikai F-106 esetén egészen odáig elmentek, hogy a rávezetési rendszeren keresztül robotpilótával távvezérelhető volt a repülőgép, tehát a célpont mögé rávezetés nem a pilóta ügyességén és/vagy a rádió kommunikáción múlott sőt, még a repülőgép fegyverrendszere is kezelhető volt. Az, hogy mikor melyik változat a jobb és célravezetőbb az helyzetfüggő.

A földi radarokra alapozó rávezető rendszerek egyik komoly hátránya, hogy az alacsonyan közeledő célok ellen korlátozottan használhatóak mert az észlelési távolság alacsony a radarhorizont miatt, ezen felül tereptárgyak és a domborzat is kitakarhatja a célokat. A megoldás kézenfekvő volt, a technikai megvalósítása kevésbé,a felderítő radart repülőgépre kellett tenni a szükséges rávezető rendszerrel és munkaállomásokkal, lásd A 2.1.6. fejezetben.[420]

Tekintve a SAGE méreteit belátható, hogy a légtérellenőrző gépek képességei kezdetben meddig terjedtek. A radar által adott nyers információk elemzése és rádión keresztül történő rávezetése a vadászgépeknek. Később a fedélzeti számítógépek és a digitális és rádiótechnika fejlődésével képessé váltak a hatékonyabb vadászirányításra. Az adatkapcsolaton keresztül több forrásból is összeállított helyzetkép megalkotása vált lehetségessé vagy adott esetben maga az AWACS szolgáltatott információt. A US Navy E-2 légtérellenőrzője már a '70-es években is képes volt adatkapcsolaton keresztül operálni az F-14 vadászgépekkel és lesugározni adatot a repülőgép-hordozó harcászati központjába, ahol a döntési helyzetben levő ember a több forrásból származó összesítet helyzetképet láthatta.

[419] *Rules of Engagement, lásd az F-15-ről szóló írásban.* https://htka.hu/2012/12/04/mcdonnell-douglas-f-15-eagle/

[420] *A munkaállomások repülőgép fedélzetre telepítése nem evidens. Az első svéd légtérellenőrző repülőgép fedélzetén nem voltak operátorok, a fedélzeti rendszerek a kiértékelt mérési eredményekből kapott digitális céljeleket lesugározzák a földi telepítésű rávezető rendszerre. Tehát a légtérellenőrző repülőgép lényegében egy speciális elhelyezésű radarként üzemel az ő koncepciójuk szerint, de földi komponensre mindenképpen szükség van. Ezzel szemben a E-3 Sentry teljes önálló, autonóm módon is képes vezetési pontként működni.*

6.2. Légvédelmi eszközök a fegyveres erők szervezeti struktúrájában

6.2.1. Honi légvédelem

6.2.1.1. USA honi légvédelmi rakéta-rendszerei

6.2.1.1.1. MIM-3 Nike Ajax ,MIM-14 Nike Hercules CIM-10 BOMARC

Az első irányított rakétát használó légvédelmi rakéta-rendszerek az '50-es évek közepén jelentek meg mind az Szovjetunióban, mind az Egyesült Államokban, ilyen volt pl. a szovjet az Sz-25 Berkut (SA-1 Guild), az amerikai Nike Ajax és Nike Hercules.

A légvédelmi rakéta-rendszereket a támadó stratégiai bombázó repülőgépek egyre nagyobb repülési teljesítménye hívta életre. A bombázók repülési sebessége (kb. 900 km/h) és magassága (kb. 12 km) olyan mértékben megnőtt, hogy még közelségi gyújtós gránátok használata esetén is – ilyen ráadásul csak az USA-nak állt rendelkezésére akkor, másnak nem – a találat ezekkel elméletinek volt tekinthető, ráadásul ilyen magasságra történő tüzeléshez hatalmas kaliberű (100 mm feletti) igen nehéz légvédelmi ágyúk voltak szükségesek, amik lőtávolsága korlátozott.

Ráadásul a repülőgépek tűzereje a nukleáris és főleg a termonukleáris fegyverek[421] megjelenésével elképesztően megnőtt. Nem volt szükség több száz gépes bombázó kötelékekre egy hatalmas kiterjedésű ipari létesítmény, kikötő vagy egy város letarolásához. Néhány repülőgép 20-100 kt hatóerejű nukleáris vagy egyetlen néhány megatonna hatóerejű termonukleáris bombával elérte ugyanazt, sőt, a termonukleáris fegyverekkel olyan pusztításra voltak képesek, mint amit korábban el sem tudtak képzelni. Való igaz, hogy a stratégiai bombázó repülőgépek és a nukleáris fegyverek drágák voltak, de ezzel elérhető volt, hogy egy célpontot legfeljebb néhány tucat (amerikai bombázók Moszkva ellen) vagy csak néhány gép (kisebb szovjet városok vagy szovjetek kisebb jelentőségű város ellen), de légvédelmi ágyúkkal lehetetlenné vált a stratégai célpontok védelme még ilyen kis számú támadó esetén. Nem volt megengedhető, hogy akár csak egy támadó is átjusson, ha az 5-10 Mt hatóerejű nukleáris fegyverrel cirka 6-8 km-es sugarú körben mindent letarol pusztán a lökéshullámmal, – vasbeton épületek sem maradnak állva ekkora sugáron belül a detonációhoz képest –nem beszélve az azt követő tűzvész és radioaktív szennyezés is megteszi a magáét.

A bombázógépek nagyobb magassága és sebessége miatt a vadászgépek számára is egyre nehezebb lett ezen gépek elfogása főleg az irányított légvédelmi rakéták megjelenése előtt. Persze a vadászgépek ritkíthatják a támadó bombázógépeket a célpontok elérése előtt, de a védelem utolsó vonalának hatékonyságát mindenképpen drámaian szükséges volt megnövelni.

Viszonyításképpen néhány konkrét számmal illusztrálva a problémát. A II. világháború során tartósan 4-5% feletti veszteség estén a stratégiai bombázások nem lettek volna kivitelezhetőek, mert ilyen arányú veszteség mellett túlélési esélye hosszútávon a személyzetnek vállalhatatlanul alacsony lett volna és a ráfordítás több lett volna az okozott kárnál is. 1943-45-ben az amerikai B-17, B-24 és angol Lancester bombázógépek 6-8 km-es magasságból bombáztak, a sebességük a 400 km/h-t sem igazán érte el. Ez ellen a fenyegetés ellen tudtak a németek hatékonyan fellépni egy idő után, de tartósan nem voltak képesek elérni a 4%-os lelövési/veszteségi arányt[422] vadászokkal és légvédelmi ágyúkkal kombinálva sem. A termonukleáris fegyverekkel operáló bombázógépeknek ilyen szintű veszteség okozása azt jelenti, hogy az első hullámban bekövetkező támadás lényegében apokaliptikus méretű pusztítás okoz, ha a városok és ipari központok ellen vetik be azokat. Ráadásul a II. világháborút követően alig 10 évvel később a fenti említett

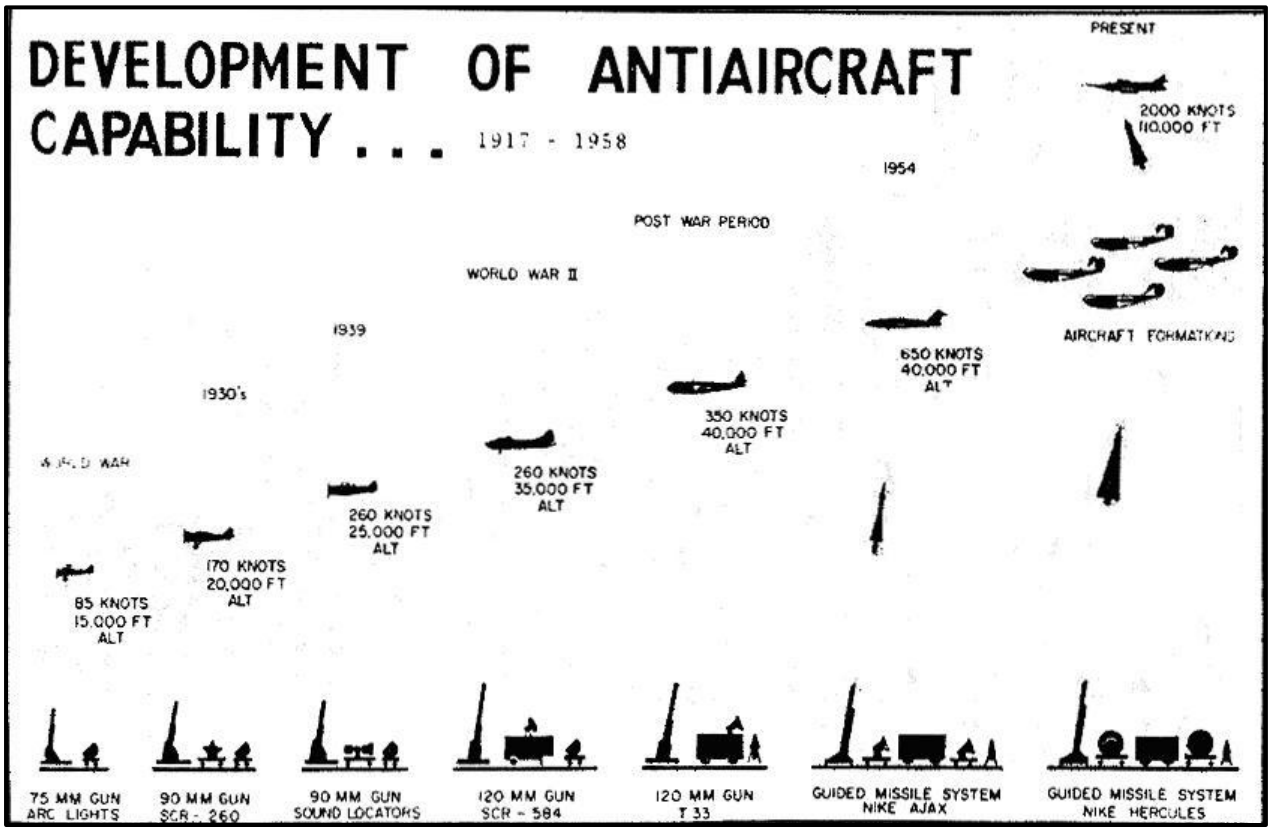
[421] *„Népiesen” fogalmazva atombomba illetve hidrogénbomba.*

[422] *Előfordultak olyan esetek is, hogy a hazarepült gépeken a személyes jelentős része elesett vagy további bevetésre alkalmatlanná vált vagy a gépet selejtezni kellett, ami gyakorlatilag elvesztett gépet és személyzetet is jelentett.*

repülési magasság és sebesség lényegében megduplázódott. Persze a veszteségi arány nő, ha egy célpont ellen kevesebb gép indul, de a probléma nagyságrendje a fentiek alapján érzékelhető, a 4%-nál messze magasabb megsemmisítési arányt kellett elérni a vadászok és légvédelmi rakéta-rendszerek együttes alkalmazásával.

Irányított rakéta használatának szükségessége a légvédelmi ágyúk alapvető működési elvéből fakad. Az ágyúkból kilőtt gránátok pontatlansággal (szórással) bírnak, azok eloszlása véletlenszerű egy adott pont körül. A távolság növekedésével a gránátok szórása növekszik, a sikeres közvetlen találat esélye csökken , ami idővel gyakorlatilag nullává válik. Emiatt rengeteg gránát volt szükséges egyetlen találathoz vagy bombázógép lelövéséhez még akkor is, ha időzített gyújtót (adott magasságon robban) használtak is. Az Angliai csata alatt 1940-ben a nehéz légvédelmi ágyúk kb. 49 000 lövést adtak le, ezzel 12 darab repülőgépet sikerült lelőni (és persze többet megrongálni), ez kb. 4000 gránatonként jelentett egy lelőtt gépet. A németek radar által segített célzással átlagosan kb. 2900 gránát felhasználásával lőttek egy darab amerikai stratégiai bombázót (B-17/24).

A célsebesség növekedésével a repülőgépek gyorsabban húznak át a légvédelmi ágyúk tűzkörzetén, ami azt jelenti, hogy kevesebb lövés adható le rájuk. A sugárhajtóműves stratégiai bombázok olyan magasságon és sebességgel repültek az ’50-es évek közepén és végén, hogy a találat esélye még a legnagyobb teljesítményű légvédelmi ágyúk, radaros tűzvezetés és közelségi gyújtó használatával is (ezt az USA nem adta oda senkinek a II. világháború alatt) gyakorlatilag nullára csökkent, és hogy egyáltalán a bombák oldása előtt tüzelni lehessenek velük a célponttól 10 km-re kellett telepíteni azokat körkörösen. Egész egyszerűen egyetlen célpont megvédéséhez is gyakorlatilag „végtelen” mennyiségű légvédelmi ágyúra lenne szükség ahhoz, hogy egyetlen repülőgép megsemmisítése 100%-hoz közeli valószínűségű legyen.



A célok repülési sebességének és magasságának változása az I. világháborútól a ’50-es évek végéig, némi pesszimista jóslással a célpontok repülési sebességére és magasságára vonatkozólag. (A légvédelem szemszögéből nézve.)

Az összes fenti példa zárt kötelékben, egyenesen repülő nehéz- vagy közepes bombázóról szól, a manőverező célok ellen a nehéz légvédelmi ágyúk – pl. a híres német 88 mm-es Flak 36 – hatástalanok voltak, azok ellen csak a kiskaliberű géppuskák (12.7 mm űrmértig) és gépágyúk (~30 mm-ig akkoriban) jönnek számításba, de azok hatásos lőtávolsága legfeljebb 1-4 km és a maximális célmagasság kb. 2 km, ez a csapatlégvédelem kategória. A nehéz légvédelmi lövegek egyszerűen túl lassan mozgathatóak voltak az ilyen célok eltalálásához.

A fentiekből következik az, hogy a szárazföldi erők védelmét az ’50-es években lényegében a vadászgépek látták el nukleáris fegyverekkel támadó bombázók ellen. Nem nukleáris fegyverek esetén néhány száz méter magasságig le kellett jönnie a támadó gépeknek, ahol a kiskaliberű nagy tűzgyorsaságú légvédelmi ágyúknak volt esélye a célpontok megsemmisítése. Nukleáris fegyverek esetén nem volt szükséges a kis magasságban repülés, még több száz méteres szórással is kellően pontosak voltak a harcászati atomfegyverek úgy, hogy akár 4-5 km magasról oldották le azokat A korszaknak csapatlégvédelme a gravitációs nukleáris fegyverekkel felszerelt bombázógépek megállítására képtelen főleg akkor, ha azokat tömegesen vetették be.

1944-ben a USA hadseregének vezérkari főnöke megfogalmazta egy új, irányított lövedéket használó légvédelmi rendszer iránti igényt. A Bell Labs is megkapta a felkérést a tervezésre, ami akkor a világ vezető vállalata volt a radar- és rádió távvezérlés és automata célzó rendszerek területén. (Az persze más kérdés, hogy a fenyegetés nem vált valóra a II. világháború alatt, csak később a Szovjetunió által a hidegháborúban.) A feladat 800 km/h sebességgel és 6-18 km-es repülési magasságban repülő bombázók leküzdése volt. A Bell vállalat 1945 májusában közölte hogy a feladat megvalósíthatónak látszik.

A Bell mérnökei szuperszonikus sebességre képes kétlépcsős (kétfokozatú) rakéta ötletével álltak elő, ami függőlegesen indult szilárd tüzelőanyagú gyorsító fokozattal, aminek ledobása után a rakéta saját folyékony hajtóanyagú hajtóműve üzemelt tovább. A rakéta távirányítással repült az elfogási pont felé, a rakéta robbanófejét (harci rész) is távirányítással hozták működésbe. Az egészet egy földi telepítésű radar és számítógép vezérelte, a parancsokat rádió-elektronikai úton kapta a rakéta. A radar mind a célpontot, mind a rakétát nyomon követte a rakéta kormányvezérlő parancsjelek kidolgozásához. Megszületett tehát az egyik első rádió-parancsközlő rávezetési elvét felhasználó légvédelmi-rakétarendszer koncepciója, ez vezetett el a MIM-3 Nike Ajax illetev később a MIM-14 Nike Hercules rendszerek kifejlesztéshez.

Az első légvédelmi rakéta-rendszerek rádió-parancsközlő távirányítással dolgoztak, akkor más vezérlési módszer fel sem merülhetett. Az infravörös vezérlés akkor még csak elmélet volt, gyakorlati megvalósítása még váratott magára, ezen felül nem biztosította a szükséges rávezetési távolságot a bombázók időben történő megsemmisítéséhez. A szovjetek is ezt az utat választották, az Sz-25 Berkut (SA-1) is rádió-parancsvezérelt volt, de az amerikai rendszerhez képest sokkal nagyobb léptékű rendszer volt a célcsatornák és rakéták számát tekintve, de a későbbi egyszerűbb és olcsóbb SzA-75 Dvina/ Sz-75M Volhov (SA-2) és az Sz-125 Nyeva (SA-3) változatai is ezt a vezérlési módszert használták.

A Nike Ajax hatótávolsága (megsemmisítési zónája) távolságban 55 km, a cél maximális magassága kb. 21 km volt, a rakéta maximális sebessége M2,3 táján volt, a rakéta hagyományos harci résszel rendelkezett.

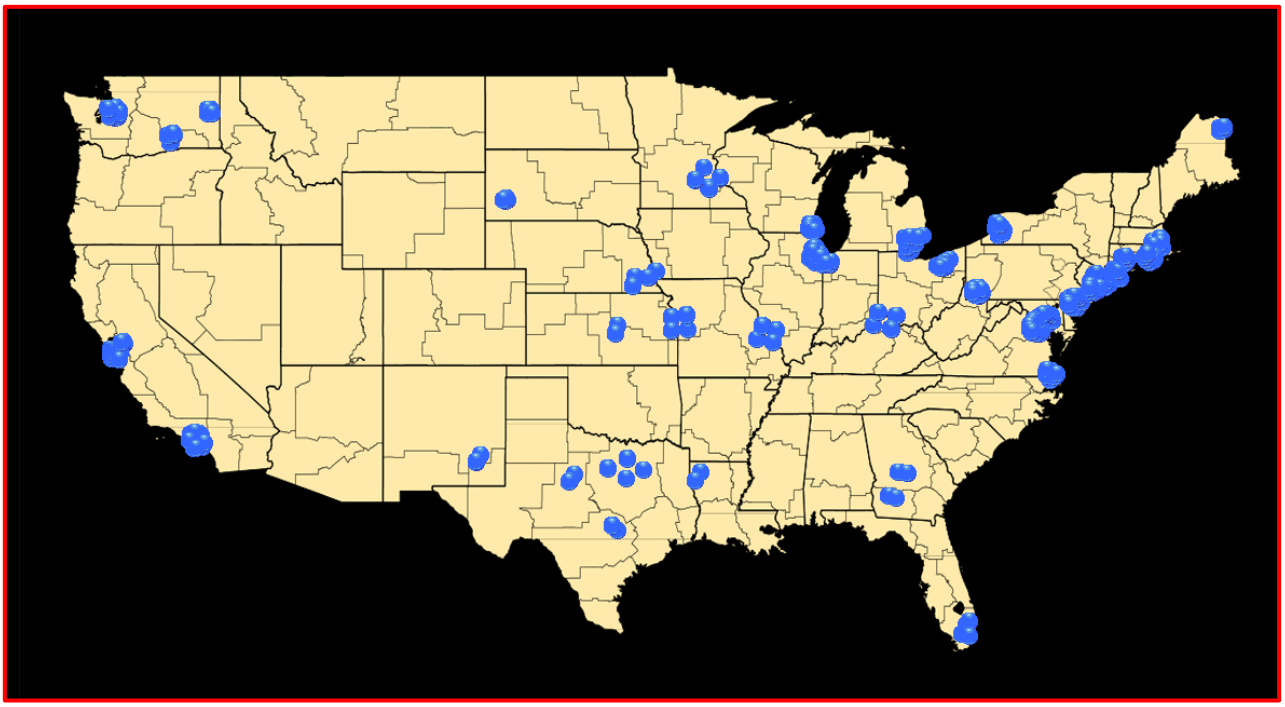
Élesben hála istennek soha nem vetették sem az amerikai, sem a szovjet Sz-25 Berkut rendszert sem, ez lényegében atomháborút jelentett volna. Ezen rendszerek közös jellemzője, hogy elképesztő anyagi forrásokat költöttek el a kifejlesztésükre és telepítésükre, de igen hamar elavulttá és/vagy okafogyottá váltak.

A ’70-es évek végére az USA területén nem maradt egyetlen üzemelő honi légvédelmi rakéta-rendszer sem. A szovjetek azonban egészen a ’80-as évek elejéig rendszerben tartották az Sz-25-öt, még a ’80-as években a kivonás előtt néhány évvel is végrehajtottak rajta apróbb fejlesztéseket. Ezek a rendszerek inkább úttörő szerepük miatt voltak jelentősek lévén élesben soha nem szerepeltek.

Az USA az U-2 gépek megjelenéséig nem rendelkezett pontos adatokkal a szovjet bombázó flotta méretéről, ennek szellemében határozták meg a telepítendő rakéta osztályok mennyiségét A sikeres felderítő repülések adatit megismerve utólagos bölcsességgel kijelenthető, hogy a telepített mennyiség nagyjából arányban állt a lehetséges szovjet bombázófenyegetéssel. A vadászokon átjutó esetleges szovjet bombázókat képesek lettek volna reálisan megsemmisíteni a USA nagyvárosai köré telepített légvédelmi rakéták sőt, amennyiben a szovjetek szétforgácsolták volna erőiket, talán még önállóan is képesek lettek volna megállítani a támadásukat egyes városok esetén. Az USA területén a következő helyeken a zárójelben levő mennyiségű (osztály) légvédelmi rakéta-rendszert telepítették. Minden osztály egy célcsatornával bírt, tehát egyszerre csak egy célra tudott rakétát rávezetni.

MIM-3 Nike Ajax

- Telepítése 1954-ben kezdődött meg, Baltimore (7), Chicago (22), New York (19), Philadelphia (12), San Francisco (12), és Washington (13) körül telepítették őket, zárójelben az osztályok (ütegek) mennyisége.
- 1955-től Boston (12), Detroit (15), Hanford (4), Los Angeles (16), Milwaukee (8), Niagara Falls (4), Norfolk (9), Pittsburgh (12), Seattle (11).
- 1956-tól, Bridgeport (6), Buffalo (4), Cleveland (8), Fairchild AFB (4), Hartford (6), Providence (7).
- 1957-ben, három SAC támaszpont kapott ilyen védelmet; Ellsworth AFB (4), Loring AFB (4), Travis AFB (4).[423]



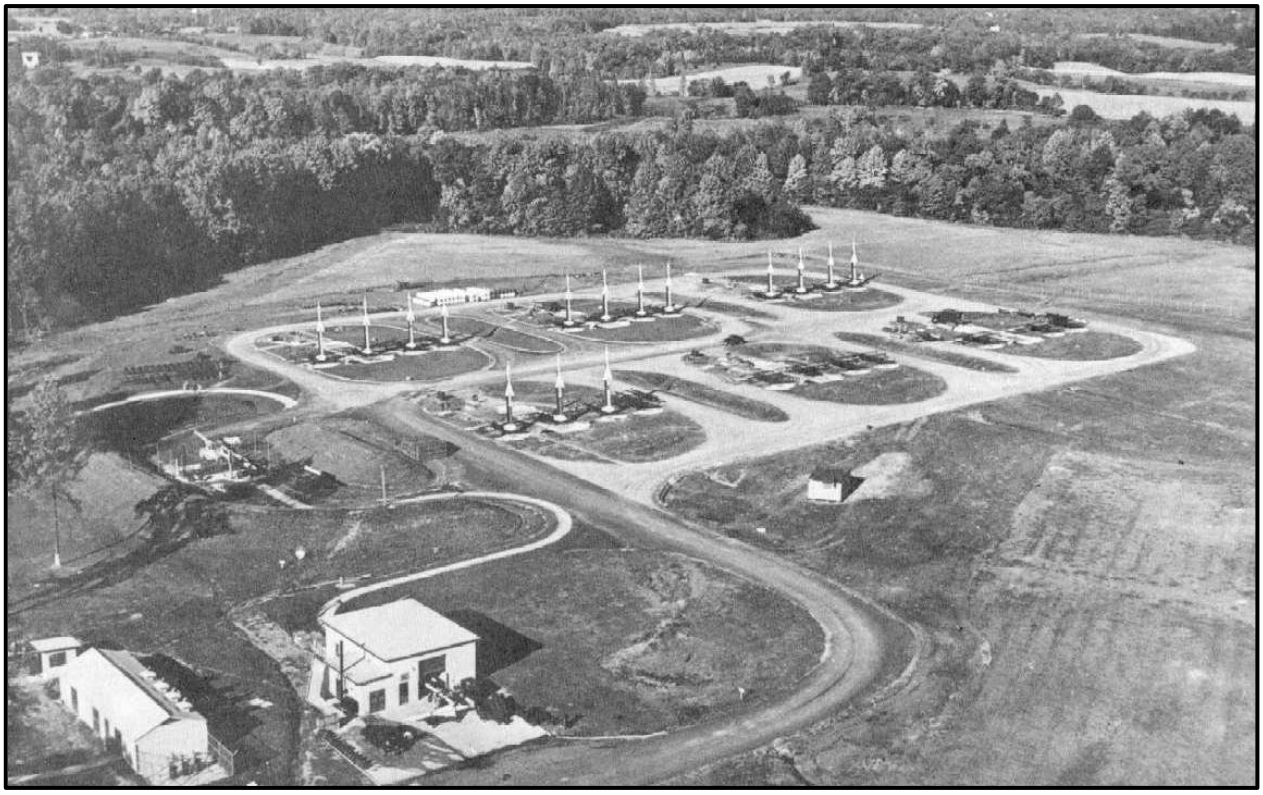
Nike Ajax osztályok telepítési helyei az USA területén.

[423] *Rings of Supersonic Steel, 2. fejezet.*

Az USA területén végül összesen kb. 225 db osztály települt, Európában 24 db osztályt telepítettek, a „bomber gap” miatt azonban jóval többet gyártottak le, mint amit le is telepítettek. A kb. 250 darab telepített osztály mellett 103 darab legyártott Ajax osztály technikáját egyenesen a raktárakba küldték. A fenti légvédelmi osztály mennyiséget nagyjából 3 év alatt gyártották le 14 ezer darab rakétával egyetemben. El lehet képzelni, hogy mibe került mindez...

Amennyire meg tudom ítélni a legtöbb embernek fogalma sincs arról, hogy az USA mennyire komolyan vette a nagyvárosok védelmét és gyakorlatilag nem hallottak arról, hogy az USA-ban valaha is hadrendben voltak ilyen légvédelmi rakéta-rendszerek. A szovjet légvédelmi rakéták háborússzereplése és az U-2-es lelövése teljesen elhomályosítja ezeket, mert az amerikai honi légvédelmi rakéták élesben nem szerepeltek.

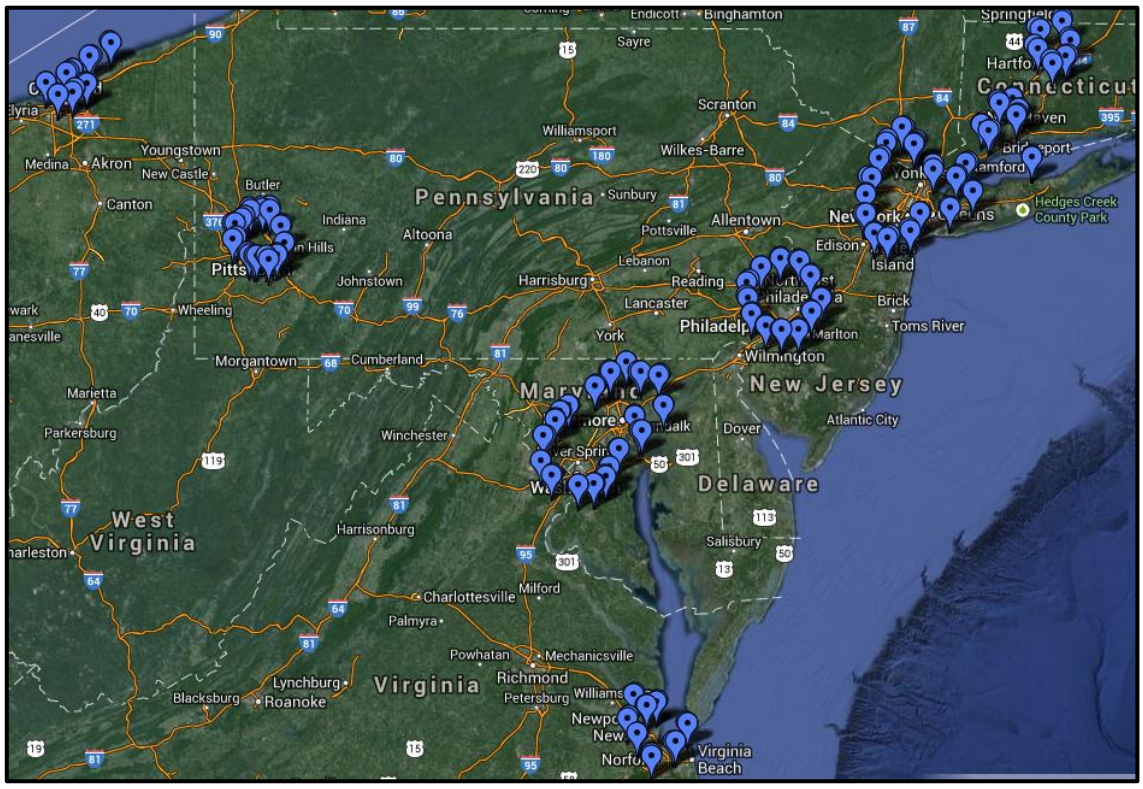
A Nike Ajax rendszer érdekessége, hogy az osztályoknál nem azonos mennyiségű rakéta volt rendszeresítve a később bemutatásra kerülő Berkut rendszerrel ellentétben, hanem a védendő célpont határozta meg a mennyiséget. A tömeges bombázó támadás megállításra végül alkalmatlannak ítélték az Ajax-ot, ezért született meg a Nike Hercules, ezért az utolsó Ajax osztályt 1964-ben már le is szerelték. Ismét csak döbbenetes példa a hidegháború elején tapasztalt félelmetesen gyors tempójú elavulásra és csillagászati költségekre, amiket a fegyverkezésbe öltek bele.



Egy Nike Ajax osztály (üteg).

A Nike Ajax továbbfejlesztése a Nike Hercules rendszer volt, ami felhasználta a korábbi rendszer elemeit, viszont az új technika nagyobb teljesítménye miatt az Ajax leváltása nem 1:1 mennyiségben történt a Herculessel. Az új Nike változatot az USA-val szövetséges országokban is telepítették, pl. Németország, Hollandia, Belgium, Görögország, Törökország, de Japán, Dél-Korea és Tajvan is kapott ezekből. Bár az USA

1975-re az összes hazai osztályának működését leállította, egyes országok megdöbbentően sokáig használták azokat, Olaszország, és Törökország még az ezredforduló után is rendszerben tartotta.[424]



Nike rendszer telepítési helyei az USA keleti partján részletesebben. Jól látható, hogy a nagyvárosok védelmét mennyire komolyan vették.

Az új rakéta jócskán nagyobb lett, az Ajax rakéta szilárd gyorsító fokozatait kapta meg csak éppen 1 darab helyett immáron 4 darabot. A nagyobb rakéta sokkal nagyobb megsemmisítési zónát tett lehetővé, a rakéta maximális megsemmisítési távolsága elérte a 90 km-t is, a maximális célmagasság kb. 30 km-re nőtt. A nagyobb HMZ csak akkor volt lehetséges, ha a rakéta nukleáris harci részt használt, 55 km felett a rádió-parancsvezérelt vezérlés túlságosan pontatlan volt a hagyományos harci rész használatához. Éleslövészet és gyakorlás céljára rendelkezett hagyományos harci résszel ellátott rakétával is, de háború esetén alapvetően a nukleáris harci rész használatával számoltak. A nagyobb megsemmisítési zóna persze nem csak nagyobb rakéta miatt volt, a rakétakövető és a célkereső radarokon is változtatásokat kellett végrehajtani.

Némi túlzással a Nike Ajax Nike Herculessé fejlesztése olyan, mintha a később bemutatásra kerülő SzA-75 Dvinából utólag egy Sz-200 Vega szintű légvédelmi rendszert hoztak volna létre. A célcsatorna és rakéta csatornák száma változatlan maradt, továbbra is csak 1 db célra 1 db rakéta volt rávezethető.

Célcsatornának nevezzük az egy időben támadható célok számát, rakéta csatornának azt, hogy összesen hány rakéta vezethető erre a célra. A Nike rendszer tehát egy célcsatornás és egy rakétacsatornás volt, a később bemutatásra kerülő Sz-75M Volhov pl. egy célcsatornás, de három rakétacsatornás volt, ami azt jelenti, hogy bár csak egy célpontra, de arra akár 3 db rakéta rávezetése is lehetséges volt egy időben, az Sz-300PT 6 db célcsatornával és 12 db rakéta csatornával bírt.

[424] https://www.youtube.com/watch?v=V67WkcgN6MY

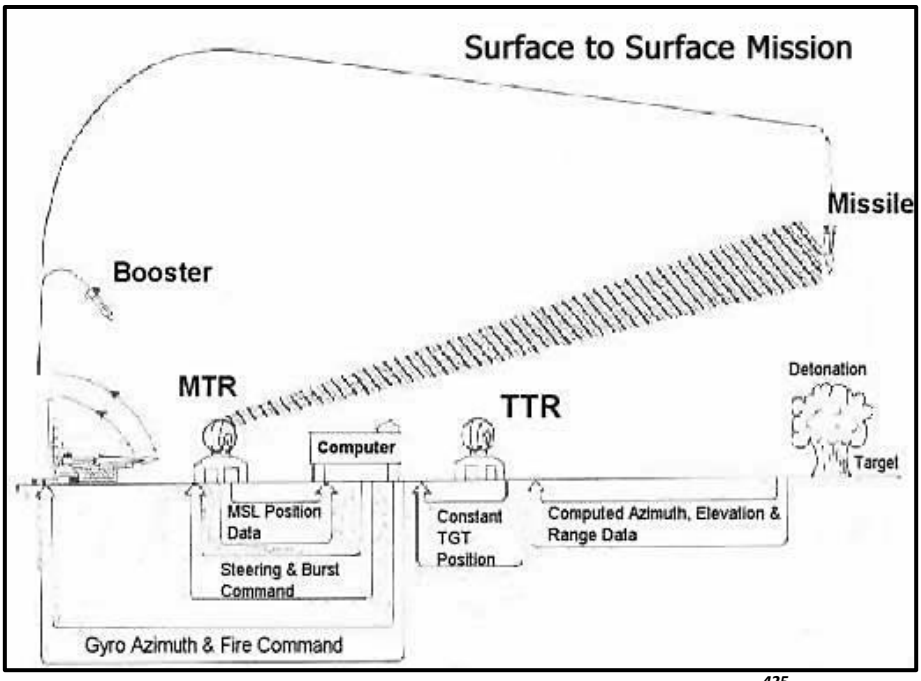
A rakéta indítása különleges volt, a saját terület védelme érdekében a rakéta mindig meghatározott irányban indult majdnem függőlegesen, hogy a gyorsító fokozat előre meghatározott területen érjen földet. A rakéta csak ezután fordult a cél irányába. Látható, hogy ez a rendszer sem vadászgép méretű és repülési profillal működő célokra lett tervezve, alacsonyan repülő célok ellen hatásos megsemmisítési zóna korlátozott volt a gyorsító fokozat és a rakéta manőver jellemzői miatt. A Nike Hercules alap változatát (Nike Hercules Basic) 1958-1962 között telepítették.

A továbbfejlesztett változat, a Nike Hercules Improved változatot 1961-tól szállították le, ez az elektronikus zavarás ellen egy új deciméteres hullámhosszon működő külön radart kapott, a céltávolság mérő radar(TRR) időnként csak „beszúrt" volna, szükség esetén, de más hullámhosszon (frekvencián), ezzel nehezítve a zavarást. Figyelemreméltó, hogy már ekkor is monopulzus radart használt a Nike rendszer.

A Nike Hercules legutolsó változata rendelkezett már ballisztikus rakéták megsemmisítésének képességével is, kb az első generációs „Scud A" típusú rakéták leküzdésére volt képes, erre szolgált a hatalmas 10 MW impulzuis csúcsteljesítményű HIPAR radar. Az más kérdés, hogy az USA területén telepítve ilyen fenyegetés nem jött szóba, az interkontinentális ballisztikus rakéták végfázis sebessége viszont messze meghaladta a háromszoros hangsebességet. Európai telepítéssel számolva, amikor egy Scud A ballisztikus rakéta kb. 150 km-es indítási távolságba került, az azt jelentette volna, hogy a NATO már régen elvesztette a háborút.

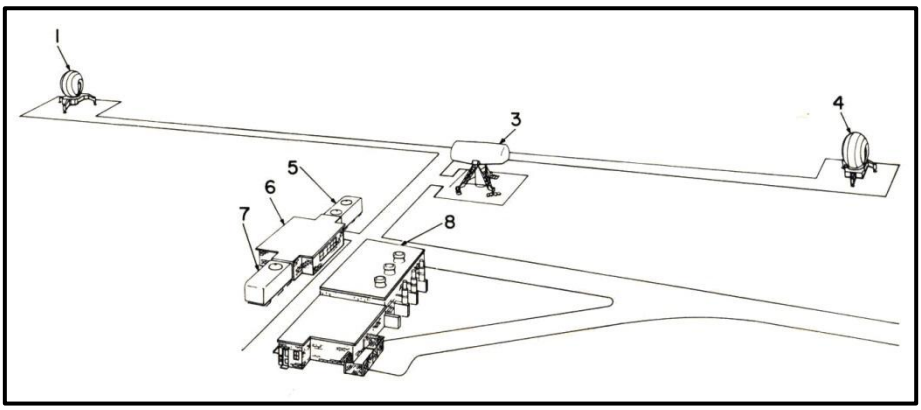
A továbbfejlesztett Nike Hercules megsemmisítési zónája elérte a 140 km-et, a rendszer különlegessége, hogy szárazföldi célok ellen is alkalmazható volt 180 km távolságig végszükség esetén. Ennek a képességnek az USA területén telepítve értelme szintén nem volt, de Európában adott esetben szükséges lehetett volna, lásd a képen oldalt lent.

(Érdekesség, hogy a HIPAR olyan frekvencián dolgozott, ami Európában zavarta a telekommunikációt, ezért békeidőben csak korlátozottan volt lehetséges használni, lásd mellékletek között megtalálható kezelőpult módosítását.)

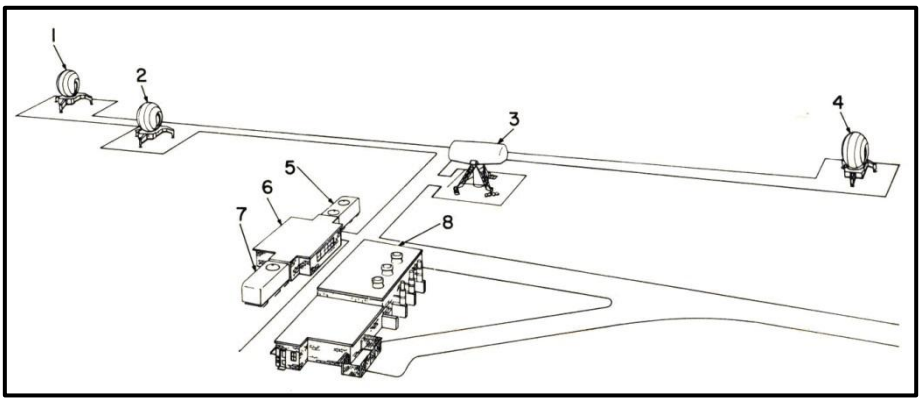


Nike Hercules rendszer használata szárazföldi célok ellen.[425]

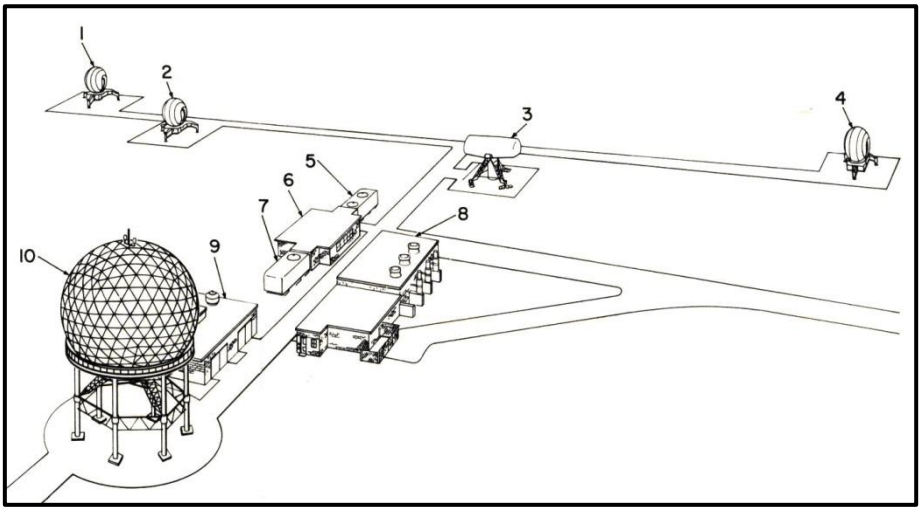
[425] http://ed-thelen.org/NikeMissions.html



A Nike rendszer egyre fejlettebb változatainak főbb elemei. Nike Hercules Basic, improved és ATBM.



Nike Hercules improved.



Nike Hercules ATBM

1, TTR (Target Tracking Radar), célkövető radar	***2, TRR (Target Ranging Radar),*** céltávolság mérő radar
3, LOPAR (Low Power Acquisition Radar) kis teljesítményű felderítő radar	***4, MTR (Missile Tracking Radar),*** rakétát követő radar
5, Tracking Van[426]	***6, Computer system building,*** számítógép ház, jól mutatja a kor elektronikai szintjét, hogy ehhez ekkora épület kellett
7, Fire Control Van, tűzvezető egység*	***8, Power generator building,*** generátor épület
9, HIPAR (High Power Acquisition Radar) building, HIPAR kiszolgáló épület	***10, HIPAR (High Power Acquisition Radar) antenna,*** kis nagy teljesítményű felderítő radar

[426] *Hogy miért teherautóban/utánfutóban van telepítve számomra nem ismert.*

MIM-14 Nike Hercules

1958-tól, Nike Ajax ütegek egy részét korszerűsítették a Nike Hercules rendszerrel, ezáltal lehetővé vált az indítóállások számának csökkentése a nagyobb megsemmisítési zóna miatt. A következő városok kapták meg a Nike Herculest, zárójelben a telepített osztályok mennyisége:

- Baltimore (5), Boston (3), Bridgeport (1), Buffalo (1), Chicago (9), Cleveland (3), Detroit (6), Hanford (1), Hartford (2), Los Angeles (9), Milwaukee (3), New York (10), Niagara Falls (2), Norfolk (3), Philadelphia (5), Pittsburgh (6), Providence (2), San Francisco (5), Seattle (3), Washington (5).

  Ezen felül öt támaszpont, Ellsworth AFB (1), Fairchild AFB (1), Loring AFB (2), Travis AFB (2). Grönlandron Thule AFB (4) védelmére telepítették őket.

- 1959-től új Nike Hercules osztályokat telepítettek Anchorage (3), Fairbanks (5), Kansas (4) és Minneapolis (4) köré.

- 1960-tól új Nike Hercules osztályokat telepítettek Cincinnati (4), Dallas-Fort Worth (4), St. Louis (4), Barksdale AFB (2), Bergstrom AFB (2), Dyess AFB (2), Lincoln AFB (2), Offutt AFB (2), Robins AFB (2), Turner AFB (2) és Walker AFB - Roswell (2) köré.

- 1961 Oahu – Hawaii (4)

- 1962 Miami (5)

CIM-10 BOMARC

Érdekes módon a Légierő (USAF) is bírt légvédelmi rakéta-rendszerrel, ez úgy történhetett meg, hogy a Légierő álláspontja szerint a BOMARC rakéta nem más mint egy pilóta nélküli repülőeszköz, ennek megfelelően a vadászgépek által használt F-99 típusjelzést (is) megkapta a BOMARC.

A GAPA (Ground-to-Air Pilotless Aircraft), később BOMARC (BOeing and Michigan Aerospace Research Center) légvédelmi rakéta-rendszer fejlesztése 1949-ben kezdődött, pilótanélküli elfogó eszköz létrehozása volt a cél az MX-1599 projektben. Az elfogó eszköz ramjet hajtóművel és nukleáris vagy 450 kg (!) tömegű[427] robbanófejjel ellátott rakéta volt, a nagy magasságban közeledő bombázók megsemmisítése volt a feladata. A rendszer kombinált vezérlésű volt, ez volt a világ első aktív radaros vezérlésű rakétája, de így is csak annyira volt pontos, hogy csak nukleáris harci résszel volt elképzelhető a bevetése, ahogy a Nike Hercules esetében. Hagyományos harci rész használata nem volt harcászati realitás, csak gyakorláshoz használták.

(A mellékletek között elérhető a rendszer néhány jellemző paraméterét és repülési profilját tartalmazó anyag.)

A rakéta megsemmisítési zónája elképesztően nagy volt, a források ebben a tekintetben szórnak, de még a legkisebb megadott érték is több, mint tiszteletet parancsoló. A leggyakrabban előforduló érték 225 tengeri mérföld (tfm), ami barátok közt is 415 km, de mellékletben szereplő egyik forrás azonban nagy magasságú célok esetén 420 tmf (785) km-es távolságot ad meg, de még alacsonyabb profil esetén is eléri a rakéta a 280 tmf (515 km) megsemmisítési távolság. Ezt a félelmetes hatótávolságot annak köszönhette a rakéta, hogy nem egyetlen rávezető állomása volt, hanem a SAGE rendszer különböző elemeitől adatkapcsolaton keresztül kapott pályakorrekciós adatokat, mindezt az ’50-se évek végének technikájával.

[427] *Még a legnagyobb szovjet légvédelmi rakétában, az Sz-200 (SA-5) rendszer 5V21 rakétájában is csak fele ekkora robbanófej volt.*

1960 októbere, az első BOMARC osztály New Jersey közelében.

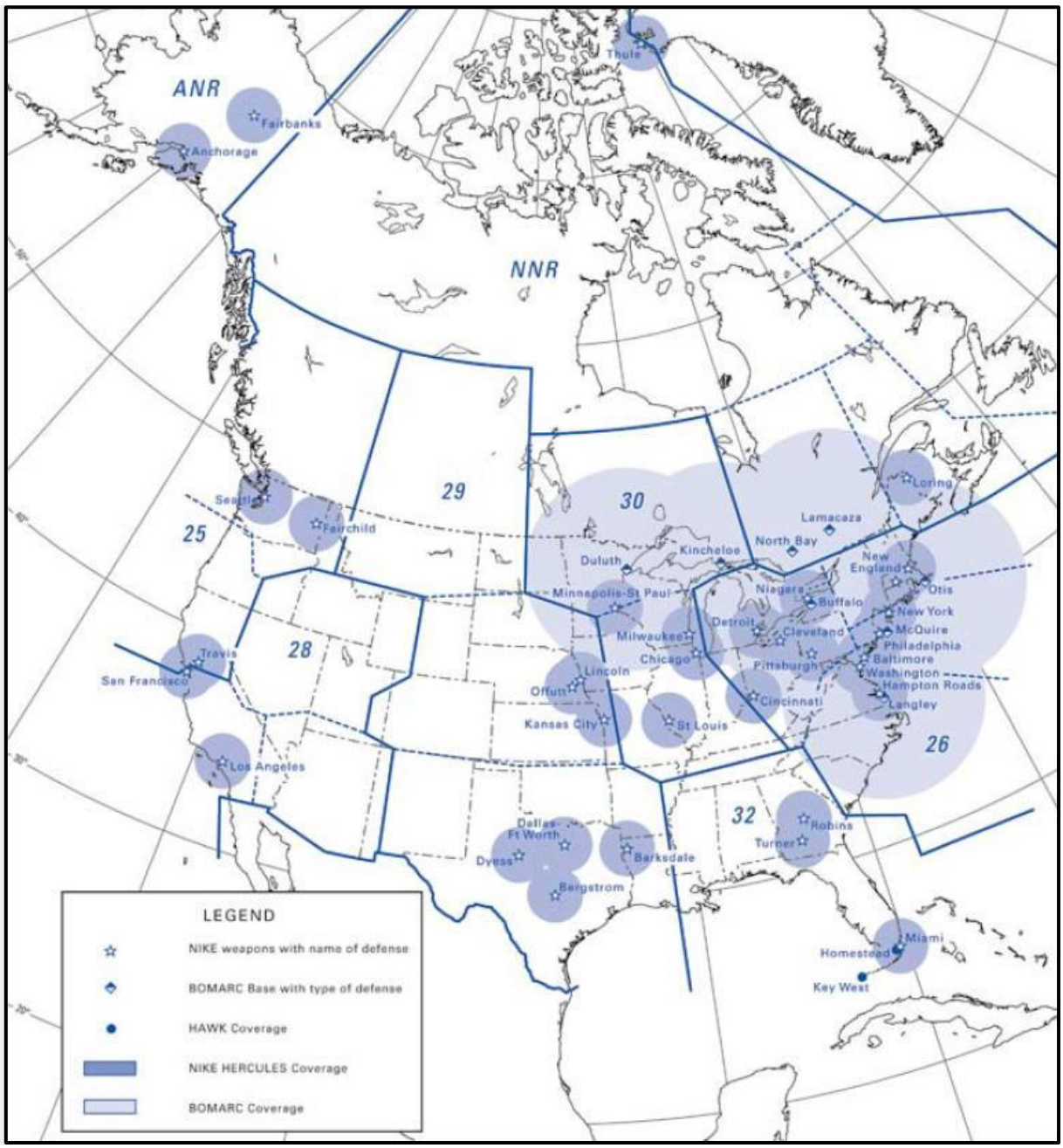
Az USA-ban papíron az '50-es évek végén a szovjet Sz-200 rendszert messze meghaladó területvédelmi képesség állt rendelkezésre, az Sz-200 Dubna hatásos megsemmisítési zónája is csak 300 km-ig terjedt a '80-as években bár azt azért hozzá kell tenni, hogy az Sz-200 hagyományos harci résszel is rendelkezett, míg a BOMARC esetén ez kizárt volt.

A rakéta hatalmas megsemmisítési zónája miatt nem volt szükséges széttelepíteni azokat – így azok karbantartás is könnyebb volt – ezért hatalmas indító állásokat építettek, egy BOMARC légvédelmi rakéta állásban 60 db rakéta volt telepítve. Az szovjet interkontinentális bombázó fenyegetés megszűnte után a BOMARC is az enyészeté lett ahogy a Nike Hercules osztályok, a '70-es évek elején az utolsó BOMARC osztályt is leszerelték.

Bár a rendszert élesben hála istennek soha nem vetették be – ez korlátlan atomháborút jelentett volna – alapvetően igen rossz híre van az CF-105 Arrow köré épült legendák miatt. Igen, a célokat nukleáris harci résszel, de ez is képes lett volna leküzdeni. Abban a korábban említett bizonyos filmben a BOMARC rendszert úgy állítják be, mintha azért vonták ki volna a rendszerből, mert csőd volt és nem működött volna. Pedig csak annyi volt a „hibája" a BOMARC-nak, mint a CF-105-nek. Mire megvette Kanada és rendszerbe állította már értelmetlen volt az interkontinentális ballisztikus rakéták miatt. A '60-as évek közepétől az interkontinentális rakéták miatt nem csak az elfogóvadászok, de a légvédelmi rakétarendszereknek sem osztottak volna lapot egy USA elleni atomtámadás során. A rendszert azért vonták ki, mert egész egyszerűen volt rá szükség. Kanadában ráadásul a nukleáris harci része és a CF-105 hatalmas anyagi buktája miatt inkább belpolitikai csatározásokról szólt a történet, mint valós képességekről. A BOMARC beszerzése és rendszeresítése pont úgy fáziskésésben volt, ahogy az CF-105 fejlesztése.

Végezetül következzen két videó A BOMARC fejlesztéséről, tesztelésről, illetve a SAGE rendszeren belüli alkalmazásáról.[428]

[428] https://www.youtube.com/watch?v=uzhkMujY4AQ
https://www.youtube.com/watch?v=1Fo1DK32lSE



Az USA területén telepített Nike Hercules és BOMARC légvédelmi rakéta-rendszerek megsemmisítési zónájukkal. Jól látszik, hogy a BOMARC rendszer hatásos megsemmisítési zónája akkora, hogy az osztályok több várost is képesek voltak védeni. Ha például 60 db bejövő célponttal kellett számolni, akkor nem kellett minden város köré letelepíteni az ehhez szükséges mennyiségű Hercules osztályt, egy darab BOMARC osztály tetszőlegesen megoszthatta a tűzerejét a támadók között érkezzenek azok akár a Nagy-tavak, akár az Atlanti-óceán felől.

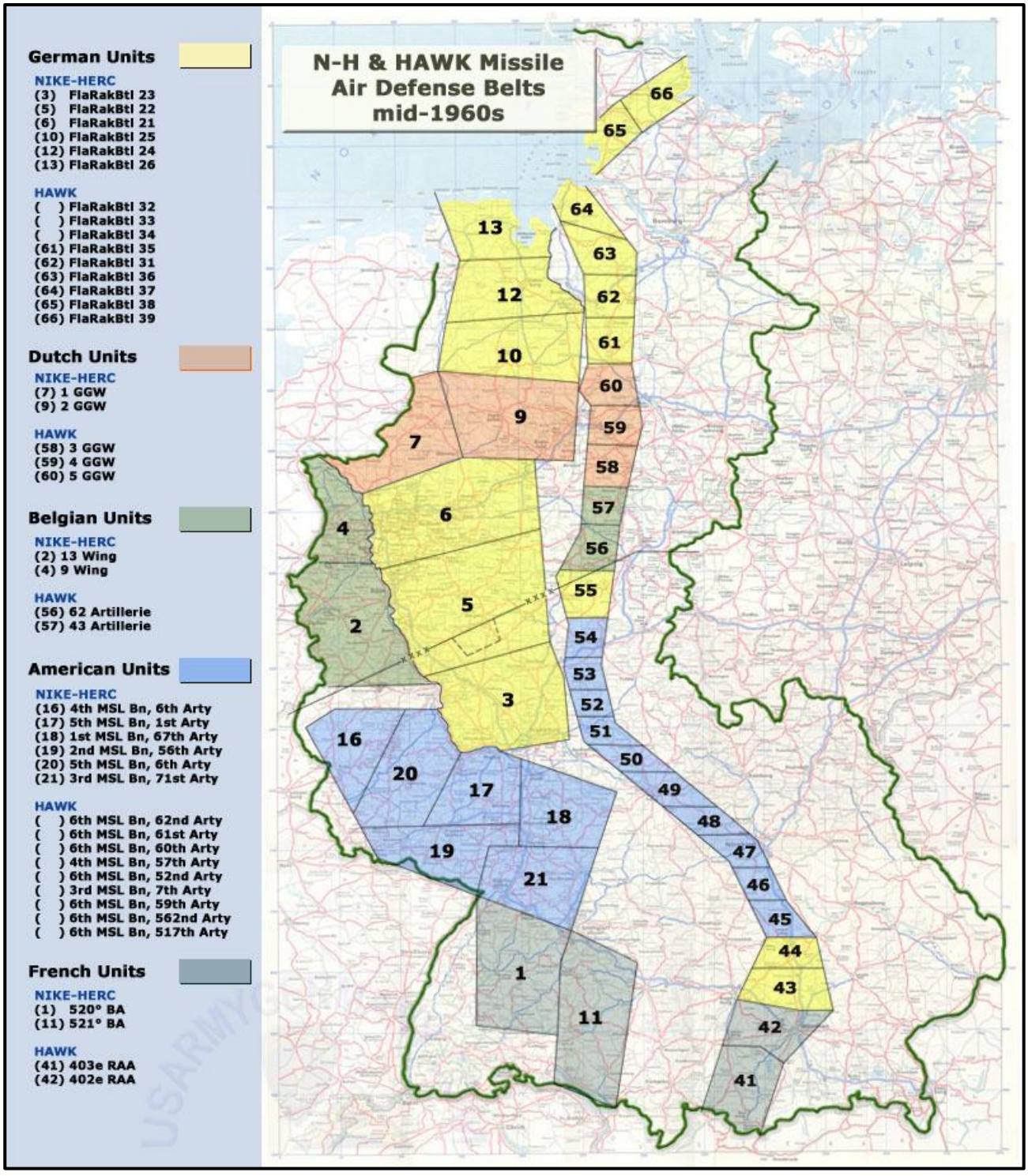
A németek is megpróbálkoztak irányított légvédelmi rakéta-rendszerek megalkotásával,429 amit egyesek hajlamosak túlbecsülni. Az igazság az (ahogy legtöbbször), hogy nem a németek találták fel a spanyolviaszt, de jó ötleteik sem számítottak egyedinek. Az USA is még a II. világháború alatt indította el a Nike Ajax programot, de az csak 10 évvel később eredményezett hadrendbe állítható rendszert. A szovjet Berkut program csak 1950-ben indult, de a koreai háború tapasztalatai és a korlátlan politikai támogatása miatt (pénz és erőforrás nem számított) 4 év alatt hadrendbe került. A németeknek erőforrásuk erre már egyáltalán nem volt a háború végén, de hadrendbe állításuk esetén sem számítottak volna már, ha lettek is volna ilyenek, akkor a vadászgépek alacsonytámadó bevetésekkel pusztították volna el azokat vagy elektronikai zavarrással is csökkenthető lett volna hatékonyságuk.

[429] https://www.youtube.com/watch?v=B7Q92V5hK-c

6.2.1.1.2. MIM-23 HAWK

A HAWK a maga korában rendkívül figyelemreméltó rendszer volt, fejlesztése még az ötvenes évek elején kezdődött, az US Army 1959-ben, az USMC 1960-ban rendszeresítette. Megalkotásakor annyira korszerűnek számított, hogy az USA még a '70-es évek elején sem volt képes effektíven zavarni a folyamatos hullámot használó, monopulzus antennával rendelkező tűzvezető radarját.

A légvédelmi rakéta-rendszer neve mozaikszó, (**H**oming **A**ll the **W**ay **K**iller) és nem egy madárról van elnevezve, tévesen néhol Hawk-ként hivatkoznak rá, ami angolul sólymot jelent.



A HAWK osztályok tűzzónája az NSZK-ban.

A HAWK nem klasszikus honi légvédelmi rakéta-rendszer, az USA területén csak minimális számban telepítették, csak dél Floridában, Kubával szemben. Bár az Sz-75/125-höz hasonlóan áttelepíthető az, NSZK-ban mégis fix, megerősített tüzelőállásokban üzemeltek a hidegháború alatt, 900 km hosszú észak-déli folyamatos tűzzónát alkotva a keleti határ mentén.[430] Ettől függetlenül lehetséges volt vele a „pusztába" vagy arra alkalmas terepre, illetve előkészített tüzelőállásba is települne vele, ahogy ezt tették élesben a szovjet-orosz rendszerekkel sokszor, például az Allied Force hadművelet alatt a szerbek vagy észak-vietnámiak észak és dél határán.

A rendszert a NATO államok többsége és lényegében az egész nyugati világ, az USA-val szövetséges illetve baráti viszonyt ápoló országok rendszeresítették. Némi eufemizmussal a „nyugati világ SA-2-jének" lehetne titulálni elterjedtség szempontjából a HAWK-ot. Több száz osztályt illetve kb. 40 000 darab rakétát gyártottak a különféle változataiból. A SA-2 (SzA-75/Sz-75) rendszerhez hasonlóan a fejlesztések ezt a légvédelmi rakéta-rendszert sem kerülték el, azonban a szovjet-orosz Sz-75-tel összevetve a fejlesztések jobban meglátszottak a rendszer elemeinek cseréjén, illetve a képességek növekedésén.

A HAWK alapvetően fejlettebb volt, mint a kortárs SA-2 (Sz-75/SzA-75) vagy a SA-3 (Sz-125) bármelyik változta, bár abban azért hasonlított hozzájuk, hogy egy üteg/osztály többféle radarral rendelkezett az eltérő feladatok szerint. Amiben egyértelműen fejlettebb volt, az az alkalmazott antenna és hullámforma. A HAWK monopulzus antennával és folyamatos hullámú radarja miatt – a kis magasságú felderítő és a tűzvezető radarja is ilyen – volt egészen más, mint a korabeli légvédelmi rakéta-rendszerek, sokkal zavarvédettebb volt azoknál. (Szögben zavarni nem tudták a monopulzus antennás folyamatos hullámú rendszert, míg az impulzus üzemű Dvinát igen.) Nem csak a tűzvezető, de a kismagasságú körkörös felderítő radar is folyamatos hullámú volt, amivel majd 20 évet vert rá a szovjetekre, ahol először az Sz-300PT 1978-as hadrendbe állásával jelent meg hasonló, bár már fejlettebb kismagasságú keresőradar.

A elektronikai és zavarvédettségi előnyökön felül a rakéta szilárd hajtóanyagú és egylépcsős volt, ami több szempontból is szerencsés volt. Az Sz-75/SzA-75 rendszer rakétája kétlépcsős (kétfokozatú) volt, a lehulló szilárd tüzelő anyagú gyorsító fokozata adott esetben ráeshetett bárkire és bármire, ha erre nem figyeltek.[431]

Ennél sokkal mélyrehatóbb különbség az hogy az Sz-75/SzA-75 rakétájának utazó (második) fokozata rendkívül mérgező kétkomponensű folyékony hajtóanyaggal bírt, amivel csak teljes vegyvédelmi ruhában lehetett dolgozni. El lehet képzelni, hogy bármiféle behatás – baleset, támadás – estén mekkora probléma volt ez.

A rendszer hatásos megsemmisítési zónája a Nyevánál nagyobb, valahol a Dvina és a Volhov között volt változattól függően 25 vagy 40 km-es megsemmisítési távolsággal bírt és 11 vagy 18 km közötti megsemmisítési magassággal.

---

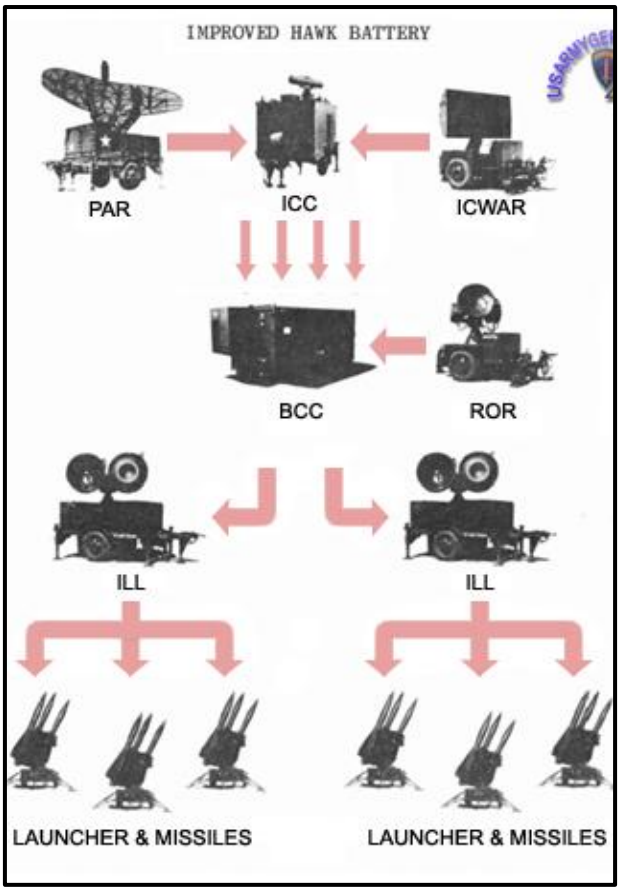
[430] https://goo.gl/VFUACf

Érdemes megfigyelni, hogy az NDK és Csehszlovákia határától mekkora távolságban volt az öv. Az öv elhelyezkedéséből arra lehet következtetni, hogy a sikeres védekezés érdekében nyilvánvalóan terület időleges feladásával számoltak, illetve a határ és a rakéta-öv között a vadászgépek adták volna a légtérvédelmet.

[431] *Például a Szigethalom melletti Nyeva tüzelőállásban adott irányban indítva a gyorsító fokozat több lakott települése is simán rázuhant volna, (persze egy atomháború esetén ez kb. senkit sem érdekel). El lehet képzelni, hogy egy hangsebesség feletti több száz kilós test micsoda pusztítást képes okozni lakott területen becsapódva. A Nike Hercules esetén pontosan kiszámított emelkedési irány és profil volt, hogy a gyorsító fokozat véletlenül se találjon el senkit. A rakéta mindig azonos irányba emelkedett és a gyorsító fokozat leválása után kezdett manőverezni.*

A rendszer főbb (harcászati szempontból fontos) elemei a következőek:

1 x PAR ***Pulse Acquisition Radar***	*Célfelderítő radar, közepes és nagy magasságú célok észlelésére.*
1 x CWAR ***Continuous Wave Acquisition Radar***	*Folyamatos hullámú célfelderítő radar kismagasságú célok ellen.*
2 x HPIR ***High Power Illuminator Doppler Radar***	*Folyamatos hullámú célmegvilágító és rakéta vezérlő radar.*
1xROR ***Range Only Radar***	*Céltávolság mérő impulzus üzemű radar. Ez csak akkor üzemel, ha a másik radart olyan szinten zavarják, hogy eltérő hullámhosszú és üzemű radar szükséges a céltávolság méréséhez. (Ebben hasonlít a Nike Herculeshez.)*
6 x M192	*Rakétaindító, állványonként 3 db rakétával.*
12 x M390	*Rakéta szállító jármű, járművenként 3 db rakétával.*
(18+36) x MIM-23	*Egy fokozatú szilárd tüzelőanyagú rakéta, 18 db állványos, 36 db szállító járműveken.*
1 x BCC ***Battery Control Central***	*Üteg irányító központ, az ember-gép kapcsolat ezen keresztül valósul meg.*
1x ICC ***Information Coordination Central***	*A radaroktól érkező adatokat fogja össze és továbbítja a BCC felé, a kommunikációs berendezések is ebben kaptak helyet, pl. az IFF is.*
1 x PCP ***Platoon Command Post***	*Szakasz parancsnoki poszt. A későbbi változatok esetén az ICC funkciót is ez látta el. Három fős személyzettel rendelkezik.*



Balra az ábrán, egy Improved HAWK (I-HAWK) osztály[432] felépítése látható, az osztály valójában két tüzelő egységből (fire section) állt.

A teljes osztálytól eltérően lehetséges leválasztani az üteg egy részét, létre hozva a kisebb AFU-nak (assaul fire unit) hívott egységet. Ekkor 3 db darab M192 indító, 1 db CWAR, 1 db HPIR (az ábrán ILL jelölése van, mint illuminator, vagyis sugárzó) és 1 db PCP mozog csak, az osztály a többi részét leválasztja és hátrahagyja. Ekkor egyfajta csapatlégvédelmi egységként volt lehetséges a használata. (Más kérdés, hogy Európában a HAWK ütegek fix tüzelőállásokba voltak telepítve.) A PCP személyzete csak három fő, hiszen csak az üteg fele áll rendelkezésre, illetve mivel csak egy HPIR mozog ilyenkor csak egy célcsatornás a rendszer.

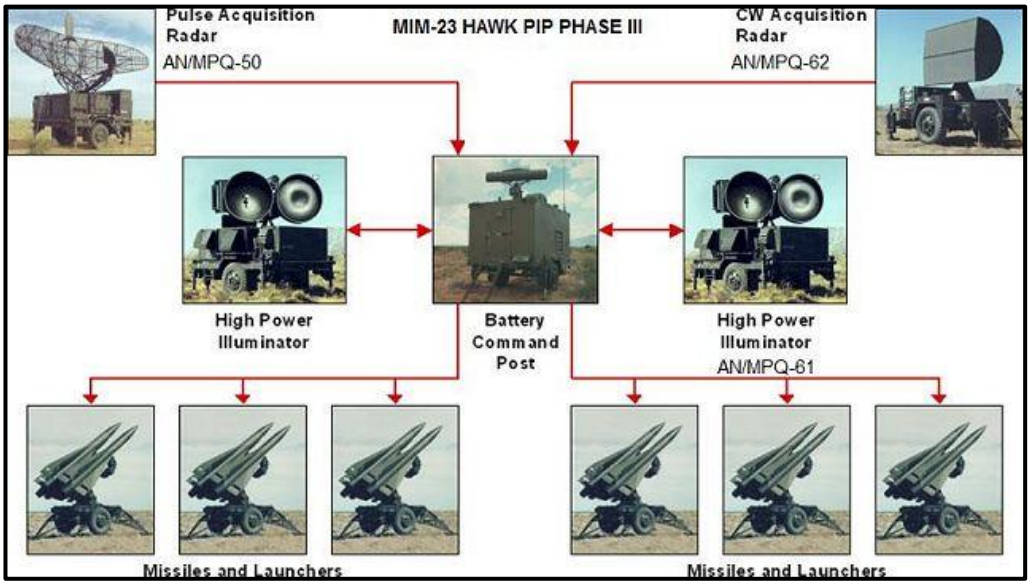
Normál esetben a BCC-ben helyet foglaló taktikai vezénylő tiszt (TCO, tactical control officer) felügyeli a rávezető személyzetet, a teljes személyzet az I-HAWK változatnál a TCO-val együtt 5 fő volt. 1 TCO + 2x2 fő a két célcsatornához.

(Amennyiben a teljes osztály egyben van, akkor az ICC a fentiek alapján üres, ekkor csak adatközpont szerepét látja el a BCC-be továbbítva az adatokat.)

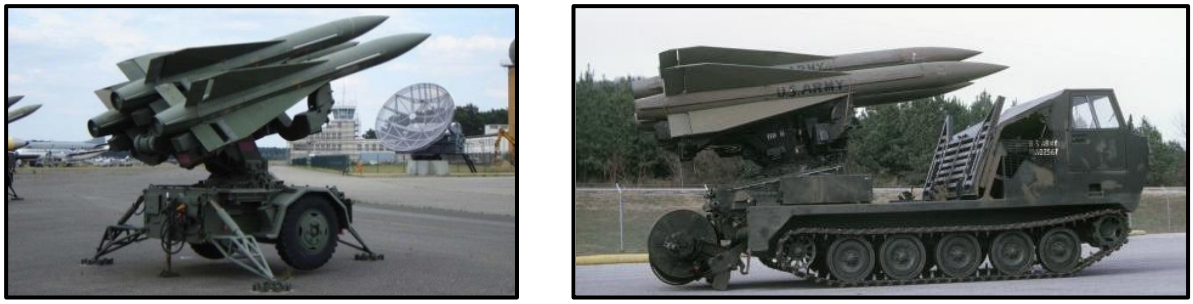
[432] *Az angol terminológia a battery (üteg) kifejezést használja, a magyar terminológiában megszokott osztály van ehhez a legközelebb.*

A MIM-23A rakéta M22E8 hajtóműve 25-32 másodpercig tartó égési idővel rendelkezett, ezzel érte el a 25 km-es maximális megsemmisítési távolságot illetve 11 km magasságot, 2 km-es minimális indítási távolság és 60 méteres minimális célmagasság mellett. Ez a maga korában döbbenetesen jó érték volt, az ekkor hadrendben álló SzA-75 és Sz-75M változatoknál 3 km (!) volt a minimális célmagasság, a minimális indítási távolság kb. 10 km volt, bár azok maximális magasság és távolság értékei felülmúlták a HAWK-ot. A rakéta 54 kg-os harci résszel bírt.

A MIM-23B változattól kezdődően a rakéta hajtóműve kettős tolóerő profillal rendelkezett az új M112 típusú hajtóműnek köszönhetően, ami 5 másodperc ideig tartó gyorsítást követően a 21 másodpercig tartó utazó tolóerő fokozatot biztosított úgy, hogy ráadásul a hajtómű által leadott teljes impulzus is növekedett, bár a rakéta tömege kismértékben nőtt. A fenti változtatások növelték meg a megsemmisítési zóna távolságát 25-ről 35 km-re (egyes források szerint 40 km-re), illetve a maximális megsemmisítési magasságot 11-ről 18 km-re, a minimális megsemmisítési távolság 1,5 km volt. A rakéta kismértékben megnövelt 75 kg-os harci résszel bírt. A későbbi változatú rakéták kinematikai jellemzői jelentősen már nem változtak (a K változaté minimálisan nőtt), a rakéták más irányú továbbfejlesztéseket kaptak. A rakéták maximális túlterhelési limitje 15G volt, ami szintén jelentősen meghaladta a Sz-75 rendszer paramétereit, (lásd később). A rakéta méretei az újratöltést is lényegesen egyszerűbbé tették, összevetve a nagyobb rakétával operáló szovjet-orosz rendszerekkel.[433]



HAWK üteg főbb elemei Phase III konfigurációban.



Bár a rendszerhez készült lánctalpas önjáró állvány is, ez csak kísérletekig jutott el, nagy számban sehol nem rendszeresítették és 1971 után törölték a programot. Bal oldalon az M192 indítóállvány látható három rakétával.

[433] https://www.youtube.com/watch?v=Hhls1ccFwQs

A rendszer 1960-as rendszeresítése óta természetesen számos korszerűsítésen esett át, ilyen hosszú szolgálati idő esetén ez elkerülhetetlen volt, a PAR, CWAR, HPI és ROR radarok az idők során a következő típusjelzésű radarok voltak.

Rendszeresítés éve	Változat	PAR	CWAR	HPI	ROR
1959	Basic HAWK	AN/MPQ-35	AN/MPQ-34	AN/MPQ-33/39	AN/MPQ-37
1972	Improved HAWK	AN/MPQ-50	AN/MPQ-48	AN/MPQ-46	AN/MPQ-51
1979	PIP Phase I		AN/MPQ-55		
1983	PIP Phase II			AN/MPQ-57	
1989	PIP Phase III		AN/MPQ-62	AN/MPQ-61	-
	HAWK XXI	AN/APQ-64	-	AN/MPQ-61	-

A fejlesztések során az egyik legjelentősebb változás, hogy a Phase III konfigurációban háromra csökkent az használt radarok száma, a távolság mérő radar (ROR) a továbbiakban már nem volt szükséges. HAWK XXI konfigurációban már csak két radarral üzemel a rendszer, körkörös célfelderítésre a helyszög szerint fázisvezérelt, LPI üzemmódra is képes 3D kereső radart, az AN/APQ-64 Sentinel radart használja a rendszer. A BCC, ICC és PCC helyét a FDC (fire distribution center) vette át a PIP III és HAWK XXI változatoknál, ezek már digitális korszak vívmányait élvező HAWK változatok voltak. (Ezen változtatások a Patriot rendszerrel történő együttműködést is segítették, lásd a következő fejezetben.) A vákuumcsöves technológiáról félvezető elektronikára a PIP II fázisban kezdtek átállni. Természetesen a rakétákat sem kerülték el a fejlesztések, a MIM-23B esetén a tolóerőt és a harci részt érintő változásokról már esett szó.

Generáció / képesség	*Rendszeresítés éve*	*Rakéta típusa*
alap HAWK változat	1959	(M3), MIM-23A
I-HAWK	1971	MIM-23B
fejlesztett zavarvédelem	1982	MIM-23C/D
Alacsonyan repülő cél / többszörös zavarvédelem	1990	MIM-23E/F
Új rakéta test	’90-es évek eleje	MIM-23G/H
Új robbanófej és közelségi gyújtó ballisztikus rakéta elhárításhoz	1995	MIM-23K/J
Új közelségi gyújtó, régi harci rész	1995	MIM-23L/M

A rendszer a továbbfejlesztések során már a ’70-es évek végén rendelkezett figyelemreméltó üzemmódokkal, ami a később megjelenő Patriot rendszernél még hangsúlyosabb lett. A HAWK központi adatfeldolgozó járműve és fedélzeti számítógépe lehetővé tette a teljesen manuális üzem helyett a rendszer menedzselés-alapú üzemeltetését. Az operátor csak a prioritásokat adta meg, a számítógép eszerint határozta meg automatikusan a leküzdendő célok sorrendjét, a rendszer akár önműködően is indíthatott rakétát.[434]

A HAWK M3.0 sebességű ballisztikus rakéta leküzdésére is alkalmas volt a lőtéri tesztek alapján, de erre hatékonyan nyilvánvalóan csak automatikus üzem esetén volt képes és inkább csak (a későbbi Patriothoz hasonlóan) nagyon kis oldaltávolsággal érkező ballisztikus rakéták esetén. A rendszer hatásos megsemmisítési távolságáról nincs adat, de ekkor vélhetően kisebb volt a radarok korlátozott mérete és felderítési távolsága miatt, főleg nagyobb paraméterrel érkező célpontoknál.

[434] *4:15-től, https://www.youtube.com/watch?v=85n8MbTh5mI*

(A ballisztikus rakéták megsemmisítéséhez a rakéta kinematikai megsemmisítési távolságán már messze túl követésbe kell venni a célt, hogy időben indítható legyen a légvédelmi rakéta.)

Az US Army a ’90-es évek közepén, a USMC 2002-ben végén nyugdíjazta a HAWK-ot, de mind a mai napig több nyugati,a z USA-val jó vagy szövetségesi viszont ápoló ország továbbra is hadrendben tartja. A HAWK XXI változatot használja pl. Románia, Törökország és Dél-Korea, de a korábbi PIP II/III szinten levő osztályok is aktív szolgálatot teljesítenek majdnem húsz országban.

A HAWK viszonylag kevéssé ismert, mert éles bevetései nagyrészt reflektorfényen kívül történtek, közel sem övezte akkor érdeklődés, mint Vietnámban a szovjet gyártmányú légvédelmi rakéta-rendszerek bevetését. Élesben a HAWK az Irak-Irán közötti háborúban (1980-1988), illetve Izrael használta a 4. és 5. arab-izraeli háborúban (1973, 1982) és Kuvait 1991-ben, de ezekről nem igazán lelhető fel forrás eredményesség tekintetében. A HAWK legismertebb harci teljesítménye izraeli színekben egy MiG-25-ös megrongálása volt, amit később F-15-ösök lőttek le.

6.2.1.1.3. MIM-104 Patriot

A Patriot alapvetően eltért az összes korábbi légvédelmi rakéta-rendszerektől, ez volt az első teljesen digitális szárazföldi telepítésű légvédelmi rakéta-rendszer. Emiatt nem csak a korábbi amerikai, de szovjet-orosz légvédelmi rendszerhez képest teljesen más koncepció szerint működik. Ez a légvédelmi rakéta-rendszer tekinthető a később bemutatásra kerülő AEGIS haditengerészeti légvédelmi rendszer mellett az első hálózat alapú hadviselési eszköznek, ami nem fix telepítésű, mint a Nike és BOMARC osztályok voltak a SAGE rendszerben vagy a szovjet honi légvédelmi rendszer teljesen fix elemei.

A SAGE és abba integrált légvédelmi rakéta-rendszerek képességein is messze túlmutató lehetőségekkel bír a Patriot, számtalan más eszköztől kaphat céladatot ami segítségével összeállítható a légi helyzetkép, ami adott esetben szükségtelenné teszi a folyamatos célfelderítő radar használatot. Ez szöges ellentétben áll minden korábbi telepített – a terminológiáról már korábban esett szó – légvédelmi rakéta-rendszerrel, de a kortárs Sz-300P családdal is, ahol dedikált felderítő, továbbá kismagasságú célfelderítő radarral is rendelkezik a komplexum.

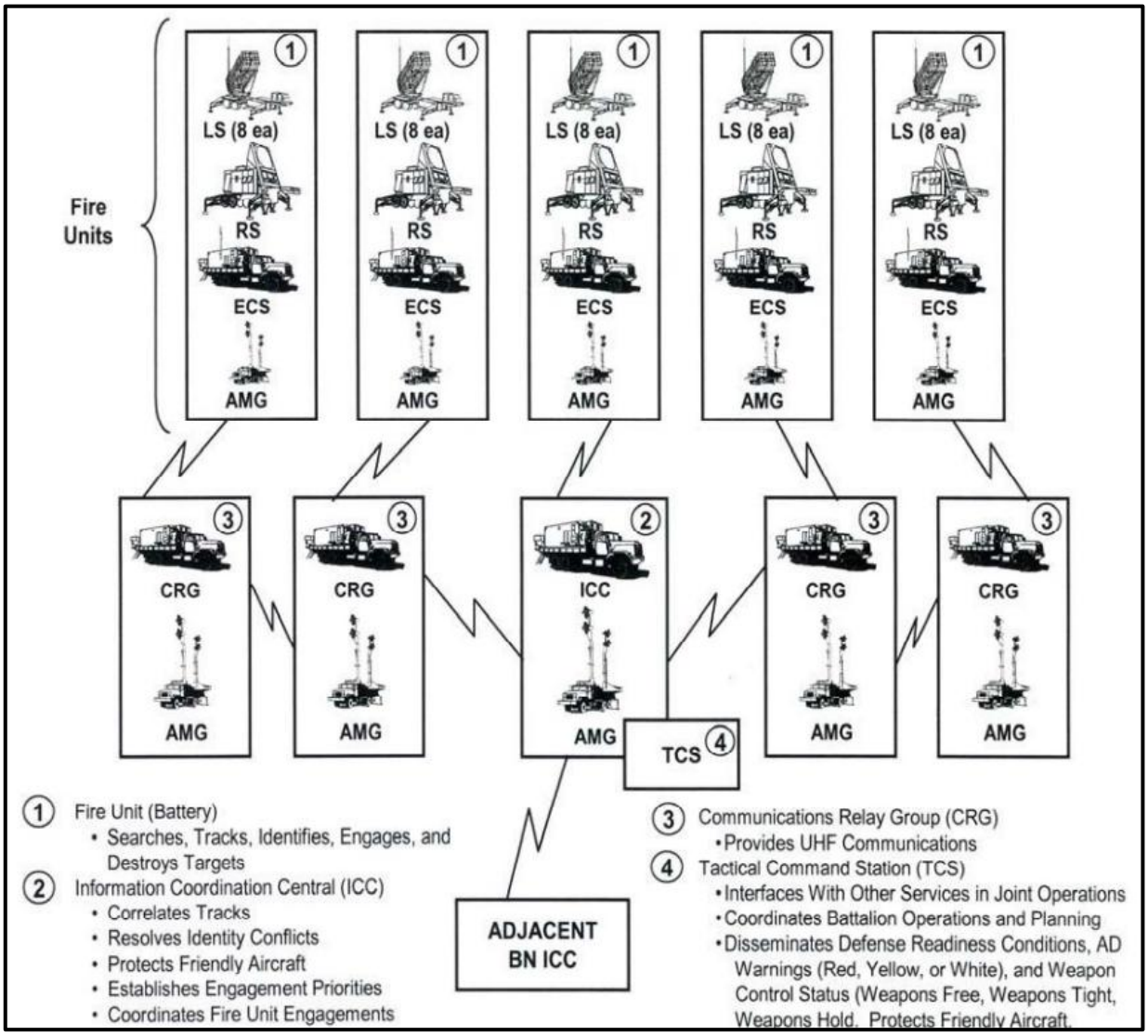
A Patriot rendszert gyakran hasonlítják össze a szovjet-orosz Sz-300 családdal annak ellenére, hogy több tervezési megközelítésben alapvetően eltértek egymástól. A Patriot esetén a lenti koncepció sejlik fel:

- Az USA/NATO a levegőben fölényben van, a cél egy fix objektum vagy védekező csapatok megvédése.
- Egy osztályt tekintve nincs körkörös lefedettség sem felderítés, sem tűzvezetés, telepítéskor meghatározott a védett zóna iránya egy osztály számára.
- Nem mobil rendszer, az áttelepülés szükséges ideje adott esetben órákban mérhető.

  (A mobilitás akkor sem hátrány, ha az ember nem akar az NSZK-ból Moszkváig masírozni és védekező háborút folytat.)
- Azonos a felderítő és tűzvezető lokátor, gyengébb kismagasságú autonóm célfelderítéssel. A rendszer üzeme során feltételezi AWACS/AEGIS vagy máshonnan származó adatra való támaszkodást adatkapcsolaton keresztül, amivel képes légi helyzetképet megjeleníteni az osztály saját radarján túlmenően is.

Az Sz-300PSz/PMU esetén ezzel szemben kb. a következő koncepció sejlik fel a vietnámi tapasztalatokból:

- Az ellenfélé a légifölény, cél egy terület (város) megvédése, de adott esetben az „üss és fuss taktika" használata is szükséges lehet. Ez utóbbi inkább a szovjet-orosz barát országokkal történő esetleges konfliktusok esetén fordulhat elő, a VSz országokban jellemzően fix tüzelőállásokba települtek volna, ahogy a Szovjetunió területén is.
- Körkörös lefedettség, gyors 5 perces áttelepüléssel.[435] A körkörös lefedettség a kereső radarra vonatkozik, ettől még a tűzvezető radar 105 fokos oldalszög (azimut) korlátja továbbra is létezik rávezetés alatt egy beállítás alatt, azonban a tűzvezető radar körkörösen ettől függetlenül tetszőleges irányba képes fordulni indítás előtt. (A Patriot erre képtelen, 270 fokos íven egy 105 fokos zónát fedhet csak le, lásd később.)
- Továbbra is több radar szükséges egy osztálynál – körkörös közepes/nagy magasságú felderítő, kismagasságú felderítő és tűzvezető radar –viszont emiatt minden osztály kitűnő kismagasságú autonóm célfelderítéssel rendelkezik.



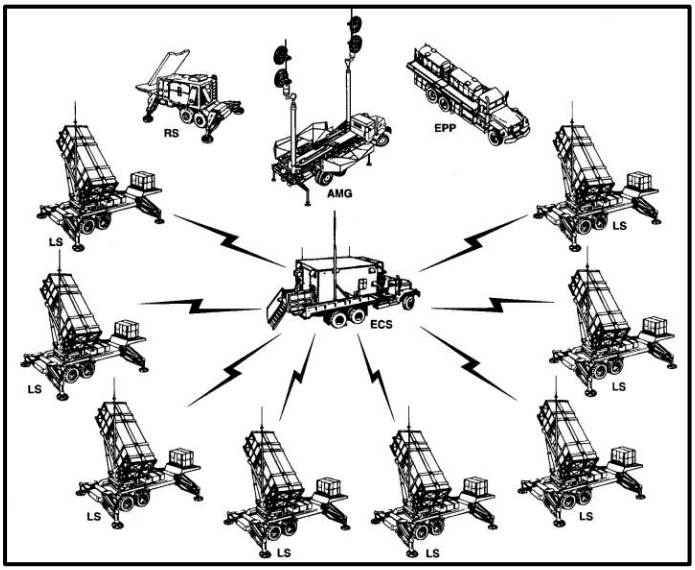
Egy Patriot zászlóalj felépítése, érdekes módon csak 5 db osztály (fire unit) van az ábrán, a megszokott mennyiség 6 db osztály.

[435] *A magasabb antenna állányokra telepített radarok esetén az áttelepülési idő órás nagyságrendű az Sz-300 család számára. Az Sz-300PT még ennyire sem mobil, lásd később az Sz-300 család ismertetésénél.*

A Patriot zászlóalj (battalion) jellemzően 6 db – osztállyal (fire unit, FU) bír, bár a hadrendbe állításakor, még a teljes feltöltés előtt előfordult, hogy csak 3 db FU volt egy zászlóaljhoz vagy az FU-k nem bírtak az összes rakétaindítóval. A zászlóalj a következő elemekből épül fel:

- A zászlóalj szintű tűzvezető központ ICC (information and coordination center)
- Egy osztály (FU) a következő fő elemekből áll:
  - Tűzvezető- és irányító központot (engagement control station, ECS)
  - Tűzvezető és felderítő radar (radar station, RS)
  - 2x4 db rakétaindító jármű (launching station, LS)
  - Elektromos áram termelő egység (electric power plant, EPP, 2x150 kW)

- Minden egyes osztályhoz tartozik egy kommunikációs csoport:
  - UHF antenna csoport (antenna mast group, AMG),
  - Kommunikációs és átjátszó jármű (communication relay group, CRG)
  - Elektromos áram termelő egység (electric power unit, EPU, 2x60 kW)



Az ICC teremt kapcsolatot a zászlóalj összes FU-ja között, illetve kommunikál a szomszédos Patriot zászlóaljak ICC-jével és a hadsereghez tartozó légvédelmi dandár parancsokságával is. A CRG és az AMG szolgál az FU és a ICC közötti kapcsolat tartásra. A hálózat alapú képességgel a Patriot számára a célpontok azonosításának megállapítása egészen más dimenzióba került, illetve a zavaró célok háromszögeléssel történő meghatározása is újdonság volt a HAWK rendszerhez képest..

Egy Patriot osztály (fire unit) főbb elemei, a fizikai elrendezése az osztálynak ettől lényegesen eltér.

A Patriot rendszert tervező és gyártó Raytheon párhuzamosan fejlesztette az AGM-88 HARM radargyilkos rakétát, ennek nyoma a Patriot rendszer felépítésén is látszik. Valószínűleg ez az oka annak, hogy a radar alatt nem foglal helyet operátor (kezelő), ezért „radargyilkos" rakéta találata esetén sincs a kezelő személyzet halálra ítélve. Ez szöges ellentétben áll az Sz-300/400 családdal, ahol az operátorok mind a mai napig a radar alatti kabinban végzik a munkájukat. (Érdekesség, hogy már a HAWK is ezen felfogás szerint készült.) Ennek a tervezési megközelítésnek az osztály települési formájára komoly hatással van a következők szerint:

- A tűzvezető lokátor (RS, Radar Set) közelében senki sem tartózkodhat, annak működése teljesen automatikus.

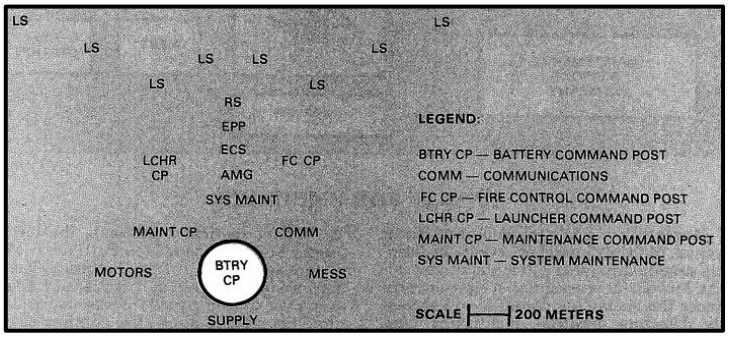
- Mivel tűzvezető kabin (ECS, Engagement Control Station) viszonylag messze van az RS-től, így nagyfrekvenciás jel egyáltalán nem jut el a kezelőkhöz, a ECS jármű kijelzőin csak digitálisan feldolgozott információ jelenik meg. A kezelők fizikai távolsága miatt a radar önállóan feldolgozza az analóg információt, és csak a digitális céljelet, mint „ikont" továbbítja az ECS kijelzőire. A nyers adatokat a kijelzőkön – mint a Volhov vagy Nyeva esetén – az operátorok nem látják. Ez kizárja a Patriot számára a Volhov, Nyeva vagy az első generációs Sz-300PT, PSz számára rendelkezésre álló kézikövetős a rávezetési

módszert. (Az persze más kérdés, hogy kézikövetős üzem esetén az Sz-300PT és PSz egy célcsatornássá válik. A kézikövetős üzem bemutatását lásd az SzA-75/Sz-75M családot bemutató 6.2.1.2.2. fejezetben.)

- Mivel az RS mindenképpen az ECS előtt helyezkedik el harcban, így egy osztály (FU) oldalszögben nem képes 360 fokot lefedni, csak 270 fokot. A radar mögött foglal helyett a osztály összes további eleme.

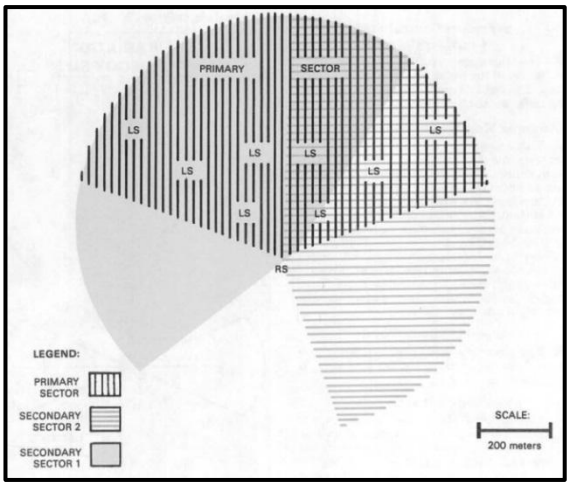
A radar ± 45 fokos célfelderítési és ± 55 fok célkövetési zónával rendelkezik. Természetesen a radar forgatható balra és jobbra is, így adódik ki a 270 fokos lefedés, de ebből egy beállítással egy 90 fokos szögen keres és 110 fokos zónában követi a célokat.

Egy osztályhoz tartozó 4+4 db állvány (LS) egyik fele balra és a középső fő (primary) zónába indíthat rakétát, a másik fele szintén a fő zónába és jobbra. Ez amiatt van, hogy a rakéták nem függőlegesen indulnak a tubusokból és az állványok forgatási szöge korlátozott.



Egy Patriot osztály (FU) lehetséges (jellemző) elrendezése.

A fentiek elsőre komoly hátránynak tűnnek, de mivel a Patriot légvédelmi rendszer osztályai nem önálló osztályokként, hanem alapvetően zászlóalj egységbe tagozódva üzemelnek ez elfogadható kompromisszumnak tűnt, de ez azt is jelenti, hogy az Sz-300 osztályokkal ellentétben egyetlen Patriot osztály önmagában szerényebb harcértékkel bír a megsemmisítési zóna lefedés tekintetében, hiszen nem körkörös megsemmisítési zónával rendelkezik.



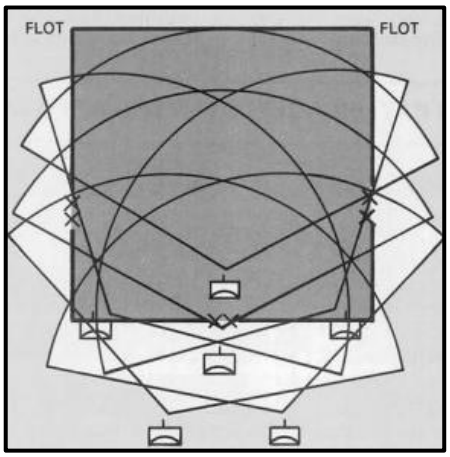
Patriot osztály elrendezése egy osztály oldalszög korlát ábrázolásával.

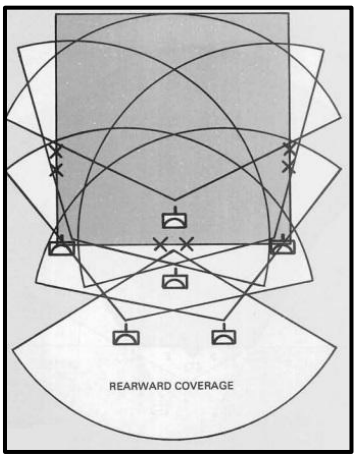
A Patriot megközelítésének előnye, hogy mivel nem függőlegesen indul a rakéta, ezért indítás után nem szükséges „beforgatni" a cél felé, a rakéta műszakilag egyszerűbb lehet, mert az állványt forgatják a célpont irányába. Ennek az egyszerűsítésnek az ára az, hogy egyetlen Patriot osztály szintjén korlátozott a megsemmisítési zóna, viszont a NATO-VSz szembenállás alatt adott volt a fő fenyegetési irány**.**

A Patriot később bemutatott automatikus üzeme és az osztályok települése alapvetően meghatározzák a harcértéket adott irányokba adott települési elrendezés esetén. Harcérték alatt értjük a tűzcsatorna számot, zavaró célok kiháromszögelésének lehetőségét adott irányokba, stb.

A Patriot üzemeltetési kézikönyvében a különböző települési formák igen hangsúlyosak a rendszer érdemi kezelésének leírása mellett. A lenti ábrákon néhány települési példa található, a mellékletben elérhető Patriot üzemeltetési kézikönyveiben ennél lényegesen több formáció van bemutatva.[436]

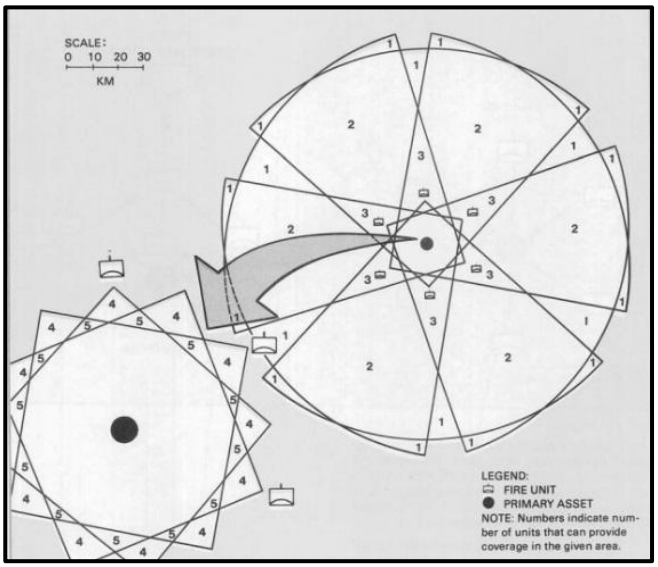
[436] *Csak publikus kézikönyvek vannak a mellékletek között, a rendszer paramétereit tartalmazó minősített anyagok nem elérhetőek.*





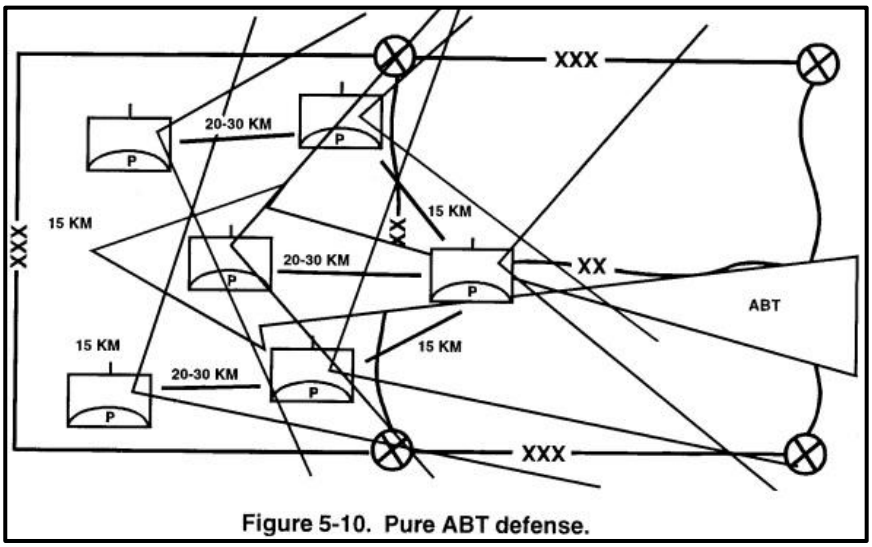
Három példa egy Patriot zászlóalj településre

A baloldali és lenti ábrákon néhány elrendezés esetén láthatóak a lehetséges megsemmisítési zónák átfedései a 110 fokos célkövetési korlátot figyelembe véve. A lenti ábrán számokkal van jelölve, hogy egyes irányokban és területekben mennyi Patriot osztály képes rakétát indítani.



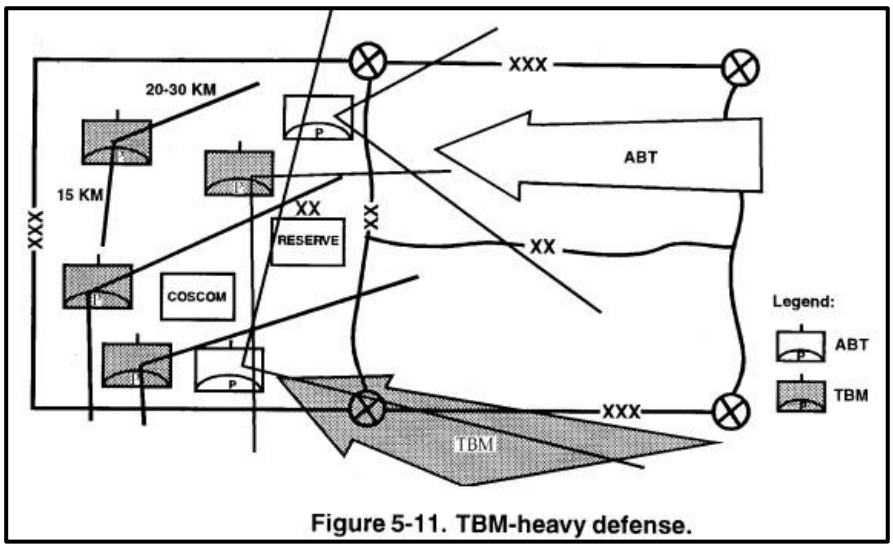
A rendszer automatikus üzeme miatt HMZ diagram a Patriot rendszerről nem áll rendelkezésre[437] mert a kezelő nincs olyan döntési helyzetben, amihez HMZ diagram ismerete szükséges az osztály sikeres használatához, ellentétben az Sz-300 sokkal manuálisabb megközelítésével szemben.

A kezelők településkor védendő zónákat jelölnek ki számítógép számára a rendszerben, természetesen figyelembe véve a maximális hatótávolságát a Patriotnak. Ilyen területek lehetnek baráti csapatok körülötti légterek vagy egy védendő objektum körüli terület, például egy hadosztály parancsnokság. A rendszer ez alapján dönti el, hogy pl. egy közeledő ballisztikus rakéta vagy repülőgép az adott osztály számára az célpont vagy sem, de lehetséges például légifolyosók kijelölése is, amin belül haladó célok – baráti gépek ismerik ezt a folyosót – az azonosítás problémája is megkönnyíthető



Települési séma tisztán repülőgép elhárítási célból.

[437] *Én legalábbis nem találtam sehol...*



Települési séma főként ballisztikus rakéta elhárítási célból.

Az operátor alaphelyzeti prioritásokat ad meg, amit az üzem során az operátor, de adott esetben maga a rendszer is felülbírálhat. Ilyen eset pl. radargyilkos rakéta vagy ballisztikus rakéta észlelése, ezek automatikusan kiemelt figyelmet kaphatnak a hagyományos légi célokkal (repülőgépekkel) szemben.

Az I-HAWK esetén megjelenő automatizálást sokkal magasabb fokra emelték, a rendszernek hagyományos értelemben vett manuális üzemmódja nem is létezik. Még a leglazább terminológia szerint is minimum fél-automatikus, de inkább automatikus üzemű a Patriot, a kezelő pulton nincs „indítás” gomb, a rakéta indítása nem az operátor parancsára történik. A kezelők csak menedzselik a rendszert, de nem ők indítják a rakétát és döntik el annak sorrendjét vagy mennyiségét. A célpontokat felveszik a megsemmisítendő célok listájára (to be engaged queue, TBEQ), ami a rendszer a saját belső logikája alapján küzd le, amíg bírja célcsatornával és van rendelkezésre álló indítható rakéta.

Az operátorok beavatkozásával lehet letiltani adott célokat, menet közben változtatni a prioritáson vagy azok célok automatikusan kapott azonosítási státuszán (barát/ellenség/stb.). A radart és az állványokat lehet forgatni – mert az indítás oldalszög értéke korlátozott –, ha egy irányból a nagy a célsűrűség miatt a rakéták egyes állványokból elfogytak és az újratöltés folyamatban van. Ez akár a szomszédos osztállyal koordinálva is lehetséges, annak kieső megsemmisítési zónájának lefedését is átveheti egy másik osztály.

Patriot operátor munka közben. A kijelzőn látható a szaggatott és egyéb vonalak definiálják a különféle védendő területeket.

A fentieken túlmenően az operátorok messze nem avatkoznak bele a rendszer működésbe olyan mélységben, mint más korábbi légvédelmi rakéta-rendszereknél. Nincs lehetőség manuális üzemre, mint korábbi szovjet-orosz és amerikai légvédelmi rakéta-rendszereknél vagy a kortárs Sz-300 családnál. Miután a Patriot osztálynál települést követően beállították adott irányban az radart (RS) és konfigurálták a védendő zónákat, onnantól fogva a kezelők erős túlzással malmozhatnak is, ha nem kívánnak beavatkozni a rendszer működésébe. Ez természetesen azért túlzás, mert a rendszer működését felügyelni szükséges a célazonosítási problémák és a dinamikus légiharc és helyzetkép változása miatt, de technikailag a rendszer képes üzemelni teljesen automatikusan is. (Természetesen a rakétaindító-állványokat újra kell tölteni.)

A kezelőszemélyzet – természetesen a technikai üzemeltetése és kiszolgálása egy osztálynak jóval több embert kíván – mindössze két főből áll egy osztályban (FU):

- **Tactical Control Assistant,** TCA - Taktikai Segéd. Felügyeli a megsemmisítendő ellenséges célok kijelölését, amiket a rendszer automatán küzd le.
- **Tactical Control Officer,** TCO - Taktikai Vezénylő Tiszt, felelős a saját gépek kijelöléséért, és védelméért.
- (Harchelyzetben egy harmadik tagja is van a személyzetnek, aki a rádiózásért felelős.)

Automatikus célazonosítási problémák vezetettek már baráti gép lelövéséhez (persze ez manuális rendszerekkel is többször előfordult korábban, mindkét oldalon), illetve néhány további majdnem lelövéséhez is. Emiatt szükséges felügyelni a rendszert továbbá az sem árt, ha a pilóták szigorúan betartják a rendszerbe korábban beprogramozott „biztonságos" légifolyosókat.

Egy ilyen tévedés során lőttek le egy brit Tornado repülőgépet Patriottal.[438] Az eset után történt, hogy egy F-16 HARM rakétával szétlőtte a Patriot radarját önvédelemből, [439] ami talán túlreagálása volt a helyzetnek, de a fenti két eset rámutat a célazonosítás problémájára, mint az automatizált rendszer gyenge pontjára. Az elvi probléma az, hogy csak automatikus üzemmel lehet megvalósítani tömeges célleküzdést kombinálva azt ballisztikus- illetve és radargyilkos rakéták elleni ellentevékenység képességgel.

Balra az AN/MPQ-53 radar station (RS), jobbra az AN/MSQ-104 engagement control station (ECS)

A Patriot egyetlen radarral (RS, AN/MPQ-53 vagy -65)[440] bír, aminek fő feladata a tűzvezetés és célkeresés. Az ECS (Engagement Control Station, AN/MSQ-104,[441] tűzvezető kabin) önállóan (automatikusan) a következő fő funkciókat látja el a beérkező adatok alapján:

[438] https://www.theguardian.com/uk/2006/oct/31/military.iraq
[439] http://www.f-16.net/f-16-news-article787.html
[440] https://goo.gl/73QOqm

- meghatározza a cél hovatartozását (ellenség, barát, semleges, ismeretlen, stb.)
- rangsorolja a célokat
- kiválasztja/felkészíti a cél jellegének megfelelő rakétatípust/indítóállványt
- indítja a rakétát(ak)
- észleli a cél megsemmisítését, vagy újra tüzet nyit

A Patriot a HAWK-hoz képest nem csak az automatizáltság terén, hanem a célcsatorna és tűzcsatorna mennyiség terén is hatalmas előrelépést jelentett, továbbá a megsemmisítési zóna is nőtt, 35-40 km-ről 68 km-re. A rendszer szimultán célleküzdési képességgel rendelkezik annak ellenére, hogy csak egyetlen célfelderítő és tűzvezető radarral bír.

A TVM vezérlési módszerrel lehetővé vált egy időben 8 db célra (ennyi lehet csak a TBEQ listában, lásd lent később) 16 db rakétát rávezetni, de ebből csak 3 db rakéta lehetett végfázisban, ami a rávezetés utolsó nagyságrendileg 10 másodpercét jelenti, amikor folyamatosan szükséges megvilágítani a célpontokat a tűzvezető radarral. Ezt azt jelenti, hogy akár 16 db rakéta is úton lehet 8 db célpont felé, de a néhány másodperces TVM végfázis szakaszban egyszerre csak 3 db rakéta lehet. Ezért (is) szükséges a teljesen automatikus üzem, mert nincs olyan operátor, aki képes lenne a beérkező célokat rangsorolni a megsemmisítés szükséges sorrendjében és megadni, hogy a radar mikor melyik célt világítsa meg tűnyalábokkal.

A Patriot tűzgyorsaságban felülmúlja az Sz-300P családot, ahol ettől eltérő megközelítést alkalmaznak, ahol nincs végfázisban megfogalmazott korlát, hanem az indítás előtti célkövetéstől a találatig fogalt egy darab célcsatorna (lásd később), a Patriot dinamikusabban kezeli ezt. Ennek hátránya a nagyobb számítástechnikai kapacitás, viszont az Sz-300P manuálisan is üzemeltethető adott esetben, ami a Patriotnál nem lehetséges.

A célokat nem a távolságuk vagy a sebességük, hanem az elfogásra rendelkezésre álló idő alapján kell rangsorolni, ami a cél sebességéből, távolságból és irányából számítható. Ez még repülőgépek esetén is megoldhatatlan feladat egy ember számára, erre rakódik rá még a célok megsemmisítésének fontossági sorrendje is (pl. ballisztikus rakéta fenyegetés), ahol azt is figyelembe kell venni, hogy az adott ballisztikus rakéta várhatóan hová csapódik be (sivatagba, vagy fontos védett objektumba). A valóságtól egyáltalán nem elrugaszkodott eset, hogy akár százas nagyságrendű céljel látható a kijelzőn. Az operátor a számítógép segítsége nélkül képtelen lenne arra, hogy a fenti helyzetekben megítélje azt, hogy mikor mire tüzeljen a rendszer.

A régebbi két célcsatornás HAWK osztály vagy az egy-célcsatornás szovjet légvédelmi rendszerek osztályai a Patriot rendszerhez képes szinte véletlenszerűen dolgoztak. A rendelkezésre álló pillanatnyi helyzetkép alapján, parancsnoki utasításra támadtak egy célt amíg le nem lőtték, ki nem fogytak a rakétából, esetleg az osztályt nem lőtték szét, amennyiben az nem függesztette fel a légvédelmi rakéta rávezetést érzékelve a „radargyilkos” rakéta közeledését. (Az AVR rendszerek ezen segítettek az szovjet-orosz oldalon, lásd később.) A Patriot ehhez képest a fent ismertetett módon, szoftveres matematikai algoritmusok segítségével határozza meg a leküzdendő célokat az emberhez képest villámgyorsan akár 100-as nagyságrendű cél esetén is. A rendszer képes a bejövő radargyilkos rakéták önvédelmi lelövésére is. A MIM-104A rakétával a maximális célsebesség 1100 m/s.

[441] https://goo.gl/wUmDih

A rendszer a hálózatos felépítése miatt, több osztály (FU) ICC-n keresztül képes kiháromszögelni a zavaró célokat, de az ICC akár távolról is képes az egyes FU-k megsemmisítendő cél listáját (to be engaged queue, TBEQ) módosítani, ha ezt a légihelyzet megkívánja, és az összesített helyzetkép alapján úgy dönt a zászlóalj parancsnoka. A Patriot a honi légvédelemnél jóval dinamikusabb környezetben egészen más minőségű helyzetkép összeállítására képes, mint az korábban lehetséges volt akár a SAGE rendszerrel is.

Az ICC-ben is az ECS-hez hasonlóan három kezelő foglal helyet. Ami azt jelenti, hogy szélsőséges esetben az egész Patriot zászlóalj tűzereje felett mindösszesen kettő ember (meg a rádiós, és a szoftver) rendelkezik. Egészen elképesztő szintű tűzerőt központosíthat a rendszer néhány ember kezében. A Patriot osztály számára a célok rangsorolását az ICC végezte, mint a Volhov/Nyeva osztályok számára a Vektor/Szenyezs ezred szintű AVR, vagy mint a PBU ezred/dandár szintű vezetési pont az Sz-300 rendszernél, lásd később. Bár az ECS-ek képesek egymással kommunikálni és ebben koncepcionálisan eltérnek az Sz-300-tól, ez pusztán valós idejű adatmegosztást jelent, de nincs közöttük alá/fölérendeltségi viszony. Két ECS képes egymással cél információt megosztani, de egyik ECS sem bírálhatja felül a másik megsemmisítendő célok listáját. (to be engaged queue, TBEQ).

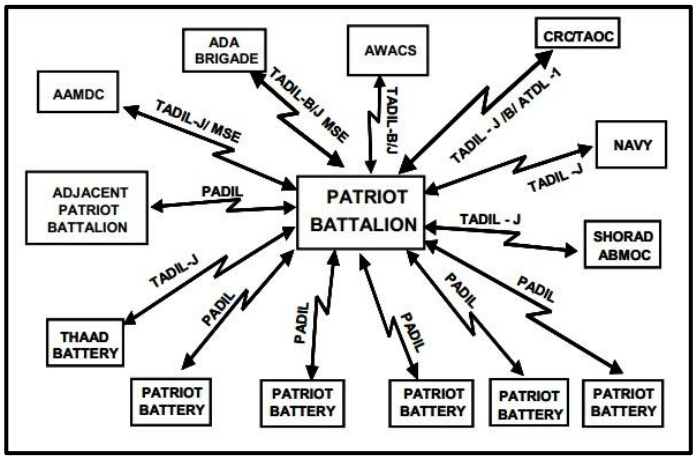
A Patriot alapvetően kétféle üzemmódban működhet fél-automatikus vagy automatikus üzemben. A két módszer szinte megegyezik, az egyetlen eltérés a működési ciklusban zöld illetve ciánkék színnel van jelölve, a zöld fél-automatikus, a kék az automatikus harci munka közti eltérést mutatja. A komplexum működési ciklusa tehát a következő:

- RS (Radar Station) felderíti, majd követésbe veszi a célt. (esetleg másik Patriot osztálytól, AWACS-tól, vagy NAVY AEGIS rendszertől adatkapcsolatok keresztül megkapja)
- Elemzi hogy a cél követi-e az aktuális hadműveletben megszabott légi folyosókat, illetve veszélyeztet-e az előre beprogramozott védendő objektumokat.
- IFF ellenőrzést hajt végre, aminek eredménye lehet;
    - *True friend (saját gép, IFF mód-4 válasszal)*
    - *Special Friend, Friend (saját gép)*
    - *Assumed friend (feltételezett saját gép)*
    - *Unknown (ismeretlen cél)*
    - *Hostile (ellenséges cél)*
- A cél kinematikai pályájából megállapítja hogy az;
    - *ABT (Air Breathing Target, légi cél)*
    - *SOJ (Stand Off Jammer, zavaró cél)*
    - *ARM (Anti-Radiation Missile, „radargyilkos” rakéta)*
    - *ARMC (Anti-Radiation Missile Carrier, „radargyilkos” rakétát indító repülőgép)*
    - *TBM (Tactical Ballistic Missile, ballisztikus rakéta)*
- Kiszámolja, hogy a cél jelent-e követlen fenyegetést a Patriot ütegre: Self Defense Threat
- Kiszámolja, hogy a TBM (ballisztikus cél) jelent-e követlen fenyegetést beprogramozott védendő objektumokra
- A célt grafikusan ábrázolja a TCO/TCA képernyőjén.
- TCA az ellenséges célt kijelöli a egerével, és megnyomja az ENG gombot (S/I)
- A célt a szoftver automatikusan kijelöli megsemmisítésre
- A cél felkerül a TBEQ (To Be Engaged Qeue) listára, ami a megsemmisítésre kijelölt célok sorrendjét tartalmazza.
- A rendszer eldönti az ideális indítási pillanatot, indítóállványt, és rakéta típust, ezekbe a kezelőknek már nincs beleszólásuk.
- A rendszer indítja a rakétát(kat) majd elemzi a találat eredményét, esetleg dönt újabb indításról.

A rakétákat a következő módon indíthatja a rendszer:

- ***Shoot look shoot***
  Jellemzően légi célok ellen ez a módszer használatos. Egy célra egy rakéta indítása. A rakéta célpont közelébe érése és a találat kiértékelését követően indít újra ugyanarra célra a rendszer, ha szükséges a találat elmaradása miatt. Az automatikus üzem esetén ezt használja a Patriot.
- ***Ripple***
  Két rakéta indítása történik 4,2 másodperc eltéréssel, ez eltérő vagy azonos indítóból (LS) is lehetséges, ezek a 4,2 másodperces indítási szekvenciák ismétlődnek (egy adott időn belül.) Ez akkor kívánatos amikor több, kötelékben repülő célpont szimultán célleküzdése szükséges. Ekkor az első találat után a második rakétának van ideje a kötelék következő gépére átállni, amennyiben az első célpont megsemmisült.
- ***Salvo***
  Két rakéta indítása történik 1,2 másodperc különbséggel. Erre akkor van szükség, amikor egy célpontot nagyon magas valószínűséggel kell megsemmisíteni, jellemzően ballisztikus rakéták – különösen, ha atomháború esete áll már fent – vagy közeledő „radargyilkos" rakéták ilyen célok. Ez a legkevésbé kívánatos üzemmód akkor, amikor nagyszámú célpont van, mert az osztály így hamar kifogyhat a rakétákból.

A felsorolt képességek, üzemmódok és funckiók után érdemes megjegyezni, hogy a Patriot számítástechnikai igényét a '70-es évek végén '80-as évek elején egy kétmagos, 6MHz-es redundáns processzor biztosította szintén redundáns 2x256 kbyte memóriával. Viszonyításképpen az 1982-ben piacra dobott Commodore 64 számítógép 1 MHz-es órajelű processzorral és 64 kbyte RAM és 20 kbyte ROM memóriával rendelkezett.



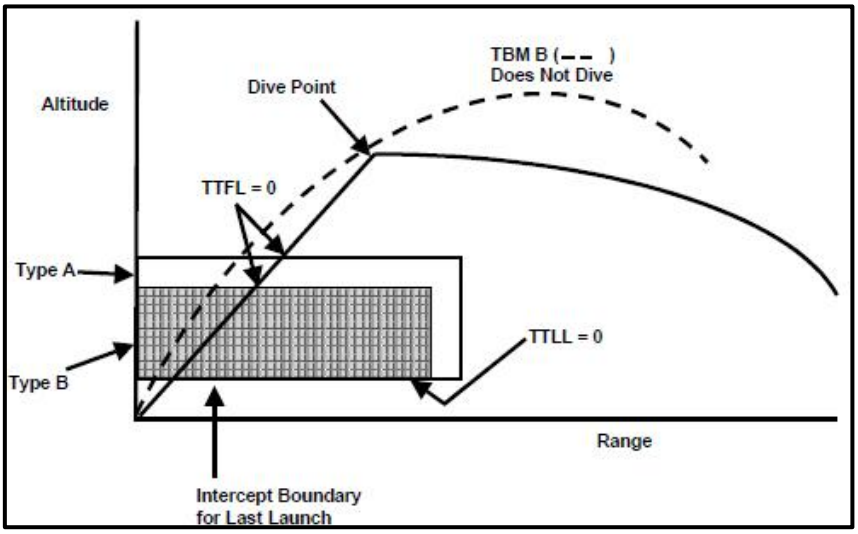
A Patriot által használ különböző adatkapcsolatok típusai. (Bővebben angolul a mellékletekben.)

A rendszer rendelkezik egy különleges lehetőséggel a kismagasságú célok hatékonyabb leküzdéséhez. A település után az RS végigtapogatja a környező területet, és digitális térképet készít a domborzatról, amit a rendszer a memóriájában eltárol.

Ezzel a módszerrel kiszűrhetőek az alacsonyan repülő célok, hiszen minden álló cél távolsága ismert és eltárolt a memóriában, csak azzal kell összevetni. Ha ezekhez közelebbi célt érzékel a radar, a földháttértől ezáltal elkülöníthető válik. A módszer hátránya az, hogy ennek a digitális térképnek az elkészítése település után órás (!) nagyságrendet vesz igénybe és természetesen a radar már ekkor is kisugároz. A rendszer már ekkor is támadható radargyilkos rakétával vagy érzékelhető radar kisugárzás az erre specializálódott nagyteljesítményű elektronika felderítő gépek részére. Persze a fix tüzelőállásban várakozó Patriot osztályok esetén ez a probléma nem állt fenn. (Nem véletlenül rendelkezik a Patriot osztály saját közel-körzeti légvédelemmel.)

A Patriot rendszer rendelkezett már a kezdetektől ballisztikus rakéta-elhárító képességgel, de ez az 1991-es Sivatagi Vihar hadművelet politikai és PR hatása miatt a köztudatban alapvető téveszmék élnek, ami a későbbi Patriot változatok képességeinek megítélésére is rányomta bélyegét, továbbá a továbbfejlesztésének irányára.

A MIM-104A rakéta maximális célsebessége 1100 m/s volt, ami azt jelenti, hogy legfeljebb a harcászati ballisztikus rakéták egy igen szűk spektruma, nagyjából a maximum 150 km-es hatótávolságú ballisztikus rakéták ellen volt hatásos, de azok ellen is inkább csak önvédelmi funkcióval. Az osztály nem a környező csapatokat vagy objektumokat, hanem saját magát védte meg (egy VSz elleni háború esetén atomtöltetű) ballisztikus rakéta támadás ellen. Elvi lehetősége természetesen megvan az ilyen alkalmazásnak is, de ebben az esetben a találat valószínűsége a gyakorlati tapasztalatok szerint nagyon alacsony.



Az aerodinamikai fékezéssel bíró ballisztikus rakéták pályája.
(TTFL = time to first launch, TTLL = time to last launch)

A ’80-as évek végén a szovjet oldalon megjelent OTR-23 Oka és a 2000-es évek közepén érkező 9K720 Iszkander ballisztikus rakéták újfajta kihívást jelentettek a Patriot számára. Nem csak a nagyobb célsebességük miatt, hanem azért, mert nem tisztán ballisztikus pályán közeledett a rakéta, hanem a végfázisban „törést” vittek be a pályájukba azzal, hogy aerodinamikai fékezésre voltak képesek.

Ezzel a Patriot számítógépét meg tudták zavarni, mert a becsapódási pont a Patriot osztályhoz közel változik meg ezzel felborítva a TBEQ rangsorolást és a rakétaindítás folyamatát. Amennyiben a rendszer nem elég gyors, akkor elfogó rakéta indítására nincs már lehetőség, vagy amennyiben már indult korábban a ballisztikus rakétára, akkor az a rakéta valószínűleg kárba vész, hiszen a közel ballisztikus pályán mozgó légvédelmi rakéta számított elfogási pontja eléggé megváltozik, emiatt új rakéta indítása szükséges. Természetesen a változó fenyegetésre a rendszer továbbfejlesztése során új program verziókkal reagáltak. Tekintsük át, hogy a rendszer milyen új rakétákat kapott, ezáltal hogyan változtak képességei, többek között ballisztikus rakéta-elhárítás[442] terén is,[443] de ehhez szükséges ismerni az alapváltozat rakéta vezérlésének módszerét.

A Patriot rendszer rakétájának a pályája is eltért minden korábbitól, lényegében végfázis vezérléses ballisztikus légvédelmi rakétákról van szó (ahogy az Sz-300-nál is, lásd később.) Az indítás pillanatában a számolt találkozási pont felé a legideálisabb ballisztikus pályán mozog a rakéta minimális korrekciókkal a cél paraméterének változását figyelembe véve. Indításkor az akkor érvényes célparaméterek szerint a rendszer kiszámolja találkozási pontot és ballisztikus pályán – a cél esetleges manővereit figyelembe véve – a rakéta efelé a pont felé repül. Nem manőverező cél esetén csak végfázis korrekció szükséges. Amennyiben a célpont irányt, sebességet és magasságot változtat, akkor persze szükség esetén a ballisztikus fázis korai szakaszában is be lehet avatkozni röppálya módosítással, aerodinamikai kormányzással.

[442] *ABM – anti ballistic missile, BMD – ballistic missile defense terminológiát szoktak erre jellemzően használni.*
[443] http://www.scribd.com/doc/12772502/fm3-01

1984, Patriot	MIM-104 Standard rakéta 68,5km lőtáv analóg közelségi gyújtó (150 km ballisztikus lőtávolság elérhető lenne az 1100 m/s égésvégi sebességgel, de a radar korlátozza a maximális elérhető céltávolságot.)
1986, Patriot	MIM-104A rakéta 68,5km lőtáv digitális közelségi gyújtó
1986, Patriot PAC-1	MIM-104B SOJC rakéta 160*km lőtáv *(*Home On Jam vezéréssel zavarást végző célok ellen.)*
1990, Patriot PAC-2	MIM-104C ATM rakéta 160km lőtáv, égésvégi sebesség 1700 m/s-ra nőtt. Új harci rész és kettős üzemmódú közelségi gyújtó
1995, Patriot GEM	MIM-104D GEM rakéta 220km lőtáv MIM-104E GEM+ rakéta 220**km lőtáv ***C rakéta [ATM] upgrade D [GEM] képességre, jele GEM+*
2001, Patriot PAC-3	MIM-104F PAC-3 rakéta 30 km lőtáv *ATBM rakéta*

Az MIM-104 és MIM-104A repülőgépek ellen megfeleltek, azonban harcászati ballisztikus rakéták ellen általánosan már nem, illetve a rakéta által képzett repeszfelhő sem volt elégséges a kívánt hatáshoz. A MIM-104B normál nem zavaró cél ellen az 'A' változat megsemmisítési zónájával bírt, azonban dedikált elektronikai zavaró gépek ellen (SOJ) a vitorlázó szakaszát megnövelték, továbbá az RS és rakéta közötti adatkapcsolat sokkal hosszabb ideig történő nélkülözésével a végfázisban magára a zavaró célra repül rá.

Az elektronikai zavaró gép természetesen eközben zavarhat más radarállomásokat, de a felé közeldő rakéta pozícióját nem ismeri, ezért azt nem tudja zavarni, ami viszont képes a zavaró jelforrás irányát meghatározni és távolság információ ismerete nélkül is elfogni azt.

Ezen rakétákban közös, hogy ballisztikus rakéták ellen a Patriot ezzel legfeljebb a saját védelmét látta volna el hatékonyan, de az osztály köré települt alakulatokét nem. Azokat repülőgépek támadásától védhette volna, de ABM képesség kellő hatékonysággal csak a 0 km vagy nagyon minimális oldaltávolság paraméterrel érkező célok ellen valósult meg. (Az oldaltávolság paraméter értelmezését lásd az 5. fejezetben.)

Az ABM képesség radikális növekedését a PAC-2 változat MIM-104C ATM rakéta hozta el. A rakéta új harci részt és kettős üzemmódú közelségi gyújtót kapott. A harci részben nem csak a robbanóanyag tömege nőtt meg, de a képződő repeszek tömegét is növelték – 2 grammról 45 grammra – , a hagyományos töltetű ballisztikus rakéták elleni nagyobb rombolóerő érdekében, mivel azok harci részei sokkal kevésbé sérülékenyek a nukleáris harci részekhez képest. A kettős gyújtó lehetővé teszi az eltérő célpontok szerinti különböző repeszfelhő képzését, más szükséges egy szubszonikus repülőgép és más egy háromszoros hangsebesssgű ballisztikus rakéta ellen.

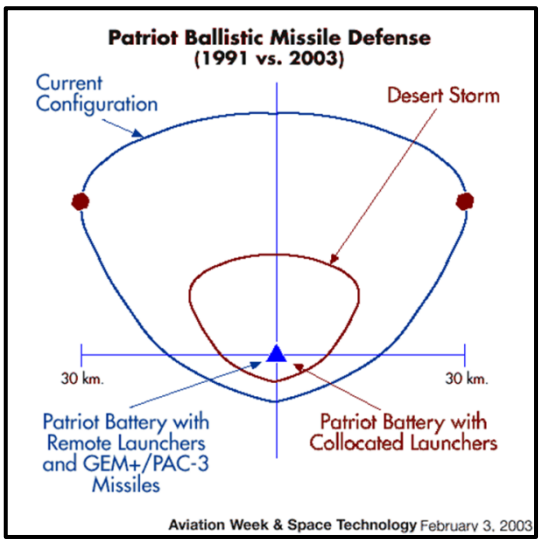
A MIM-104D/E GEM változatoknál további ABM képességnövelés és alacsony radarkeresztmetszettel bíró célok leküzdésén, továbbá a TVM kapcsolat sebességén is javítottak. A rendszer maximális célsebessége ezzel 3000 m/s-ra nőtt, ezzel a kb. 1000 km-es indítási távolságú ballisztikus rakéták is leküzdhetővé váltak.

A Patriot PAC-3[444] változat ABM képessége és tűzereje jelentősen nőtt. A PAC-3 három lépcsőben érte el kitűzött végleges képességeit, alant a végleges „Configuration 3” szinten levő rendszer jellemző vannak bemutatva. A PAC-3 változatnál a ballisztikus elhárító rakéta sokkal kisebb méretű, viszont az osztály ECS-éhez képest nagyobb paraméterrel érkező célok leküzdése is lehetővé vált, tehát a Patriot területvédelemre is alkalmas ballisztikus rakéták ellen. A főbb eltérések a korábbi változatokhoz képest a következőek:

- Az AN/MPQ-53 radar helyett AN/MPQ-65 használatos.
- A MIM-104F rakéta sokkal kisebb átmérőjű, így 1 db nagyobb rakéta MIM-104A/B/C/D/E helyére 4 db MIM-104F PAC-3 rakéta tölthető be a tubusos-konténeres módszerrel, lásd a jobboldali képen.

  Vegyes töltés is lehetséges, hogy ahol csak egyik nagyobb tubus helyére került 4 db MIM-104F, de egy indító esetén akár 16 db rakéta is betölthető, de ez utóbbi ritka és jellemzően nem sok értelme van. Egyes eseteken két cellás indítókat alkalmaznak, lásd a fejezet végén levő képen.

- A rakéta hatótávolsága sokkal kisebb, csak 30 km.
- A MIM-104F alapvetően eltér a korábbi rakétáktól, ugyanis aktív radaros vezérléssel rendelkezik, továbbá közvetlen ütközéssel semmisíti meg a célpontot. Az aktív radar a rakéta kis mérete miatt 20 GHz-es frekvenciatartományban üzemel.
- A MIM-104F gázdinamikai kormányzással is rendelkezik, amivel a végfázisban aerodinamikai kormányzáson túl a rakétatestbe sugár irányba beépített fúvókákkal képes a vezérlőrendszer oldalirányba „lökdösni” nagy precizitással a rakétát így biztosítva a közvetlen ütközéses célleküzdés képességét.[445]



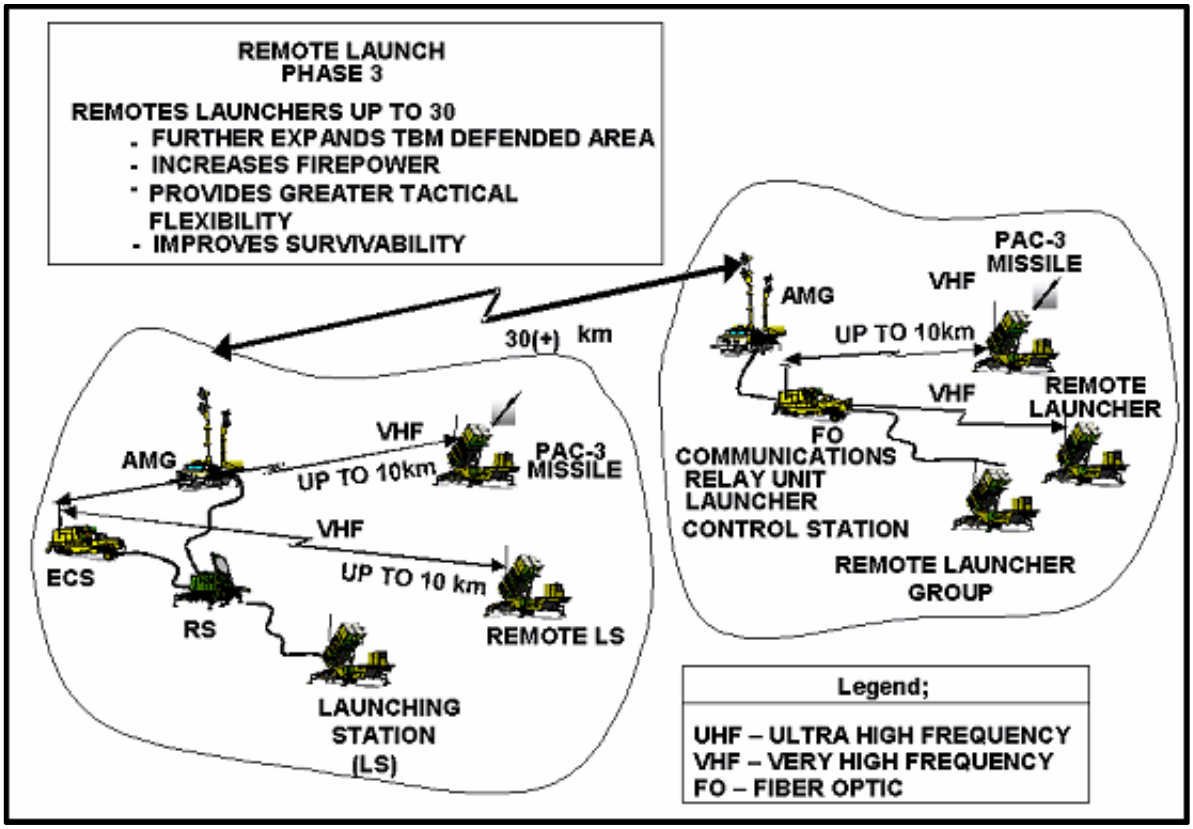
A Sivatagi Vihar alatti védhető terület Mach 3 sebességű ballisztikus rakéták ellen, illetve a PAC-3 konfigurációban. A diagram a támadó rakéta becsapódási területét mutatja. Ez alapján látható, hogy 1991-ben a Patriot rendszertől olyan ABM képességet vártak el, amire nem volt képes. Inkább csak politikai üzenete volt az akkori Patriot változat telepítésének Izraelben

A PAC-3 nagy előnye, hogy a rendszer a harmadik fejlesztési fázist követően egyes PAC-3 indítók széttelepítésére is lehetőséget adott egyetlen ECS-en keresztül VHF adatkapcsolatot felhasználva, így az ECS-től akár 10-10 kilométere ellentétes irányban is telepíthető az indító sokkal nagyobb területi lefedést biztosítva. Ezt egészen odáig fokozták, hogy a klasszikus FU egység ECS-ről is leválasztható, saját AMG és kommunikációs rendszeren keresztül egy átjátszó állomáson keresztül az átjátszó akár 30 km-re is lehet az ECS és RS-től. Tehát egyetlen FU (1 db ECS) számottevően nagy terület oltalmazására képes.

[444] https://www.youtube.com/watch?v=xU9C2iLm764

[445] *Az ASM-135 műhold-elhárító rakétánál is felhasználtak hasonló kormányzási módszert, de ott a légkörön kívüli repülés miatt volt erre szükség.*

Ez a széttelepülés valószínűleg csak PAC-3-mal használható ki, mert a távoli indítók esetén a nagyobb távolságra indított rakétákat nem képes a RS célra vezetni, mert azok a rávezetés végfázisában igénylik az RS általi célmegvilágítást.



PAC-3 települési struktúra és távolságok.

A PAC-3-mal a Patriot lokális, szovjet-orosz terminológiával valahol a hadosztály és hadsereg szint közötti ballisztikus rakétavédelemi képességet biztosít, esetleg egy város védelmét körkörösen. Ennél egy szinttel feljebb van a THAAD (Theatre High Altitude Area Defense System) , aminek a nevében is szerepel, hogy hadszíntér kiterjedésű ABM rendszer 200 km körüli hatótávolsággal, orosz terminológia szerint ez már front szintű légvédelem. A fenti fogalmak magyarázatát lásd szovjet-orosz csapatlégvédelem bemutatásánál.

A Patriot osztályok működését alapvetően a zászlóaljakkal képzelték el a több Patriot osztállyal, de a ettől függetlenül számoltak vegyes HAWK-Patriot zászlóaljakkal is. Mivel a rendszer alapvetően nagy hatótávolságú légicél és ballisztikus rakéta elhárító képességekkel rendelkezik, ezért a közeli és alacsonyan repülő célok ellen nem képes eredményesen működni. Ilyen célra a Patriot mellé szervezetileg integrálható volt a MIM-72 Chaparral rendszer, illetve az osztály köré települve – kb. 2 km távolságban – FIM-92 Stinger vállról indítható rakétákra támaszkodhatnak az osztályok. Az osztályok diverzáns alakulatok elleni védelemét kb. szakasz szintű erő biztosította a hidegháború alatt. (A Varsói Szerződésben is szükség esetén rendelkeztek ilyen védelemmel a tüzelőállások)

Bár a Patriot rendszer alapjai egészen a ’70-es évekig nyúlnak vissza, a korszerűsített változatai az Sz-300/400 családhoz hasonlóan jelen állás szerint még évtizedekig szolgálatban maradnak, nem tervezik azok leváltását.

Bal- és jobboldalt a TCO és TCA, közöttük a rádiós, a kijelzők még katódsugárcsöves képernyők, zöld és fekete színárnyalatokkal. Ez a „klasszikus” Patriot, bár a korszerűsítet változatok is alig tértek el ettől. A kezelőpulton néhány plusz gomb jelent meg, de semmi több, a radikális képességnövelés ellenére.

A legkorszerűbb Patriot. Nagyméretű érintőképernyős színes kijelzőkkel, a virtuális kezelőpult alig néhány plusz gombbal tér el csak az ős változattól.

Rakétaindítás, a „klasszikus” nagy rakétával. Az Sz-300-zal ellentétben nem gáz löki ki a tubusból (hidegindítás) a rakétát, a rakéta saját hajtóműve az indítás pillanatától kezdve dolgozik (melegindítás).

Két cellás indító, 2x4 db PAC-3 cellával (gyakorló változat).

Végezetül néhány videó a ’80-as évekből, az alapváltozatról, annak felépítéséről és képességeiről.

https://www.youtube.com/watch?v=g3cuf14TSq8
https://www.youtube.com/watch?v=HfLxOvaLZho
https://www.youtube.com/watch?v=yynlGg38Dzg (8:10-től a fázisvezérelt radar használatának lényege)

6.2.1.2. A Szovjetunió honi légvédelmi rakéta-rendszerei[446]

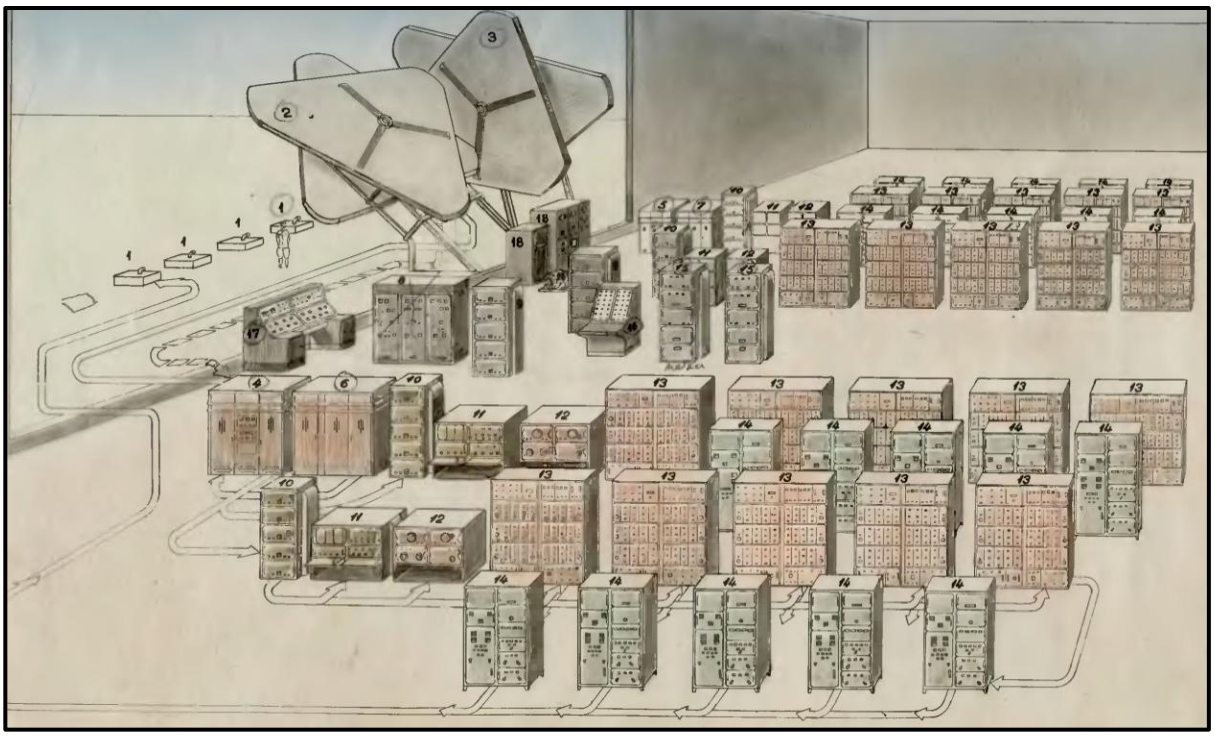
6.2.1.2.1. Sz-25 Berkut (SA-1 Guild)

A Szovjetunió első hadrendbe állított légvédelmi rakéta-rendszere az Sz-25 Berkut. Kifejlesztését a második világégés során tapasztalt szövetséges bombázások tapasztalatai Németország ellen – továbbá a két Japán elleni atombomba bevetését – illetve a légvédelmi ágyúk korlátai indokolták, a cél Moszkva védelme volt. Ugyanarra a következtetésre jutottak, mint az USA-ban, hogy a feladat légvédelmi ágyúkkal ésszerű kereteken belül sem, de leginkább egyáltalán nem tűnik megoldhatónak. A Berkut fejlesztését 1950 augusztusában kezdték meg, a nevét a két főtervező vezeték nevének rövidítéséből és összevonásából kapta. (Szergej L. Berija és Pavel N. Kukszenko, az előbbi Lavrentyij Berija, a szovjet titkosszolgálati vezető fia volt.)

Az Sz-25 a maga nemében különleges, egyedi és nagyon drága rendszer volt. Annak ellenére, hogy ez volt az első légvédelmi rakéta-rendszer, a későbbi szovjet légvédelmi rakéta fejlesztések nem a Berkut teljes továbbvitelén alapultak. Ennek oka annak rendkívüli komplexitása és ára, továbbá hogy a rendszer egyetlen eleme sem volt mobil, ami a későbbiekben már szempont volt.

A Berkut a világ első több célcsatornás légvédelmi rakéta-rendszere volt, de ezt pusztán nyers erővel érte el. Annyi berendezést telepítettek le a rádió-parancsvezérelt rakéták vezérléséhez, ahány célcsatornája volt. A nagyjából két évtizeddel későbbi légvédelmi rakéta-rendszerek nem így, nem a „nyers erő” bevetésével érték el a szimultán célleküzdés képességét. A fenti megközelítés meg is látszott a Berkut elemeinek méretén, na és persze az árán is. A rendszer főbb elemei a következőek voltak:

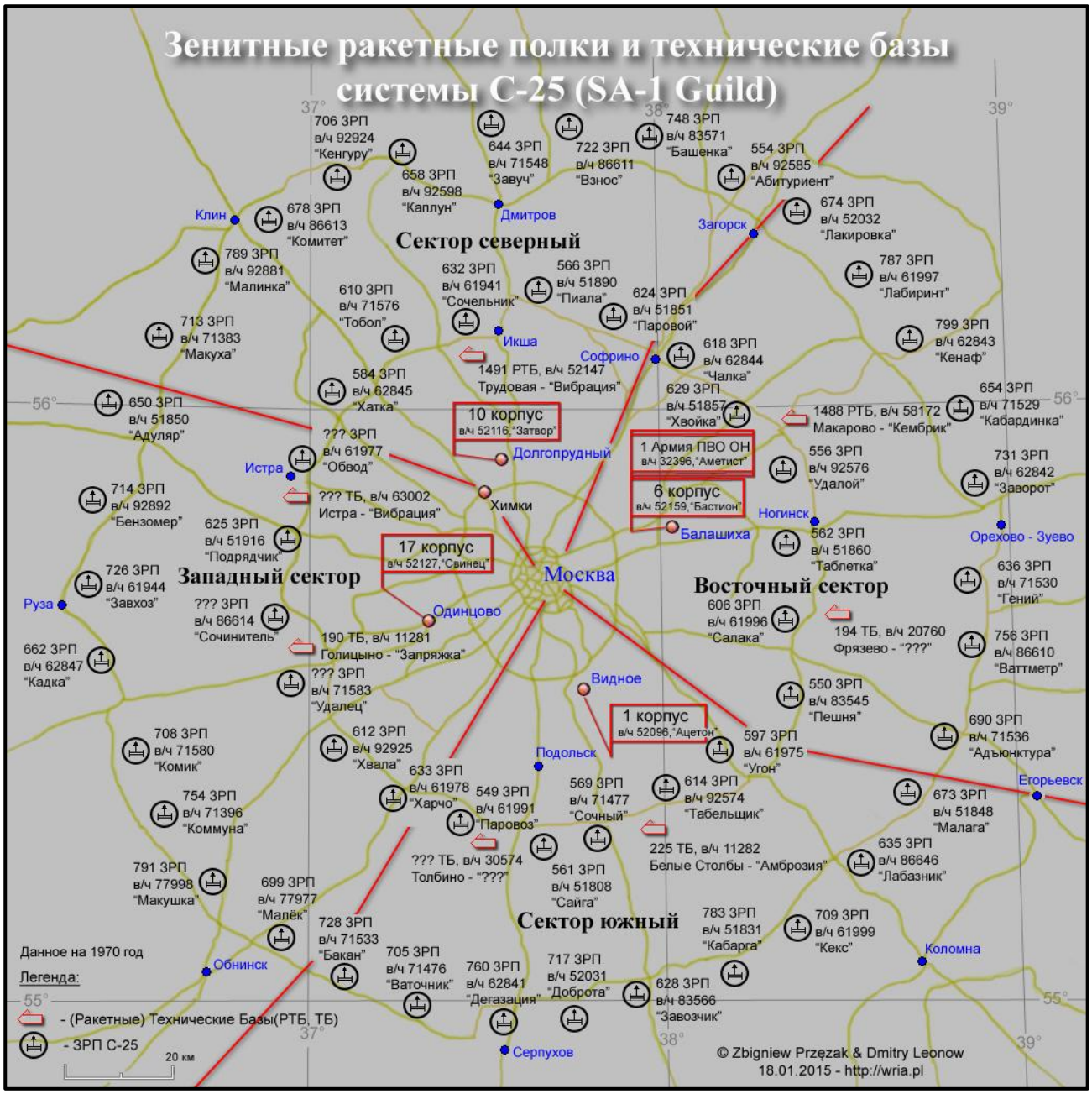
- A-100B/D (Gage) korai előrejelző radar, 10 cm-es hullámhosszal
- B-200 (Yo-Yo) tűzvezető radar, 10 cm-es hullámhosszal
- V-300 (Guild) rakéta (különféle változatai az idők során)



Egy Berkut ezred bunkerében levő berendezések összessége, a szekrények ember vagy két ember nagyságúak. Látható, hogy a Berkut miért nem volt a mobil.

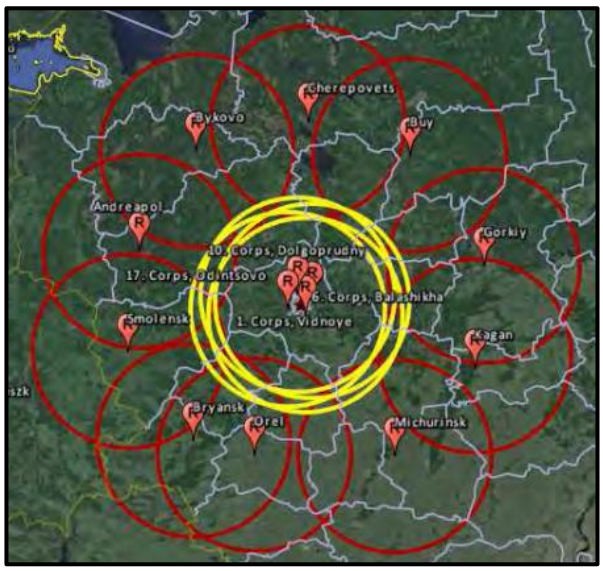
[446] http://infowsparcie.net/wria/o_autorze/pzr_s25berkut.html *Lengyel nyelvű, Google fordító az ábrák kivételével lefordítja angolra. (Magyarra nincs értelme, a fordító magyarra nem képes megfelelő szinten fordítani.)*

A Berkutot Moszkva köré építették ki, kettős védelmi gyűrűt alkotva, ami minden irányból védte a fővárost az amerikai stratégiai bombázók támadása ellen. A Moszkvától 400 km-re telepített felderítő radarok kb. 200 km távolságból voltak képesek nyomon követni a bombázókat. Körkörösen Moszkva körüli légtér felderítéséhez 10 db A-100D radart, további 4 db A-100B radart a Moszkva körüli közelebbi légtér felderítéséhez telepítettek le.



Sz-25 Berkut ezredek kiépített tüzelőállásai Moszkva körül és azok hadtestekbe tagozódása.

A főváros körül a légvédelmi rakétaállásokat – egy állás egy légvédelmi rakétaezred– két gyűrűben építették ki. A külső gyűrű kb. 85-90 km-re volt a város körül, a belső kb. 45-50 km-re. A külső gyűrűben 34 db, a belső gyűrűben 22 db ezred kapott helyet, az ezredeket négy légvédelmi hadtestbe szervezeték. (10., 6., 1. és a 17. hadtest.)



Az A-100 korai előrelőrejelző radarok telepítési helye, illetve maga a Gage radar.

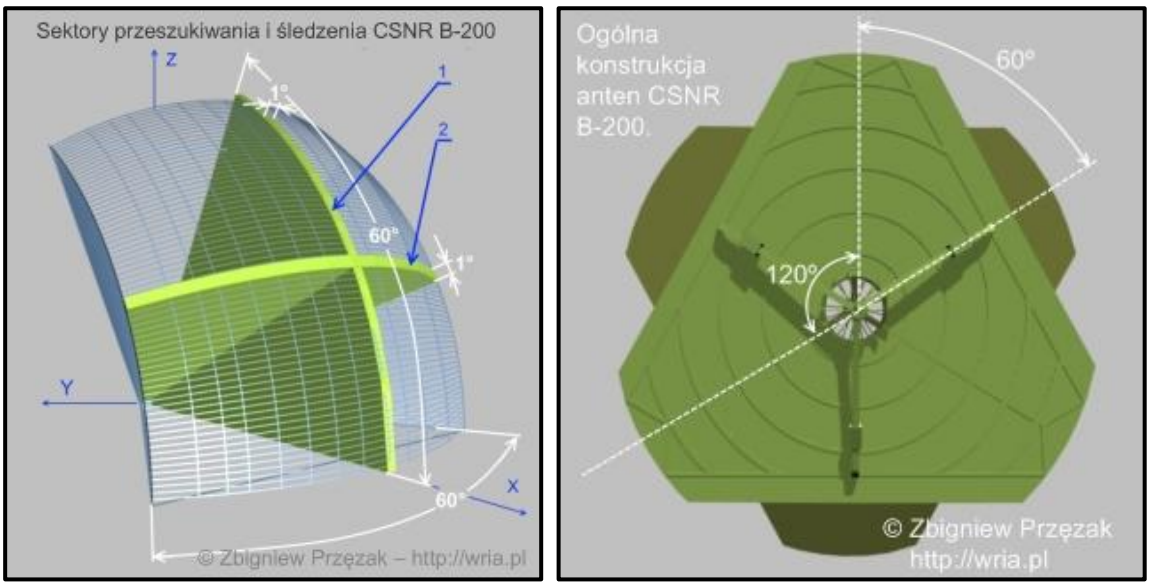
Leningrád körül is kiépítették a körgyűrűt, de az eredeti tervekkel szemben csak az olcsóbb Sz-75/125 (SA-2/3) komplexumok kerültek az állásokba a Berkut rendszer költségessége miatt. A szükséges úthálózat hossza kb. 1000 km volt Moszkva körül, a megerősített betonfedezékek és egyéb építészeti költségek a teljes projekt költségének nagyjából a felét tették ki, ezzel igen komoly terhet róva a II. világháború utáni szovjet nemzetgazdaságra.

Nemcsak emiatt, hanem a kor elektronikai színvonala miatt sem volt olcsó a rendszer kiépítése. Egyetlen légvédelmi rakétaezred által üzemeltetett berendezések összesen kb. 13 000 db vákuum-csövet tartalmaztak és azok élettartama kezdetben igen alacsony, kb. 500 óra volt, amit csak később sikerült 3000 órára emelni. A rendszer teljes költségének kb. negyedét a radarrendszer kiépítése tette ki.

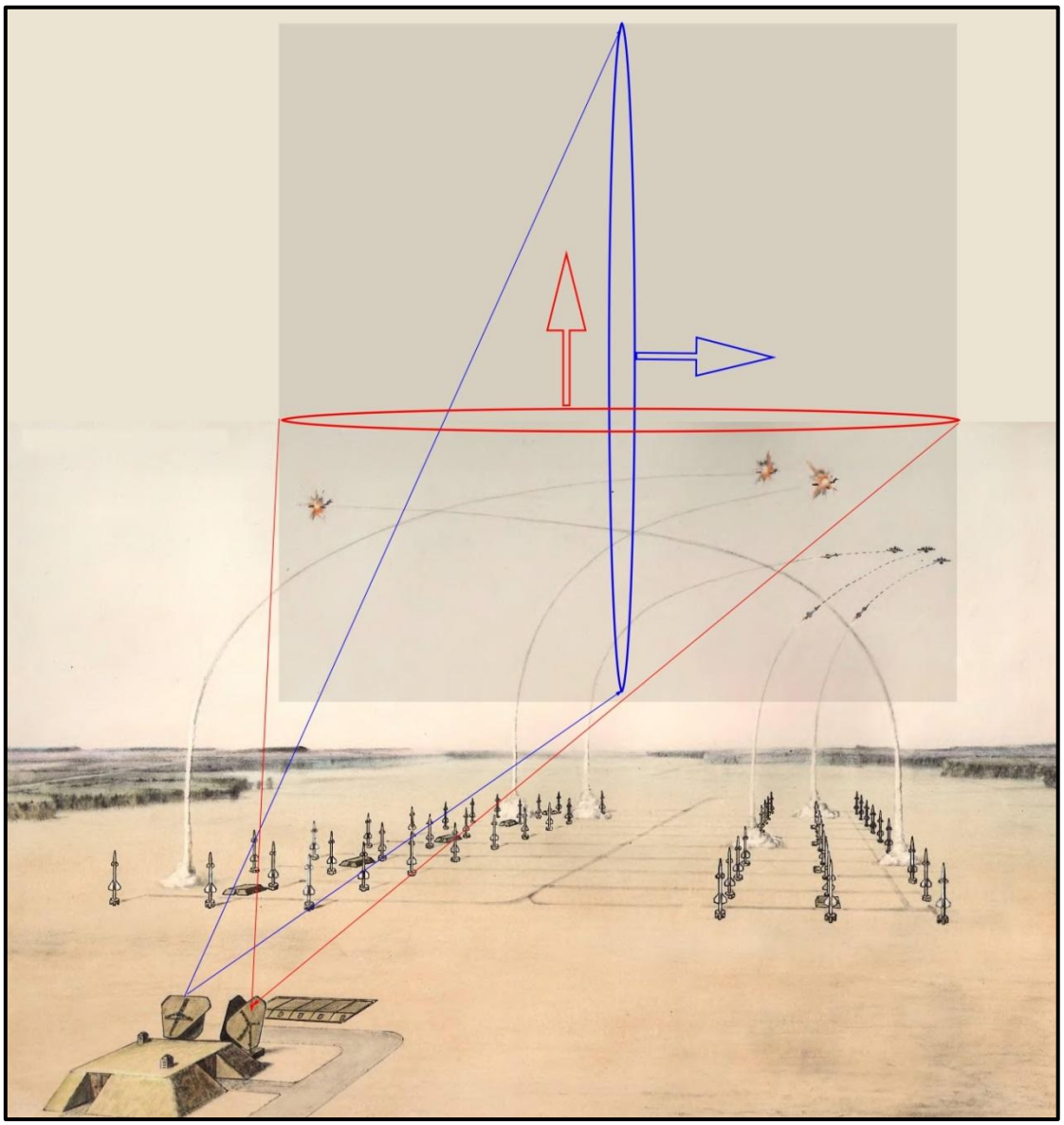
(A Berkut rendszer teljes telepítése költsége kb. 13 milliárd Rubel volt, akkor USD paritáson számolták a Rubel árfolyamát. A költségek részletesebb bontása a mellékletek között megtalálható.)

A Berkut Yo-Yo radar antenna párosa is különleges volt a maga nemében, az első TWS üzemmódra alkalmas eszközei voltak a világon, ezek egyszerre voltak felderítő és egyben tűzvezető radarok is. A 2 db radar külön-külön pásztázott oldalszög (vízszintes/azimut) és helyszög (függőleges/elevation) irányban forgás közben. Mindkét radar két darab forgó antenna-szerkezettel bírt, így növelve a pásztázási gyakoriságot. Egy antenna-szerkezetbe120 fokos elforgatással voltak beépítve a sugárzók, szerkezetenként-3 db antenna kapott helyet.

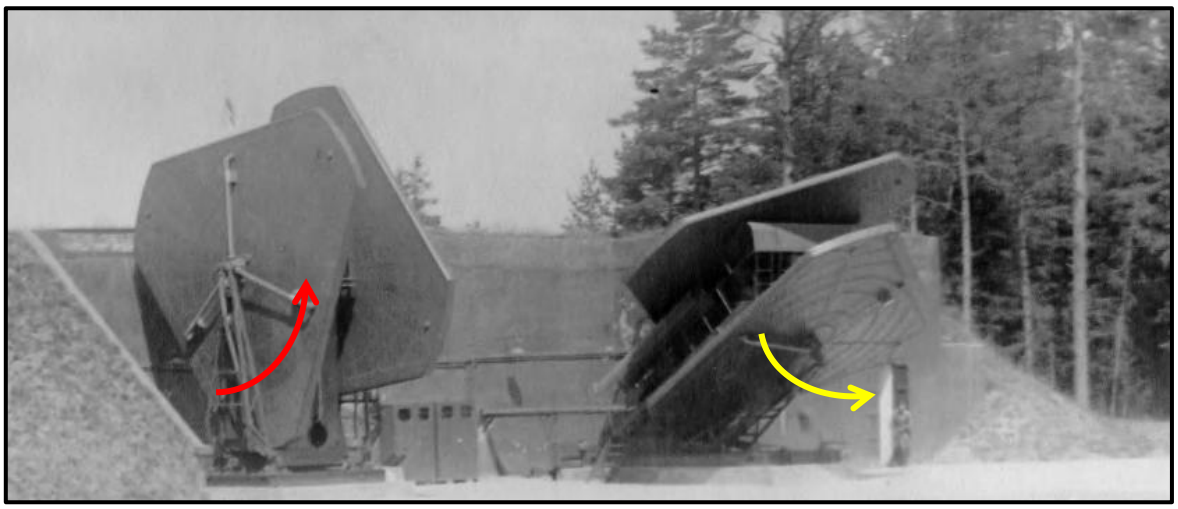
Az antennák 1x60 fokos nyalábot állítottak elő , azok forgatásával pásztáztak gömbhéj felületen, a következő oldai ábrákon látható módon. Két antenna volt egymás mellé téve, ezek 50 fordulat / perc sebességgel forogtak. Tehát percenként 50x2x3 = 300 alkalommal pásztázták a 60x60 fokos térrészt, másodpercenként ötször. Ez kellően pontos céladatokat szolgáltatott a rávezetéshez, amire szükség is volt, hiszen egyetlen Sz-25 komplexum összes rakétája ezen egyetlen radarrendszer adatai alapján dolgozta ki a kormányvezérlő parancsokat a rakéták számára. Viszonyításképpen, a később bemutatásra kerülő Sz-75A és Sz-75 rendszer tűzvezető radarja 10x10 illetve 7x7 fok terület részt tapogatott le ehhez mérhető sebességgel, de azok csak egy célcsatornás rendszerek voltak.



A Yo-Yo antennák kialakítása és pásztázott zónája.



A Yo-Yo antennák által előállított nyalábok és legyezési irányuk. A nyalábok által lefedett teljes zónát percenként 300-szor tapogatta le a rendszer.



B-200 Yo-Yo tűzvezető és kereső radarok. A baloldal pásztázott függőlegesen, a jobboldali vízszintesen.

Egy Berkut ezred 20 darab célra 20 darab rakétát volt képes rávezetni, ami mai szemmel is tiszteletet parancsoló képesség, nemhogy akkoriban, amikor még 15-20 évvel később is egy célcsatornás rendszerek szolgáltak a honi- és csapatlégvédelemnél is.

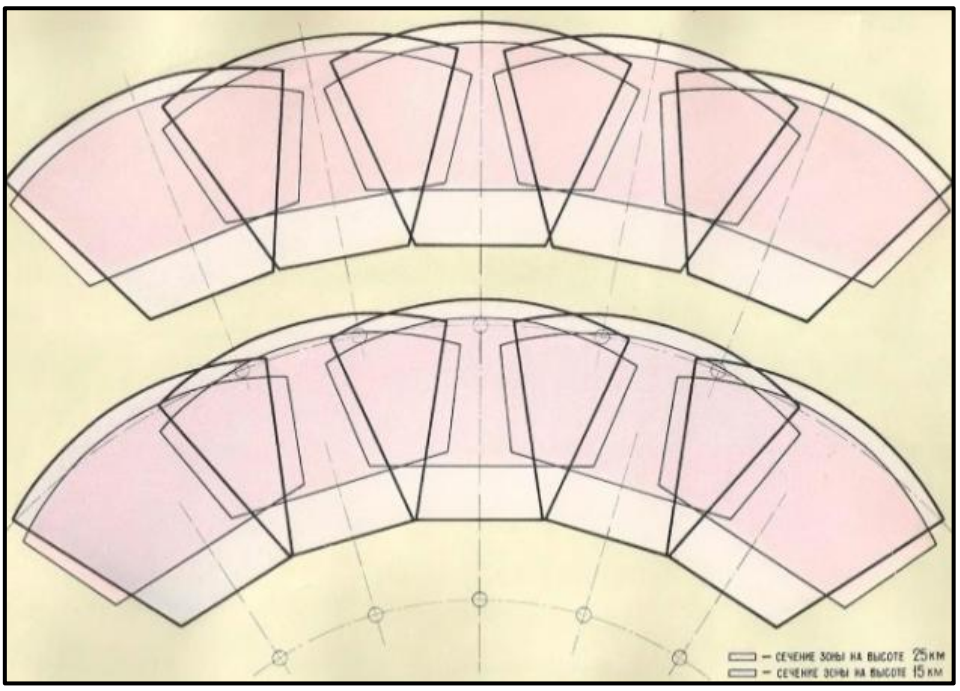
Egy ezrednél 60 db V-300 rakéta volt állványon, a rakéta egy fokozatú, folyékony hajtóanyagú volt, vezérlése rádió-parancsközlő módon történt. A rakéták folyékony hajtóanyaga rendkívül erős idegméreg volt, a velük végzett munka ezért csak vegyvédelmi ruhában volt lehetséges, ez megnehezítette a karbantartási munkákat. A rakéták gyártási költsége kb. a rendszer teljes árának a negyedét tették ki. A rakéták különféle változatai a következő paraméterrel bírtak:

Rakéta típusa	*rendszeresítés éve*	*maximális céltávolság*	*célpont maximális magasság*	*célpont minimális magassága*
V-300 205	1953	30km	25km	5km
V-300K 207A	1954	35km	25km	3 km
V-300K 215 (207T)	**1957**	**35km**	**25km**	**5km**
V-300M 217M	1962	43 km	30km	1,5km
V-300M 218 (217T)	**1964**	**43km**	**30km**	**6km**
V-300M 5Já25 (217MA)	1968	43 km	35km	1,5km
V-300M 5Já25M (217MAM)	1975	43 km	35km	0,5km
V-300M 5Já24 (219)	1980	46km	35km	0,5km
V-300M 44N6 (5Já24S)	**1980**	**46km**	**35km**	**3,5km**

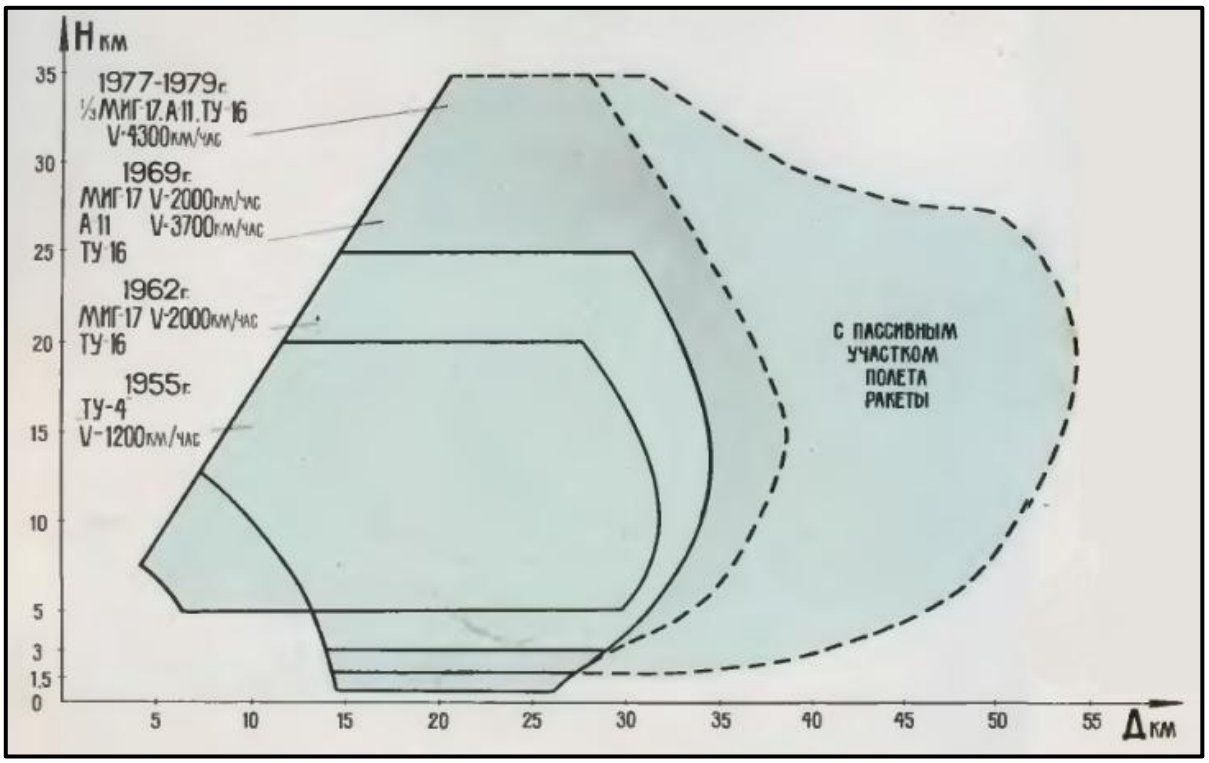
A piros jelölésű rakéták nukleáris harci résszel bírtak.

A fenti lista alapján látható, hogy nem kis magasságú célok ellen tervezték a Berkutot, ez akkor nem volt elvárás, mert az USA stratégiai bombázói 10 km vagy akár annál nagyobb magasságban érkeztek volna, de minimum közepes magasságon.

A Berkut csak a gyűrűn „kifelé” tudott rakétát indítani és rávezetni, adott távolságon belül a célok nem voltak már támadhatóak. Ez a radar látószögéből, a rakéta kinematikai, továbbá a bejövő cél paramétereitől következett. A megsemmisítési zónák viszont legalább részben átfedték egymást, hogy megnehezítsék az áttörést a mind a belső, mind a külső gyűrűn.



Annak ellenére, hogy több szempontból is elavultnak volt tekinthető már a ’70-es évek közepén is, egészen a ’80-as évek elejéig rendszerben tartották a Berkutot, még 1982-ben is végeztek rajtuk apróbb fejlesztést (Sz-25MR változat), mindössze 2 évvel 1984-es kivonása előtt. A legkorszerűbb változatával sem volt lehetséges azonban az alacsonyan érkező célokra dolgozni, ami akkor már alapkövetelmény volt, akkor a rendszer fenntartásának nem volt értelme, mert USA nem tartott hadrendben olyan elsővonalas eszközöket, ami ellen nagyon elméleti eseteket leszámítva a Berkutnak bármi haszna lett volna.

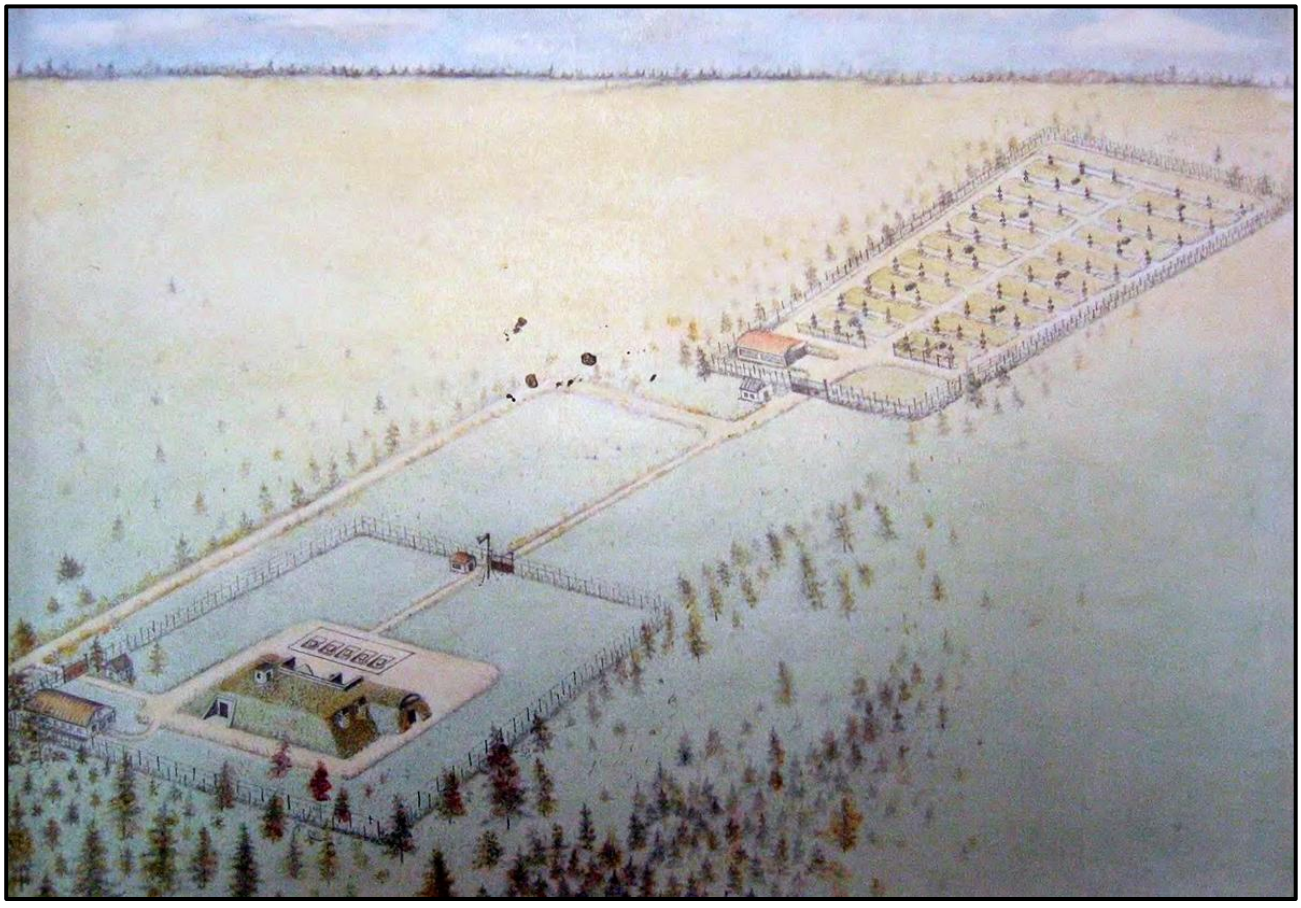


Az Sz-25 rendszer megsemmisítési zónája 0 paraméter mellett, nem manőverező, elektronikai zavarást nem végző célok ellen különféle rakétákkal. (A paraméter kifejezés magyarázatát lásd az 5. fejezetben.) A szaggatott vonalas rész szubszonikus célok elleni passzív tartomány, a rakéta hajtóműve ott nem működik a rakéta lassul. A maximális célsebesség a km/час mellett látható egyes változatok esetén.

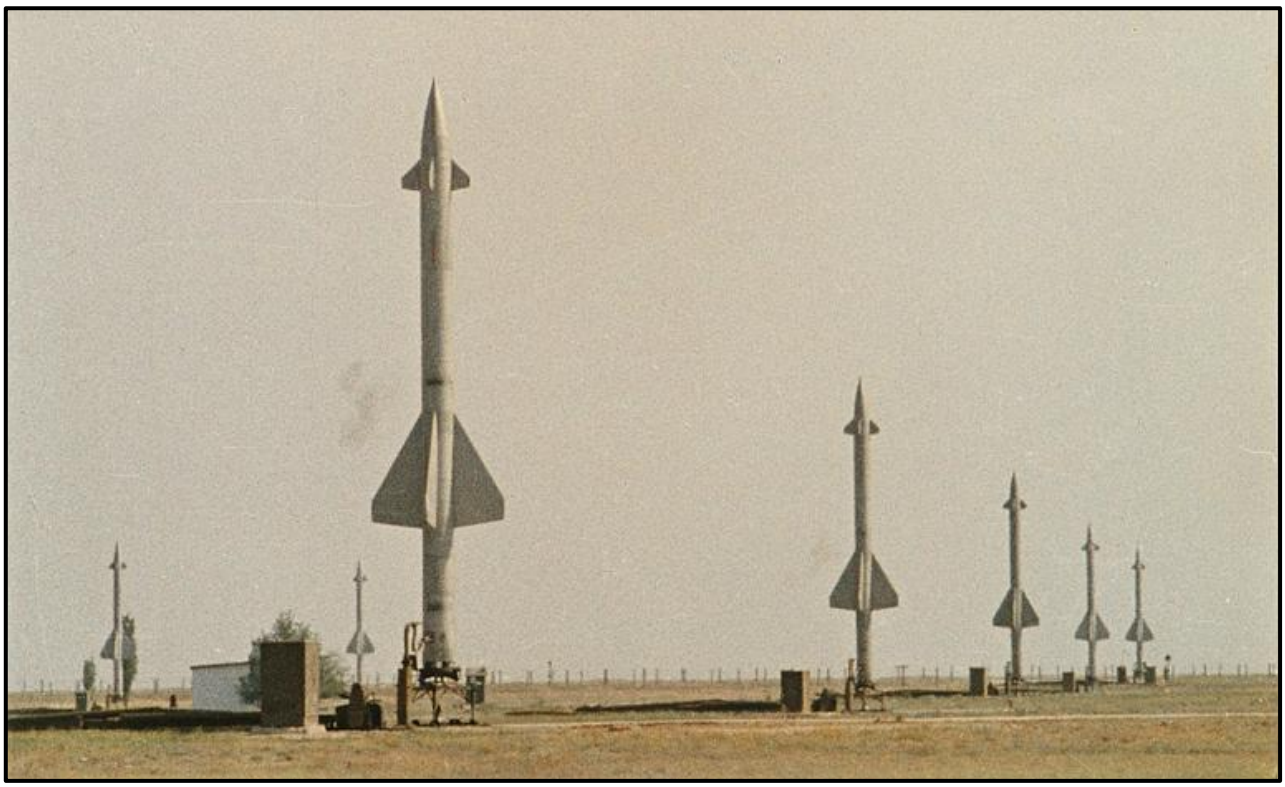
Amikor már a 30 méter magasan repülő a BGM-109 Tomahawk és AGM-86 ALCM manőverező robotrepülőgépek jelentették a fenyegetést és nem a gravitációs bombával támadó B-52-es gépek, akkor az Sz-25 végképp korszerűtlenné vált. A 30-60 méter magasan közeledő fegyverek ellen egyszerűen tehetetlen volt, még az akkor már elavultnak számító AGM-28 Hound Dog kismagasságú repülési profilja esetén sem tudott a Berkut azokra rakétát rávezetni. Nagy magasságú céloknál kb. 1100 m/s célsebességig volt megfelelő a rendszer, tehát a nagy magasságban érkező AGM-28 ellen még hatásos lett volna, de azt a ’70-es évek végén az USA kivonta a hadrendből.

A maga korában az Moszkva köré telepített rendszer félelmetes képességekkel bírt, hiszen párhuzamosan 20 db célra tudott rakétát rávezetni egy ezred, de ennek igen komoly ára volt. Nyilvánvalóvá vált, hogy a Szovjetunió nem engedhette meg magának azt, hogy még csak a legfontosabb városai köré is kiépítsen ennyire drága légvédelmi rendszert, ami nem feltétlen volt indokolt. A jövőbeli légvédelmi rakéta-rendszereket egyszerűsíteni kellett, hogy rugalmasabban és olcsóbban lehessen telepíteni azokat. Ebből az elhatározásból született meg a lényegesen szerényebb egy célcsatornás képességekkel bíró SzA-75 Dvina (SA-2) és az Sz-75 Volhov. Ezt a két rendszert és leszármazottait széleskörűen használták a hidegháború kisebb-nagyobb helyi konfliktusai alatt.

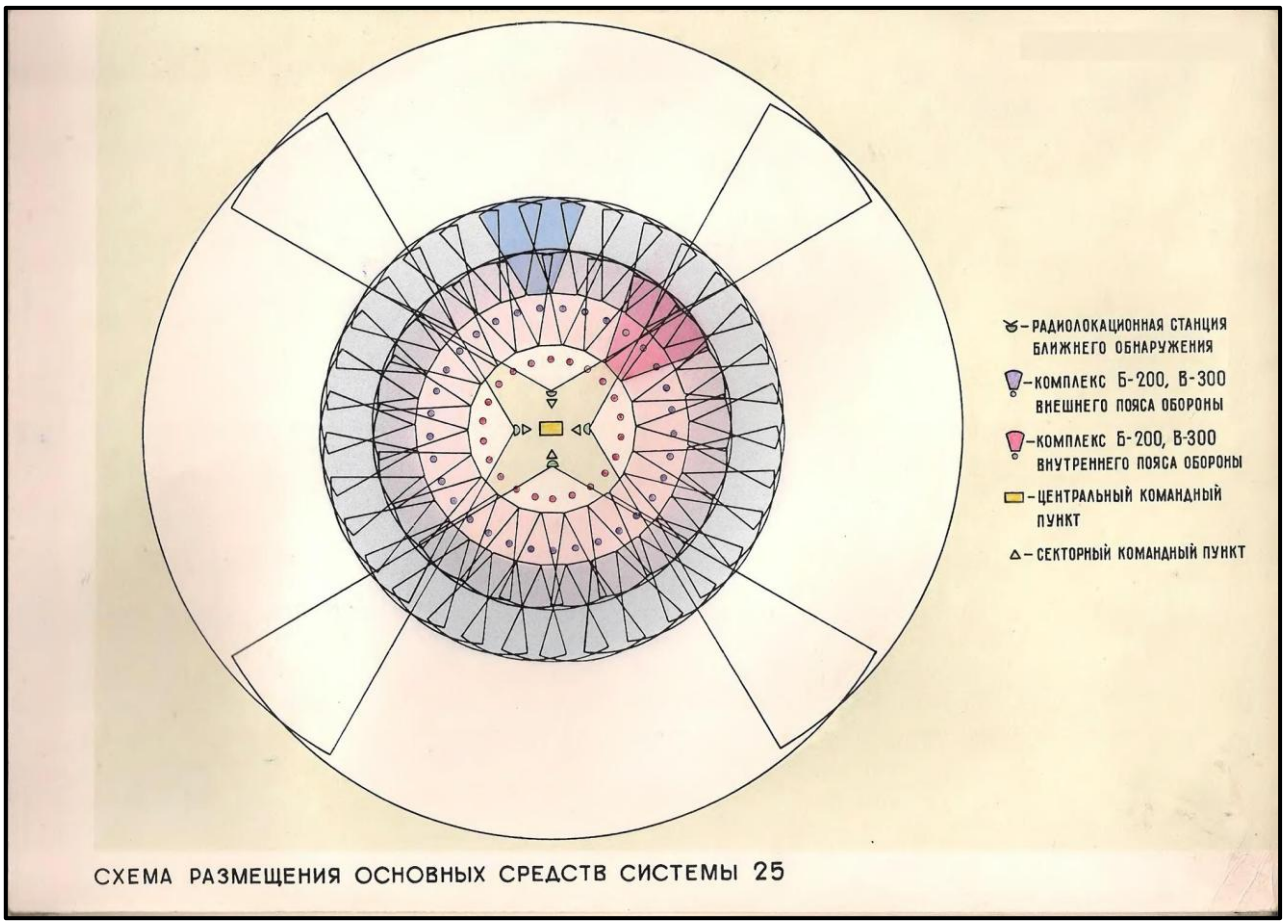
(A mellékletek között egy részletesebb angol nyelvű írás érthető el a Berkutról, a leírást Hpasp készítette.)



Egy Sz-25 ezred tüzelőállása.



Rakéták tűzkész állásban indítás előtt.



A rakétás osztályok tűzívei és a radarok felderítési zónái.

6.2.1.2.2. Sz-75 Volhov/SzA-75 Dvina (SA-2 Guideline) légvédelmi rakétarendszer[447]

1953-ban az Sz-25 Berkut légvédelmi rakéta-rendszer sikeres Moszkva körüli telepítését követően a Szovjetunió Minisztertanácsa döntött a további fejlesztések irányáról. A fix telepítésű, többcsatornás Sz-25 vállalhatatlanul magas telepítési költségei miatt (~13 milliárd Rubel) két új komplexum fejlesztését határozták el. Leningrádot[448] – a második legfontosabb szovjet várost – a szintén fix telepítésű, többcsatornás Dál (SA-5 Griffon) rendszerrel, míg az összes többi város védelmét egy olcsóbb (kb. 11 millió Rubel osztályonként), vontatott, egycsatornás Sz-75 (SA-2 Guideline) komplexum családdal tervezték megoldani.

A Lavocskin által vezetett OKB-301 iroda kapta a fix telepítésű, többcsatornás Dál „Leningrád" rendszer fejlesztését, míg a nehezebbnek tűnő feladatot, a vontatott, olcsó és egycsatornás komplexum tervezését az Sz-25M Berkutot megalkotó, Raszpeltyin (jobbra fent) által vezetett KB-1 tervezőiroda nyerte el. A kiírás szerint, az új „75-ös" rendszer, 6 cm hullámhosszon üzemelve, 29 km hatótávolsággal, és 20 km hatómagassággal kellett hogy rendelkezzen. (A Dál rendszert végül soha nem állították hadrendbe a tapasztalt műszaki kihívások illetve annak költségei miatt, de viszonylag magas fokú kiépítettséget ért el, több fő eleme, illetve az osztályok települési helyei is részben elkészültek.)

Amikor nyilvánvaló vált, hogy az új 6 cm-es hullámhosszon üzemelő alkatrészek fejlesztése a tervezett időre nem lehetséges, ami az egész rendszer kifejlesztésének határidejének csúszásához vezet, akkor vészmegoldásként, párhuzamosan elkezdték fejleszteni az Sz-25 Berkut alkatrész-készletére alapuló 10 cm hullámhosszon üzemelő „75-ös" rendszer másik változatát. Ennek eredménye az lett, hogy mindkét változatot rendszeresítette a Szovjetunió és a Varsó Szerződés tagállamai sőt, évtizedekig szolgált mindkét változata párhuzamosan a VSz és szovjetbarát országokban. A 10 cm hullámhosszon üzemelő változat lett az SzA-75 Dvina, a 6 cm hullámhosszon üzemelő az Sz-75 Volhov család.

Az SzA-75 Dvina és az evolúció másik ágán levő tovább élő és fejlettebb Sz-75M Volhov különféle változatai a világ legelgerjedettebb közepes hatótávolságú légvédelmi rakéta-rendszerei voltak a hidegháború alatt. A Szovjetunión kívül a teljes Varsói Szerződés és lényegében az összes szovjetbarát ország rendszeresítette ezek valamelyik változatát, majd évtizedekig hadrendben is tartották azokat. (Az egyes szovjet légvédelmi rakéta-rendszerek exportjáról a mellékletek között található lista.) A Szovjetunióban és a VSz-ben használt változatok eltértek az 3. világbeli országok változataitól, azok kisebb-nagyobb mértékben degradált export változatok voltak.

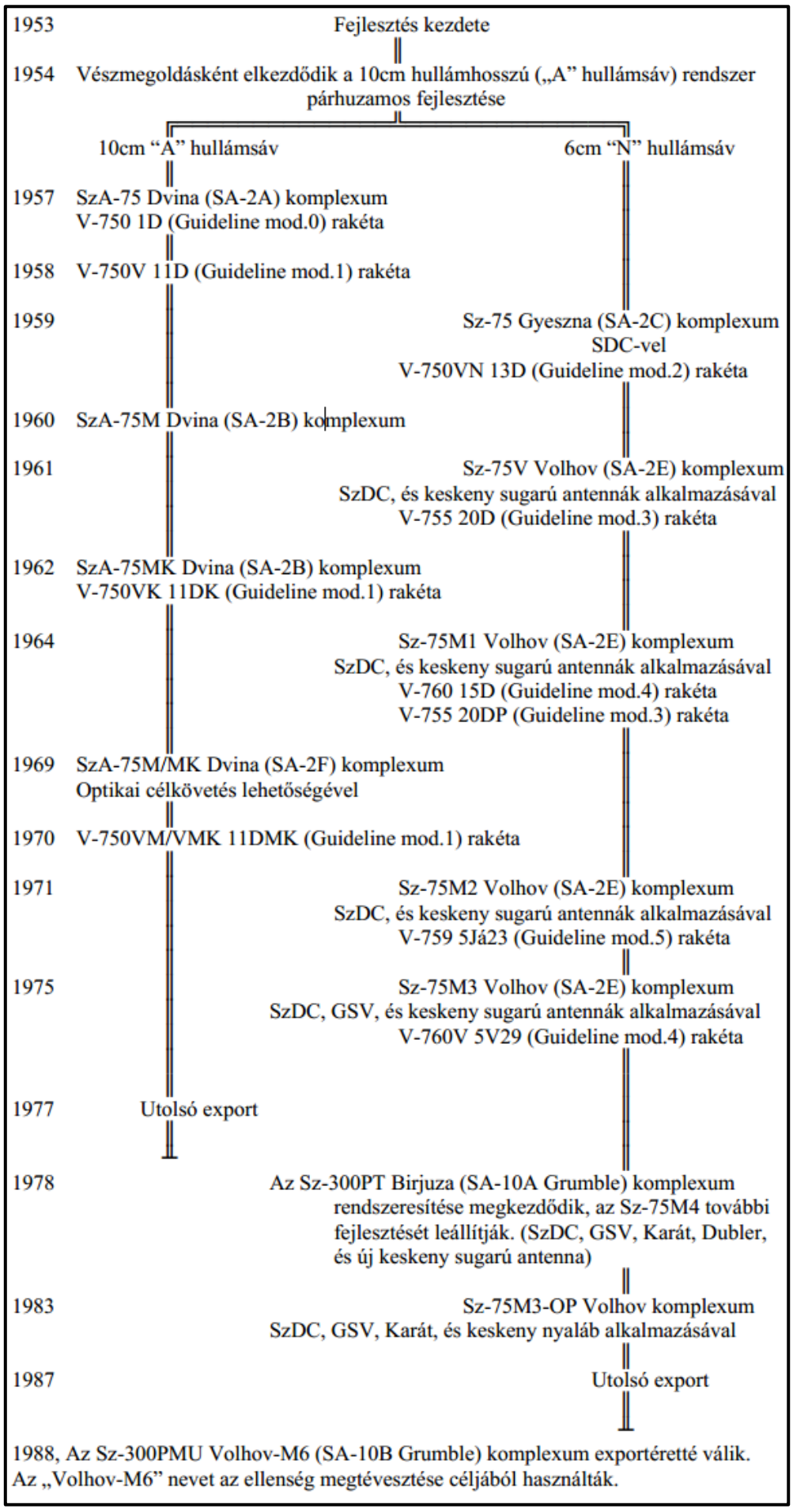
Az SzA-75 és Sz-75 rendszerek érdekessége, hogy a rávezető állomás antennája egy amerikai, nevezetesen a Lewis scanner megoldáson alapult, amit az USA soha nem használt fel. Az SzA-75 azért 10 cm-es technikát használt, mert a II. világháború idején az USA-tól kapott SCR-584 tűzvezető radar ezen a hullámhosszon dolgozott. Ebből kiindulva kezdődött a szovjet rádióelektronikai fejlesztés a légvédelmi rakéta-rendszerekhez, az Sz-25 Berkut is ezen alapult. Az SzA-75 az Sz-25-höz kifejlesztett technikát hasznosított részben.

Az SCR-584 szovjet másolata a SzON-9 radar volt, amit még a '80-as években is használtak az Sz-60 légvédelmi ágyús alakulatok a VSz illetve a szovjetbarát országokban is.

---

[447] *A fejezet egyes részei az Sz-75M3 Volhov (NATO kód: SA-2E Guideline) Közepes Hatótávolságú Honi Légvédelmi Rakétarendszer Szimulátor leírásából származik, az Sz-125, és Sz-200 egyes részei is https://goo.gl/Sth5r3. http://infowsparcie.net/wria/o_autorze/wsp37dr_s75wolchow.html*

[448] *Ma Szentpétervár.*



Az SzA-75 Dvina és Sz-75 Volhov család evolúciója.

A Dvina és Volhov rendszerek főbb elemei változtak a továbbfejlesztések során. A módosítások főként a rávezető állomás kinézetén, illetve a kabinok számának változásán keresztül követhetőek nyomon, de a rakéták sem voltak teljesen azonosak külsőre sem, nemhogy a képességeik terén. Tucatnyi különféle alváltozatot fejlesztettek ki az idők során a rakétákból. A komplexumok rakétáinak főbb paraméterei a következőek voltak:

típusváltozat	*kabinok*	*rakéta*	*hatótáv*	*magasság*	*célsebesség*
			km	*km*	*km/h (m/s)*
SzA-75 Dvina (SA-2A)	PA– rakéta rávezető állomás U – harcvezetési kabin I – Indikátor kabin K3 – műszer kabin K6 – energia átalakító és elosztó kabin	V-750 1D V-750V 11D	5-30 5-34	3-20 3-27	1500/420 1500/420
SzA-75M Dvina SzA-75MK Dvina (SA-2B)	PA– rakéta rávezető állomás UA – harcvezetési kabin AA – műszer kabin	V-750V 11D V-750VK 11DK	5-34	3-27	1900/520
Sz-75 Gyeszna (SA-2C)	P– rakéta rávezető állomás U – harcvezetési kabin A – műszer kabin	V-750VN V-755 20D	5-34 7-43	0,5-24 0,3-30	1900/520
Sz-75V Volhov Sz-75M1 Volhov Sz-75M2 Volhov Sz-75M3 Volhov (SA-2E)	PV– rakéta rávezető állomás UV – harcvezetési kabin AV – műszer kabin	V-755 20D **V-760 15D** V-755U 20DSU[A] V-759 5Já23[B] **V-760V 5V29[B]**	7-43 **7-43** 7-43/56* 7-43/56* **7-43**	0,3-30 **?-30** 0,1-30 0,1-30 **0,1-30**	2300/640 **3600/1000** 3600/1000 3600/1000 **3600/1000**
Sz-75M Dvina (SA-2F)	Ugyanaz, mint Sz-75M (SA-2B)	V-750VM 11DM V-750VMK 11DMK és korábbi rakéta változatok	5-34	0,1-30	3600/1000

A rakéta változatoknál a legjobb képességet biztosítók szerepelnek az adott komplexumhoz. A kisebb eltéréseket jelentő változatokat lásd a mellékletekben, a SAMsim kézikönyvekben. A fenti értékek nem manőverező, elektronikus zavarást nem végző, 0 km távolság paraméterrel közeledő célpont 97~99% valószínűségű megsemmisítésére igazak.

**** Hangsebesség feletti célok ellen passzív szakaszban, egyébként 43 km. A hatótáv ferde lőtávolságban értendő minden esetben, nem földre vetített távolságban.***

A – maximum 6,5G túlterhelés

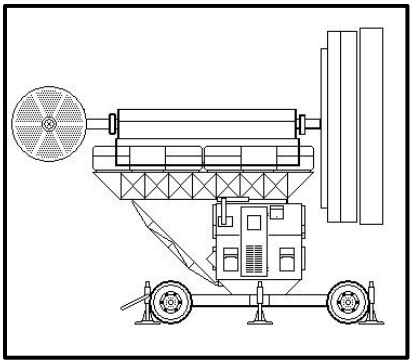
B – maximum 9G túlterhelés

A pirossal jelölt nukleáris harci résszel rendelkező rakéta, 15kt hatóerővel.

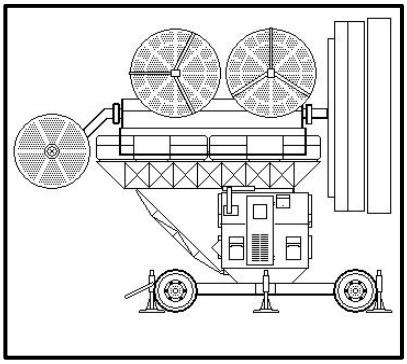
Az fenti táblázatban felsorolt változatokhoz a következő oldalon látható rávezető állomások – ez valójában a tűzvezető radar és az alatta levő munkaállomás együttesének megnevezése – voltak használatosak. Az első generációs Dvinához képest a Volhov rávezető állomásán két további parabola antenna, illetve a Karát elektro-optikai – ez valójában egy televíziós rendszert takart – célkövető rendszer jelent meg. Hasonló, de primitívebb optikai célkövető-rendszer már az SzA-75M/MK esetén is elérhető volt, a jellegzetes formája miatt ezeket hívták „kutyaólas” Dvinának. (Piros nyíllal vannak jelölve az optikai célkövető rendszer elemei a következő oldali ábrákon.) Ezen plusz elemek (is) biztosították a plusz képességeket a rendszer számára a továbbfejlesztések során, ahogy a rakétákon és az elektronikai rendszeren végrehajtott kisebb-nagyobb fejlesztések.

A Dvina és Volhov alapvető korlátja maradt mindvégig, hogy csak egy célcsatornásak voltak, egyszerre csak egy célpontra tudtak rakétát rávezetni, bár egy célpontra akár 3 darab rakétát is. Bár első látásra nem

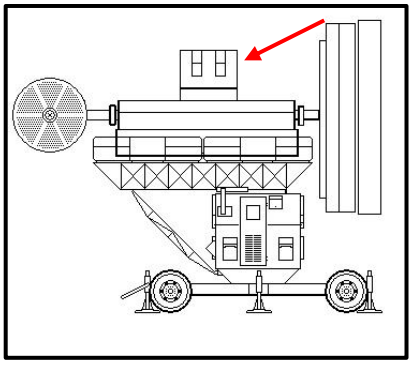
úgy tűnet, hogy egy célra nincs értelme több rakétát rávezetni, de adott esetben erre szükség lehet, mert a célpont kitérő manővereit megnehezíti, amennyiben megfelelő időközönként indítják a rakétákat. (Lásd a repülőgépek repülési teljesítményének bemutatásánál később.)



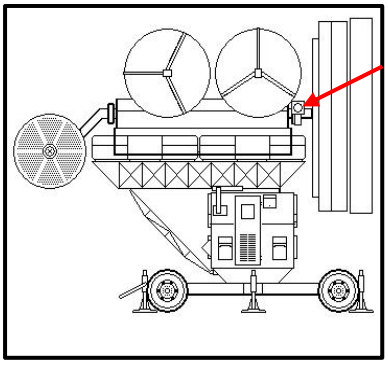
SzA-75 Dvina, SzA-75M/MK Dvina, Sz-75 Gyeszna (SA-2A, SA-2B, SA-2C)



Sz-75V/M1/M2 Volhov (SA-2E)



SzA-75M/MK Dvina (SA-2F)

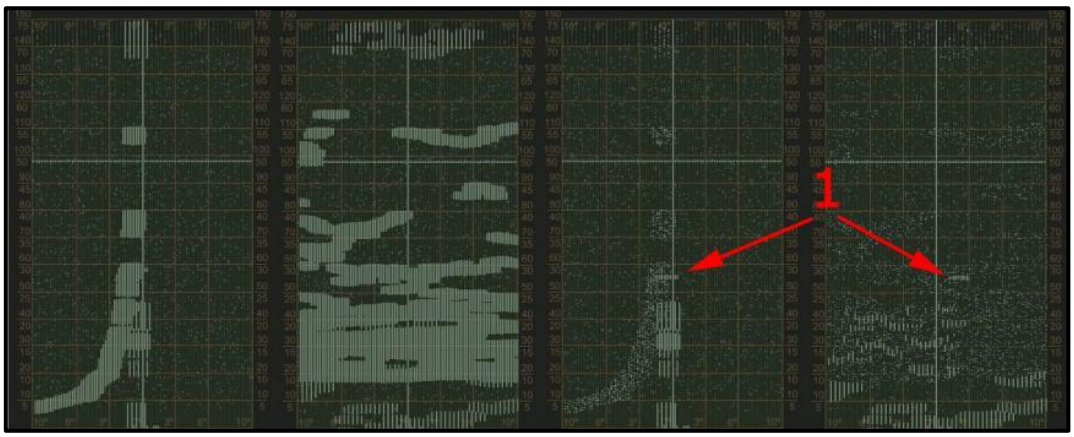


Sz-75M3-OP Volhov (SA-2E)

A teljesség igénye nélkül az idők során végrehajtott fejlesztések a különféle változatok esetén:

Amikor CIA megkezdte rendszeres felderítő repüléseit a Szovjetunió fölött U-2 kémrepülőgéppel, azok ellen nem létezett még hatásos légvédelmi rendszer. Az U-2 repülőgépek néhány ezer méterrel magasabban repültek a V-750 1D rakéta maximális hatómagasságánál és a vadászgépek sem voltak képesek elérni az U-2 magasságát statikus repülésben, a cél tehát adott volt. A korábbi rakéta második fokozatának tolóerejének megnövelésével az új V-750V 11D (Guideline mod.1) rakéta hatómagassága 1958-ban 27 km-re nőtt. A fejlesztésnek volt köszönhető az U-2 sikeres lelövése 1960 május elsején. Az U-2-est egy Sz-75 Gyeszna (SA-2C) komplexum V-750VN 13D (Guideline mod.2) rakétával semmisítette meg Szverdlovszktól délre. Szintén a Gyeszna változatnál vezették be a mozgócél kiválasztó berendezést (SzDC), ami lehetővé tette kismagasságú célok elfogását a földháttérben is.

A vietnámi háború alatt a Szovjetunió vezetése nem engedélyezte a korszerűbb Sz-75M Volhov (SA-2E) és Sz-125M Nyeva (SA-3B) komplexum exportját a háborús zónába. A vietnámi kikötők amerikai elaknásítása miatt csak vasúton, Kínán keresztül lehetett utánpótlást küldeni a Szovjetunióból, ami azzal a veszéllyel járt, hogy a szállítás közben „véletlenül” a kínaiak kezébe kerülhetett volna a korszerűbb Volhov. Ezért 1969-től egy korszerűsítési csomagot exportáltak, ami belső fejlesztések mellett, az optikai célkövetés lehetőségét is megteremtette az antennára szerelt „kutyaólba” telepített optikai célkövető rendszerrel. Idővel az összes korábban exportált „három kabinos” SzA-75M Dvina (SA-2B) komplexum átesett a modernizáción, így azok alkalmazhatták a V-750VM / VMK 11DM / DMK (Guideline mod.1) rakétát is.

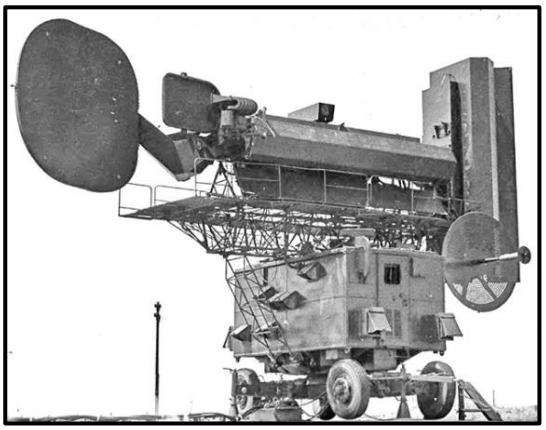


Bal oldalon a két indikátoron(helyszög, oldalszög) láthatóak zavarjelek a fölről visszaverődve. A jobb oldalon az SzDC szűrés alkalmazva. A földről visszaverődő zavarjelek nem teljesen tűnnek el, de annyira igen, hogy a céljelek láthatóvá válnak, még ha esetleg az automatikus célkövetés nem lehetséges.
(SAM simulator programmal készültek a képek.)

1964-től rendszeresítették a Sz-75M1 Volhov változatot, a nagyobb bombázó kötelékek ellen alkalmazandó nukleáris 15 kt hatóerejű robbanófejjel, a V-760 15D (Guideline mod.4) rakétákkal, továbbá az RD-75 Amazonka távolságmérő lokátorral. Az új lokátor feladata zavarás esetén az eltérő frekvencián történő távolságmérés volt, hogy a nukleáris harci résszel bíró rakéta biztosan a cél közelében robbantható legyen. (Hasonló a koncepció a Nike Hercules eltérő hullámhosszon üzemelő radarjához.)

1971-ben érkezett az Sz-75M2 Volhov változat, ami indíthatta a megnövelt manőverezési képességű V-759 5Já23 rakétát is, ami már maximálisan 9G túlterhelésű manőverre volt képes a korábbi rakéták 6,5G maximális értékéhez képest.

1975-től rendszeresítették az Sz-75M3 Volhov változatot, ami alkalmazta a szögben elvivő zavart kiszűrő áramkört (GSV) – a GSV és SzDC üzemmód együtt nem volt használható – , továbbá a korszerűsített V-760V 5V29 (Guideline mod.4) nukleáris töltetű rakétát, ami a V-759 típuson alapult. A korábbi 20D/15D/5Já23 rakéták szintén alkalmazhatók voltak.

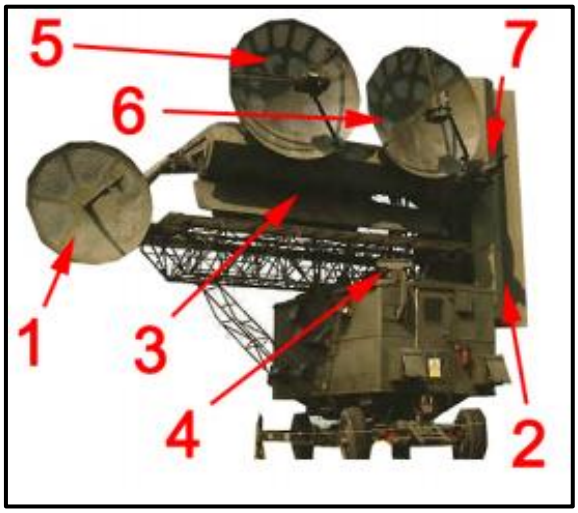


1978 novemberében már zajlott a következő Volhov változat tesztelése, ez lett volna az Sz-75M4. itt debütált a 9S33A „Karát” optikai célkövető kamera, az új keskenysugarú antenna, ami kismagasságú és kis radarkeresztmetszetű célok elfogását tette lehetővé, továbbá a “Dubler” berendezés is, ami a rádiólokátor elleni rakéták megtévesztésére szolgált. (A Dubler-t a legfejlettebb Volhov sem kapta meg, így az még a VSz országokban sem volt használatos, nemhogy a .harmadik világ szovjetbarát országaiban.)

Az M4 változat fejlesztésével párhuzamosan 1978-ban sikeresen megtörtént az első Sz-300PT Birjúza (SA-10A Grumble) osztály telepítése Moszkva mellett, ezért azonnali hatállyal minden további munkát leállítottak az Sz-75M4 Volhov komplexumon. Az addig sikeresen leteszteltújdonságokat később az időszakos nagyjavítások elvégzése alatt elérhetővé tették a régebbi Volhov változatok számára. Hasonló sorsra jutott az akkor még csak papíron létező M5 változat is, amely már az Sz-300 V-500RD rakétáját is indíthatta volna, illetve az NVO kismagasságú (Clam Shell) lokátort is használhatta volna az osztály.

Sz-75M3-OP Volhov komplexum (SA-2E), 1983-ban jelent meg. Az Sz-75M4 Volhov komplexumon sikeresen letesztelt 9S33A "Karát" optikai célkövető kamera modernizációs csomag keretében lett integrálva. A Volhov számára kifejlesztett újdonságok az 5 évenkénti javításkor bekerültek a régebbi komplexumokba is, így elvileg a '80-as évek végére az összes Volhov az Sz-75M3-OP konfiguráció szerinti volt.

A rendszer képességeinek bemutatása a legfejlettebb Volhov változaton keresztül történik hivatkozva a Dvina korlátaira és eltéréseire. A család képességeinek bemutatásához első lépésben a rávezető állomás fő elemeinek ismerete szükséges:



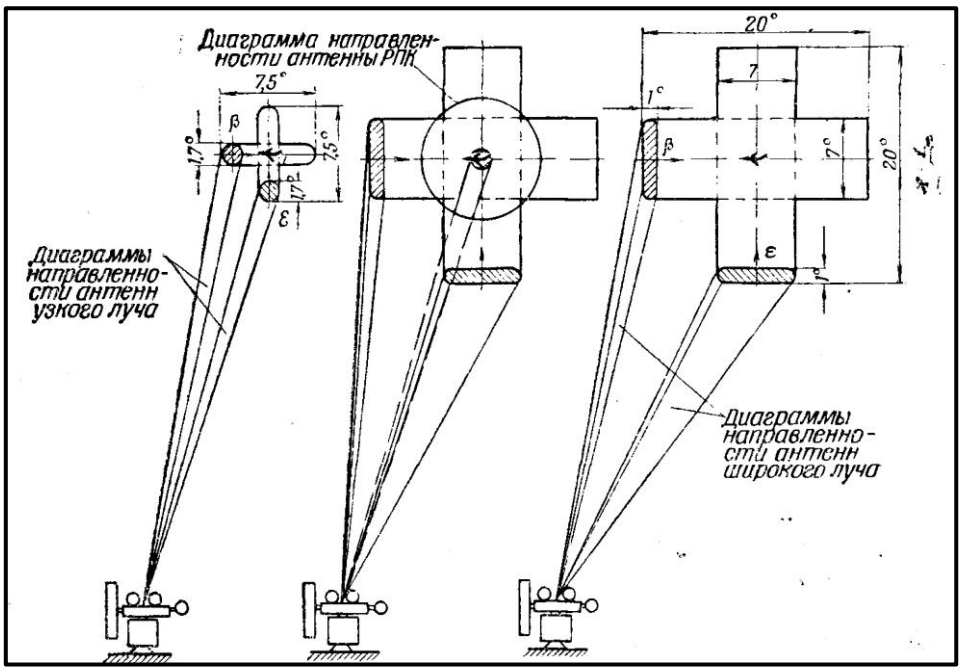
1. P-16 dm-es hullámhosszú rádió-parancsközlő antenna a rakéták távirányítására.
2. P-12V 6 cm-es hullámhosszú, széles sugarú, helyszög (ε - epszilon) antenna.
3. P-11V 6 cm-es hullámhosszú, széles sugarú, oldalszög (β - béta) antenna.
4. Oldalszög ekvivalens műantenna. A helyszög műantennája a kabin túloldalán van.
5. P-14V 6 cm-es hullámhosszú, keskeny sugarú, helyszög (ε - epszilon) antenna.
6. P-13V 6 cm-es hullámhosszú, keskeny sugarú, oldalszög (β - béta) antenna.
7. 9Sh33A Karát kamera. (optikai csatorna)

A fenti antennák közül az 5 és 6 jelű parabola antennák nem voltak megtalálhatóak a Dvina rávezető állomásán, továbbá a Karát kamera helyett csak egy primitívebb optikai rendszer volt, a „kutyaól" lásd később. A Dvinán a 2 és 3 jelű antennák nevei PA-12 és PA-11 voltak.

A rendszer célkeresési és célkövetési módszerei a következőek:

1. Széles sugár (SL) üzemmódban (következő oldali ábrán jobboldalon), helyszög és oldalszög szerint a P-12V és P11V antennák kereszt alakban legyeztek, 1x7 illetve 7x1 fokos nyalábbal ± 10 fokban. A metszet területén belül kellett lennie a célpontnak és a rakétának is. Dvina számára ez az egyetlen módszer, de annak nyalábjai 2x10 és 10x2 fokosak voltak. (Azonos teljesítmény esetén ez kisebb észlelési távolságot jelent.)
2. Keskeny sugár (UL) üzemmód (ábrán baloldalon). A P-14V és P13V antennákkal legyezés, 1,7 fokos nyílású nyalábbal ± 3,75 fokban. Ez csak a Volhov változatok számára volt lehetséges, az ehhez szükséges két új parabola antenna miatt. A szűk tűnyaláb használata azonos teljesítménnyel 40%-al növelte a célfelderítési távolságot.
3. Alávilágítás üzemmód (P) (angol rövidítéssel LORO)[449] (ábrán középen). A P-14V és P-13V antennák világítják meg a célt, de a P-12V és a P-11V antennák veszik a visszavert jeleket a célpontról, illetve a rakéta hátsó részébe épített adóról. A rádió-parancsközlő (RPK) antenna kommunikált a rakétával, az antenna kb. 20 fokos nyílású nyalábbal sugároz ki. Az 1. pontban megfogalmazott nyalábok metszetéknek területén belül kell lennie a rakétának.

[449] *Lobe-On-Receive-Only*



Sz-75M Volhov célpont megvilágítási módszerek balról jobbra, keskenysugár, alávilágítás, széles sugár. [450]

A vezérlés rádió-parancsközlő elven működik, a rendszer nyomon követi a rakétát és a célpontot is, ami komoly korlátozó tényező a rendszer kialakítását nézve. Az előző oldali ábrán látható, hogy a széles sugár üzemmódban a két nyaláb csak egy 7x7 fokos (10x10 fok a Dvinánál) térrészben metszi át egymást, vagyis csak ebben a térrészben tud a rendszer a célpontokról oldalszög és helyszög adatot adni. Tehát, ha csak az egyik nyaláb söpört át a célon, akkor a kabinban a két szögnek megfelelő kijelzőn (indikátoron) csak az egyiken jelent meg a céljel. Oldalszögben tehát ± 10 fokban is láthatta a közeledő célokat, de akkor nem tudta megadni az helyszöget, mert a metszet területe csak ± 3,5 fok (± 5 fok Dvinánál).

A fentiek következménye, hogy mind a széles sugárban történő célkövetésnél, mind a LORO esetén a vevő antennák 7x7 fokos (Dvina esetén 10x10 fokos) átfedő részébe kellett esnie a rakétának és a célpontnak is, hogy az ütközési pálya számolható legyen. Ezért nem rendelkezett a rendszer ballisztikus rakéta elhárító képességgel, mert az esetek többségében olyan mértékű előretartás szükséges a nagy sebességű rakéták ellen, hogy az antenna-rendszer képtelen lett volna követni egyszerre a bejövő célpontot és a rá indított rakétát is. Természetesen rávezető állomás egész antenna-rendszere körbeforgatható, illetve dönthető fel-le irányban a célkövetés igényeinek megfelelően.

Az alávilágítás üzemmód (LORO) számtalan előnnyel járt a széles sugárral történő kereséshez képest:

- Nagyobb távolságról lehetséges volt a célfelderítés, MiG-21 méretű, zavarást nem végző cél esetén kb. 130 km-ről a széles nyalábú keresés kb. 70 km-es értékével szemben. Az adó ugyanaz volt, mint a széles sugarú keresésnél, csak sokkal keskenyebb nyalábban sugározta ki a teljesítményt, tehát nagyobb a jelerősség egy kisebb térrészben. Zajzavarás esetén hamarabb elnyomhatta a zavarást a rendszer, ilyenkor megjelent a céljel az indikátoron a zavarási sávban.
- Mivel a célt megvilágító nyaláb csak 1,7 fok széles volt, ezért a megcélzott repülőgépet leszámítva a besugárzásjelző nem jelzett a többi gépen csak szoros kötelék esetén. (Ezek harcászatilag többnyire jelentéktelen esetek, 30 km távolságban oldalirányban egymáshoz kb. 500 méternél közelebbi gépek estek csak bele a nyalábba.)

[450] http://historykpvo.narod2.ru/ *- Зенитный ракетный комплекс С-75М.Учебное пособие - 18. oldal*

- Az AGM-45 Shrike rakéta nem volt képes a radarnyalábok oldalszirmai alapján a célpontra vezérelni magát, az AGM-88 hadrendbe állítása előtt lényegében csak az a repülőgép tudott radar elleni rakétát indítani, amire a Volhov vezetett rá rakétát, amennyiben az a LORO üzemmóddal tette ezt. Amennyiben a légvédelmi rendszer üzemeltetői képesek gyakorlat / tippelés alapján meghatározni a kötelékek formációjából,. hogy melyik gép a valószínű hordozó, akkor ezzel csökkentették ezzel a sikeres alkalmazását az AGM-45-nek.

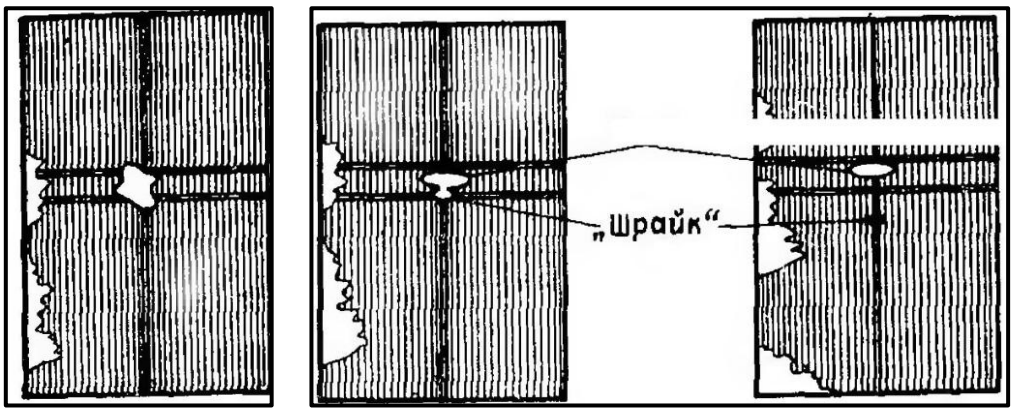
  A széles sugarú keresés és célravezetés esetén sokkal szélesebb szögtartományban legyezett (sugárzott ki) a rendszer, tehát nem csak a megcélzott gép, de a közelében levő többi besugárzásjelzője is jelzett ami alapján támadható volt a Dvina/Volhov AGM-45-tel vagy ahhoz hasonló képességű rakétával. (30 km-es távolságban, a megtámadott géphez képest néhány km-es oldalirányban akár 4-5 km is lehetett ez.)

- A LORO a szögben elvivő zavarás ellen is hatásos volt, mert az antennával történő legyezésről nem lehetett információt szerezni, hiszen csak vételben legyezett a rendszer adáskor nem, így az oldalszirmokba beadott hibajel módszere nem működött, hiszen a zavaró rendszer nem tudta, hogy azt mikor hajtsa végre.

A nagyobb felderítési távolság nagysebességű célpont esetén fontos – pl. egy AGM-28 rakéta ellen, ami kb. 700 m/s sebességgel is haladhat 17 km magasságban – akkor a rendszer maximális megsemmisítési távolságát csak akkor lehet kihasználni, ha már nagy távolságból lehetséges a célkövetés. A későbbiekben bemutatásra kerülő megsemmisítési zóna diagramon látható lesz, hogy a rakéta 43 km távolságig volt rávezethető. Ez nem azt jelenti, hogy akkor indítanak a rakétát, mikor ekkora távolságban van a célpont. Ez az a távolság, ahol a rakéta és a célpont találkozik, tehát a rakéta ennél sokkal korábban indul, nagyobb az osztály és a célpont közötti távolság a rakéta indításkor, mint a maximális megsemmisítési távolság. Emiatt szükséges közeledő célpont ellen már sokkal korábban megkezdeni a célkövetést. Ekkora távolságba a rakéta kb. 50 másodperc repülés után ér el, ezalatt a fenti példában szereplő AGM-28 kétszeres hangsebességű célpont kb. 35 kilométert repül.

Még, ha nem is pontosan a Volhov osztály felé repül a célpont, akkor is lényegesen nagyobb távolságról szükséges követésbe venni a célt, mint a maximális megsemmisítési távolság, mert a rakétaindítási távolság ennél nagyobb. Ezen felül a cél leküzdésének folyamata is időbe telik részben a humán-gép kapcsolat alacsony színvonala miatt. Még gyakorlott személyzet számára is 30-40 másodperces nagyságrendben levő időtartományról beszélünk. Erre rakódnak rá a rendszer műszaki korlátai, rakétaindítás előtt pl. a rakéta giroszkópok felpörgetése 30 másodpercet vesz igénybe. Így már érthető, hogy egyes célok esetén miért volt fontos a LORO üzemmód nagyobb hatótávolsága. Az AGM-28 ellen már kb. 80-90 km távolságból meg kellett kezdeni a célpont követését, ha azok tömegesen közeledtek és egy osztállyal egynél több AGM-28-at próbáltak volna megsemmisíteni.

A LORO üzemmódnak azonban hátránya is volt. Vietnámban a harci alkalmazás során azt tapasztalták, hogy a közeledő AGM-45 rakétát látják a radarral, indításkor az indítás utáni pillanatokban „leváló céljelként” látszik a rakéta és később is követhető volt az indikátoron. Széles sugár üzemmódban legalább a követésbe vett célpont környékén látta az operátor a leváló céljelet. Az AGM-45 csak abból a térrészből volt indítható – talán egy kicsit kintebbről is ahol az oldalszirmok kellően erősek voltak még – ahova a rávezető állomás sugárzott. Az AGM-45 ellen ez még nem volt probléma, de mikor a ’80-as években megjelent a HARM, ami sokkal szélesebb aspektusból támadást tett lehetővé, ott ezt már nagyon is figyelembe kellett venni a LORO korlátait.



AGM-45 Shrike (leváló céljel) így néz ki az indítás pillanatában és a rakéta távolodásakor az indikátoron.[451]

A Dvina vietnámi használata során rájöttek, hogy az amerikai gépek külön-külön képesek érzékelni a rávezető állomás felől érkező a célpontot legyező radar kisugárzást, illetve a rakéta felé küldött rádió-parancsközlő (RPK) jeleket. Amikor RPK jelet észleltek, akkor tudták, hogy rakétaindítás történt. (Az RPK antenna kb. 20 fokos kúpszöggel sugárzott ki.)

Ezt kihasználva a kezelők azt találták ki, hogy rakétaindítás nélkül is sugároztak ki az RPK-val, ami többször az eredményezte, hogy a csapásmérő bevetésen levő amerikai repülőgépek vészleoldással szabadultak meg a bombatehertől, hogy jobban tudjanak manőverezni abban a hitben, hogy rakéta indítása történt. Ezzel az olcsó trükkel még ha nem is lőtték le a célpontot, de a csapásmérést számtalan esetben megakadályozták rakéta felhasználása nélkül is.

Ez a módszer annyira megtetszett a szovjeteknek, hogy a Volhov változatnál ezt tevékenységet bizonyos üzemmódban automatikussá tették, a Volhov kezelői beavatkozás nélkül is sugározta az RPK jeleket. Ez az AGM-45 Shrike korában szép és jó volt, mert a rendszert oldalszirmokon keresztül nem tudták támadni, azonban az AGM-88 HARM már képes volt erre, akár a komplexum háta mögül is.

Ez viszont oda vezetett, hogy az a megoldás, ami a '70-es évek elején még hasznosnak bizonyult, az a '80-as évek közepén az amerikaiak ellen öngyilkossággá vált, egyenesen bevonzotta a radargyilkos rakétákat anélkül, hogy a Volhov osztály egyetlen rakétát is indított volna. Ez a funkciója megkerülhető volt a rendszernek, de csak fegyelmezett, jól képzett személyzet számára.

Az alávilágítás (LORO) üzemmódot kismagasságú cél ellen nem feltétlen volt ajánlatos használni a rendszer felépítéséből adódó korlátok miatt. (A mellékletek között található angol anyag 15. és 16. oldalán ez ki van kifejtve bővebben, itt nem részletezem.) Tehát az alávilágítás (LORO) módszer minden előnye ellenére nem mindig volt ezzel használható, nem is volt mindig célszerű használni, ekkor maradt a széles sugarú üzem, ahogy a Dvina esetében.

A rakéta célravezetés közbeni pályája a kezdetben kettő, majd a vietnámi tapasztalatok következményeként egy harmadik változata is választhatóvá vált. A célravezetési módszert indítás előtt volt ajánlatos kiválasztani, indítás után bár lehetséges volt megváltoztatni, de a számított találkozás előtt 20 másodperccel már nem volt célszerű, ez esetben a találat valószínűsége csökkent. A következő módok álltak rendelkezésre:

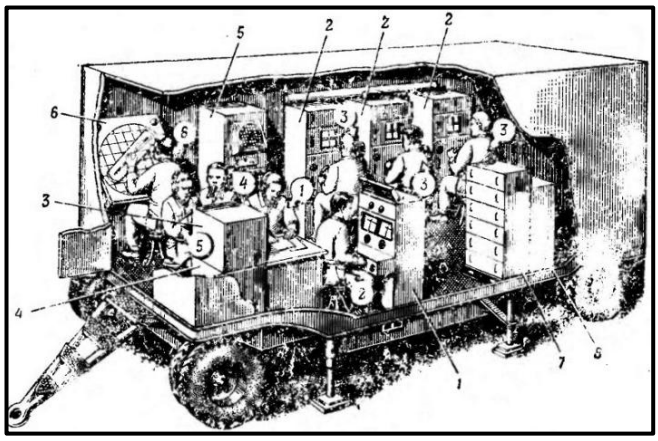
[451] http://historykpvo.narod2.ru/
Боевое применение ЗРВ.(по опыту боевых действий ЗРВ вьетнамской народной армии) - 211.oldal

1. fél-előre tartásos rávezetés (UPR)
2. három pont rávezetés, „kutyagörbe” (T/T)
3. fél-előre tartásos rávezetés, a röppálya "K" konstanssal megemelve (K módszer)

Az első célravezetési mód nem zavaró célokra vagy manuális kézikövetős célkövetés estén volt választható, amennyiben a célról távolság adat állt rendelkezésre, de automatikus célkövetés nem volt lehetséges, például szögkoordináták szerinti eltérítő válaszimpulzus zavarásnál.

A második módszer akkor volt használatos, amikor elektronikai zavarás miatt a célpontról távolság adat már nem állt rendelkezésre. A rakéta rávezetéssel ekkor meg lehetett próbálkozni kézikövetős módszerrel, de manőverező célok vagy többszörösen egymást átfedő zavarási sávok esetén ennek a módszernek a hatékonysága igen alacsony volt, a rakéta kinematikai paraméterei (manőverező képessége) miatt.

A harmadik rávezetési forma az első speciális esete. Az amerikaiak Vietnámban rájöttek, hogy kis és közepes magasságról süllyedő manőverrel a rakéta vezérlő rendszerének relatív egyszerűségét ki lehet használni. A vezérlő rendszer ugyanis mindig egy számolt ütközési pont felé vezeti a rakétát, még akkor is, ha az a földfelszín alá esik. Egy repülőgép, ha kellő ideig képes süllyedni, akkor a gyorsabb rakéta hamarabb a földbe csapódik, mint ahogy a repülőgép eléri azt a pontot, ahonnan már nem lehetséges kivenni a süllyedő manőverből azt. Konstans módszernél a rakéta vízszintesen fél-előretartás módszerrel, függőlegesen egy konstans paraméterrel megemelve kerül célravezetésre



Az UV harcvezetési kabin. Igencsak szűkös. [452]

A második rakéta célravezetési módszerről már korábban szó esett a kézikövetős célkövetési módszernél. A légvédelmi rakéta-rendszer alapja az, hogy a rendszer automatikusan kövesse az operátor által kijelölt céljelet és arra vezesse rá a rakétát. Amennyiben ez nem volt lehetséges, akkor az UV harcvezetési kabin indikátorain megjelenő zavarási sávok, halvány vagy hibás formájú céljelek esetén az operátorok manuálisan, kis kerekek forgatásával állították be, hogy a rakéta milyen oldal- és helyszögben merre repüljön.

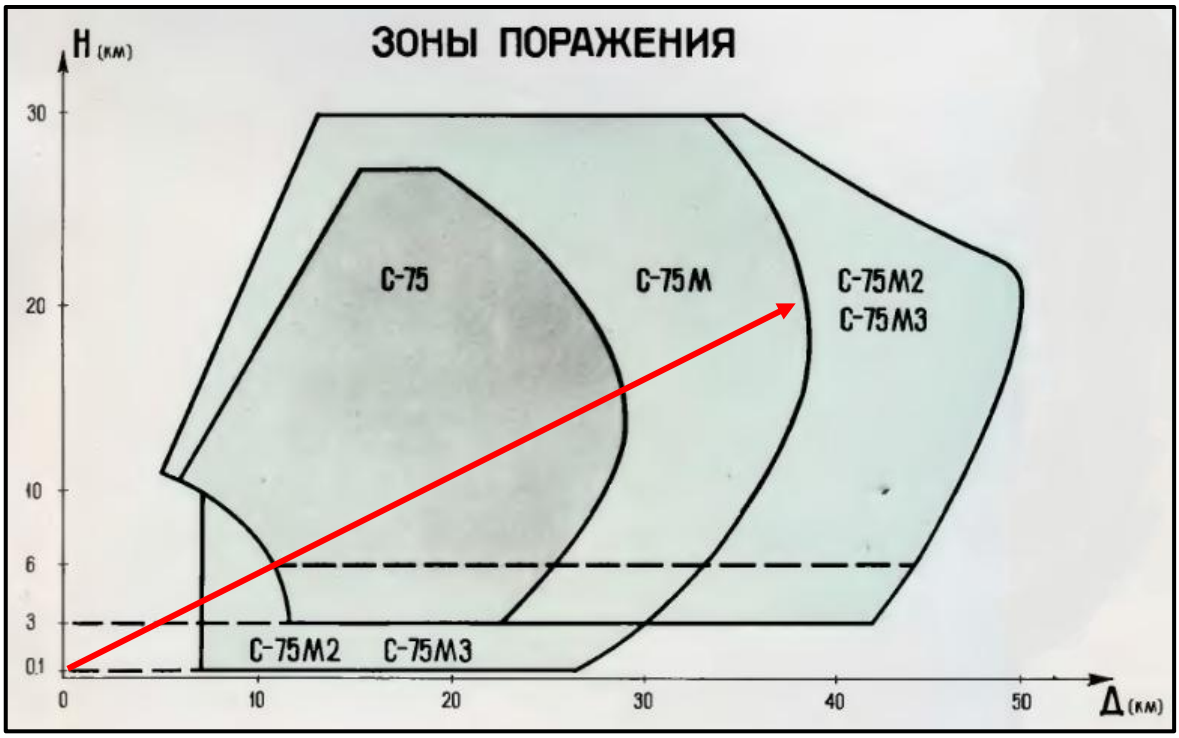
A három pont rávezetést nem csak a zavarás ellenére az indikátoron megjelenő elektronikai még kapott információk alapján lehetett végezni, hanem optikai célkövetéssel is. Volhov esetén ez egy az antennák között lévő kamera használatát jelentette, aminek a képét két kis fekete-fehér tévén (balra) nézték a kézikövetők. Dvina esetén a PA-11 oldalszög antenna feletti „kutyaólban” távcsővel követte két operátor oldalszögben és helyszögben a célt vezérlő kerekek forgatásával, amik elektromosan össze voltak közte az UA kabin

[452] http://historykpvo.narod2.ru/ - *Зенитный ракетный комплекс С-75М.Учебное пособие - 11. oldal*

kézikövető kerekeivel. Vagyis, ha kutyaólban tekerték a kerekeket, akkor a kézikövető rendszer kerekek forogtak az UA kabinban is.

A „kutyaól" munkaállomás a Dvina rávezető állomás tetején.

A vezérlési és rávezetési módszerek alapvető képességei, továbbá korlátozásai bemutatásra kerültek, ideje szót ejteni a rendszer hatásos megsemmisítési zónájáról (továbbiakban HMZ), illetve annak korlátairól. A rendszer 0 km távolság paraméterrel nem manőverező, szubszonikus célpontra vonatkozó készült diagramja lent látható.

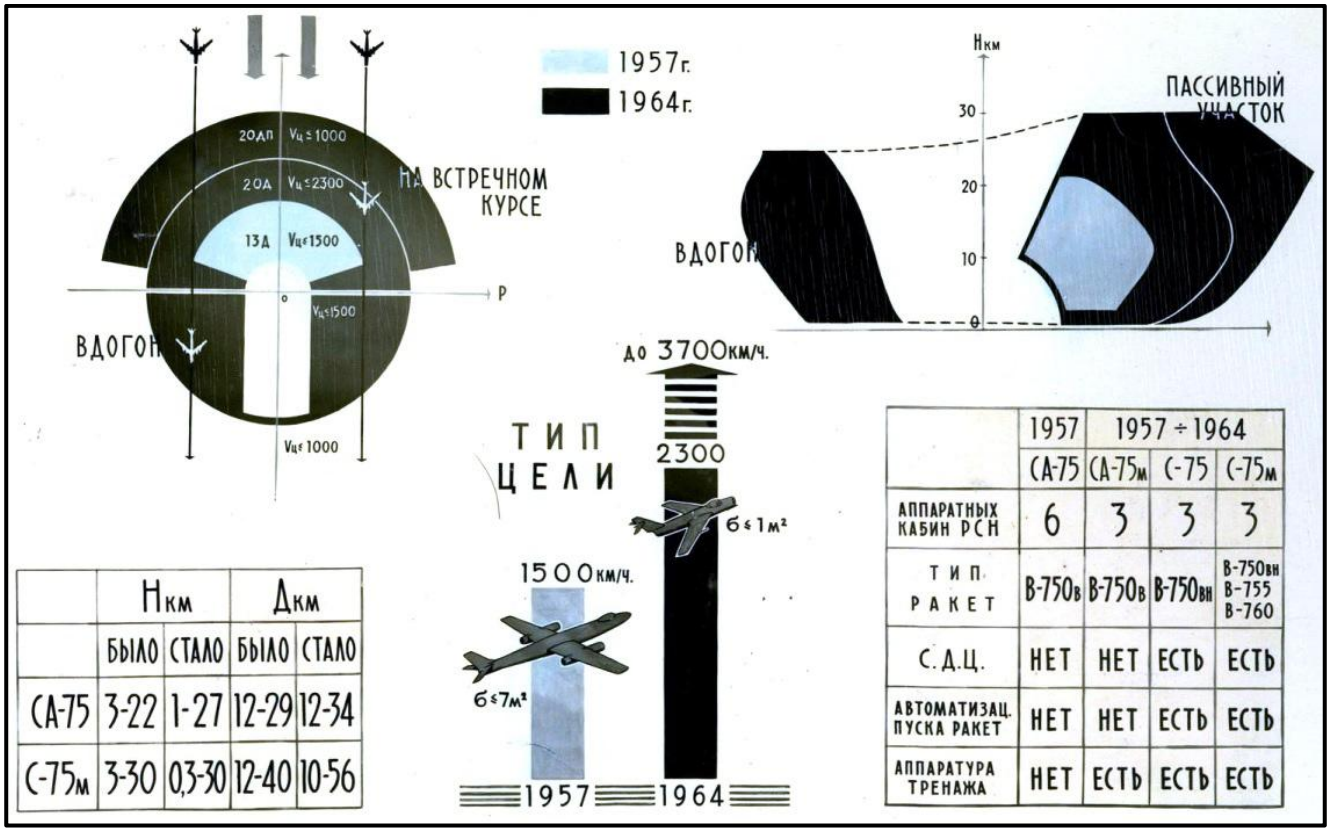


Az Sz-75 rendszer hatásos megsemmisítési zónája 0 paraméter mellett, nem manőverező, zavarást nem végző célok ellen különféle rakétákkal. (Adott változathoz adott rakéta volt.) [453]

A fenti ábrán piros nyíllal a 43 km-es ferde lőtávolság van jelölve. A HMZ legkülső része a szubszonikus célok elleni passzív tartományt, a rakéta hajtóműve ott már nem üzemel, ezért a rakéta erőteljesen lassul, manőverező képessége csökken. Persze ez az egyszerű diagram nagyon sok mindent nem árul el, mert csak a 0 km-es paraméterű helyzetre vonatkozik, ami speciális esetnek– a célpont pontosan az osztály felé repül

[453] http://historykpvo.narod2.ru/ - *Альбом разработок ЦКБ Алмаз 1947 - 1977 гг - 6. oldal*

és szubszonikus –, de legalább a képességek „nagyságrendje” látszik rajta. Az esetek nagy részében szubszonikus repülőgép a célpont. (A HMZ diagramok mindig a rakéta a és a célpont találkozási pontjára vonatkoznak, tehát nem a célpont indításkori helyzetére.)



	Нкм		Дкм	
	БЫЛО	СТАЛО	БЫЛО	СТАЛО
С-75	3-22	1-27	12-29	12-34
С-75М	3-30	0,3-30	12-40	10-56

	1957	1957 ÷ 1964		
	С-75	С-75М	С-75	С-75М
АППАРАТНЫХ КАБИН РСН	6	3	3	3
ТИП РАКЕТ	В-750В	В-750В	В-750ВН	В-750ВН В-755 В-760
С.Д.Ц.	НЕТ	НЕТ	ЕСТЬ	ЕСТЬ
АВТОМАТИЗАЦ. ПУСКА РАКЕТ	НЕТ	НЕТ	ЕСТЬ	ЕСТЬ
АППАРАТУРА ТРЕНАЖА	НЕТ	ЕСТЬ	ЕСТЬ	ЕСТЬ

A fenti ábrán[454] az Dvina és Volhov közötti különbségek láthatóak célsebesség, célmagasság, továbbá a maximális„paraméter” távolság érték változása is. A Volhov rendszer kisebb radarkeresztmetszetű (1 m^2) célra is tudott dolgozni a Dvinához képest (6-7 m^2).

A megsemmisítési zóna azonban a fentieknél sokszor korlátozottabb, főleg nagysebességű és zavaró célpontok ellen. Tehát az gyakori és igen téves a szemlélet, hogy egy légvédelmi rendszer minden célpont esetén a maximális HMZ-val azonos sugarú körön belül képes megsemmisítési bármilyen célt, az költői túlzás, sokszor leginkább fizikai képtelenség. A lenti ábrákon válik láthatóvá igazán, hogy a célsebesség és paraméter változásával mennyire leszűkül a rendszer megsemmisítési zónája.

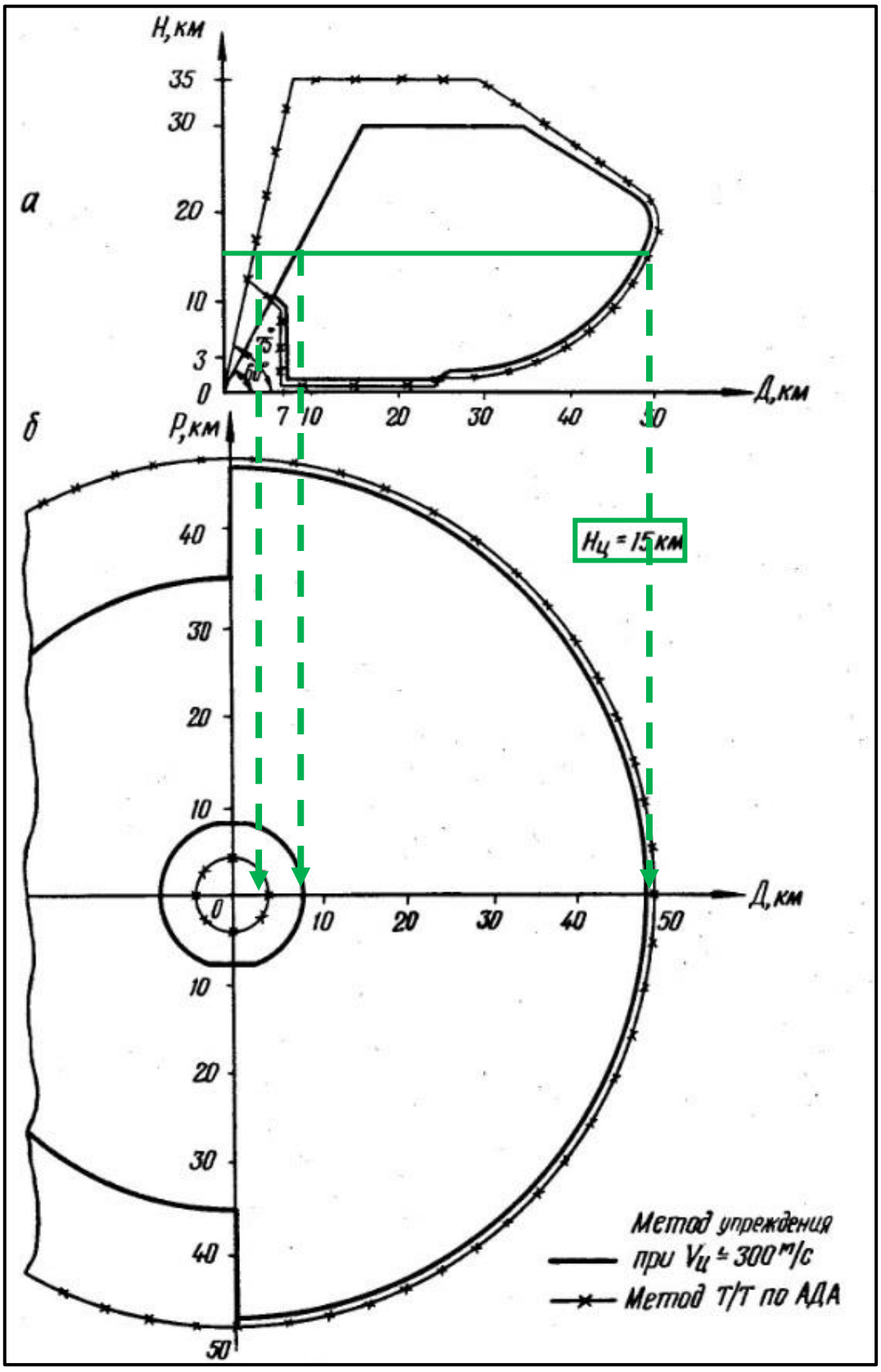
A következő oldalon látható diagram[455] a maximum 300 m/s célsebességre vonatkozó megsemmisítési zónát mutatja.

A HMZ felülnézete a 15 km-es magassági metszetet mutatja, hogy a maximális céltávolság is szerepeljen rajta. Ez lényegében a harcászati vadászgépek és stratégiai bombázók esetében 100%-ban érvényes tartomány, egyik sem repül harchelyzetben ennél magasabban soha sőt, inkább ennél alacsonyabban vagy jóval alacsonyabban operálnak.

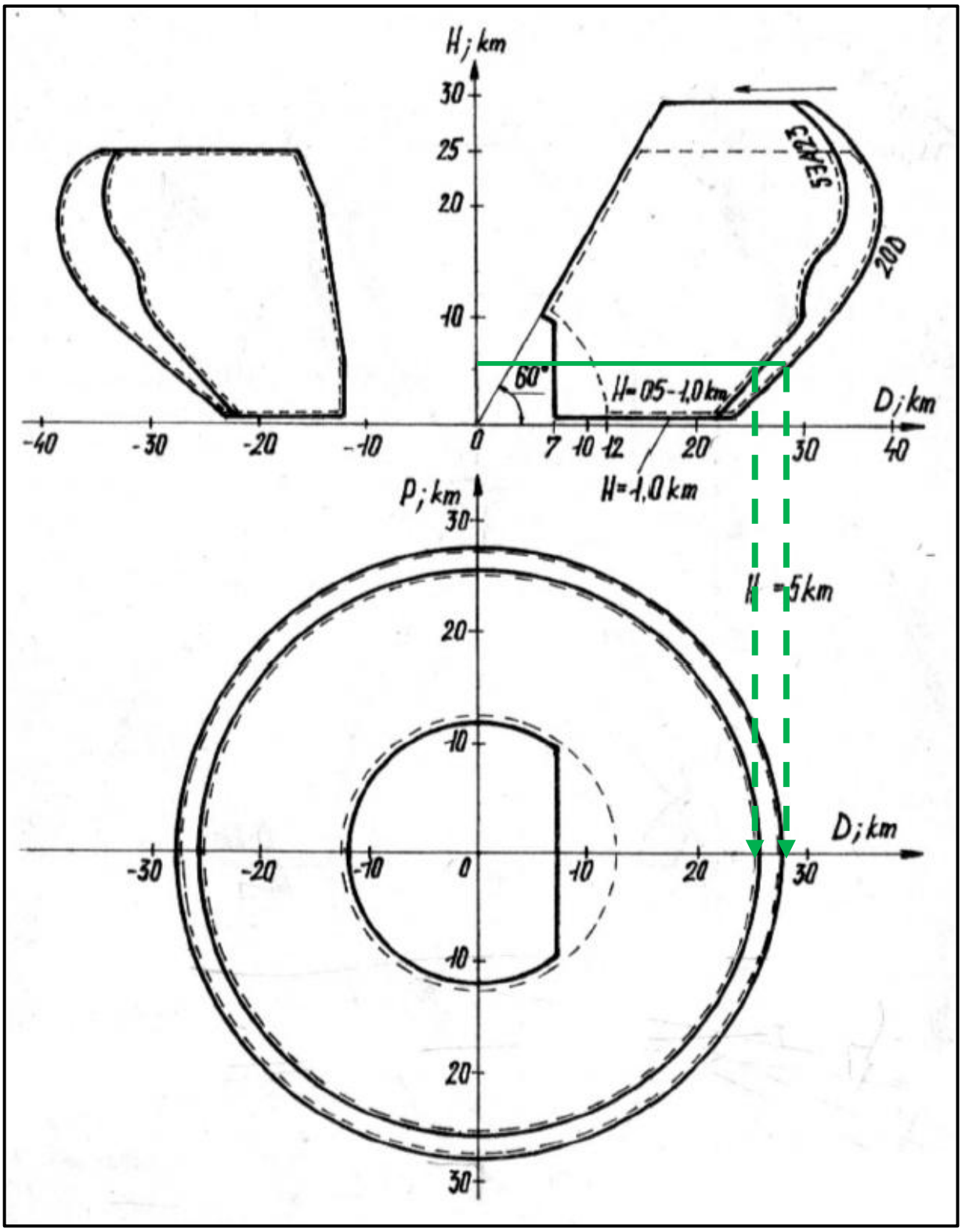
A rendszer maximális távolság „paramétere”, tehát amennyivel a célpont elrepülhet az osztály mellett közeledő célokra 45 km, távolodó cél ellen azonban már csak 35 km. A maximális lőtávolság 47 km,

[454] http://historykpvo.narod2.ru/
Альбом фотоиллюстраций по расширению ТТХ и боевых возможностей комплексов С-25 и С-75 - 14. oldal
[455] http://historykpvo.narod2.ru/ *- правила стрельбы комплекса С-75М Волга ПС 75 - 45.oldal*

minimális céltávolság 7 km, a minimális magasság 0,1 km a maximális magasság 30 km. (A céltávolságok miden esetben ferde lőtávolságok és nem a földre vetített távolság értendő.)



A csillagos jelölésű vonal három pont rávezetés üzemmódot mutat, automatikus sodródó léggömb (ADA) ellen. Függőlegesen a HMZ jelentősen nagyobb, mert a kémkedési célú léggömb nem manőverezik, illetve sebessége is minimális. Harcászati jelentősége nemigen volt ennek a történelemben. Hpasp kiegészítése.

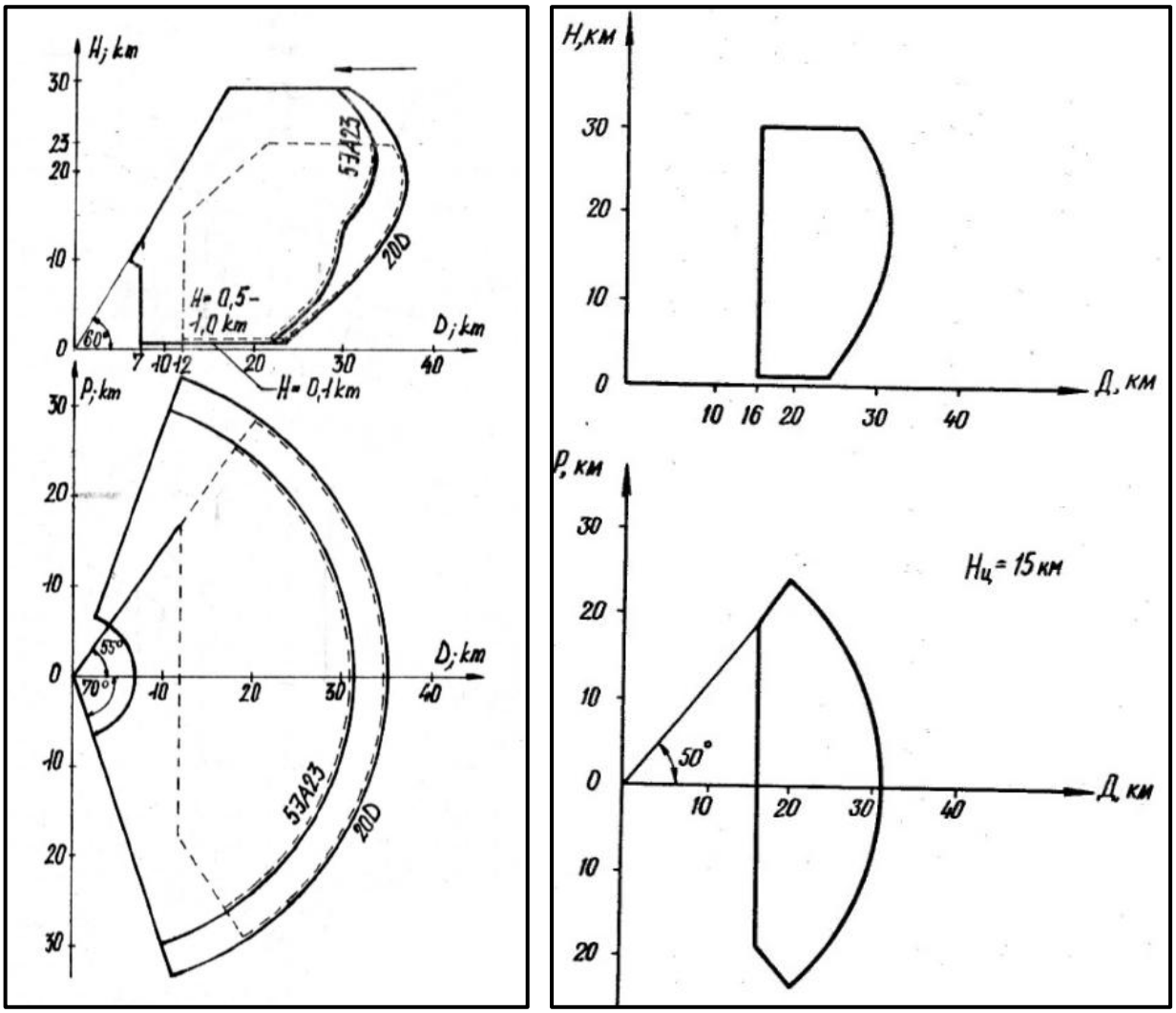


A fenti[456] HMZ ábra a maximum 420 m/s (Mach1,5) sebességű célokra vonatkozik. A 0 km paraméteres ábrázolásnál is látható, hogy távolodó cél ellen a rendszer korlátai eltérnek a közeledő célokhoz képest. Itt

[456] http://historykpvo.narod2.ru/ - *правила стрельбы комплекса С-75М Волга ПС 75 - 42.oldal*

az alsó diagram az 5 km-es magassági metszetnél készült. A maximális megsemmisítési távolság kisebb a 300 m/s maximális célsebességre vonatkozóhoz képest látható, hogy a célpont paraméter értéke is kisebb a célsebesség növekedése miatt, tehát minél nagyobb sebességű a cél, annál kevésbé képes a rendszer az osztály mellett elhaladó cél megsemmisítésre.

A lenti bal oldali ábrán[457] a 420-640 m/s sebességű célokra vonatkozó diagramon látható, hogy az osztály mellett elrepülő célokra vonatokzóan holttér van, ahol a rendszer nem képes leközdeni. Ez azt jelenti, hogy ha rövid idő alatt több nagysebességű célpont közeledik, (például AGM-28-asok hullámai, ha éppen nem maximális sebességgel repülnek), akkor ha egymás utáni célleküzdés esetén belerepül a célpont a holt zónába, akkor az ellen eredményes tevékenység nem biztosított, a találat valószínűsége számottevően csökken.



A fenti jobb oldali ábrán[458] a 640-1000 m/s közötti célpontkra vonatkozó HMZ látható. (Az AGM-28 maximális sebessége kb. 700 m/s volt.) A HMZ maximális távolsága alig 30 km a legoptimálisabb esetben is, a minimális céltávolság immáron 16 km-re nőtt a szubszonikus célok elleni 7 km-rel összevetve. A cél paramétere korlátozott, az osztály mellett kb. 18-23 km-en túl elrepülő célra nem tud rakétát rávezetni. Elég nagy az eltérés a HMZ méretében attól függően, hogy milyen típusú célpontra kell dolgozni. Míg harcászati repülőgépek ellen a zóna valóban tényleg majdnem körkörösnek tekinthető úgy, hogy a célpont paramétere majdnem akkora lehet, mint a maximális megsemmisítési zóna, de a célok sebességével ez

[457] http://historykpvo.narod2.ru/ - правила стрельбы комплекса С-75М Волга ПС 75 - 43.oldal
[458] http://historykpvo.narod2.ru/ - правила стрельбы комплекса С-75М Волга ПС 75 - 44.oldal

igencsak megváltozik. Pl. gravitációs bombával támadó szubszonikus interkontinentális bombázók ellen, egymástól 30 km-es távolságban levő osztályok átfedő HMZ-vel rendelkeznek, addig az AGM-28-asok szerecsés esetben könnyedén képesek áttöréni egy ilyen vékony légvédelmi rakéta-rendszer gyűrűt.

Az összes fenti diagram 3 db indított rakéta, nem manőverező és nem zavaró célpont esetén, 99%-os megsemmisítési valószínűségre vonakoznak, tehát elvileg a diagramokon kívül ábrázolt területeken is van esély a találatra, de a találat esélye számottevően csökken A diagramok a rendszerhez adott lőszabályzatokból származnak.

A légvédelmi rakéta-rendszer képességeinek egyik szűk keresztmetszete a rakéta manőverező képessége. Az SzA-75/Sz-75 rendszereket szovjet mércével jelentősebb városok és támaszpontok védelmére vagyis alapvetően szubszonikus interkontinentális bombázók leküzdésére tervezték, amik nem akrobatikus manővereikről híresek. Viszont a rendszer a Linebacker II. hadműveletet leszámítva soha nem szerepelt élesben ilyen célpontok ellen, hanem harcászati/taktikai vadászgépek és vadászbombázók ellen használták, ahol kiütköztek mind a Dvina, mind a Volhov korlátai.

A lenti ábrán[459] látható a V-755 20D rakéta maximális túlterhelése a HMZ teljes tartományában. A diagramnak alapvetően három tartománya fontos. A harcászati vadászgépek és csapásmérők ellen a legfeljebb 8 km-es magasság, a stratégiai bombázók ellen 10-17 km azok végsebességétől függően (szubszonikus B-47/52 illetve a B-58 és az AGM-28 rakéta miatt), illetve 20-26 km-es magasság az SR-71 és U-2 repülőgépek miatt. Látható, hogy a harcászati gépek ellen a lehetséges maximális túlterhelés igen szerény mindössze 6-7G, az SR-71 repülési magasságában mindössze 4G.

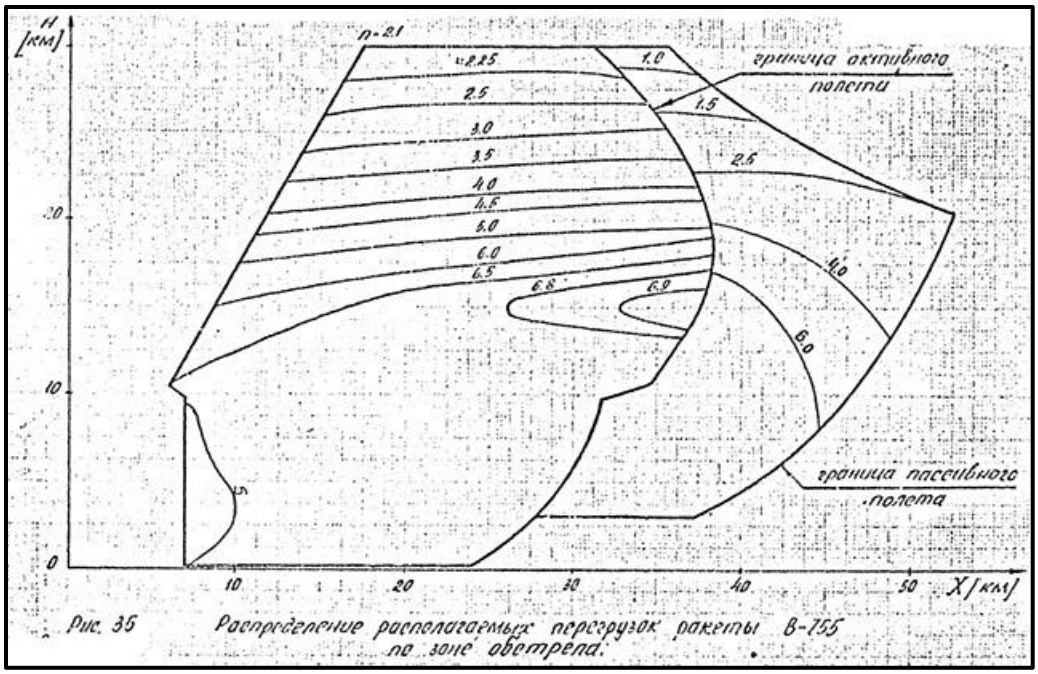


Рис. 35 Распределение располагаемых перегрузок ракеты В-755 по зоне обстрела.

Zavarásmentes esetben a rakéta fél-előretartással közelíti meg a célpontot, ami a rakéta számára a legelőnyösebb a szükséges túlterhelés szempontjából. Amennyiben azonban elektronikai zavarással a távolság információt megtagadják, akkor a három pont rávezetés miatt a végfázisban azonos sebességű célpont esetén még nagyobb túlterhelésű manővert kell a rakétának produkálnia akkor is, ha a cél egyáltalán nem manőverezik. Ha erre nem képes a rakéta, akkor a találat lehetetlen. (Lásd a 4.1.2.2. fejezetben.) A fentieknek megfelelően alakult a komplexum eredményessége élesben.

[459] http://historykpvo.narod2.ru/
Отчет об испытаниях ЗРК С-75М - 3-я глава Характеристики ракет В-755 и В-760 - 31. oldal

Nagy magasságban az SR-71 ellen ezért nem volt hatásos a Dvina, mert a maximális túlterhelhetősége csak zavarásmentes állapotra vonatkozik. Három pont rávezetésnél a rakéta manőverező képessége annyira gyenge, hogy a gyakorlatilag nem manőverező SR-71 – enyhe fordulóban repült az SR-71 célkörzetben – leküzdése is lehetetlen volt még a SzA-75 legkorszerűbb változatával is. Számtalanszor indítottak rakétát az SR-71-re, de találatot soha nem sikerült elérni a Dvinával.

A harcászati vadászgépek még elektronikai zavarás nélkül is képesek voltak olyan manőverekre, amik a rakétáktól manőverező képességein túli fordulókat követeltek volna meg a találathoz. Elektronikai zavarás és három pont rávezetés esetén a találat esélye tovább zuhant, kisebb túlterhelésű manőverekkel is lehetséges volt kitérni a rakéták elől.

Néhány szó a rendszer fizikai felépítéséről illetve jellemző települési formáiról. A rávezető állomás bemutatását követően valószínűleg feltűnt, hogy azzal önálló célkeresést végezni csak „tű szénakazalban" módon lehetséges, abból légi helyzetképet abból összeállítani reménytelen. Egy 7x7 fokos (Dvina 10x10 fok) lefedésű területtel körbepásztázni a légteret reménytelenül sok ideig tart 360 fokban, ezen felül az indikátorok sem a célnak megfelelő kialakításúak, illetve a méteres hullámhosszon üzemelő felderítési távolsága azonos kisugárzott teljesítmény esetén is magasabb lenne.

A fentiek miatt ezért minden Dvina és Volhov osztály a rávezető állomáson felül rendelkezett egy körkörösen pásztázó felderítő radarral, továbbá egyes esetekben magasságmérő radarral is. A körkörös felderítő radar kezdetben P-12 típus, később annak továbbfejlesztett változata a P-18[460] volt. A felderítő radar 360 fokban körkörösen pásztázva[461] derítette fel a célokat és jelenítette meg a körkörös indikátoron a céljeleket (PPI szkóp). [462] Két pásztázás között a céljelek világítottak az indikátoron, ezáltal lehetővé téve a tervtáblás ábrázolási módot. Az AVR rendszereknél a tervtáblás megoldás már azt jelentette, hogy adatkapcsolaton keresztül a rendszer rajzolta ki elektronikusan a céljeleket, nem ember zsírkrétával. A P-18 forgási sebessége 6 vagy 10 fordulat/perc volt.

A felderítő radarok széles nyalábbal sugároztak ki, ezért magasság mérésre alkalmatlanok voltak, a távolságmérési pontosságuk a km-es tartományba esett továbbá a nyaláb paraméterei miatt kis távolságon nem képes mérni a célokat. Mivel nem tűzvezetéshez szükséges pontosságú adatot kell szolgáltatniuk, ezért ez a pontosság célfelderítéshez megfelelt, a lényeg a rávezető állomáshoz képesti hatalmas pásztázott terület volt sokkal nagyobb felderítési távolsággal. Ezen felül mivel eltérő hullámhossz tartományban üzemelnek a rávezető állomáshoz képest (P-12/18 méteres hullámhossz – 150 MHz, SzNR-75 6-10 centiméteres – 3-5 GHz) ezért a zavarásukhoz több eszköz és erőforrás szükséges.

A P-12/18 radarok Yagi féle antennát használtak, egy átlagos Yagi antenna 50x90 fokos nyaláb előállítására képes. A vontatott csaliknál már ismertetett matematikai módszer. kis módosítással alkalmazató. A P-18-ason 8x2 db elem látható, így a már használt képletet módosítva:

helyszögben: 50 / 8 db elem = 6,2 fok

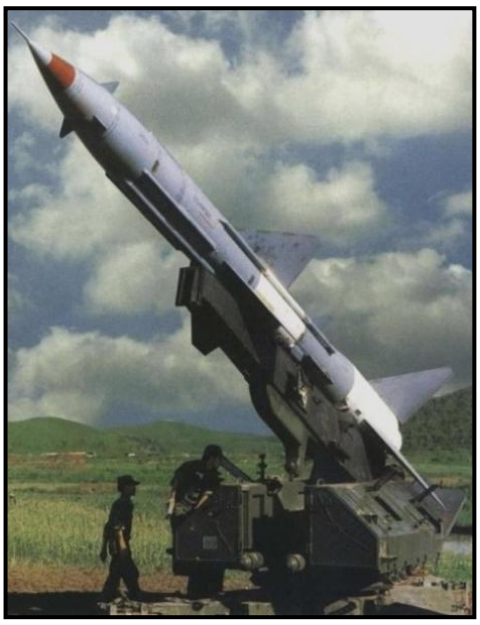
vertikálisan 90 / 2 db elem = 45 fok

A P-18 tehát kb. 6,2x45 fokos nyalábot állít elő.

[460] http://www.radartutorial.eu/19.kartei/11.ancient/karte049.en.html
[461] https://www.youtube.com/watch?v=noiNw6uCt3U ,
[462] http://www.radartutorial.eu/12.scopes/pic/PPI-400x375px.gif *Ehhez hasonló módon.*

Balra fent egy P-12, jobbra fent egy P-18 felderítő radar.

A keresőradaron és rávezető állomáson kívül az osztály magasságmérő radarral is rendelkezhetett, de ez nem volt általános, nem minden alkalmazó országnál rendelkeztek ilyennel az osztályok, Magyarországon például nem voltak ilyenek. Ez a plusz radar nem körkörösen pásztázott, hanem adott célokra mért rá szükség esetén. Természetesen ettől függetlenül ez is körbe forgatható volt, de egy adott oldalszög pozícióban végezte a „bólogatást". A Volhov rendszer magasság mérő radarja PRV-13 (Odd Pair) típusú volt.



Balra fent a PRV-13 magasságérő radar, jobbra fent egy rakétaindító-állvány rakétával. Az állány mellett álló alakok személetesen festik le a rakéta méreteit.

Az osztály magasságmérő radar nélkül is üzemképes volt, mert a P-12/18 radar adatai alapján a rávezető állomás oldalszögben ráállt a célra és némi helyszög keresés után a célt a magasság pontos ismerete nélkül megtalálta. Nagy távolságon a 7x7 fokos (Dvinánál 10x10 fok) pásztázott területet fel-le mozgatva elég hamar megtalálható volt az átlagos harcászai paraméterekkel repülő cél, mert azok nem repültek 10 km-nél magasabban. (A B-52 gépek 10 km felett repültek jellemzően, de csak néhány km-rel.)

A rakéta alapvető kialakítása a rendszer több évtizedes pályafutása alatt sem változott, kétlépcsős (kétfokozatú) volt, szilárd gyorsító és a Berkut rendszernél is használt kétkomponensű, igen veszélyes, folyékony hajtóanyagú utazó fokozottal rendelkezett, ami üzem közben vastag, jól látható füstöt bocsátott ki. Harcászati szempontból ez a füstölési jelentős tényező volt, a rakéta vizuális észlelése és követése lehetséges volt, a pilóták többségének az átlagos időjárási viszonyok esetén nem okozott különösebb nehézséget.

Indítás után a gyorsító fokozat 3 másodpercig[463] üzemelt és kb. 550 m/s sebességre gyorsította a rakétát majd a gyorsító fokozat leoldása után indult be a menethajtómű. A gyorsító fokozat leoldásáig a rakéta nem manőverezhetett, rögzített kormánylapokkal repült. A folyékony hajtóanyagú utazó hajtómű előnye, hogy tolóereje szabályozható volt, a cél helyszögétől függően. 24 fokos helyszög alatt 3,5 tonna tolóerővel 45 másodpercig üzemelt a hajtómű, 24 fokos helyszög felett 3,5 tonna tolóerővel 24 másodpercig, majd 2 tonna tolóerővel 55 másodpercig.

A rakéta induló tömege csak kismértékben tért el különféle változatoknál, kb. 2,4 tonna volt. A rendszer hat darab rakétaindító állvánnyal rendelkezett, minden indítón 1-1 darab rakétával, további hat rakétával az utántöltő járműveken (TZM). Eredetileg csak ez az egy javadalmazás (12 db rakéta) tartozott egy osztályhoz, de a Magyar Néphadseregben (saját fejlesztés után) az osztályoknál tárolt rakéta mennyiségét osztályonként 36 darabra növelték.

Természetesen egy Sz-75M Volhov osztály többből áll, mint radarok és rakétaindító-állványok, részletesebb eszköz állomány a lenti táblázatban található:

Sz-75M3 osztály főbb elemei			
Rendszer elem	***db***	***funkció / név***	***jármű***
RSzN-75V3-OP PV kabin (Fan Song)	1	rávezető állomás	vontatott
UV kabin	1	harcvezetési kabin	vontatott
AV kabin	1	műszerkabin (analóg számítógép)	vontatott
SzM-90	6	indítóállvány	vontatott
PR-11BM/D (V-755U 20DSU rakétával)	6+	rakéta szállító / újratöltő	vontatott
AKKORD-75*	1	gyakorló szimulátor	vontatott
P-12M vagy P-18	1	körkörös célfelderítő radar	önjáró
1L22 Parol 4 vagy 75E6 Parol 3	1	IFF egység	KrAZ-255
PRV-13	1	magasságmérő radar	vontatott
ESP-90 (3 x 5E93)	1	generátor	vontatott
5Ya61/62/63 Cikloida	1	rádió átjátszó állomás AVR rendszerhez	vontatott
5L22	1	kémiai mentesítő jármű	önjáró
5L22A	1-2	üzemanyag tartálykocsi (TG-02)	vontatott
5L62A	1-2	oxidáló anyag tartálykocsi (AK-27P)	vontatott

*** A gyakorló eszközökkel nem rendelkezett minden osztály, rotációs alapon a légvédelmi ezred vagy dandár egy osztályánál volt, a kiképzési menetrend szerint volt adott osztálynál.**

****Magyarországon az osztályok nem rendelkeztek magasságmérő radarokkal, csak a rádiótechnikai osztályok.**

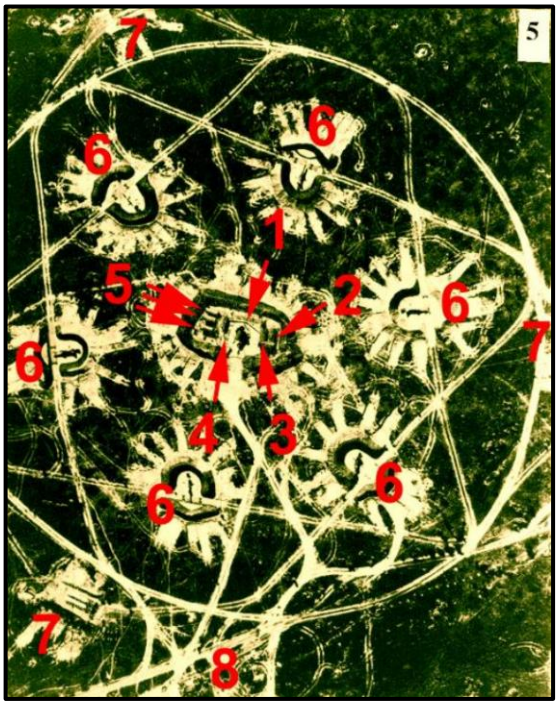
Az, hogy hogyan települt és hogyan alkalmaztak egy osztályt az függött az alkalmazó országtól továbbá a harcászati helyzettől is. A SzA-75 és Sz-75 osztályok a VSz országokban jellemőzen fix tüzelőállásokba települtek. A Dvina osztályok földsáncokkal kialakított hatszög alakú alap elrendezéssel települtek középen

[463] *A szovjet-orosz adatok -50 illetve +50 Celsius fokos külső hőmérséklet esetén alsó és felső üzemidő hosszt adnak meg a szilárd hajóanyagú rakétát üzemidejére vonatkozólag, az összefoglaló minden esetben a 20 fokra vonatkozó középértéket adja meg.*

a rávezető állomással, a felderítő és magasságmérő radar a jellegzetes hatszög és kör alakú megközelítési útvonalon kívül helyezkedett el.

Az osztályokkal a terepre való kitelepülés is lehetséges volt, Vietnámban az északi erők használták ilyen módon. Kitelepüléskor sokszor nem a teljes osztály mozgott, az „üss és fuss" taktika alkalmazásakor csak 2-3 db állvánnyal mozogtak, mert ennél több rakétát nem indítottak harchelyzetben, viszont az osztály mobilitását növelte, illetve a települési időt csökkentette ez üzemeltetési mód. Vietnámban a „pusztába" való kitelepüléskor a jellegzetes hatszög alakú elrendezést egy idő után igyekeztek kerülni, mert könnyen felismerhetővé tette az osztályokat a levegőből, ami megkönnyítette azok elpusztítását.

Bár a rendszer telepíthető volt terepen is, de ettől még mobilnak nevezni költői túlzás lenne,[464] órás nagyságrendben volt a bontási és települési ideje. Csapatlégvédelemre ezért csak átmeneti megoldásként használták hadsereg szinten, a Krug váltotta le a '60-as évek közepétől, legalábbis a szovjeteknél. A VSz államoknál nem volt hadsereg szintű rakétás légvédelem a Krug érkezése előtt, de az ehhez szükséges eszközök hadrendbe állítása egyes VSz tagországoknál csak évtizedekkel a szovjetek után történt meg, lásd később. Jobbra, a lenti képen egy jellegzetes csillag alakú tüzelőállás látható.



1. PAA kabin, RSzNA-75M (Fan Song F) rakéta rávezető állomás.
2. UA harcvezetési kabin (osztályparancsnok, rávezetőtiszt, kézi követők, tervtábla kezelő, indítórendszer kezelő)
3. AA műszer kabin (analóg számítógép)
4. RMA energia átalakító, és elosztó kabin (biztosítja a komplexum táplálását a fő vagy tartalék aggregátorokról, vagy az elektromos hálózatról)
5. 3db DESZ-100 100kW-os aggregátor
6. 6 db SzM-63 PU indítóállvány
7. 6 db PR-11 TZM rakéta szállító-töltőjármű
8. P-12 felderítő célmegjelölő lokátor

A másik jellemző telepítési forma esetén fix, megerősített tüzelőállásokba, betonfedezékekbe települtek az osztályok, pontosabban azok kabinjai. Természetesen a rávezető állomást és a radarokat nem lehet eltemetni, de támadás esetén a személyzetnek az esélye túlélésre nagyobb volt, ami meghatározza a személyzet harci morálját.[465] A lenti képen egy ilyen megerősített harcálláspont látható, konkrétan a Pilis tetején levő magyar Volhov osztály megerősített tüzelőállása.

[464] http://forum.index.hu/Article/viewArticle?a=143147685&t=9120320 *Az idézett hozzászólás egykor a Volhovot használó és üzemeltető személytől származik.*

[465] *Ameddig nem nukleáris háborúról van szó, akkor szerintem már édes mindegy...*

1. Harcálláspont bejárat (föld alatt jobbra), 5F24 AVR illesztő kabin, 250 kg–os vontatható porral oltó készülék
2. UV harcvezetési kabin (osztályparancsnok, rávezetőtiszt, kézi követők, tervtábla kezelő, indítórendszer kezelő)
3. AV műszer kabin (analóg számítógép)
4. ZEF kabin (saját-idegen felismerő berendezés 'NRZ'), PRM-V kabin (tartalék alkatrész készlet)
5. 2 db 5E96 kabin (2db DESZ-100 100kW-os aggregátor)
6. 1db 5E96 kabin (2db DESZ-100 100kW-os aggregátor), RKU-V energia átalakító, és elosztó kabin (biztosítja a komplexum táplálását a fő vagy tartalék aggregátorokról, vagy az elektromos hálózatról)
7. PV kabin, RSzN-75V3 rakéta rávezető állomás

Az SzA-75 Dvina rendszerrel mutatkozott be a harctéren komolyan a légvédelmi rakéta-technika, emiatt az elektronikai hadviselés fejlődését is évtizedes léptékben a Divna és Volhov rendszerek határozták meg, a „kard és pajzs" évezredes küzdelme ezen a téren is folytatódott. A Dvina (Nyeva és Volhov) rendszerrel és ellenük szerzett tapasztalatok alapján fejlesztette tovább eszközeit a Szovjetunió illetve az USA is

Bár a számok tükrében pusztán a helyi háborúkban korántsem volt olyan sikeres a rakétás légvédelem, mint azt sokan gondolják, de komoly ellenlépésekre sarkallta az ellenfeleket. Hadrendben tartásuk alatt a Dvina és Volhov végig eredményesebbek voltak, mint a korabeli szovjet vadászgépek a légi győzelmek számát nézve. Bár ehhez hozzá kell tenni, hogy a korabeli vadászgépek általában sokkal kedvezőtlenebb körülmények között szálltak harcba, (jóval) kevesebb erőforrást költöttek azok beszerzésére és üzemeltetésére a légvédelmi rakétákhoz képest.

Vietnám kb. 7700 darab légvédelmi rakétát szerzett be és 93 darab Dvina osztályt szállítottak Vietnámba. Viszonyításképpen a teljes VSz (Lengyeország, Magyarországm Csehszlovákia, NDK, Bulgária, Románia 1959-62 között, 96 db Dvina harci komplexumot, és 11db gyakorlót vett. (1964-től már a Volhovok érkeztek).

Ehhez képest mindössze kb. 200 db különféle változatú MiG-21-est és kb. 300 db MiG-17-es vadászgépet exportáltak a kommunista országok (Szovjetunió és Kína) Vietnámba, amiből a MiG-17 elavultnak számított már a '60-as évek elején is, légiharc-rakétával nem is rendelkezett.

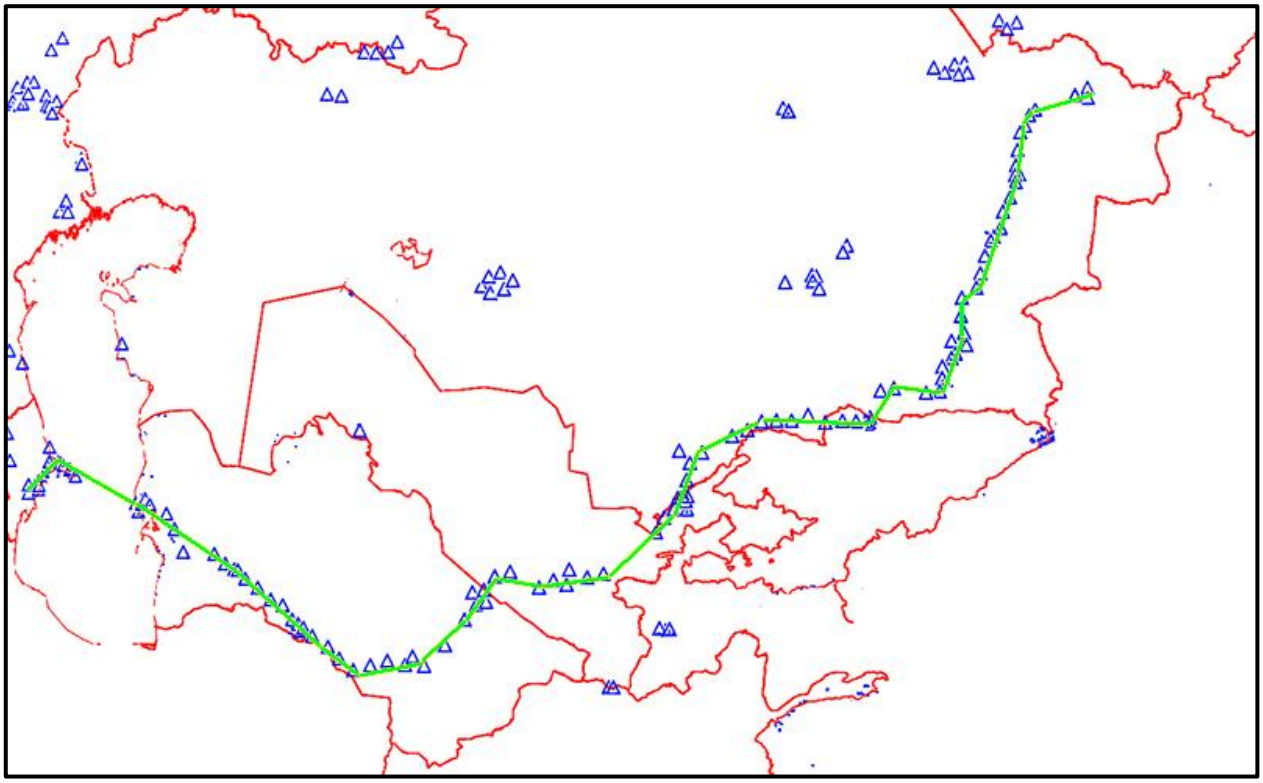
A légvédelmi rakéta-rendszereken felül temérdek – több ezer – légvédelmi ágyút és az azokhoz szükséges eszközöket, (pl. lőszert) szállított a Szovjetunió. Nyilvánvaló aránytalanság állt fent a két fegyvernemre fordított források között. (Mellékletek között megtalálhatóak ezekről is anyagok.)

A harci tapasztalatok alapján, az új típusú céltípusok leküzdését lőtéren gyakorolták mindkét fő változatával a rendszernek:

- 1962-ben F-86 repülőgépet imitáló célra,
- 1968-tól nagy magasságú, nagy sebességű célra ($H_{cél}$ > 16km, $V_{cél}$ > M2,0),
- 1972-től kismagasságú célra ($H_{cél}$ < 100 m),
- 1983-tól robotrepülőt szimuláló célra,
- 1989-ben már lopakodót szimuláló célra hajtottak végre eredményes lövészetet a magyar légvédelmi rakéta osztályok Asulukban.[466]

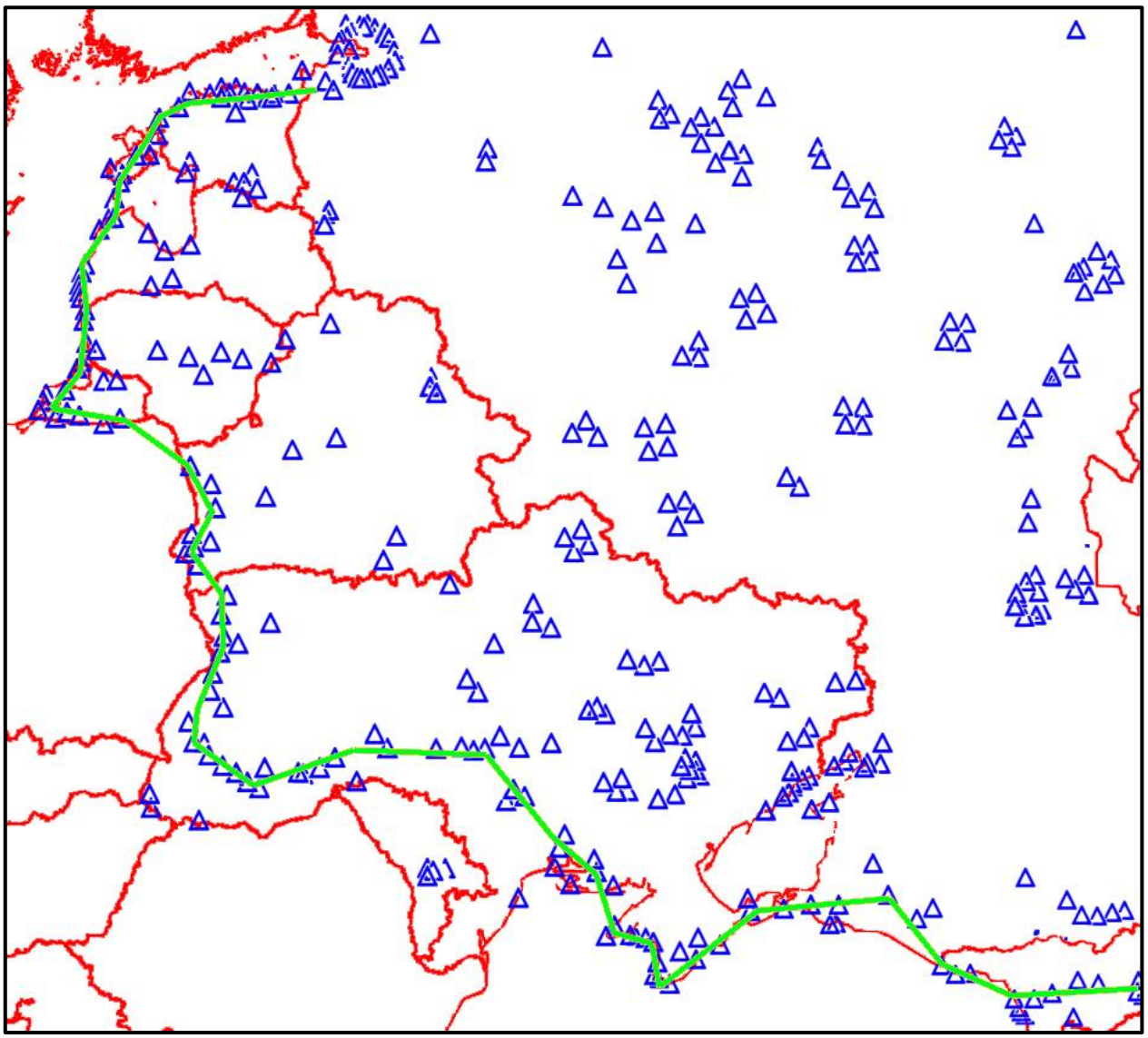
A helyi háborúkban a rendszer képességeit alapvetően korlátozta az, hogy a Szovjetunió alig exportált automatizált rávezetési rendszereket egészen a ’80-as évekig komolyabb mennyiségben, ezért az osztályok önállóan kerestek célt az osztályhoz tartozó felderítő radarral, az összehangolás legfeljebb tervtáblás módszerrel volt lehetséges, aminek hatékonysága nagy számú célpont esetén nem megfelelő. A Varsói Szerződésben ezek azonban rendelkezésre álltak, bár a Szovjetunióhoz képest évtizedes vagy nagyobb késéssel állították hadrendbe az ilyen eszközöket, csak a ’70-es évek közepén jelentek meg ezek és csak a ’80-as években terjedtek el, de akkor is a szovjethez képest generációs lemaradásban levők rendszerek.

A világ leghosszabb egybefüggő légvédelmi rakéta sávját a Volhov rendszerrel alkották meg, kb. 300 db osztállyal védték a szovjet határt 8500 km (!) hosszúságban. A sáv Leningrádtól a Balti tenger partján, végig a Lengyel, Szlovák, Magyar, Román határ mellett, a Fekete tenger északi partján, keresztül a Kaukázuson, majd az Iráni, Afgán, és Kínai határ mellett, egészen Mongóliáig ért Szintén Sz-75-ösök védték a fontosabb városokat, Leningrád körül kb. 30 db osztály alkotott egyszeres gyűrűt. A Szovjetunió összesen A 750 db Sz-75-ös osztályt telepített.



Az Sz-75 Volhov védelmi öv és a nagyvárosok köré telepített Volhov osztályok a Szovjetunió ázsaiai területein. (Hpasp)

[466] *Azért ebből messzemenő következetést nem szabad levonni, mert a lőtéri körülmények midig eléggé sterilek és a lőtéren senki nem lő vissza HARM-mal...*



Az Sz-75 Volhov védelmi öv és a nagyvárosok köré telepített Volhov osztályok Szovjetunió európai területein. (Hpasp)

A véleményem szerint ennek a kb. 8500 km hosszú sávnak gyakorlatilag semmi értelme nem volt. Mire megépült az USA az U-2 berepüléseket megszüntette az 1960 május 1-i lelövés miatt. Ezen felül a '60-as évek végén rendszerbe állt MIG-25 mindenféle erőlködés nélkül képes volt lelőni az U-2-őt. Persze, ha csak percekre lépte volna át a határt az U-2, akkor minden U-2-es repüléskor emelni kellett volna a készültségi gépet – SR-71-re is rutinszerűen emeltek MIG-25-öst – , de ilyen berepülésnek semmi értelme, mert a kockázatért cserébe a nyereség minimális lett volna a felderített területet nézve. Nyilvánvaló volt, hogy az USA soha többé nem fog U-2-vel berepülni a Szovjetunió fölé.

A később kifejlesztett és '60-es évek közepétől rendszerbe állt SR-71-gyel sem repültek be a szovjet és VSz államok légterébe, de ezek ellen meg amúgy sem tudott semmit tenni az Sz-75 Dvina és Volhov egyik változata sem, amennyiben a cél elektronikai zavarást alkalmazott. (Csak Dvina indítás történt élesben Vietnámban, a líbiai Volhov alakulatok messze a reális HMZ paramétereken kívül próbálták az SR-71-et lelőni.)

A több száz interkontinentális bombázó ellen szintén nem volt értelme ennek a sávnak, mert elég néhány ponton áttörni rajta, azután a támadó gépek szétszóródhattak, volna. Ráadásul a sáv eleve rossz helyen volt, az amerikai interkontinentális bombázók főleg Amerikából, a sarkkör felől érkeztek volna.

Egy nukleáris háború esetén néhány nukleáris töltetű AGM-28-cal különösebb erőlködés nélkül áttörhető volt a lánc, lévén a Volhov csak egy célcsatornás volt, az indításra kész rakéták száma is mindössze 6 db volt. Az ütött résen keresztül aztán bezúdulhatott a támadóerő nagyobb része. Ráadásul a lőszabályzat szerint egy célra 3 db rakétát kellett indítani, tehát egy Volhov osztály egy tömeges támadás ellen reálisan kb. 2 db célra tüzelhetett az újratöltéshez szükséges idő miatt.

El lehet képzelni, hogy micsoda összegeket emészthetett fel a kb. 300 darab rakétaosztály telepítése úgy, hogy ezen osztályok igen számottevő része a „semmi közepén" létesült, úgy kellett megépíteni és üzemeltetni azokat. (Osztályonként kb. 11 millió Rubeles költséggel, ami akkori áron USA dollár paritásban volt kezelve.)

Magyarország 1959-től használta a Dvinát. 1959-ben 1 db SzA-75 Dvina (ötkabinos) osztályt, 1960 és 1962 között további 13 db SzA-75M Dvina-A (három kabinos) osztályt állított hadrendbe. (1960 – 3 db, 1961 – 4 db, 1962 – 6 db) Az osztályok Budapest, Dunaújváros és Miskolc köré települve alkottak tűzrendszert a később rendszeresített Sz-125M Nyeva osztályokkal együtt.

A Dvina leváltása 1977 és 1984 között történt meg 13 db Sz-75M3-OP Volhov komplexummal.

1977 – 1 db,
1978 – 4 db, 1
1982 – 2 db, 1
1983 – 3 db
1984 – 3 db

A Volhov rendszert a '90-es évek végére szinte az összes korábbi alkalmazó kivonta a hadrendből a hidegháborút követő fegyverezet csökkentési hullámban, vagy korszerűbbre cserélte le. (Magyarországon simán leépítették.)

Végezetül egy linkgyűjtemény képekkel és videókkal a Dvina és Volhov rendszerekről. Az Ausairpower oldalon a képek hasznosak, de a műszaki tartalom sokszor nem egészen pontos.

http://www.ausairpower.net/APA-SNR-75-Fan-Song.html
http://www.ausairpower.net/APA-S-75-Volkhov.html
http://www.ausairpower.net/APA-Rus-SAM-Site-Configs-A.html

Videó a rendszerről, az 5. perctől látványos, az UV kabin belsejéről indikátorról, stb. igen személetes képet fest.

https://www.youtube.com/watch?v=V-O0knekA0k

6.2.1.2.3. Sz-125 Nyeva/ SA-3 Goa légvédelmi rakétarendszer[467]

Az Sz-125 Nyeva légvédelmi rakéta-rendszert szintén Raszpeltyin vezetésével fejlesztették ki a KB-1 tervezőirodában, ahogy az Sz-75/SzA-75-öt, ezért a kettő közötti hasonlóság egyáltalán nem véletlen műve. A Nyeva első változatát 1961-ben rendszeresítették a Szovjetunióban.

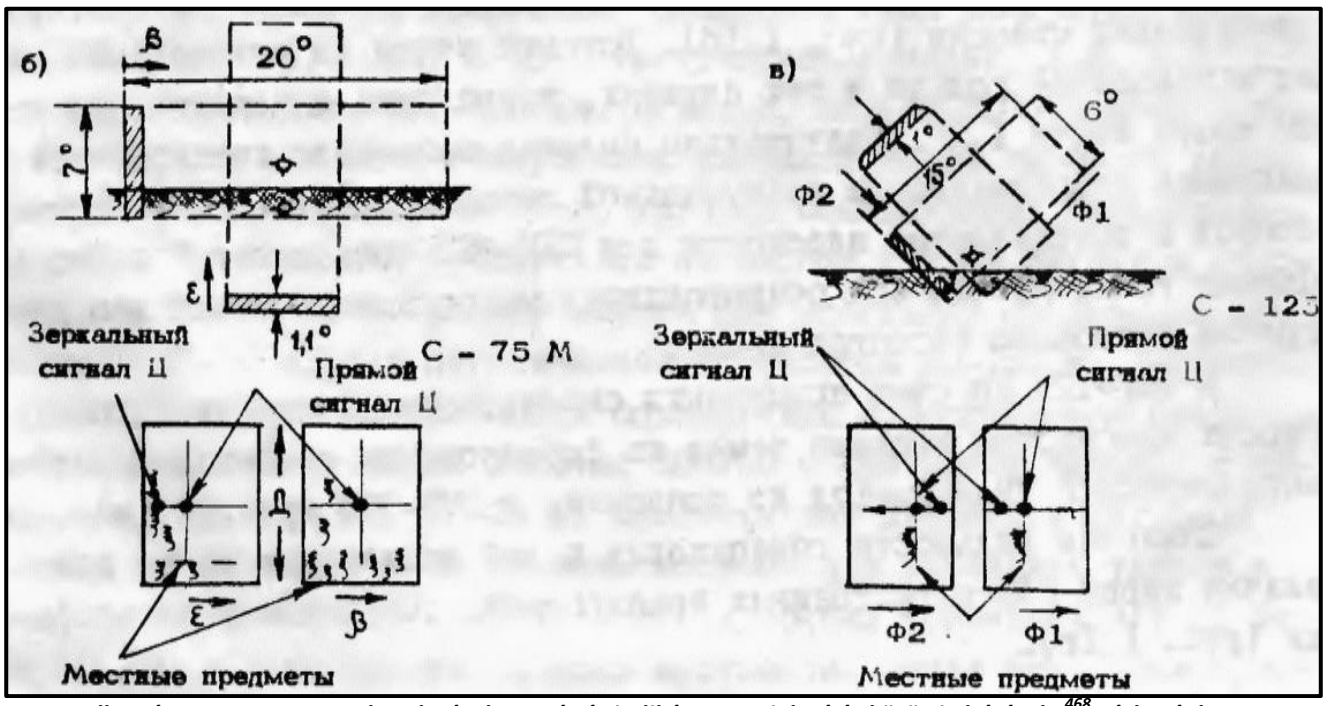
A Nyeva kifejlesztésének oka az SzA-75 Dvina, illetve a korai Sz-75 Volhov változatok kis magasságú célok elleni hatástalansága volt, mindkettő minimális megsemmisítési magassága 3 km volt, ami csak később csökkent 300, majd 100 méterre. Bár a Nyevát kismagasságú célok ellen tervezték, ettől függetlenül a képességei lehetővé tették közepes továbbá a nagy magasságban repülő célok leküzdésére is. A Nyeva osztályok a Dvina és Volhov osztályokkal közösen alkottak egységes tűzrendszert, egymást kiegészítve. (A magyarországi tűzrendszert lásd később az Sz-200 Vega bemutatásánál.)

A Nyeva felépítése és átlagos műszaki színvonala alig tért el a Volhovtól – a harcvezetési kabin is igen hasonló látványt nyújtott –, annak egyszerűsített, illetve több szempontból felhasználóbarátabb testvérének tekinthető. A főbb eltérések a Dvina és Volhov rendszerhez képest:

- A Dvina/Volhov rendszerhez hasonló antennák kissé eltérő módon, 45 fokban megdöntve vannak elhelyezve a Dvina és Volhov 90 fokot bezáró elrendezése helyett. Ezzel a földi zavarjelek mennyisége volt csökkenthető kismagasságú célok esetés, lásd a következő oldali ábrán. Az SzA-75/Sz-75-nél az oldalszögben legyező antenna a teljes legyezési tartományban a földre sugároz, ahonnan csak zavarjelek érkeznek, a Nyevánál ez a két elforgatott antenna területének apró metszete.
- A Nyeva csak a Volhov számára kifejlesztett keskeny sugár, illetve alávilágítás (LORO) üzemmódra volt képes, nem rendelkezett széles sugár üzemmóddal. Ennek következménye, hogy csak azon repülőgépnél érzékelhető leváló céljel radargyilkos rakéta indításakor, amit éppen a Nyeva követésbe vett. A Dvina és Volhov széles sugár keresés esetén ennél lényegesen nagyobb tartományban tette lehetővé az ilyen fenyegetések észlelését. Még az AGM-45 korában is nagyon gyenge volt a radargyilkos rakéta érzékelő képessége a Nyevának.
- Bár az indítóállványok száma csökkent, az indításra kész rakéták száma mégis nőtt. A kisebb méretű és tömegű rakétából egy állványon kezdetben 2 db, később 4 db rakéta állt indításra készen telepítéstől függően, egy osztályhoz négy darab állvány tartozott. (A helyi háborúk tapasztalatai alapján minden későbbi rendszernél igyekeztek az indításra kész rakéták számát növelni.)
- A rakéta bár továbbra is kétlépcsős maradt a 2. lépcső (fokozat) utazó hajtóműve is szilárd tüzelőanyagú volt. Ez nagymértékben megkönnyítette az üzemeltetést a rendkívül veszélyes, korrozív és mérgező folyékony hajtóanyagú Dvina, Volhov és Berkut rakétáihoz képest, nem volt szükséges az üzemanyagot fel-le tölteni a rakétákba szállítás előtt és után. Kisebb eszközigénye volt egy osztálynak, hiszen rakéta üzemanyag szállító járművek sem voltak szükségesek, vegyvédelmi ruha viselése sem volt szükséges a rakétával való munka során. Összességében ez változás a rendszer mobilitását is növelte.
- A Dvina 2 db és a Volhov 4 db tápvonal csatornája helyett – ezek karvastagságú légmentesre szerelt szögletes csatornák – a Nyeva csak 1 db ilyet igényelt, Ez is a mobilitását növelte az Sz-125-nek, csökkentette a telepítéshez szükséges időt.
- A P-12/18 körkörös felderítő radar helyett a kismagasságú P-15 vagy P-19 volt használatos. A rakéta kisebb megsemmisítési zónája miatt kisebb teljesítményű felderítő radar is megfelelt.

[467] http://infowsparcie.net/wria/o_autorze/pzr_s125m.html

- Az Sz-125 a Dvinához és Volhovhoz hasonlóan egy célcsatornás, de azokkal szemben egy célra csak 2 db rakéta egyidejű rávezetése volt lehetséges, szemben a Divna és Volhov 3 darab rakétás képességével.



A Volhov és Nyeva antenna elrendezés, legyezés és indikátor megjelenítés közötti eltérések. [468] ***Látható, hogy hasonló magasságban repülő cél esetén a Nyeva alig ér a "földre", míg a Volhovnál az Béta nyaláb végig a horizont alá legyez.***

A rendszer főbb változatai a következőek voltak:

Sz-125 Nyeva (SA-3A) V-600P 5V24 rakétával, 1961-ben állt hadrendbe a Szovjetunióban, ez változat csak a kétrakétás indítókkal rendelkezett. Minimális célmagassága 300 méter volt. Korlátozottan exportálták 1969-től Lengyelországba, Csehszlovákiába, Egyiptomba és Irakba.

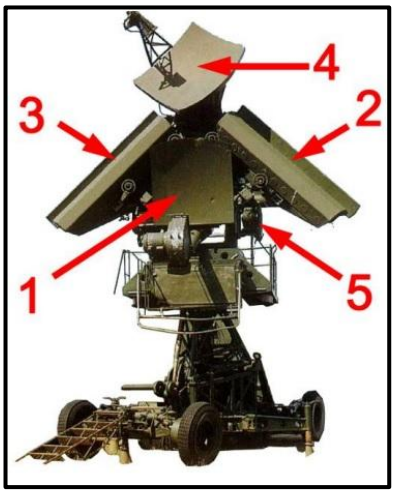
Sz-125M Nyeva-M (SA-3B) V-601P 5V27U rakétával, 1970-től állt hadrendbe. Ez változat már a négyrakétás indítókkal rendelkezett, a Karát optikai rávezető rendszert is ez a változat kapta meg elsőnek, továbbá a nyomtatott áramköri kártyák használata is ezzel a variánssal kezdődött, minimális célmagassága 50 méter volt. 1973 és 1983 között exportálták.

Sz-125M1A Nyeva-M1A (SA-3B) V-601PD 5V27D rakétával, 1978-tól állt hadrendbe. A minimális céltávolság 3,5 km-re, a minimális célmagasság 20 méterre csökkent. Az elektronikai zavarás elleni GSN elektronikai blokkot ez a változat kapta meg. 1983 és 1989 között exportálták.

Az Sz-125 Varsói Szerződésen kívüli export változatának megnevezése Pecsora volt, az exportált mennyiségről a mellékletek között található lista.

[468] http://historykpvo.narod2.ru/
Методические указания по подготовке зенитных ракетных войск к отражению ударов тактической и палубной авиации и крылатых ракет типаАЛКМ на предельно малых высотах.1979 - 8. oldal

A rávezető állomás hasonlít az Sz-75M Volhov rendszerhez, de annál egyszerűbb, kisebb és könnyebb, kevesebb antennával rendelkezik, továbbá nincs kabin az antenna alatt.

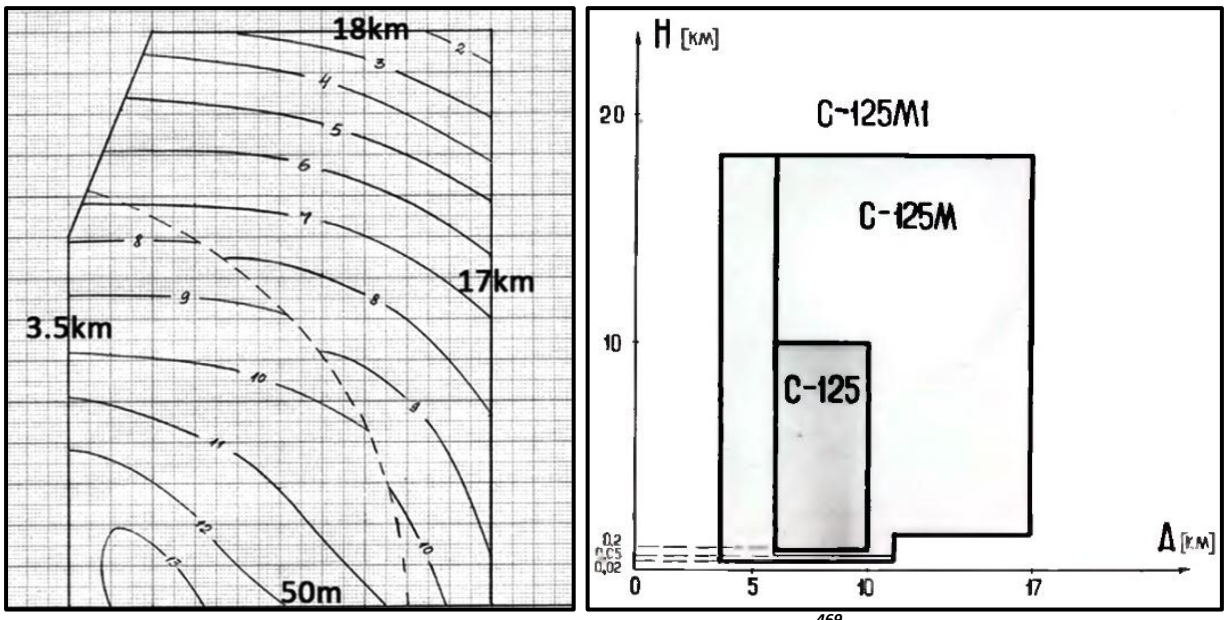


1. UV-10, 3cm-es hullámhosszú, keskeny sugarú, adó/vevőantenna.
2. UV-11, 3cm-es hullámhosszú, széles sugarú vevőantenna. (F1 szög)
3. UV-11, 3cm-es hullámhosszú, széles sugár vevőantenna. (F2 szög)
4. UV-12, dm-es hullámhosszú rádió-parancsközlő antenna a rakéták távirányítására
5. 5, 9Sh33A Karát kamera. (optikai csatorna)

A Nyeva rendszerhez a következő rakétákat állították hadrendbe (csak a főbb változatok szerepelnek a listában):

típusváltozat	*kabinok*	*rakéta*	*hatótáv*	*magasság*	*célsebesség*
			km	*km*	*km/h (m/s)*
Sz-125 Nyeva (SA-3A)	RKU-N– energia átalakító és elosztó kabin UNK – harcvezetési kabin	V-600P 5V24	6-12	0,3-10	2000/560
Sz-125M1 Nyeva (SA-3B)	RKU-N– energia átalakító és elosztó kabin UNK – harcvezetési kabin	V-601P 5V27U V-601PD 5V27D	6-17 3,5-25*	0,05-18 0,02-18	2000/560 2500/700

**** Hangsebesség elleni célok ellen passzív szakaszban, egyébként 17 km. A hatótáv ferde lőtávolságban értendő minden esetben.***



Balra fent a rakéta maximális túlterhelése a HMZ-n belül, jobbra fent[469] a HMZ 0 km-es paraméterrel.

A rakéta maximális túlterhelés diagramja fent, a bal oldalon látható. A korai Dvina és Volhov rakétákkal összevetve harcászati célok ellen 8 km magasság alatt 10-13G-s manőverekre is képes volt a rakéta, még a Volhov legutolsó és legfejlettebb rakétája sem érte el ezt a szintet manőverező képesség terén, a harcászati vadászgépek és csapásmérők számára a Nyeva kimanőverezése a rakéta aktív szakaszában, amikor a hajtóműve üzemelt nehezebb feladat volt.

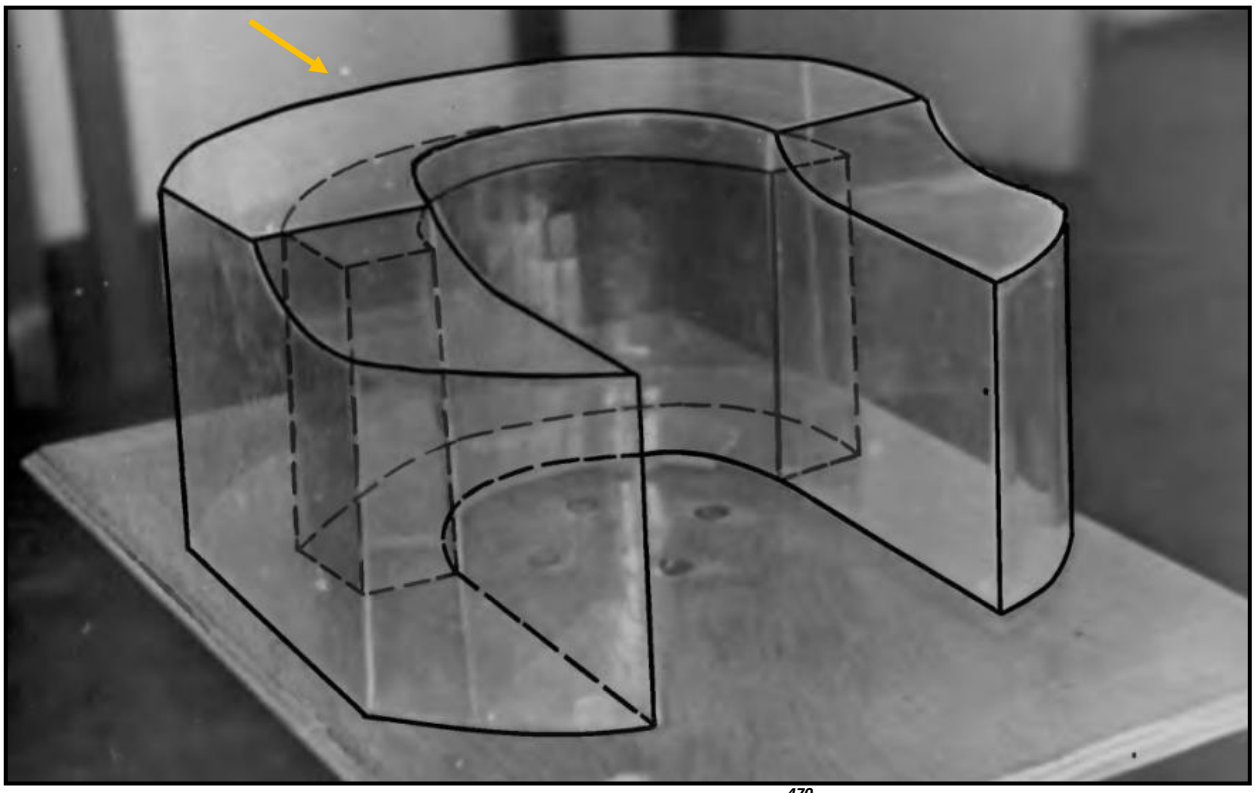
[469] http://historykpvo.narod2.ru/ - *Альбом разработок ЦКБ Алмаз 1947 - 1977 гг - 7. oldal*

A diagramon az is látható, hogy a megsemmisítési zóna szélén, a passzív szakaszban a rakéta manőverező képessége gyorsan csökken ahogy a rakéta lassul. Bár a Dvina és Volhov rendszerekhez képest a rakéta megsemmisítési zónája kisebb volt, de lehetőségein belül manőverező harcászati vadászgépek és csapásmérők ellen mégis alkalmasabb volt a rendszer, mint a Dvina vagy a Volhov.

A legfejlettebb Nyeva változat 3,5 km-es minimális megsemmisítési távolsága és 20 méteres minimális célmagassága még a terepkövető radarral 30-60 méteren repülő célok ellen is hatásos volt – pl. F-111 és Tornado gépek ellen – amennyiben a kezelők kellően gyakorlottak (gyorsak) és szerencsések voltak. Ilyen kis magasságú (és gyorsan repülő) a célokkal a Dvina és Volhov rendszerek nem tudtak mit kezdeni, a minimális célmagasság ezeknél 100 méter volt.

Az előző oldalon, jobbra fent az Sz-125 és Sz-125M rendszer hatásos megsemmisítési zónája 0 km távolság paraméter, nem manőverező, zavarást nem végző célok ellen V-601P 5V24 illetve V-601P 5V27 rakétákkal. Bővebben a lentiekben látható a rendszer több HMZ diagramja a cél paramétereinek változásának függvényében.

A lenti képen a Nyeva rendszer HMZ-je plexiből megalkotott HMZ diagram térbeli szemléltetése látható, amely bemutatja a légtér különböző szeleteit, ahol képes a célpontot megsemmisíteni. A támadó gép bal felső irányából érkezik (sárga nyíl), eszerint készült a szemléltető eszköz. Még ez az összetett ábrázolás is csak egy célsebesség tartományra vonatkozik, a 300 m/s vagy annál lassabb célpontokra.



Sz-125 Nyeva HMZ ábrázolása. [470]

[470] http://historykpvo.narod2.ru/
Результаты работ по расширению возможностей ЗРК С-25,С-75,С-125 на полигоне вч 29139.Выставка 1964 г - 59. oldal

A következő oldalon fentiekben látott komplex HMZ látható síkmetszetekben ábrázolva, továbbá egy HMZ diagram nagyobb sebességű (300-700 m/s) célokra vonatkozóan annak szemléltetésére, hogy a Dvinához és Volhovhoz hasonlóan a célpont sebessége mennyire változtatja meg a rendszer HMZ-jét.

Az ábrákon használt nyilak jelentése a következő:

- Amikor a célpont pontosan a légvédelmi rakéta-rendszer felé repül, akkor az oldaltávolság paraméter értéke 0 km. Amikor valamekkora távolsággal elrepül mellette, akkor az oldaltávolság paraméter értéke a mellérepülés távolsága. A sárga nyíl mutatja a 0 km paraméterrel érkező célpontot.
- A baloldali diagram 300 m/s alatti, a jobboldali a 300 és 700 m/s közötti sebességgel haladó nem manőverező és zavarást nem folytató célokra vonatkozik 99%-os megsemmisítési valószínűség mellett.
- A rózsaszín nyíl mutatja a HMZ szélét, a maximális megsemmisítési távolságot. A nyíl a 10 km-es paraméterrel rendelkező cél közeledési helyét és irányát is mutatja.
- A szaggatott rózsaszín nyíl hegye bár ugyanoda mutat, mint a tömör rózsaszín nyílé azt meghosszabbítva látható, hogy a célpont pontosan az osztály felé tart. Tehát az az eset a sárga nyilas esettel egyezik meg. Ezen eseten keresztül érthető meg, hogy adott esetben hogyan határozható meg a paraméter, illetve hogyan forgatható a megfelelő irányba a HMZ diagram a megfelelő értelmezhetőséghez.
- A piros nyíl mutatja a HMZ minimális távolságát.
- A kék nyíl a 14, 16 és 18 km magasságokra vonatkozó felülnézeti metszete annak a 72 fokos egyenesnek, ami a felső ábrán látszik.
- A zöld nyílnál levő három távolság mutatja, hogy a cél után fordulás esetén mekkora a minimális megsemmisítési távolság eltérő magasságon és eltérő rávezetési módszer mellett a „TT” (hárompont) és „PSZ” (ПС) (előretartás) módokon. (A rávezetési módok ismertetése 4.1.2.2. pont alatt található.)
- Az alsó és felső ábrán a minimális és maximális megsemmisítési távolság egyértelmű, vízszintes vonalak határolják a HMZ-t.

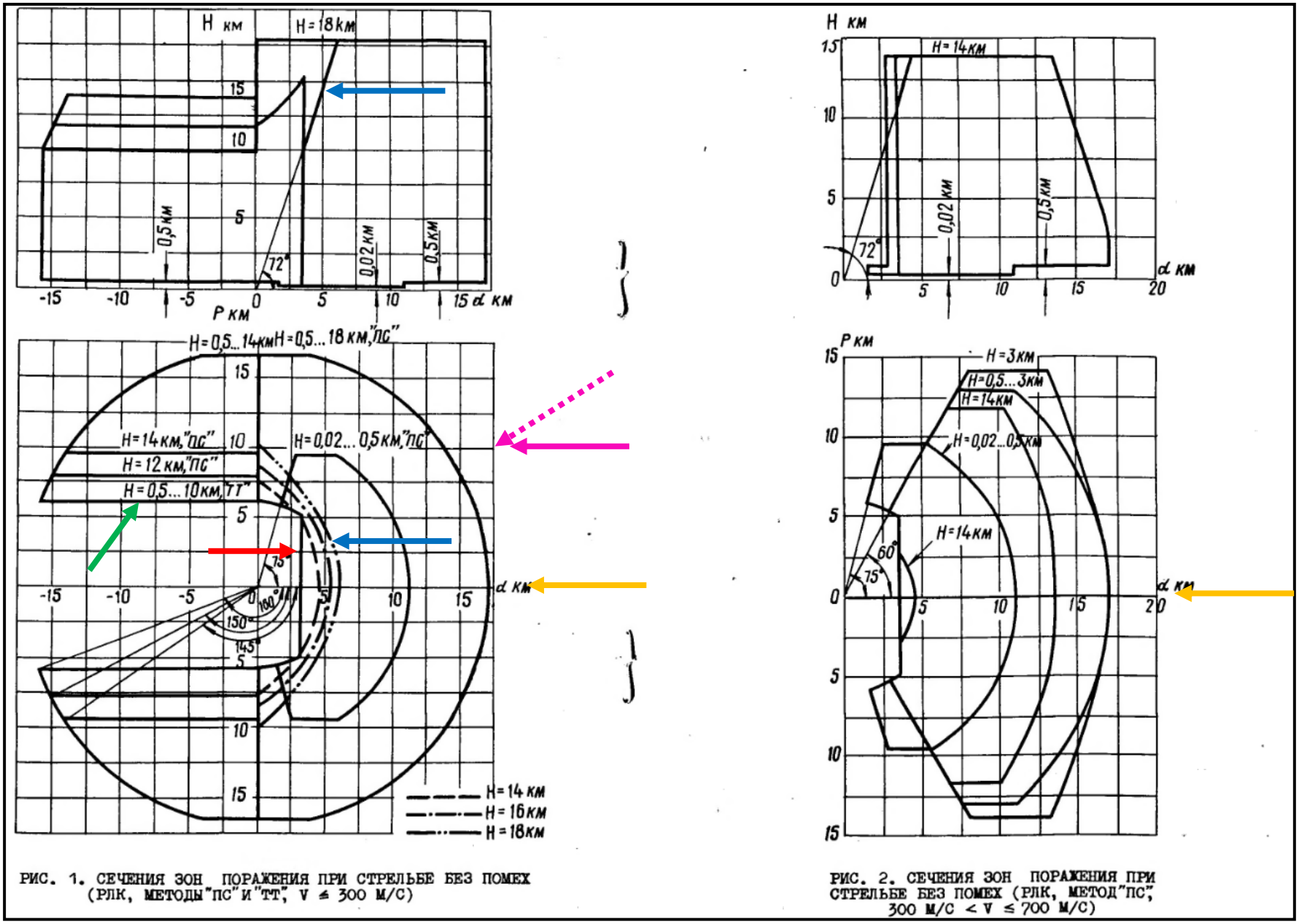


РИС. 1. СЕЧЕНИЯ ЗОН ПОРАЖЕНИЯ ПРИ СТРЕЛЬБЕ БЕЗ ПОМЕХ (РЛК, МЕТОДЫ "ПС" И "ТТ", V ≤ 300 М/С)

РИС. 2. СЕЧЕНИЯ ЗОН ПОРАЖЕНИЯ ПРИ СТРЕЛЬБЕ БЕЗ ПОМЕХ (РЛК, МЕТОД "ПС", 300 М/С < V ≤ 700 М/С)

Az Sz-125 Nyeva hatásos megsemmisítési zónája 300 m/s alatti célokra (balra) és 300-700 m/s közötti célokra, amennyiben ez nem alkalmaz zavarást.[471] Nem egyszerű...

[471] *28.oldal, ПРАВИЛА СТРЕЛЬБЫ ЗЕНИТНМИ УПРАВЛЯЕМЫМИ РАКЕТАМИ СИСТЕМЫ С-125М, forrás: http://historykpvo.narod2.ru/*

Természetesen itt is igaz, hogy a rendszer nem csak rakétaindítókból és radarokból állt. Egyes források feltüntetik a PRV-10/11 magasságmérő radart is az osztály elemeként, azonban a valóságban nem nagyon lehetett ilyet látni. A célparaméterek, a rendszer hatásos megsemmisítési zónája, illetve az Sz-75-nél ismertetett célbefogási módszer miatt nemigen volt szükség a célpontok magasságának mérésre.

Sz-125M1 osztály főbb elemei			
Rendszer elem	***db***	***funkció / név***	***jármű***
SzNR-125 UNV kabin Low Blow	1	rávezető állomás	vontatott
SzNR-125 UNK kabin	1	harcvezetési kabin	vontatott
5P71 /5P73	4	indítóállvány 2 db / 4 db rakétával	vontatott
PR-14A/AM	8	rakéta szállító / újratöltő	ZIL-131
5E96	1	generátor	vontatott
AKKORD-125*	1	gyakorló szimulátor	vontatott
P-15/P-19 Flat Face		körkörös célfelderítő radar	Ural-375
1L22 Parol 4 vagy 75E6 Parol 3	1	IFF egység	KrAZ-255
5Ya61/62/63 Cikloida	1	rádió átjátszó állomás AVR rendszerhez	vontatott

* **A gyakorló eszközökből nem rendelkezett minden osztály, rotációs alapon a légvédelmi ezred vagy dandár egy osztályánál volt, a kiképzési menetrend szerint adott osztálynál.**

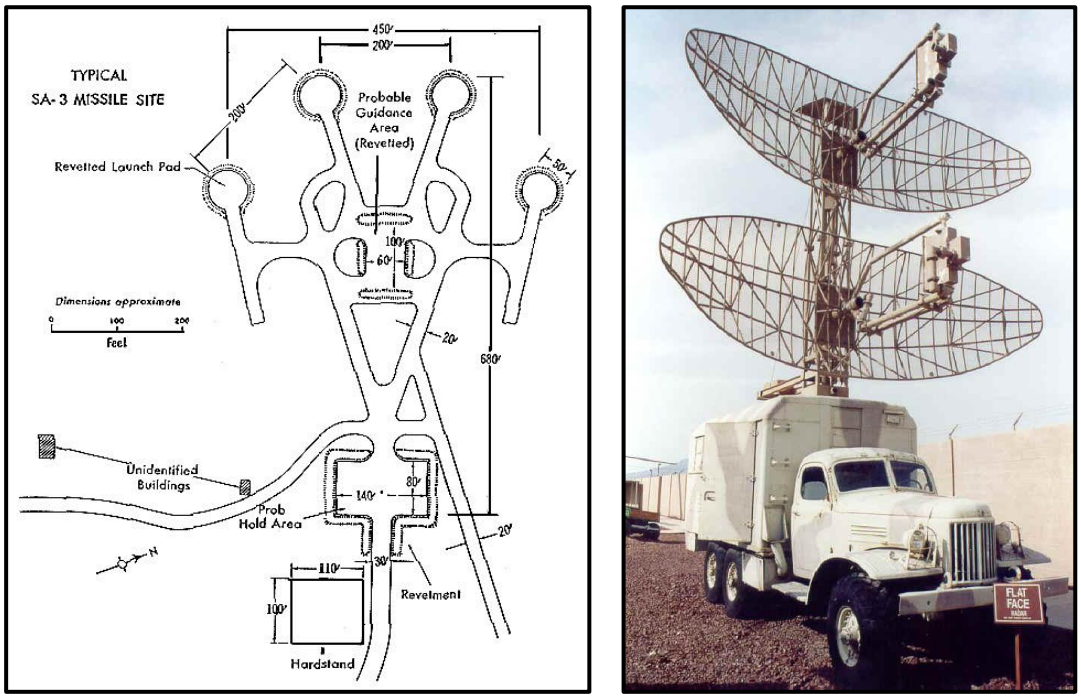
A Dvina és Volhov osztályokhoz hasonlóan a Nyeva is telepített rendszer volt, ezt is használták a „pusztába” kitelepülve, de megerősített tüzelőállásokból is. A települési forma ezeknél is jellegzetes, könnyen azonosíthatóvá tette azokat.

Nyeva osztály a Közel-Keleten. Érdekes módon csak 3 db rakétaállvány látható 4 db rakétával – valószínűleg egy korábban megsemmisült –, a kép közepén találhatóak az SzNR-125 UNV és UNK kabinok (piros nyíl).

Az Sz-125 Nyeva a vietnámi konfliktusból kimaradt. A vietnámi légvédelmi rakétások egy része megkapta a kiképzést, lőtéren is levizsgázott, de az osztályok technikai eszközei a háború végéig politikai okokból nem

ért oda Vietnámba. A kikötők amerikai elaknásítása miatt csak vasúton, Kínán keresztül lehetett utánpótlást küldeni a Szovjetunióból. Ezt nem merték megkockáztatni, nehogy az új szovjet rendszer „véletlenül” kínai kézbe kerüljön.

A ’70-es évektől kezdve a Közel-Keleten Izrael és az környező arab országok közötti háborúkban a háborúk közötti „összetűzésekben”[472] már részt vett a Nyeva. 1991-ben a Sivatagi Vihar alatt Irak használta, 1999-ben Allied Force idején a szerbek, de még 2016-ban a szíriai polgárháború idején szóhoz jutott légi és szárazföldi célok ellen is. (A Dvina és Volhov rendszerhez hasonlóan ezzel is lehet földi célokra tüzelni, bár értelme alig van.) A legzajosabb sikere a rendszernek az F-117-es lelövése volt a Dani Zoltán által vezetett osztállyal 1999-ben, ami a rendszer régebbi szovjet-orosz légvédelmi rakéta-rendszerek képességeink túlértékeléséhez, illetve egyéb téveszmék és városi legendák terjedéséhez vezetett, lásd a 4.4.4 pontban.



Balra fent egy jellegzetes fix Nyeva tüzelőállás elrendezése. Jobbra a P-15 körkörösen pásztázó felderítő radar.

Balra fent a négyrakétás 5P73, jobbra a kétrakétás 5P71 indító.

A hidegháborút követő évtizedekben az alkalmazók többsége kivonta az Sz-75 Volhovhoz hasonlóan. Magyarországon 1978-tól 2001-ig állt rendszerben. Végezetül néhány videó és egy képgyűjtemény a rendszerről.

http://www.ausairpower.net/APA-S-125-Neva.html
https://www.youtube.com/watch?v=vuIcJl08sXs
https://www.youtube.com/watch?v=c5zC_JWvxVU

[472] *https://en.wikipedia.org/wiki/War_of_Attrition*

6.2.1.2.4. Sz-200 Vega/Dubna (SA-5 Gammon) légvédelmi rakétarendszer[473]

A Berkut, Dvina, Volhov és Nyeva rendszerek hadrendbe állítása közben a hidegháború feszített fejlesztési tempója nem szakadt meg, ami új kihívásokat jelentett a szovjet légvédelem számára. Hadrendbe állt a kétszeres hangsebességre képes B-58 Hustler, fejlesztés alatt állt a B-70 Valkyrie háromszoros hangsebességre is képes interkontinentális bombázó. Ezek leküzdése igen nehéz vagy szinte lehetetlen lett volna hárompont módszerrel elektronikai zavarás esetén, nem mellesleg csak igen rövid ideg tartózkodtak volna az akkori légvédelmi rendszerek megsemmisítési zónájában. Az elfogóvadászgépek dolga is nehéz lett volna ilyen célok ellen annak ellenére, hogy már légiharc-rakétákkal is rendelkeztek, nagyon precíz rávezetést és időzítést igényelt volna a tüzelőhelyzetbe manőverezés.

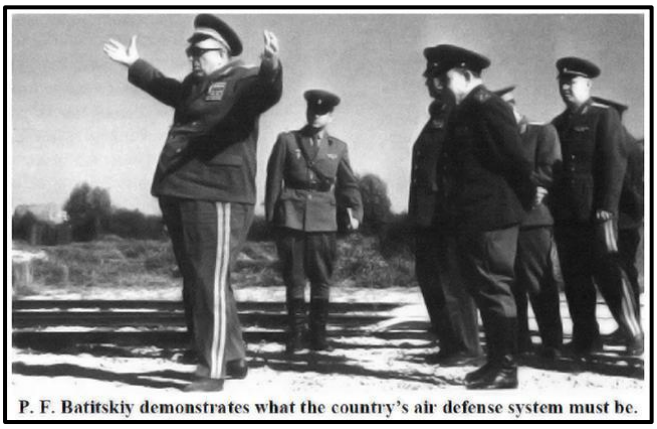
B-52 fedélzetéről indítható AGM-28 Hound Dog robotrepülőgép (gázturbinás hajtóműve volt).

A nagysebességű bombázógépek végül zsákutcának bizonyultak – ennek kiváltó oka pont az Sz-200 megjelenése volt komoly részben –, ellenben a szubszonikus B-52 és angol „V bombázók”[474] fegyvertárában megjelentek az akkori légvédelmi rendszerek megsemmisítési zónáján kívül indítható nagy hatótávolságú 2-3-szoros hangsebességgel repülő rakéták, amelyek évtizedekig hadrendben maradtak. Ilyen volt a már korábban említett AGM-28 Hound Dog, az angol Blue Steel, illetve a ’70-es évek elején a kisebb méretű, de szintén nagysebességű AGM-69 SRAM. A feladat tehát minél nagyobb távolságról történő célmegsemmisítés volt, hogy ezeket a nagysebességű célpontokat még időben le lehessen lőni illetve a termonukleáris bombával támadó nagysebességű bombázok működésének ellehetetlenítése volt a cél.

A tervezett nagy hatótávolságú légvédelmi rakéta-rendszer előnye, hogy területvédelemre is alkalmas volt. Az addig hadrendbe állított légvédelmi rakéta-rendszerekkel körbe kellett telepíteni a védendő objektumokat és városokat, de még így viszonylag könnyen áttörhető volt egy irányból a védelem. Ezzel szemben egy 150-300 km-es megsemmisítési távolságra képes rendszer esetén erről szó nincs, mert tetszőleges irányban rendelkezésre áll az osztályok által biztosított célcsatorna mennyisége a bejövő célok számától függően. Egy nagyváros köré telepítve 6 db 150 km-es HMZ-vel bíró légvédelmi rakéta rendszer a

[473] http://infowsparcie.net/wria/o_autorze/wsp78pr_s200we.html
http://infowsparcie.net/wria/o_autorze/pzr_s_200_w_880n.html
[474] https://htka.hu/cimke/v-bombazok/
https://htka.hu/static/cikkek/Pdf/V_Bombazo.pdf

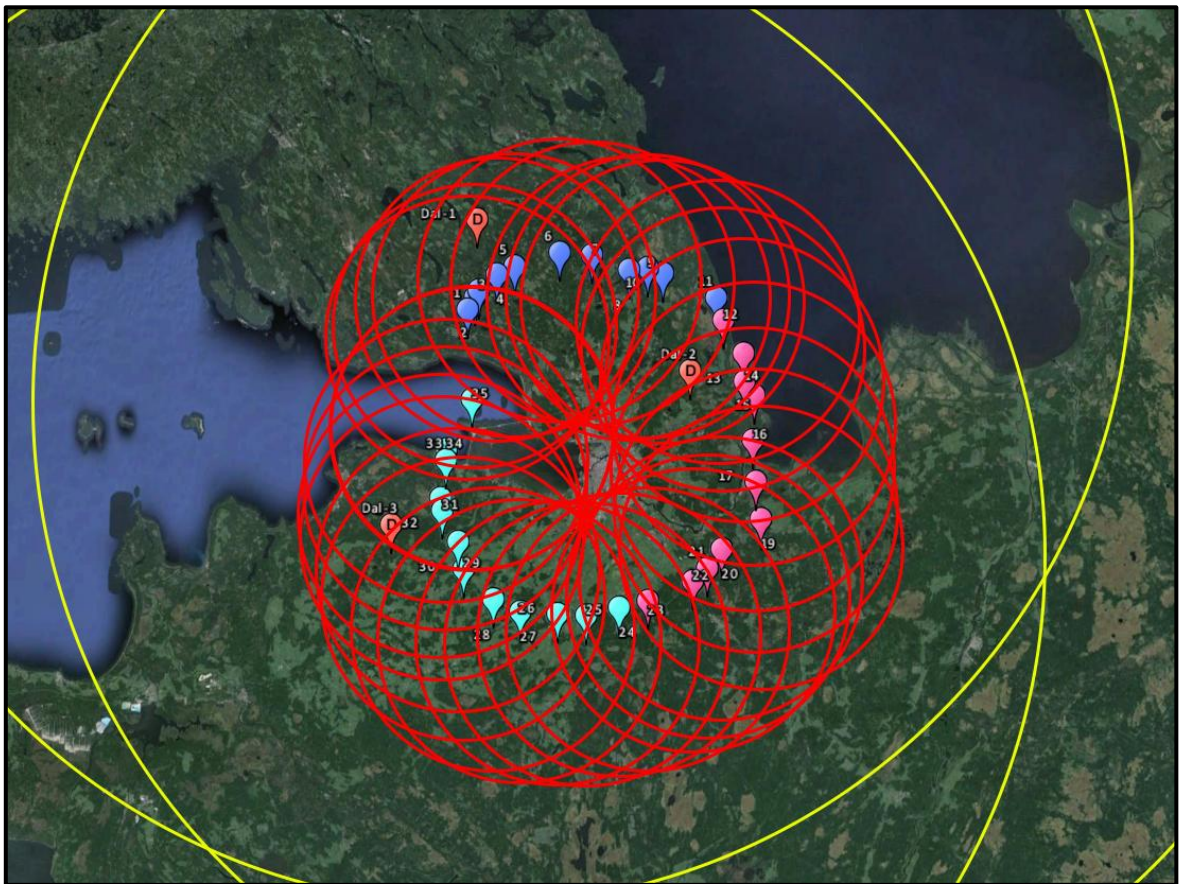
város túlsó oldaláról érkező célokra is képes dolgozni, ellenben, 30-40 km-es HMZ-jű rendszerek telepítésekor, hogy minden irányban meglegyen a 6 db célcsatorna sokkal több osztály telepítése szükséges. Ez a Leningrád köré telepített Dál és Gyeszna osztályok HMZ-jén is látszik.


P. F. Batitskiy demonstrates what the country's air defense system must be.

A Honi Légvédelem (PVO) parancsnoka szemlélteti, hogy mekkora légvédelmi rendszerre van szüksége a szovjet hazának.

Az Sz-200-as légvédelmi rakéta-rendszert az Sz-75 és Sz-125-öt is megalkotó Raszpeltyin vezetésével fejlesztették ki a KB-1 tervezőirodában. Ez volt a hidegháború során rendszerbe állított legnagyobb hatótávolságú, hagyományos harci résszel rendelkező légvédelmi rakéta-rendszer, és egészen az Sz-400 megjelenéséig az is maradt. Bár a BOMARC hatótávolsága nagyobb volt, de élesben az csak nukleáris harci résszel tervezték használni, és bár az Sz-200 rakétája is rendelkezhetett atomtöltetű harci résszel, de nem kizárólagosan azzal használták volna.

VSz-en kívüli országoknál ez fel sem merülhetett, nukleáris fegyvereket nem exportált a Szovjetunió sehova, azok feletti ellenőrzést az utolsó pillanatig a szovjetek gyakorolták volna éles bevetés esetén is, például a magyar Scud rakétákhoz szánt nukleáris harci részeket is csak háború vagy háborús készültség esetén szállították volna ki a magyar alakulatokhoz a szovjet támaszpontokról.

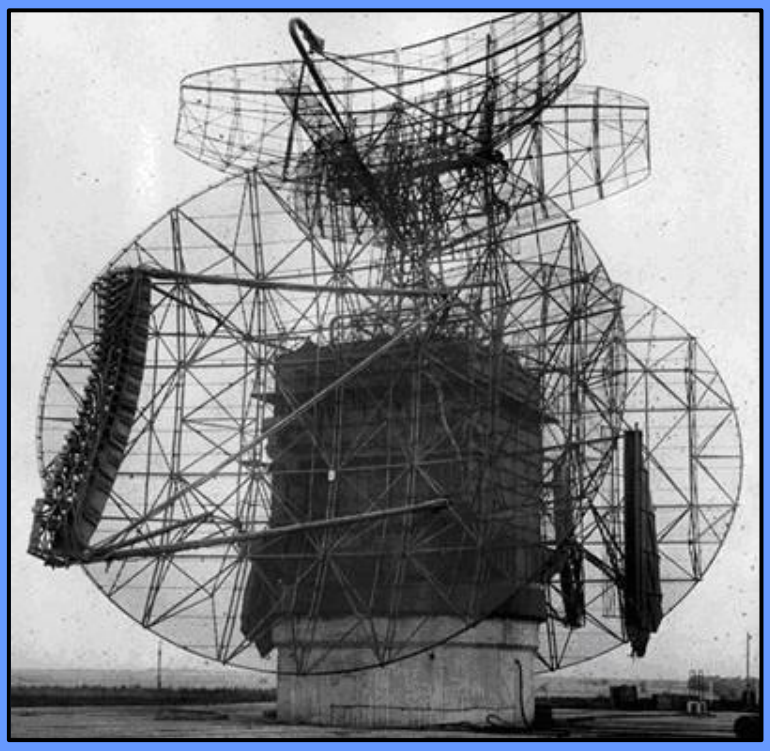


A Leningrád köré tervezett 33 db Sz-75 Gyeszna és a tervezet 5 db Dál rendszer megsemmisítési zónája.

A fejlesztés során egy az Sz-25 Berkutnál olcsóbb, körkörös védelmet biztosító, de legalább 160 km-es megsemmisítési zónával bíró rendszer iránti igényt fogalmaztak meg. Ebből az igényből indult el a Dál[475] rendszer fejlesztése, ami azonban sikertelenül zárult, ami lényegében egy BOMARC szerű másolat lett volna. A Dál 5 db osztállyal a Leningrád köré települt Sz-100 „Leningrád" rendszer része lett volna 33 db Sz-75 (SA-2C) Gyeszna osztály mellett. Az Sz-100-hoz készült az első automatizált rávezető rendszer (AVR) az Sz-100V Asurk, ami az egy célcsatornás Sz-75 osztályok és a Dál rendszerek működését koordinálta volna. (Az AVR rendszerekkel egy külön fejezet foglalkozik a későbbiekben fontosságuk miatt.)

A „200"-as légvédelmi rakétarendszer versenytársát az OKB-301 irodában fejlesztettek, S.A. Lavocskin vezetésével. Nyugaton, az első telepítési helye alapján „Leningrád" rendszer elnevezést kapta.

5 db Dál komplexumot terveztek Leningrád körül. Az Sz-200 osztálycsoportok – erről később lesz szó – 2-3-5 darab célcsatornája helyett, a Dál rendszerben egy 5N21 (lenti képen) 19-27 centiméteres hullámhosszú 18 méter átmérőjű, több célcsatornás forgó antennát terveztek. Ez az igen komplex, percenként 15 fordulatot megtevő dupla antenna rendszer a teljes 360 fokos légteret felderítette volna, és párhuzamosan 10 db rakétát vezetett volna 10 db célra.



A kétfokozatú, 16 méteres és 8,7 tonnás induló tömegű rakéta rádió-parancsközlő távirányítással repült volna a cél közelébe, ahol a végsőfázisban a rakéta saját kisméretű radarjával aktív célkövetésre váltott volna. 1962 októberében a verseny eldőlt az Sz-200-as rendszer javára.

A Szovjet ipar akkoriban képtelen volt megbízható aktív önrávezető fejet gyártani a V400 rakéta részére. (Az amerikai BOMARC is csak nukleáris robbanófejjel volt megbízható.) A USA hírszerző szerveinek megtévesztésére, a legyártott V400 rakétákat 1963-tól többször is felvonultatták a Vörös téri parádékon, így a már elvetett rendszer megkapta az SA-5 Griffon besorolást. A mellékletek között egy részletesebb ismertető található a Dál történetéről.

[475] http://infowsparcie.net/wria/o_autorze/pzr_system_dal.html *Lengyel nyelvű, Google fordító az ábrák kivételével lefordítja angolra.*

Az Sz-200 rendszernél tehát az aktív radaros vezérlés helyett a félaktív vezérlés használata mellett döntöttek. A hatalmas megsemmisítési távolság miatt a rádió-parancsközlő rávezetése szóba sem jöhetett, 55 km céltávolság felett annak pontatlansága akkora volt, hogy csak nukleáris harci résszel rendelkező rakéta használata lett volna az egyetlen opció.[476]

A vezérlési módszer és az elvárt hatásos megsemmisítési zóna gigantikus méretű légvédelmi rakéta-rendszer kifejlesztéséhez vezetett. A félaktív módszer számtalan előnye mellett több komoly hátránnyal rendelkezett, ami a költségeket és a rendszer fizikai méretét is befolyásolta a lentiek szerint:

- A félaktív rávezetés azt jelentette hogy a rakétában volt az „agy", nem a földi rávezető állomáson,. mint a rádió-parancsközlő vezérlésnél. A rakéta számára tűvezető radar világítja meg a célt, a visszaverődés alapján a rakéta saját maga számára dolgozza ki a kormányvezérlő parancsokat. Ez drágává tette a rakéta elektronikáját, továbbá az akkori fejlettségi szint mellett még méretbeli problémákat is felvetett.
- A félaktív vezérlés miatt a rakétának az indítás előtt, már az állványon be kellett fognia a célpontot. Belátható, hogy még interkontinentális bombázó méretű célok esetén ehhez hatalmas méretű antenna és nagy kisugárzott teljesítmény szükséges nagy távolság esetén, ami viszont a rakéta méretét és légellenállását alapvetően befolyásolta.
- A félaktív vezérléssel egy osztály egy célcsatornás volt, viszont tetszőleges számú rakéta indítható volt egy célpontra, hiszen az összes rakéta saját magát vezette célra. (Praktikusan 2-3 db-nál több rakétát indítani egy célra nincs értelme.)
- A nagy antenna miatti nagy átmérő nagy légellenállást jelent, a nagy megsemmisítési zónához nagy tolóerő hosszú ideig történő biztosítása szükséges, ami hatalmas méretű és tömegű rakétát eredményezett. A rakéta induló tömege és mérete (startfokozatokkal) egy MiG-21-es vadászgéppel összemérhető.
- A rakéta annak ellenére lett hatalmas, hogy a rakéta folyékony hajtóanyagú második lépcsővel (fokozattal) rendelkezett, ahogy a SzA-75, Sz-75 és az Sz-25 Berkut, ami a Nyevához képes visszalépés az üzemeltetés tekintetében. A hajtóanyag majdnem azonos összetételű, ugyanolyan problémás és mérgező, mint a fenti korábbi rendszereknél volt. A folyékony hajtóanyaghoz történő visszalépés azért volt szükséges, mert az jellemzően nagyobb fajlagos teljesítmény elérését teszi lehetővé – és még ezzel is ekkora rakéta lett az eredmény – cserébe problémás a kezelésük. (Nem véletlenül nem készült soha folyékony hajtóanyagú légiharc-rakéta.) Az Sz-200 volt az utolsó folyékony hajtóanyagú rakétával rendelkező szovjet-orosz légvédelmi rakéta-rendszer.
- A nagyméretű rakéta miatt az Sz-200 összes eleme hasonló módon nagyra és nehézre sikeredett, a rendszer emiatt gyakorlatilag teljesen statikus. Nem lehetséges a „pusztába" kitelepülni vele, ahogy a Dvinával, Volhovval és Nyevával. Egyetlen alkalmazó országot leszámítva minden országban egy fix települési hellyel rendelkeztek az osztálycsoportok, Líbia volt az egyetlen kivétel, lásd később.

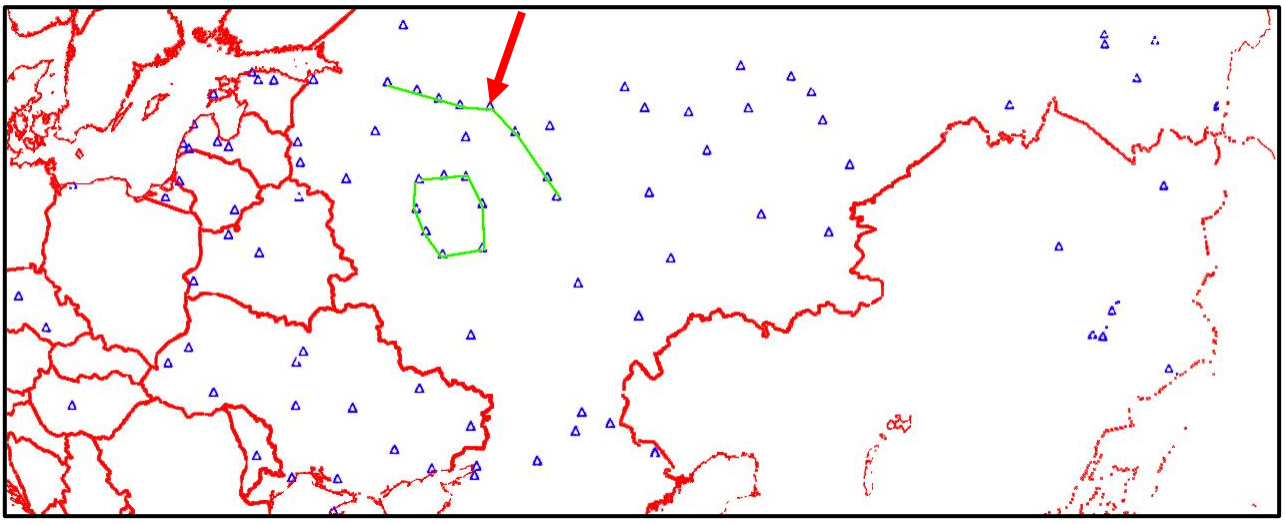
Az Sz-200 más téren is újat mutatott. Ez volt az első szovjet légvédelmi rakéta-rendszer, ami folyamatos hullámú célmegvilágítást és monoimpulzus antennát használt (mint az amerikai HAWK), illetve digitális

[476] *A rendszer kifejlesztésekor még nem volt megoldott a kisméretű nukleáris fegyverek tömegtermelése, az interkontinentális rakétákba szánt Mt hatóerővel bíró eszközöket állították elő. Ezen felül a rakéták számával egyenlő nukleáris harci rész még drágábbá tette volna az Sz-200-at.*

számítógéppel rendelkezett.[477] A digitális számítógép mai szemmel nevetségesen kis teljesítménnyel bírt, de a hatvanas évek elején ez jónak számított. A digitális számítógép 64 kHz-es (0,064 MHz) 16 bites processzorral, 256 byte (ferritgyűrűs) RAM és 4 kbyte ROM-ban 5 futtatható programmal rendelkezett.

A Szovjetunió 1967-től kezdte telepíteni az Sz-200-ast, elsőnek Tallinn mellett, így kezdetben nyugaton „Tallinn" rendszernek nevezték. Szolgálata alatt folyamatosan korszerűsítették, ami az Sz-200A Angara, Sz-200V Vega (SA-5A), Sz-200M Vega-M (SA-5B), és az Sz-200D Dubna (SA-5C) változatokat eredményezte. Az Sz-200M Vega-M exportváltozatát, az Sz-200VE Vega-E (SA-5B) rendszert Románián kívül a teljes Varsói Szerződés hadrendbe állította, de meglepően későn, erre csak 1984-86 között került sor. A VSz-en kívül Líbiába, Iránba, Szíriába és Észak-Koreába exportálták a Vegát 1985-1991 között.

A Szovjetunióban összesen kb. 130 db különféle változatú Sz-200 Vega (SA-5) nagy-hatótávolságú osztály telepítése történt meg, jellemzően 3 db célcsatornás osztálycsoportokban, de 2 db és 5 db célcsatornás telepítési forma is létezett. A rendszer a Szovjetunió teljes Uráltól nyugatra eső európai területét átlapolva védte. Moszkva körül 8 db alkotott kb. 100 km sugarú gyűrűt, és további 9 db osztálycsoport egy 800 km hosszú sávban védte a fővárost északról és keletről kb. 400 km távolságban. Ázsiában már csak a fontosabb városoknak és objektumoknak jutott 1-1 osztálycsoport.

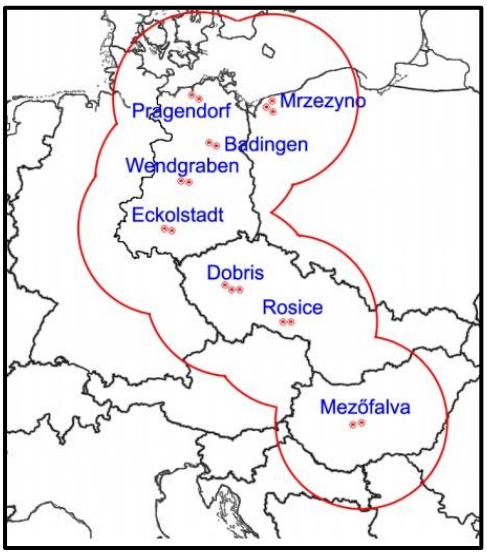


Sz-200E Vega osztálycsoportok a Szovjetunóban, Magyarországon, Csehszlovákiában és Lengyelországban.

A fentiek után ismerkedjünk meg az osztálycsoport és osztály fogalmakkal. Egy Vega osztály egy Volhov osztálynak feleltethető meg, tehát tartozott hozzá egy tűzvezető radar, a rakéták és a hozzájuk szükséges egyéb berendezések. A Vega telepítése abban tért el, hogy önállóan nem – egyetlen kivételtől eltekintve – hanem az osztályok legalább párosával települve alkottak egy osztálycsoportot, de létezett 3 db, illetve 5 db osztályból felépülő osztálycsoport. A Tallin mellé települt első Sz-200 osztálycsoport 5 db osztályos volt.[478]

[477] https://youtu.be/ThPoN-0j50Y?t=1h32m20s *A számítógép ferritgyűrűs memóriát használt, a linkelt videóban röviden ismertetik a memóriát.*

[478] https://goo.gl/7HWBhE *Sajnos két évszak képeiből rakja össze a képet a Gmaps, de a Google Earth-ben a régebbi képeket visszanézve egyiken szépen látható a mára megszűnt Sz-200 osztály telepítési helye.*



A CIA felderítési anyaga szerint[479] több 5 db osztályos osztálycsoport építését kezdték meg, de vagy a hírszerzés tévedett vagy a szovjet tervek változtak meg, mert végül csak a legelső helyszínen épült meg 5 db osztályos osztálycsoport, Tallin mellett. 4 db osztályos osztálycsoport nem létezett, illetve csak egy speciális osztálycsoport volt ilyen, lásd később. Szovjetunióban jellemzően 3 db osztályos osztálycsoportokat telepítettek. A Varsó Szerződés tűzrendszerét kettő kivételével 2 db osztályos osztálycsoportok alkották. A Szovjetunió területén kívül 3 db szovjet osztálycsoport települt, 1 db NDK, és 2 db Mongólia területén.

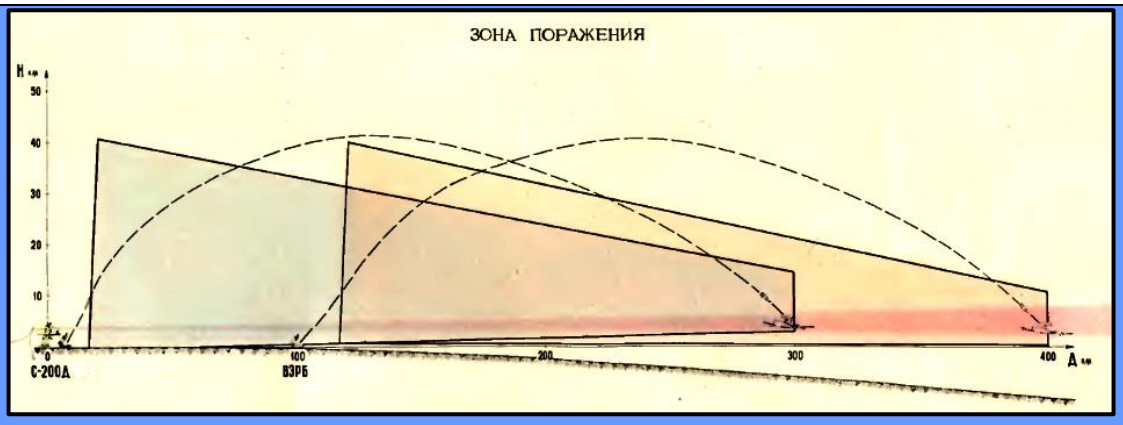
Balra fent a Varsói Szerződés tagországainak (Bulgária nem látszik) összefüggő Vega tűzrendszere a '80-as évek végén.

Tallintól nyugatra, Naage és Türisali között levő elhagyott Sz-200 osztálycsoport. Jól kivethető az 5 db osztály, illetve az azokhoz tartozó osztályonkénti 6 db rakétaindító körbesáncolt telepítési helyei. A rendszer többi elemének és az utak és sínek nyomvonala még halványan kivehetőek.

Vlagyivosztokban volt egy három osztályos csoport, ami kiegészítésként kapott még egy extra távoli tüzelőállást (VZRB). Ennek oka az volt, hogy a Kadenáról menetrend szerint érkező SR-71 repülőgépek néhányszor megsértették pár kilométerrel fordulás közben a Szovjetunió légterét. Gyakorlatilag az Sz-200D egy tüzelőállását mozgatták 100 km-rel előre az osztálycsoportból. Az így eltolt osztály egy K3 indítás előkészítő kabinnal, 6 db 5P72 PU indítóállvánnyal + 12 db 5Ju24 ZM töltőkocsival és 5F20 összeköttetés kabinnal oldotta meg a feladatot. Ez teljesen egyedi megoldás volt, sehol máshol nem létesült ilyen osztálycsoport. (Az Sz-400 rendszer elvárt 400 km-es HMZ-je is alighanem ebből eredeztethető, Hpasp kiegészítése.) A vlagyivosztoki rendszer HMZ lent látható. [480]

[479] *Mellékletben (The Soviet SA-5 deployment program), 8. elektronikus oldalon. Érdemes elolvasni, mert jól mutatja az akkori hírszerzési lehetőségek korlátait. Azon a téren is érdekes, hogy mennyire helyesen vagy tévesen állapítja meg a rendszer alapvető képességeit illetve az, hogy az Sz-25 Berkut kivonását prognosztizálta az Sz-200 hadrendbe állítása után. Ehhez képest az a '80-as évekig nem történt meg.*

[480] http://historykpvo.narod2.ru/ *- ТТХ системы С200Д- с200д раскл - 1. oldal*



Líbiában összesen 8 db Vega osztálycsoport befogadására elegendő helyszín volt kiépítve. A 8 db aktív osztály, elméletileg 17 db állásba települhetett, egy állásba egy osztály, tehát elméletileg lehetséges volt egyosztályos osztálycsoportot is létrehozni. Ekkor kérdéses volt az, hogy az osztálycsoport rendelkezett-e volna körkörösen pásztázó felderítő radarral, mert azokból osztálycsoportonként csak egy darab állt rendelkezésre.

Az osztálycsoportok száma valószínűleg adott, de azok mérete és települési helye variálható. Líbián kívül semelyik más országban nem számoltak alternatív települési helyszínekkel, egy tüzelőállás volt kiépítve a hadrendbe állított osztályok számára. Líbiában a következő helyeken építették ki az Sz-200 befogadására alkalmas tüzelőállásokat:

Tripoli
2 osztályos aktív csoport, 0+2 ügyeletes rakétával
3 osztályt elhelyezni képes, előkészített, üres terület

Zlitan
2 osztályos aktív csoport, 3+2 ügyeletes rakétával

Surt
2 osztályos aktív csoport, 0+2 ügyeletes rakétával
(a 2 db '80-as években szétlőtt osztályt nem számítva.)

Bengházi
2 osztályos aktív csoport, 0+3 ügyeletes rakétával
2 osztályt elhelyezni képes, előkészített, üres terület
2 osztályt elhelyezni képes, előkészített, üres terület

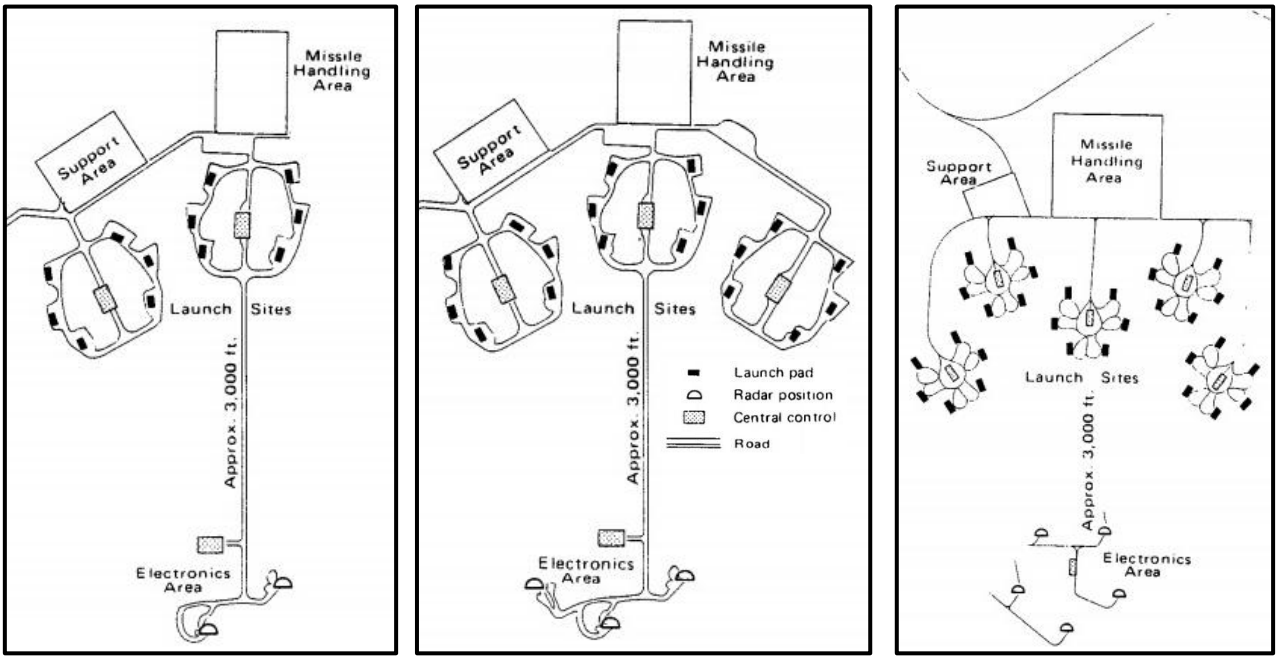
Tobruk
2 osztályt elhelyezni képes, előkészített, üres terület

Nem csak Líbia, de Irán is a Varsói Szerződés volt tagállamaitól eltérően üzemelteti ma (2017) az Vega osztályait. 1990-ben és 1991-ben egy-egy háromosztályos osztálycsoportot szereztek be, majd azután szétszedték azokat. Egyes települési helyek esetén csak teherautóról lehet tölteni a rendszert rakétákkal, máshol a vasúti töltő kocsiról is lehetséges (lásd később). Mivel több települési hely van, mint osztálycsoport, ezért a radarok elosztása is ennek megfelelően eltérő, nincs mindenhol körkörös felderítő radar (lásd később.)

A líbiai tüzelőállások és a rendszer HMZ-je.

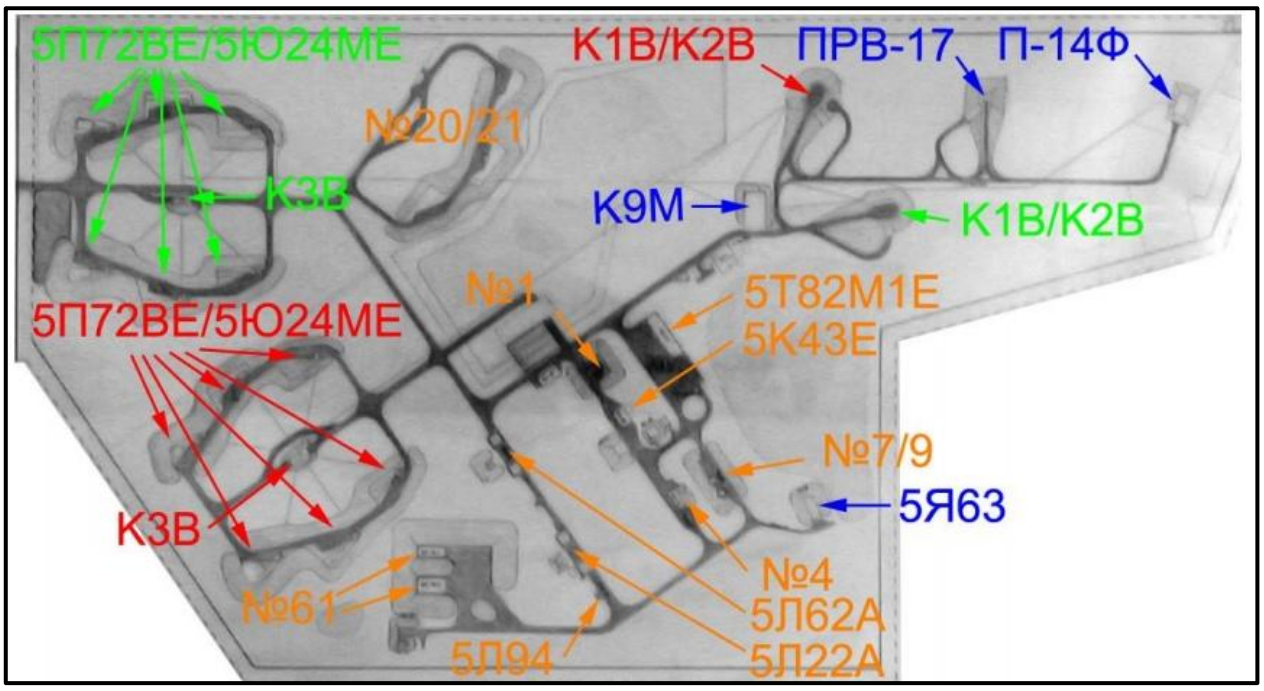
http://forum.index.hu/Article/viewArticle?a=143596771&t=9120320
http://forum.index.hu/Article/viewArticle?a=143596991&t=9120320
http://forum.index.hu/Article/viewArticle?a=143597035&t=9120320
http://forum.index.hu/Article/viewArticle?a=143597123&t=9120320

(Hpasp kiegészítései szerkesztve.)



A kettő, három és öt darab osztályos osztálycsoportok jellemző elrendezési formája. Az osztályokhoz tartozó tűzvezető radarok az indítóktól kb. 1 km-re voltak. Mellékletek között megtalálhatóak az orosz nyelű települési vázlatok.

Magyarországon Mezőfalván telepítették a kétosztályos osztálycsoportot, 1986-ban állt hadrendbe. Ennek az osztálycsoportnak az elrendezésén keresztül kerül bemutatásra a Vega rendszer felépítése. Az ábrán levő színeknek megfelelő bontásban készült a főbb elemeket bemutató lista.



Osztálycsoport eszközei:

- **K9M:** K9M vezetési és célelosztó kabin
- **П-14Ф:** P-14F Oborona (Tall King-B) körkörösen pásztázó felderítő lokátor
- **ПРВ-17:** PRV-17 (Odd Pair) magasságmérő lokátor
- **5Я63:** 5Já63 mikrohullámú rádió relé az Automatizált Vezetési Rendszer felé

(1.), ***(2.)*** Tűzcsatorna eszközei:

- **K1B/ K2B:** K1V, 5N62VE célmegvilágító rádiólokátor (RPC)
  K2V harcvezetési kabin
- **K3B:** K3V indítás előkészítő kabin
- **5П72ВЕ/5Ю24МЕ:**
  6db 5P72VE PU indítóállvány tűzcsatornánként (osztályonként)
  12db 5Ju24ME ZM töltőkocsi

Technikai osztály eszközei:

- **5T82M1E:** 6 db TZM szállító töltő gépkocsi tűzcsatornánként, (összesen 12 db)
- **№1:** 1. számú tároló, 6 db konténerben tárolt V880E második fokozat tárolására
- **5K43E:** AKIPSz, állomás a rakéta második fokozatának ellenőrzésére
- **№7/9:** tárolók a gyorsító fokozatok, és a harci részek számára
- **№4:** 4. számú szerelőtér, a gyorsító hajtóművek, és a harci rész felszerelésére
- **№61**: 2 db 61. számú tároló csarnok, amely egyenként 4 db 5Já83 tároló állványt tartalmaz (összesen 8 darabot), tároló állványonként 3 db szerelt rakétatárolására, összesen 24db összeszerelt rakéta
- **5Л94**: 5L94 sűrített levegő töltőhely
- **5Л22А**: 5L22A töltő gépkocsi a rakéták “G” (üzem) anyaggal való feltöltésére
- **5Л62А**: 5L62A töltő gépkocsi a rakéták “O” (oxidáló) anyaggal való feltöltésére
- **№20/21**: rakéta üzemanyagának leszívására, és semlegesítésére szolgáló terület

(Hpasp SAMsim leírásából származik a fenti ábra.)

A két osztályos osztálycsoport által elfoglalt terület kb. 1,1 km², ami tízszerese a korábbi rendszerek területigényének. Egy két osztályos Vega osztálycsoport teljes üzemeltető személyzettel tokkal-vonóval, rávezető személyzettel, a technikai osztályon át a biztosító alakulatokkal a laktanya szakácsokig bezárólag kb. 600 fő. Jól mutatja ez azt, hogy a rendszer mennyire volt komplex a maga korában, nem két fillérbe került beszerzése, telepítése (durván fél milliárd Rubel) és üzemeltetése.[481] Az Sz-200 képességei elképesztőek voltak akkoriban, még mai is tiszteletet parancsoló, de ettől függetlenül az idő nagyon eljárt már felette az általános műszaki színvonalát nézve.

5T82 TZM szállító-töltő jármű

Balra fent, 5P72 PU az indítóállványon a rakéta, látszik az állványhoz vezető sín. A rakéta mérete igen szemléletes a mellette levő emberekhez viszonyítva. Jobbra fent, a 5Ju24 ZM (vasúti) töltő járműről az indítóállványra töltés történik.

A rakéta nagy tömege és hatalmas mérete miatt az osztályokhoz tartozó indítóállványok (PU) utántöltése vasúti sínen mozgó töltő járműről/kocsiról (ZM) történik távirányítással. Minden egyes indítóállványhoz 2 db vasúti töltőkocsi tartozik, tehát az állványokon levő 6 db rakéta indítása után további 12 db rakéta rátöltése lehetséges gyorsan. Ezután viszont további rakéta rátöltés csak a szállító-töltő járművekről (TZM) lehetséges.

A PU töltése ZM-ről kb. 2 perc, a PU töltés ideje TZM-ről; kb. 8,5 perc. Amikor a rakéták indítása megtörtént a töltési folyamatot azonnal meg lehetett kezdeni, amikor még a rakéták úton voltak a célpont felé. A maximális megsemmisítési távolságig a rakéta repülési ideje kb. 3-3,5 perc, tehát mire az első rakéta becsapódott, addigra már az indítóállványon rátöltve várakozhatott a következő rakéta.

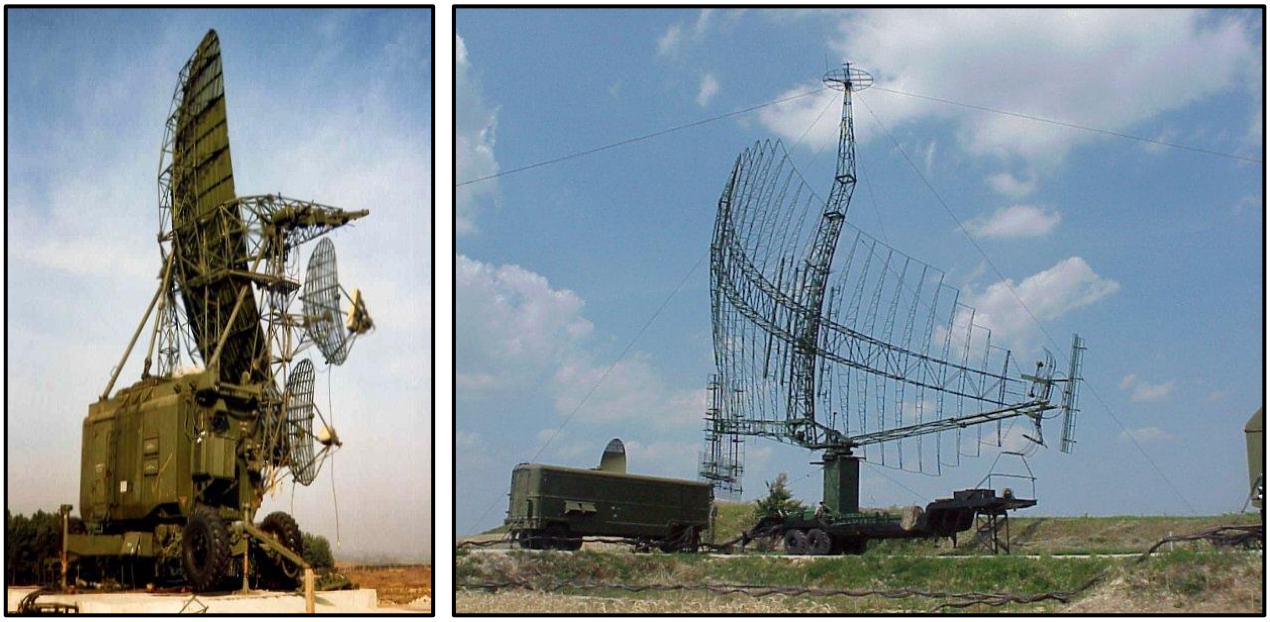
A rendszer üres állapotból feltöltése annak kialakítása miatt sajátos módon történik. A PU indítókat a TZM töltő járművekről feltöltik, majd harchelyzethez képest ellentétes irányban azokról a ZM vasút sínen mozgó kocsikra kerülnek. Harckészültség végével ezt az irányt megfordítva szedhetőek ki a rakéták a rendszerből. Tehát a ZM töltőkocsiról úgy kerülhet le a rakéta, hogy az ahhoz tartozó üres PU szükséges, amiről a TZM szállító-töltő járművel lehet a rakétát leszedni és technikai osztályhoz szállítani a raktárba.

[481] *Eléggé megviselhette a nemzetgazdaságot a '80-as évek közepi rendszeresítésük.*

A fentiek pontokba szedve összefoglalva:

- Rendszer feltöltése rakétákkal:
  1. TZM ----> PU ---> ZM (PU állványonként 2db ZM)
  2. TZM ---> PU a ZM-ek feltöltése után, összesen 6x(1+2) rakéta osztályonként
- Harchelyzetben:
  1. PU-ról indítás, ZM ----> PU utántöltés, állványonként 2 db rátöltés lehetséges ZM-ről
  2. ZM-en levő rakéták kifogyása után csak TZM ---> PU töltés lehetséges
- Rendszer leürítése:
  1. PU ---> TZM
  2. csak ezután lehetséges a ZM ---> PU ---> TZM vasúti utántöltő leürítése, mert ahhoz a PU-nak üresnek kell lennie

Magyarországon békeidőben két pár éles rakéta volt a ZM (vasúti töltő kocsikon), 24 db összeszerelt rakétát tároltak a két №61 jelű épületben, továbbá konténerekben 8 db (szereletlen) rakétát tároltak a vasúti № 1/7/9 tárolókban.



Balra fent a PRV-17 (Odd Pair), jobbra fent a P-14F Oborona (Tall King-B).

Az Sz-200 a Dvina/Volhov és Nyeva légvédelmi rendszerekhez képest hasonló, de kissé eltérő módon épül fel. Minden osztály egy darab célmegvilágító állomással (tűzvezető radarral) bír, viszont az osztálycsoport elrendezés miatt nem minden osztály, hanem minden osztálycsoporthoz tartozik 1 db körkörösen pásztázó nagy hatótávolságú felderítő radar, illetve 1 db magasságmérő radar. A Vega osztálycsoport körkörös felderítő radarja a méteres hullámsávú, 11 méter magas, és 32 méter széles P-14F Oborona (Tall King-B).[482] A radar a kisebb célokat (pl. MiG-21) kb. 300 km távolságból deríti fel, a maximális célfelderítési távolsága 600 km. A magasságmérő radar a Dvina/Volhov osztályoknál használt PRV-13-hoz hasonló kinézetű, de annál sokkal nagyobb PRV-17 (Odd Pair) radar.

Bár mindkét radar kerekes alvázon van elhelyezve a méretükből tisztán látszik, hogy egyik sem nevezhető mobilnak a legcsekélyebb mértékben sem. A P-14F olyan nagy és nehéz, hogy merevítő huzalokkal szükséges rögzíteni azt. A rendszer minimum bontási és telepítési ideje nagyságrendileg egy nap.

[482] http://www.radartutorial.eu/19.kartei/11.ancient/karte042.en.html

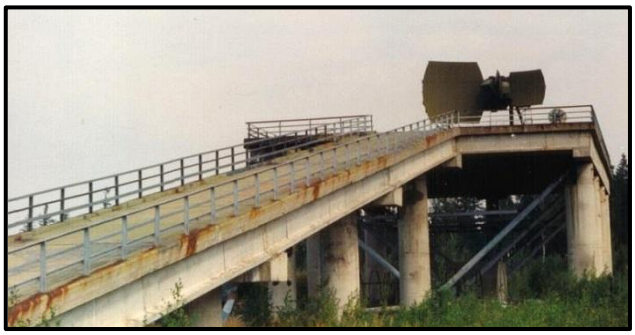
Ez teljesen elméleti érték, mert Líbiát leszámítva nem volt kiépítve sehol máshol több tüzelőállás, mint amennyi osztállyal bírtak az alkalmazók, tehát nem volt hová áttelepülni az Sz-200 osztályokkal.

Az Sz-200 rendszer a kabinjai a következőek, az általuk betöltött funkciókkal:[483]

- K2V harcvezetési kabin, ebben foglalt helyet az RPC kezelők; az osztályparancsnok, a rávezető-kezelő, az elfogókezelő, illetve az indítótiszt. Ez a K1V (5N62VE RPC) célmegvilágító rádiólokátor (Square Pair) alatti bunkerben települt kabin, a magyarázó ábrán ezért szerepel per jellel elválasztva azonos helyen.
- K3V indítás előkészítő kabin. Ebből a kabinból végzi a személyzet a rakéták rátöltését távvezérléssel (ZM ---> PU), a rakéták indításra való felkészítése is innen történik.
- K9M vezetési és célelosztó kabin. Az osztálycsoport parancsnoka innen osztja ki a célokat, az osztálycsoport a céladatokat P-14 és PRV-17 radaroktól vagy AVR-en keresztül kaphatja.

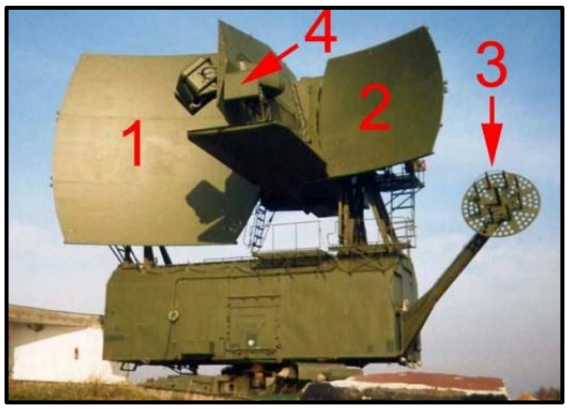
A fenti ismertetett osztálycsoport tekinthető a szabványos osztálycsoportnak, azonban egyes országok és osztálycsoportok esetén nincs utántöltési lehetőség ZM-ről (sínen mozgó kocsiról), csak TZM-ről lehetséges az indítóállványokat feltölteni rakétákkal. (Szíriában az összes osztálycsoport ilyen.) Ezzel a rendszer olcsóbb, csak az osztálycsoport harcértéke lényegesen kisebb, hiszen az első 6 db rakéta ellövése után a tűzgyorsasága kb. nagyjából csak negyede a teljes kiépítésű osztályénak.

További nem szabványos és nem bevett telepítési forma, amikor a rávezető állomás számára egy pódiumot építettek. Ennek nem a radarhorizont kitolása volt az oka, hanem az adott telepítési hely sajátosságai miatt volt erre szükség. Az osztálycsoportot erdő mellé telepítették, ahol az fák zavarták volna radarokat a radarhorizonthoz közeli célok követésénél, az erdő letarolása helyett célszerűbb volt a célmegvilágító radart megemelni.

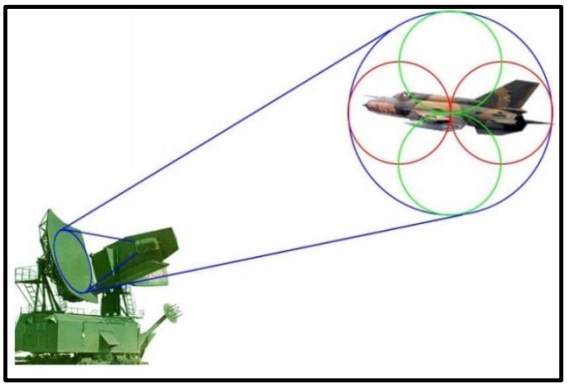


A Vega rendszer tűzvezető radarja a K1V (GRAU kód szerint 5M62) jobbra lent látható. A radar főbb részei:

1. 4,5 cm hullámhosszú, folyamatos hullámú célmegvilágító adóantenna.
2. 4,5 cm hullámhosszú, folyamatos hullámú célmegvilágító vevőantenna.
3. KRO, rakéta ellenőrző válaszjel vevőantenna.
4. NRZ (IFF) célfelismerő rendszer antenna.



[483] http://www.ausairpower.net/APA-S-200VE-Vega.html *Képek a kabinok belsejéről. Itt sincs nagy különbség a Volhov és Nyeva rendszerekhez képest, ez még alapvetően ugyanaz a korszak.*



Az 5N62 RPC 4,5 cm hullámhosszú, folyamatos hullámú célmegvilágító rádiólokátor teljesítménye 85 kW, a felderítési távolsága nagyban függött a célpont radarkeresztmetszetétől. A nagy radarkeresztmetszetű célok (interkontinentális bombázók) felderíthetők voltak már a maximális 500 km távolságon is, kisebb célok (pl. MiG-21) felderítési távolsága 300 km alá is csökkenhet főleg, ha FKM vagy FM üzemmódban üzemel a célmegvilágító radar, lásd lent.

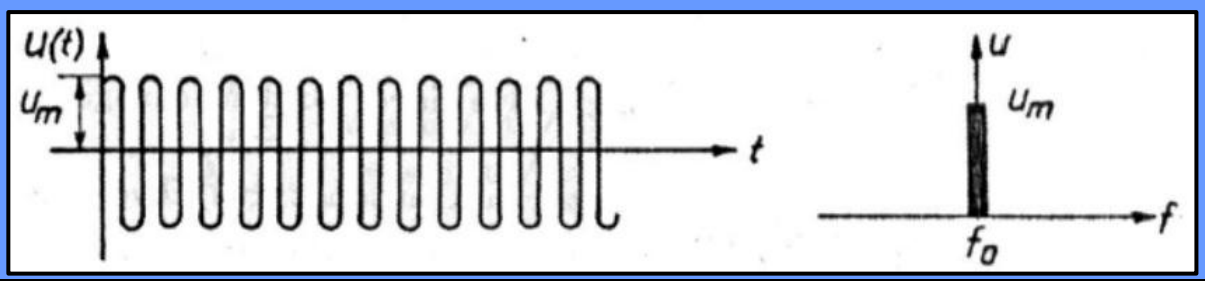
Az új monoimpulzus antenna a következő alapelv szerint működött. A folyamatos hullámú kisugárzott jel (kék) tűnyalábban kerül kisugárzásra. A célról visszavert jelet a vevőantenna három vételi nyalábra bontja (kék, piros, zöld), amiből kettő, kettős tűnyalábot alkot (piros, zöld). A célkövető rendszer a jelminimumra törekszik a kettős nyalábóknál, míg jelmaximumra a kék tűnyalábnál. A monoimpulzus antennás radarok ellen a szögkoordináták szerinti eltérítő válaszimpulzus zavarás (Angle deception jamming – inverse amplitude modulation) emiatt az alapelv miatt nem működött. A célmegvilágító radar három féle módon sugározhatott:

- МХИ(MHI) Monokromatikus kisugárzás. Az adó folyamatos szinuszos nagyfrekvenciás jelet állít elő, a célról visszavert jel doppler eltolódását méri. Ebben az üzemmódban a cél szögkoordinátáit és sebességét határozza meg a rendszer (ε, β, V). Ha a cél radiális sebessége 40 m/s (145 km/h) alá csökken, akkor nem észlelhető. Ez az RPC elsődleges üzemmódja a célkövetésre.

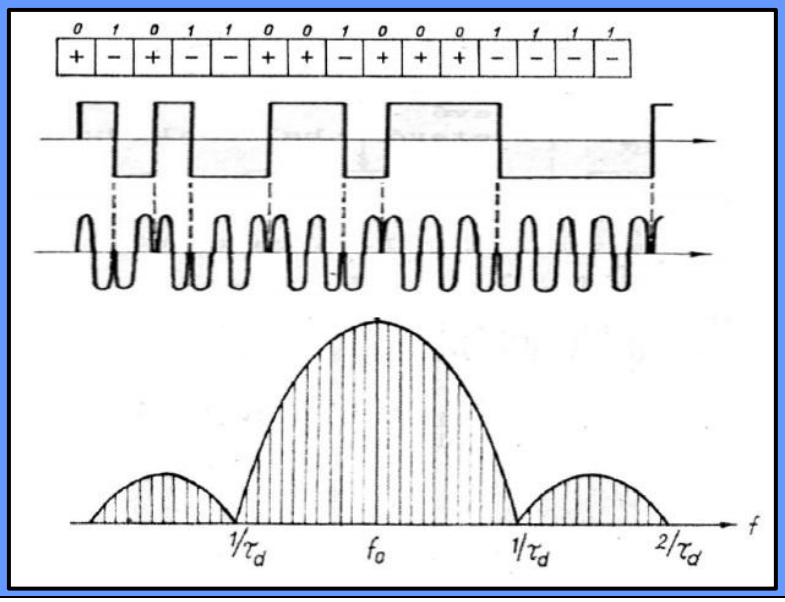
- ФКМ(FKM) Fáziskód manipuláció. FKM üzemmódban az RPC, szinuszos nagyfrekvenciás jelének fázisát egy digitális kóddal (Barker kód) változtatja. Ebben az üzemmódban a cél szögkoordinátáit, sebességét továbbá a távolságát határozza meg a rendszer (ε, β, V, D). Amennyiben a cél radiális sebessége 60 m/s (215 km/h) alá csökken, akkor nem észlelhető. Önálló célfelderítéskor használják, a cél távolságának meghatározására.

- ЧМ(FM) Frekvencia Moduláció -A frekvencia modulációját mind MHI, mind FKM üzemmódban be lehet kapcsolni. Ekkor a kisugárzott szinuszos nagyfrekvenciás jel frekvenciában modulált, a célkövetés akkor sem szakad meg, ha a cél radiális sebessége lecsökken nullára. Mivel a kisugárzott jel energiája még szélesebb frekvencia spektrumban oszlik szét, a cél felderítésének távolsága ebben az üzemmódban jelentősen csökken. Ezt az üzemmódot közeli, beaming manővert végrehajtó célok ellen használták.

A fenti üzemmódok rövid magyarázata. A folyamatos hullám monokromatikus sugárzás esetén azt jelenti, hogy idealizált állapotban a kisugárzott jel egyetlen tiszta frekvencia komponenssel bír, tehát az adott igen szűk frekvenciatartományban van a rádióhullám teljesítményének döntő része.



A fáziskód moduláció esetén is azonos frekvenciát állítanak elő, azonban a fázis változtatás következménye, hogy az MHI üzemmódhoz képest a jel spektrumában megjelennek eltérő frekvencia komponensek is. Ez azt jelenti, hogy azonos teljesítményt szélesebb frekvenciatartományban „terít" szét a rendszer, tehát kisebb jelerősség lesz, emiatt a felderítési távolság csökken. Ez az ára annak, hogy a folyamatos jel modulációjával a távolság mérhetővé válik.



Az Sz-200 rakétája a rávezető állomása képességeinek együttese páratlanul nagy megsemmisítési zónát tett lehetővé hatótávolság, magasság sőt, célsebesség tekintetében is, a rendszer számára a következő rakéták voltak kifejlesztve:

típusváltozat	*rakéta*	*hatótáv*	*magasság*	*célsebesség*
-	-	*km*	*km*	*km/h* *m/s*
Sz-200A Angara (SA-5A)	5V21 V-860P	17-150	1-35	360-3500 100-975
Sz-200A Angara (SA-5A)	**5V21N V-870**	**17-150**	**1-35**	**360-3500** **100-975**
Sz-200V Vega (SA-5B)	5V21V V-860PV	17-180	0,3-35	0-3500 0-975
Sz-200M Vega-M (SA-5B)	5V28 V-880	17-240 (255)*	0,3-40,8	0-4300 0-1200
Sz-200M Vega-M (SA-5B)	**5V28N V-880N**	**17-240 (255)***	**0,3-40,8**	**0-4300** **0-1200**
Sz-200VE Vega-E (SA-5B)	5V28E V-880E	17-240 (255)*	0,3-40,8	0-4300 0-1200
Sz-200D Dubna** (SA-5C)	5V28M V-880M	17-300 (400)****	0,3-40,8	0-4300 0-1200

* **hangsebesség alatti célok ellen**

** **a hidegháború végéig mindössze 15 osztályt gyártottak le.**

A pirossal jelölt nukleáris harci résszel rendelkező rakéta. A 25kt hatóerejű TA-18 töltetnek 60%-al nagyobb a rombolóereje, mint a V-760 15D (Guideline Mod.4) rakétának, amit az Sz-75M3 Volhov (SA-2E Guideline) fejlesztettek ki.

****** távoli tüzelőállás (VZRB) használatával**

A pirossal jelölt nukleáris harci résszel rendelkező rakéta. A 25kt hatóerejű TA-18 töltetnek 60%-al nagyobb a rombolóereje, mint a V-760 15D (Guideline Mod.4) rakétának, amit az Sz-75M3 Volhov (SA-2E Guideline) fejlesztettek ki.

A Vega rakétájának hagyományos 5B14S harci részre a valaha készült legnagyobb robbanófej, ami légvédelmi rakéta-rendszerhez készült. A teljes tömege 217 kg, amiből a robbanószer 90 kg-ot tesz ki. A harci részben 21 000 db 3,5 g és 16 000 db 2 g tömegű acélgolyó található, ezek a harci rész elműködése után 1000-1700 m/s sebességgel csapódnak célpontba. (A 450 kg-os töltetű BOMARC-ot csak gyakorlásra használták.)

A rakéta orrában a hely korlátozta az önrávezető fej antennájának méretét. A rendszert stratégiai bombázók leküzdésére tervezték, a kisebb méretű célokat (nagyjából MiG-21 méretűeket) a rakéta kb. 130 km távolságon tud csak követésbe venni, hiába képes a célmegvilágító állomás nagyobb távolságról is követni a célt. Harcászati vadászgépek ellen ezért a rendszer maximálisan ábrázolt HMZ-je az esetek többségében nem érvényes, bár azért továbbra is hatalmas marad. Emiatt az AGM-28 Hound Dog vagy más nagy hatótávolságú rakéta ellen nem használható ki a rendszer maximális megsemmisítési távolsága, lévén azok is ebbe a méret kategóriába esnek.

Az Sz-200 széles határok közötti megsemmisítési zónája szükségessé tette, hogy a rakéta többféle tolóerőprofilt és röppályát tudjon használni. A bal oldali ábrán látható tólőerőprofilok alkalmazása volt lehetséges, ennek kiszámolásához és tárolásához volt szükség a digitális számítógépre. A rendszer számítógépének memóriájában különféle blokkokban voltak eltárolva tolóerőprofilokat alkotó elemek: [484]

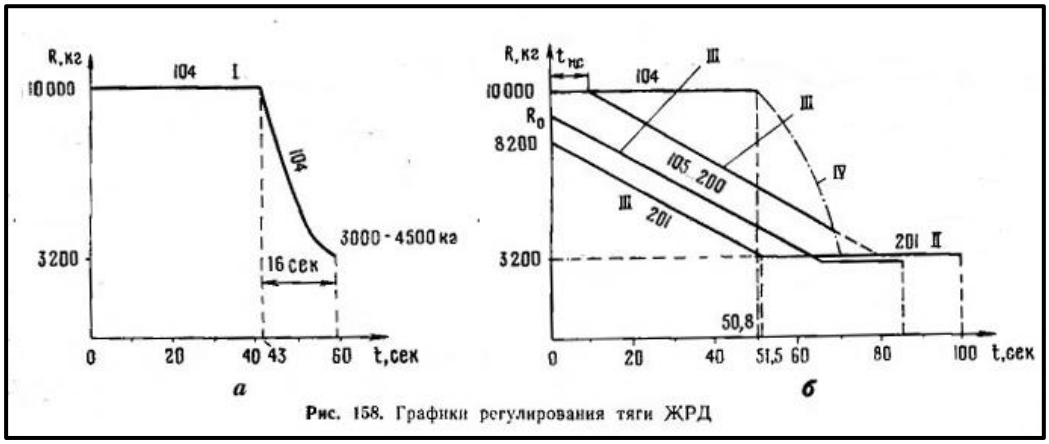


Рис. 158. Графики регулирования тяги ЖРД

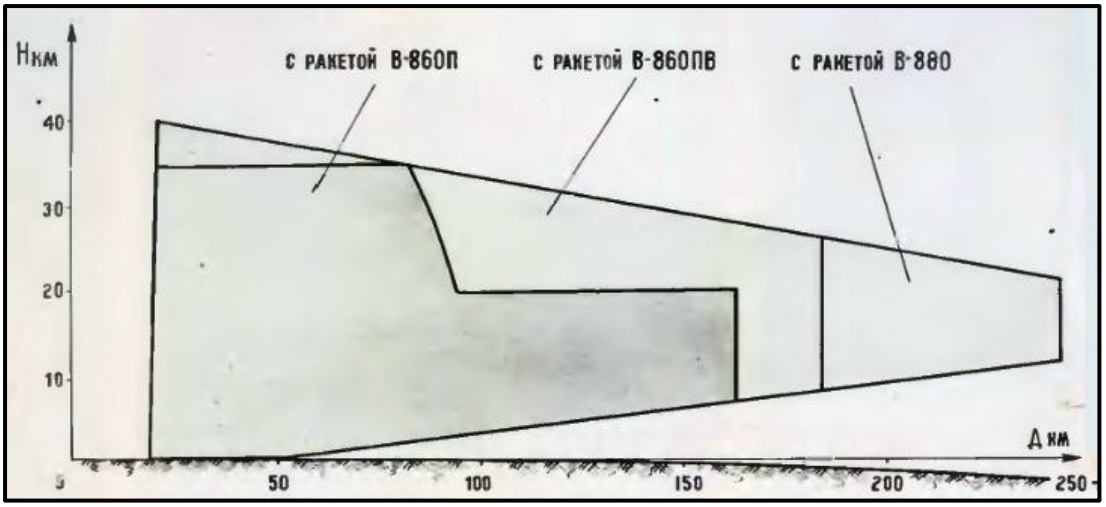
- I. program blokk, állandó tolóerő 100 kN, majd gyors csökkenés 32 kN tolóerőre.
- II. program blokk, állandó tolóerő, 32 kN.
- III. program blokk, állandó meredekséggel csökkenő tolóerő, csökkenés mértéke 0,97 kN/másodperc.
- IV. program blokk, különleges program ami a rakéta folyékony üzemanyagát engedte ki, hogy könnyítse a rakétát és javítsa annak manőverező képességét a végfázisban.

Ezeket a programblokk elemeket felhasználva és kombinálva a rendszer 97 db tolóerő profil tárolt. Indítás előtt ezeket a programokat olvasta ki (töltötte le) az 5E23A SzRP digitális repülésirányító számítógép a rakétában, a programok kiválasztása automatikusan történt a célparaméterekből számolva.

[484] http://historykpvo.narod2.ru/
Учебник ЗРК С-200.Состав,принципы действия и боевые возможности - учебник по с200 - 238. oldal

- 80 km távolság feletti célok esetén a 104-es program használatos. 43 másodpercig az I. program blokk üzemel, az indítás utáni 60. másodpercben kifogy az üzemanyag és leáll a hajtómű. Kb. 80 km repülési távolságon a rakéta égésvégi sebessége kb. 6 Mach.
- Közepes és nagy magasságú, 80 km-en belüli célok esetén a 104-201-közötti programok használatosak. A kiválasztott program által megadott időtartamig a III. program blokk fut, de úgy, hogy a rakéta kifogyassza üzemanyagát a céllal való találkozásig. Ha ez nem lehetséges, akkor a céllal való találkozás előtt a rakéta kiereszti a maradék üzemanyagát (IV. program blokk).
- Kis magasságú és közeli célok esetén 201-es program fut. 50 másodpercig a III. blokk majd 50 másodpercig a II. blokk fut. A tolóerő itt sem éri el a maximumot az indítás után. A rakéta csúcssebessége kicsivel Mach 3 felett van. 38 km távolságban a rakéta üzemanyaga elfogy, gyorsan hangsebesség alá lassul.

Még az igen eltérő tolóerő profilok ellenére is probléma volt a Vega számára kis és közepes magasságon a rakéta hőterhelése a levegő súrlódása miatt, ez korlátozta a kismagasságú, de nagy távolság esetén még a közepes magasságú célleküzdést is. A rakéta olyan sokáig és akkora sebességgel repült, hogy a sűrűbb légkörbe való visszatérésnél a rakétát tönkretette a hőterhelés.[485] A lenti HMZ diagramon[486] ennek követezménye látható, az 1977-es állapot.



A hőterhelési probléma miatt nagyobb távolságon a megsemmisítési zóna minimális magassága jóval a horizont felett van. 150 km-es távolságban 1,5 km repülési magasságon van a radarhorizont alatt a cél, 200 km-nél kb. 3 km, 250 km-nél 4,5 km-en. A diagramról leolvasható minimum megsemmisítési magasságok a V-880 rakétánál a fenti értékeknél jóval magasabban vannak. 250 km-es távolságnál 10 km magasság felett ér véget a HMZ. Ez a probléma nem volt egyedi, ez kezdetben az Sz-300 rendszer rakétáinál is korlátozást jelentett, lásd később. A kvarckerámia anyagú orrkúp megjelenése csak a ’80-as évek végén oldotta meg azt, hogy a nagy hatótávolságú légvédelmi rakéta-rendszerek megsemmisítési zónája nagy távolságon a horizontig (vagy legalább annak a közelébe) is leérjen.

A Vega rakéta nem csak a tolóerőt, de a rakéta röppályát is a cél távolságának függvényében határozza meg, két féle megközelítési mód közül választ:

[485] *Az elolvadó orrkúp alatt működésképtelenné válhatott a célkövető radar és elektronikai rendszerek a hőterheléstől, de az orrkúp deformációja okozhatta a rakéta kormányozhatatlanná válását is az torzult formájú orrkúp által keltett légerők miatt.*

[486] http://historykpvo.narod2.ru/ *- Альбом разработок ЦКБ Алмаз 1947 - 1977 гг - 8. oldal*

- 80 km távolságig arányos megközelítés,
- 80 km felett kombinált megközelítés. A rakéta az indítást követően 48 fokos szögön felemelkedik 20 km magasra, majd onnan arányos megközelítéssel folytatja útját a célpont felé.

A célmegvilágítás, rakéta röppálya és tolóerő bemutatását követően lássuk, hogy ezekből milyen megsemmisítési zóna állt rendelkezésre különféle célpontok ellen.

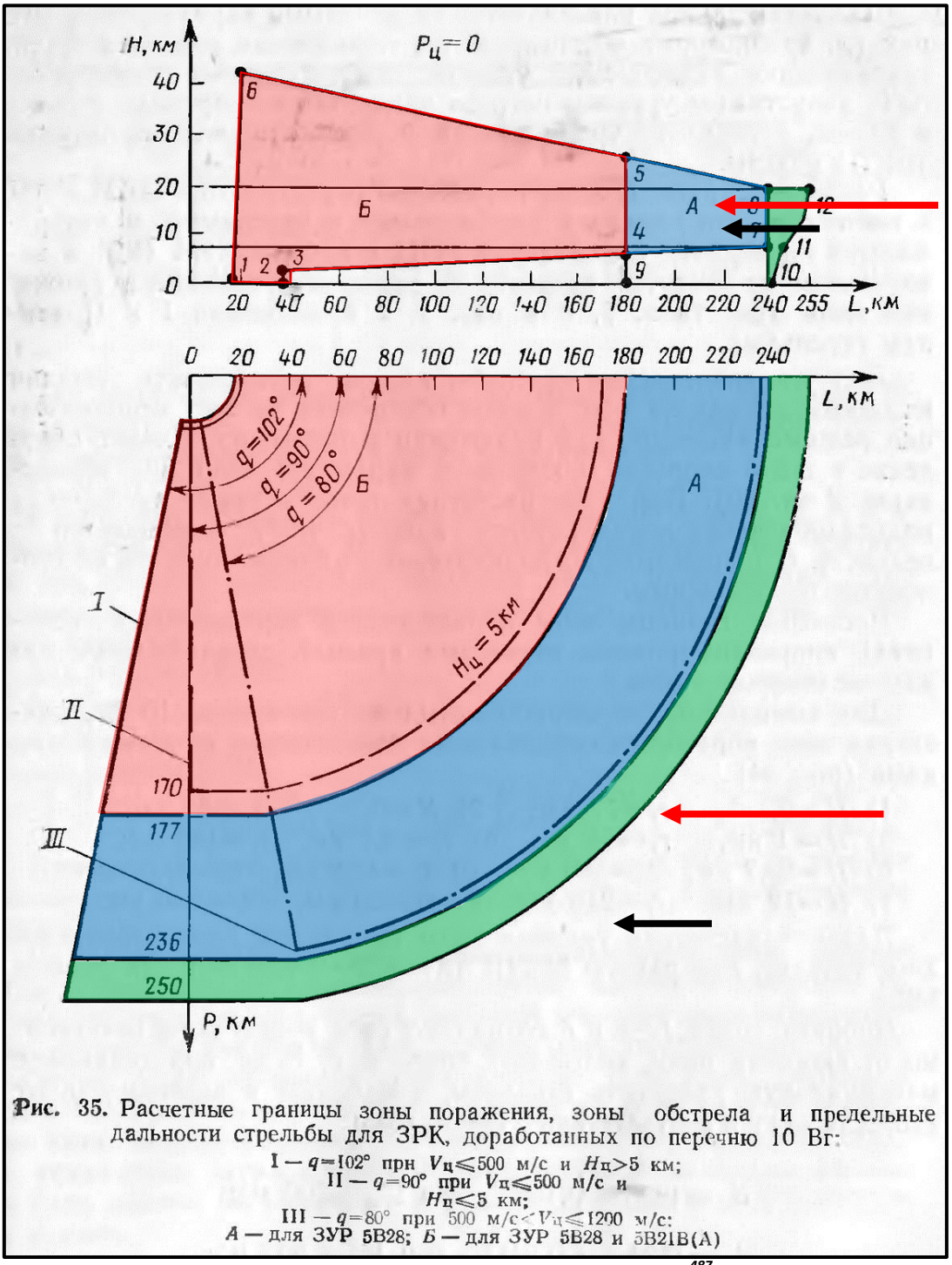


Рис. 35. Расчетные границы зоны поражения, зоны обстрела и предельные дальности стрельбы для ЗРК, доработанных по перечню 10 Вг:
I — q=102° при $V_ц \leqslant 500$ м/с и $H_ц > 5$ км;
II — q=90° при $V_ц \leqslant 500$ м/с и $H_ц \leqslant 5$ км;
III — q=80° при 500 м/с $< V_ц \leqslant 1200$ м/с;
А — для ЗУР 5В28; Б — для ЗУР 5В28 и 5В21В(А)

Sz-200V Vega hatásos megsemmisítési zónája. [487]

Az fenti látható HMZ diagram értelmezése a következő:

[487] http://historykpvo.narod2.ru/
Пособие по изучению правил стрельбы комплекса С-200В-поясн к пс200 - 173. oldal

- Piros terület az 5V28 és az 5V21V rakéták közös megsemmisítési zónáját ábrázolja.
- Kék terület az 5V28 rakéta megsemmisítési zónáját ábrázolja.
- A zöld terület az 5V28 rakéta megsemmisítési zónáját szubszonikus nem manőverező és zavaró cél ellen. Csak az elektronikus zavarást folytató cél ellen ér le a zóna a horizont alá.
- A piros nyíl egy AGM-28 Hound Dog csapásmérő robotrepülőgép pályáját ábrázolja 17 km magasságban 700 m/s sebességgel, kb. 180 km-es oldaltávolság paraméterrel rendelkezik. (Oldaltávolság paraméter magyarázatát lásd az 5. fejezetben.)
- A fekete nyíl egy szubszonikus bombázógép (pl. B-52) 12 km magasan 280 m/s sebességgel kb. 220 km-es oldaltávolság paraméterrel.

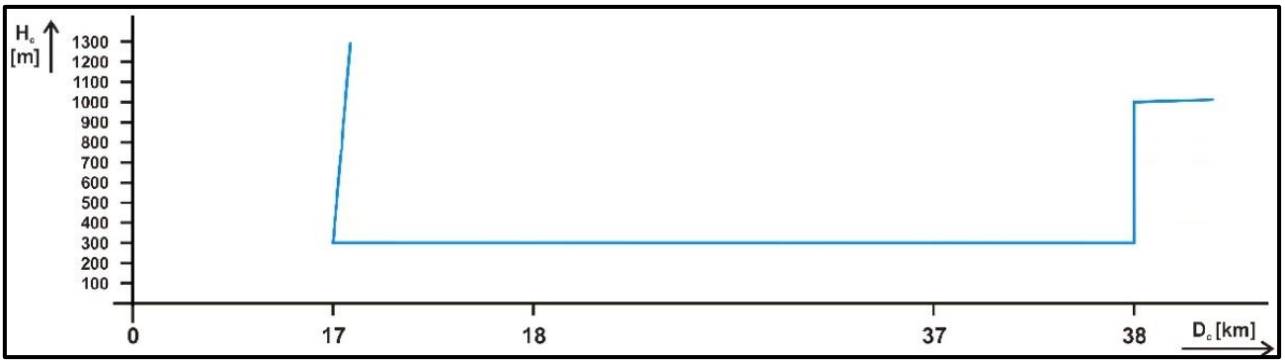
A fenti ábrán az, I, II, és III számmal jelölt zónák a nagy paraméterrel és szélsőséges magasságon érkező korlátozásokat jelentik. A zónához tartozó fok értékek azt jelentik, hogy a zónákhoz tartozó magasság és sebesség értékek esetén a rakéta sebességvektora és célpont sebesség vektor között mekkora lehet a legnagyobb szög, tehát az „utánlövés” képessége van ábrázolva. Ez a korlátozás a rakéta manőverező képessége és az előretartás módnak a következménye.

I. q = 102 fok, célsebesség kisebb, mint 500 m/s, célmagasság legalább 5 km.

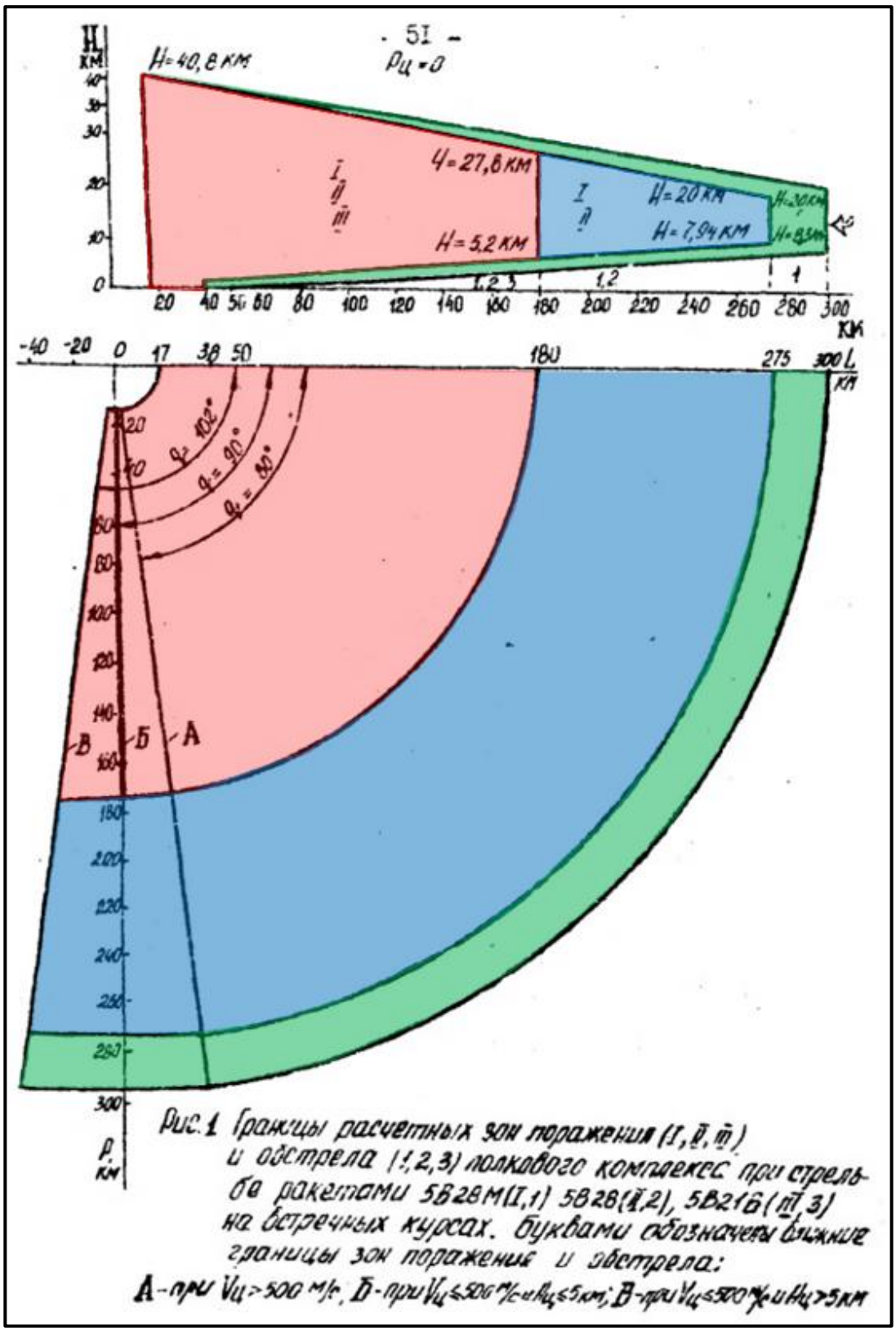
II. q = 90 fok, célsebesség kisebb, mint 500 m/s, célmagasság kisebb, mint 5 km.

III. q = 82 fok, célsebesség 500-1200 m/s között

A lenti ábrán a Vega közeli és kismagasságú célok elleni HMZ-je látható kinagyítva.



Sz-200E Vega hatásos megsemmisítési zónája kismagasságú célok ellen 5V28 rakétával. Az előző oldali diagramon 1-2-3 pontok által leírt görbe nagyítva. A korábbi 5V21 rakéta minimális megsemmisítési magassága 1000 m.

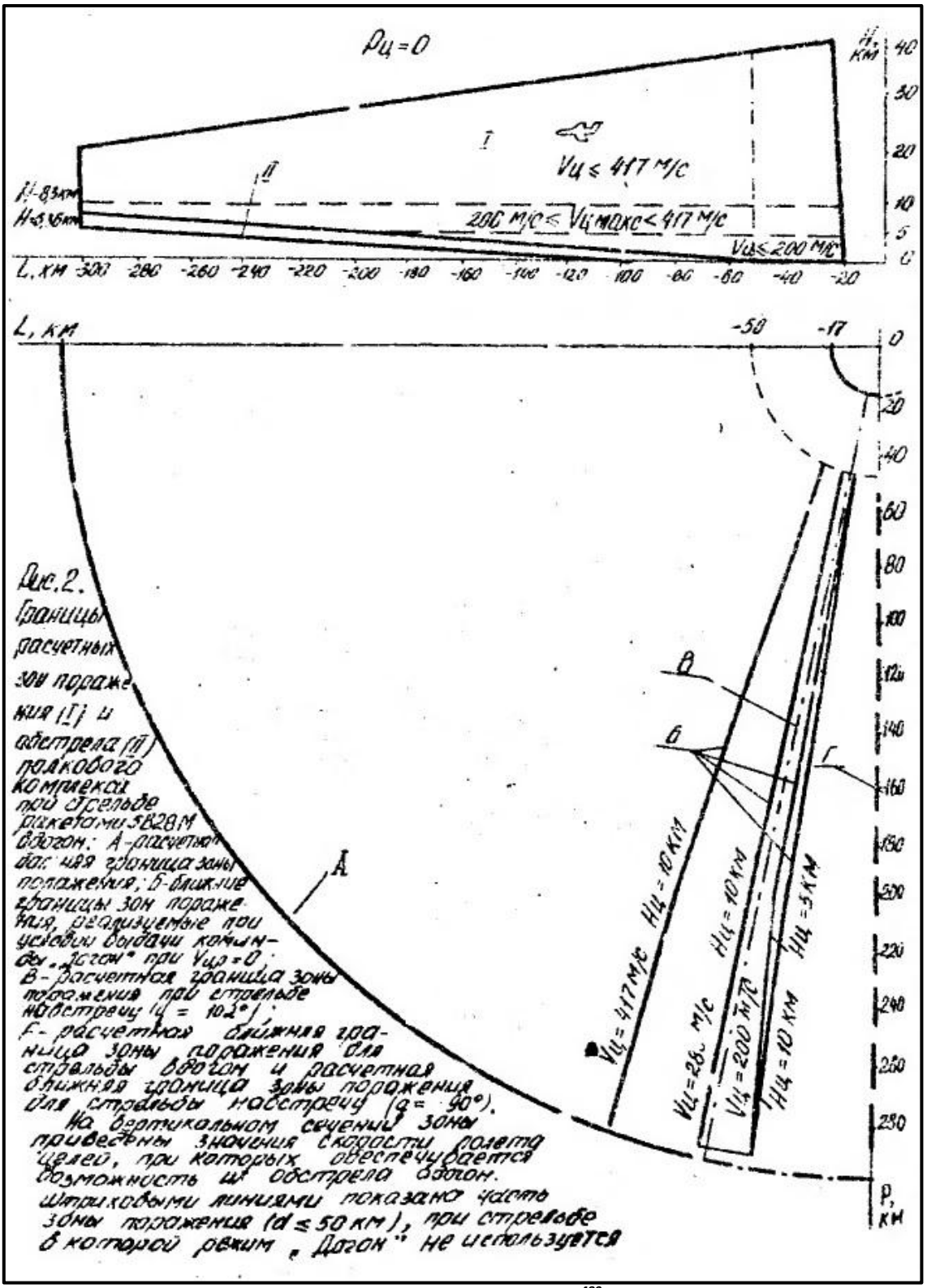


Sz-200D Dubna hatásos megsemmisítési zónája közeledő célok ellen. [488]

Az Sz-200D Dubna változat esetén a megsemmisítési zóna 300 km-re nőtt az RPC-n, továbbá a rakétán végrehajtott módosításoknak köszönhetően. A rakéta továbbfejlesztése által a rendszer alsó

[488] http://historykpvo.narod2.ru/
Правила стрельбы зенитными управляемыми ракетами зенитных ракетных дивизионов системы С-200- правила стрельбы с-200д (Дубна) - 51. oldal

megsemmisítési zónája az 5V28M rakétával nagyjából a horizontig leért, a kvarckerámia anyagú orrkúpnak köszönhetően ezután már kibírta a sűrűbb légrétegekbe történő visszatérés által jelentkező hőterhelést is. A fenti ábrán a zöld terület mutatja a Dubna rendszernél a Vegához képesti kibővülő megsemmisítési zóna területet.



Sz-200D Dubna hatásos megsemmisítési zónája távolodó célok ellen. [489] ***Távolodó célok ellen a célsebesség jóval szerényebb 417 m/s a maximum még 0 km paraméter esetén is.***

[489] http://historykpvo.narod2.ru/

További korlátozás a rendszer által használt hullámformák, a célpont radiális sebessége és radarkeresztmetszete. A Vega alapvetően úgy működik, hogy nem méri, hanem számolja a célpont pillanatnyi távolságát. Az AVR vagy az osztálycsoport felderítő radarjától kapott távolság adat alapján a tűzvezető radar (RPC) FKM üzemmódban rövid ideig méri a cél távolságát – ekkor kisebb az RPC hatótávolsága – és utána MHI módban folytatja a célkövetést a továbbiakban csak a célsebesség alapján számolva azt.

A probléma az, hogy az osztály mellett elrepülő egyre kisebb radiális sebességű és/vagy kis radarkeresztmetszettel (RCS) bíró célokat a rakéta kinematikai hatótávolságánál sokkal kisebb távolságról vesz követésbe, ez célpont aspektusától, illetve annak típusától is függ. Harcászati repülőgépek ellen a maximális hatótávolság nagyrészt ezért nem használható ki, mert a MiG-21 méretű közeledő célpontot csak 130 km-ről vesz követésbe a rakéta, tehát csak ekkor kezdhet el rá egyáltalán dolgozni. Ebből következik, hogy a számított ütközési pont távolsága, ahol a rakéta elfogja a célt, még ennél is kisebb. Beaming manővert végrehajtó célpont RCS-e oldalról nagyobb, de ilyen esetekben a tűzvezető radarnak MHI helyett FM módban kell üzemelni, ami csökkenti a hatótávolságát.

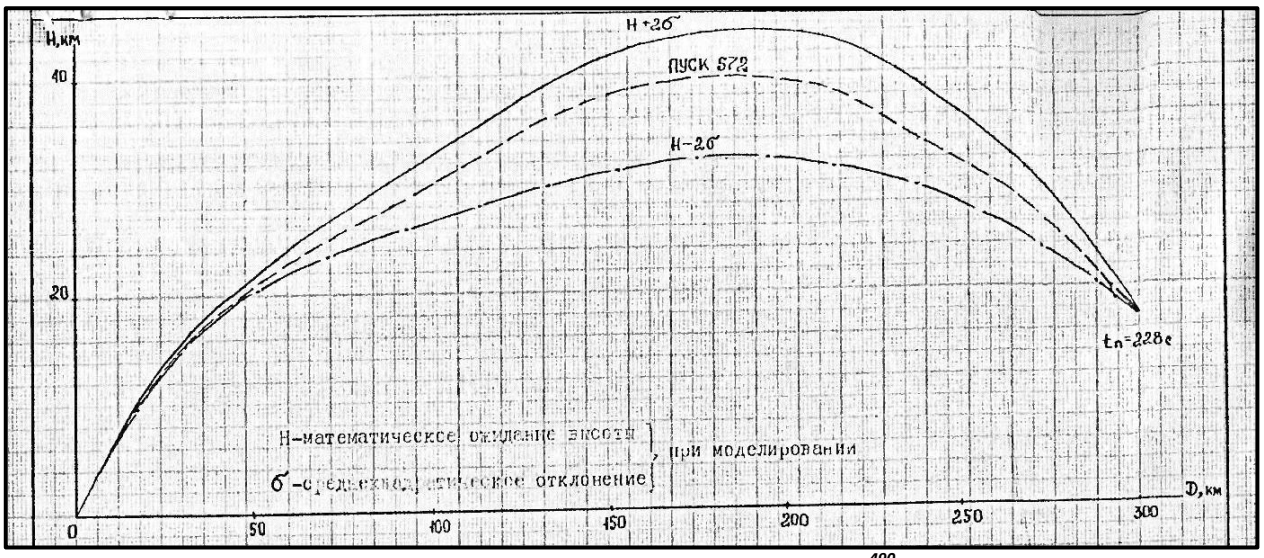
(Az RCS függés a fenti általános HMZ diagramon nem szerepel, de az orosz lőszabályzatban különféle célokra különféle HMZ diagramok szerepelnek. Ezeket terjedelmi korlát miatt nem mutatom be, a mellékletek között néhány diagram megtalálható.)

A fentiek miatt a közeledő és távolodó célok HMZ diagramja adott sebességnél nem fed át, van olyan terület, ahol a rendszer nem képes célok követésére. Tehát, ha rakétaindítás után a célpont adott sebesség és magasság paraméterekkel berepül, akkor a megsemmisítés lehetséges, de korántsem garantált még nem manőverező és zavarást sem végző célra sem.

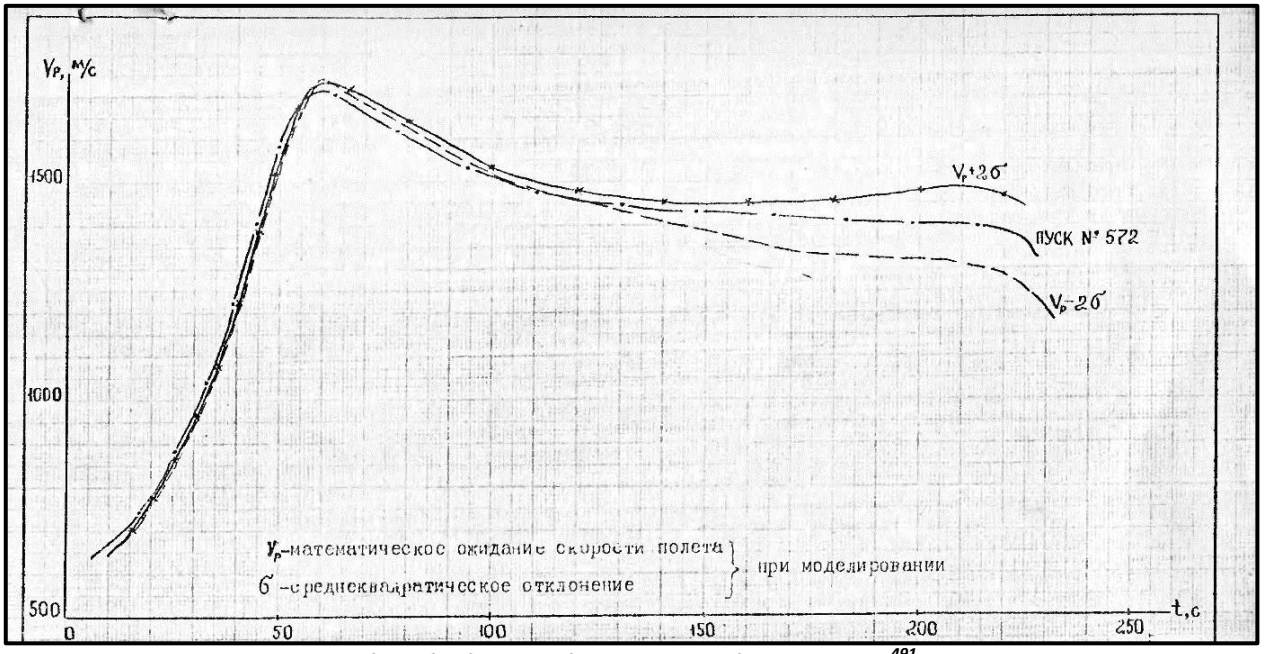
Az összes Sz-200 változat minimális megsemmisítési zónáját alapvetően meghatározza, hogy az indítóállványokról a rakéta csak fix, 48 fokos szögben indítható illetve, hogy a gyorsítórakéták leoldásáig a rakéta nem tud manőverezni a Dvina, Volhov és Nyevához hasonlóan. A rakéta manőverező képessége kis sebességgel és kis magasságon viszonylag csekély volt. Tengerszinten 6G, 20 km magasan 10G, 35 km magasan 2,5G az adott magasságon elérhető sebességekkel a maximális túlterhelés. Ebből adódik ki a 17 km-es minimális megsemmisítési távolság, indítás után ekkora távolságon képes kismagasságú célra fordulni és elérni annak repülési magasságát a kezdeti emelkedési fázist követően a rakéta.

A lenti diagramokon lőtéri mérések eredményei vannak ábrázolva, az rakéta pályája, illetve sebessége látható ezeken az idő függvényében. Az első diagramon látszik, hogy a rakéta az indítás utáni 228. másodpercben éri el 300 km-es „vízszintes” távolságot (a Föld görbülete is számít már ekkora távolságon), a rakéta eközben akár 40 km fölé is emelkedhet.

Правила стрельбы зенитными управляемыми ракетами зенитных ракетных дивизионов системы С-200-правила стрельбы с-200д (Дубна) - 52. oldal



A rakétapálya távolság magasság diagramja.[490]



A fenti ábrán levő pálya idő-sebesség diagramja. [491]

Magyarországon az Sz-200VE Vega-E változat (SA-5B) 1986 és 1997 között volt hadrendben, éleslövészetére 1987-ben került sor.

Végezetül két képgyűjtemény az Sz-200 családról.

http://www.ausairpower.net/APA-S-200VE-Vega.html

http://www.ausairpower.net/APA-S-200VE-Vega-Sites.html

[490] http://historykpvo.narod2.ru/
Отчет результаты испытаний ракеты 5В28 на дальности встречи 290...300 км при стрельбе по мишеням МР-9ИЦ-А-с200 на 300км - 6. oldal

[491] http://historykpvo.narod2.ru/
Отчет результаты испытаний ракеты 5В28 на дальности встречи 290...300 км при стрельбе по мишеням МР-9ИЦ-А-с200 на 300км - 7. oldal

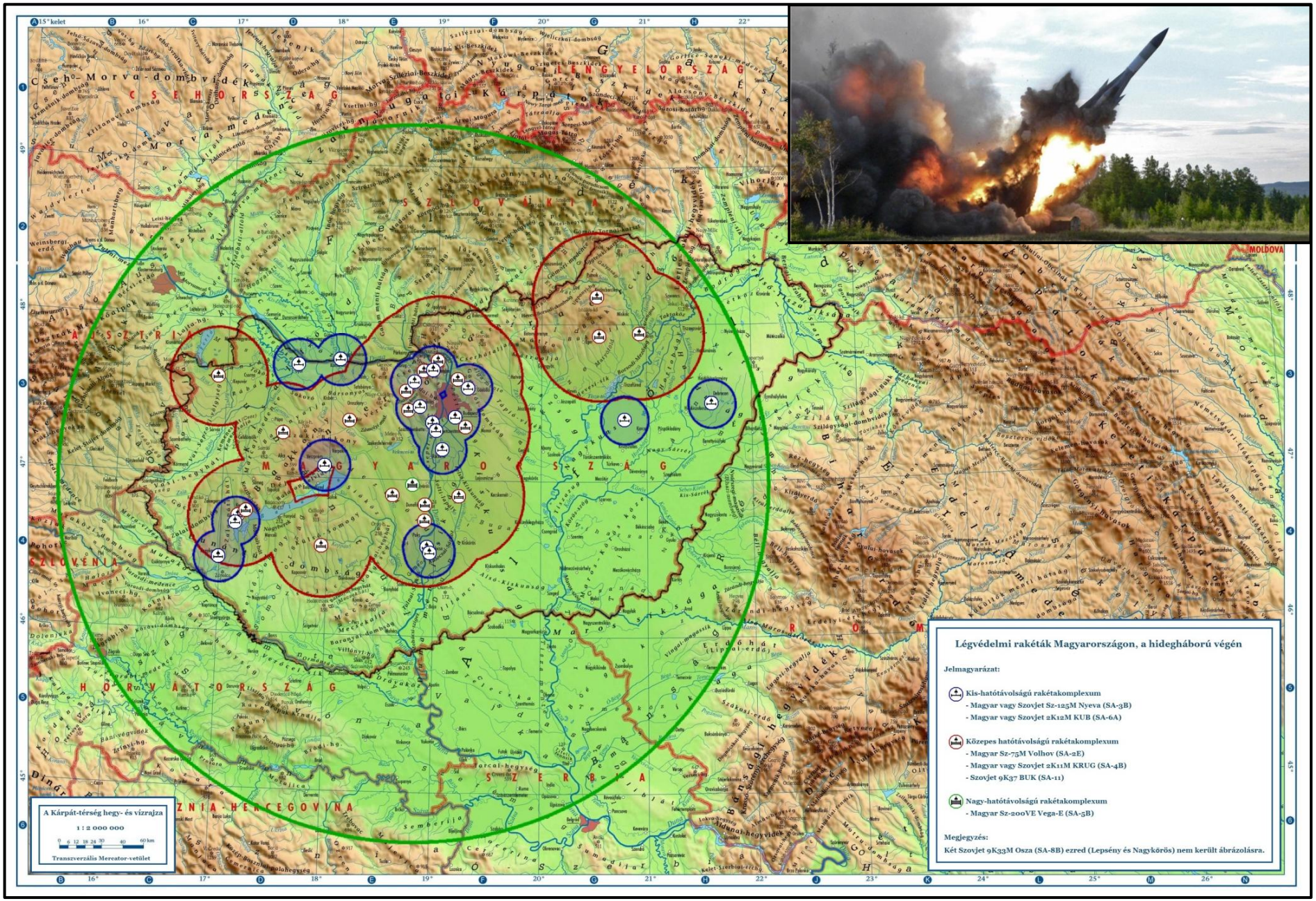
Egy igen elméleti képessége létezik az Sz-200-nák, elvben kváziszimultán célleküzdés lehetséges egymáshoz közel eső, az osztálytól nagy távolságra repülő kis sebességű célpontok ellen. Az Sz-200-zal lehetséges az ismételt célbefogás, ha valami okból a célmegvilágító radar elvesztette a célt, ezt szándékosan is meg lehet csinálni a célmegvilágítás lekapcsolásával.

Tegyük fel, hogy 6 db B-52 közeledik egy irányból és vele szemben áll egy kétosztályos Vega osztálycsoport. A két osztály indít egy-egy rakétát, amikor aztán az első rakéták már a célpont felé száguldanak és mondjuk 100-120 km távolságban vannak, akkor még egyet-egyet ugyanarra a célpontra. Ideális esetben az első rakéta eltalálja a célt – a harci rész elműködését visszajelzi a rendszer – következő rakéták is az eredeti első célpontok felé repülnek.

Ekkor lekapcsolják a célmegvilágítást és új célt világítanak meg, amikor a második rakéta a céloktól akár 60-100 km-re is lehet, de kinematikailag a következő két célpont alig tér el az első kettőtől. Ez esetben képes lenne a Vega eltalálni az indítás után követésbe vett eltérő második célt úgy, hogy eredetileg más célra történt a rakéta indítása. Még a kőkorszaki Volhov is képes volt automatikus vezetési rendszerekkel (AVR, ezeket lásd később 6.2.3. fejezetben) együttműködve indítás utáni célmegvilágításra úgy, hogy addig az AVR adta az adatokat a rávezetéshez.

Ehhez elképesztően jól képzett és gyakorlott személyzet szükséges, továbbá megfelelő harchelyzet, de a rendszer pusztán elvi szinten technikailag képes erre.

A következő oldali ábrán a magyarországi teljes kiépített honi légvédelmi tűzrendszer látható 1987 utáni állapotában, a Magyarországon állomásozó magyar és szovjet közepes hatótávolságú csapatlégvédelmi, illetve a szovjet reptereket védő 1-1 db Sz-125 Nyeva osztályokkal.



Közepes és nagy hatótávolságú légvédelmi rakéta-rendszerek Magyarországon 1987-ben, az ábra a mellékletek között is megtalálható. (ximix készítette az SG.hu-ról.)

6.2.1.2.5. Sz-300 (SA-10/SA-20) légvédelmi rakétarendszer család[492]

Immáron tehát a ’60-as évek végét írjuk. Moszkva körül több, mint egy évtizede kiépült az Sz-25 Berkut légvédelmi rendszer kettős gyűrűje, majd azt követően telepítették az SzA-75 Dvina, Sz-75 Gyeszna majd Sz-75M Volhov osztályokat több más nagyváros köré, kiegészítve kismagasságú célok elleni Sz-125M Nyeva osztályokkal. A ’60-as évek közepétől megkezdték a nagy hatótávolságú Sz-200 Angara és Vega légvédelmi a rakéta-rendszerek telepítését.

Minden akkor szóba jöhető fenyegetés ellen fel voltak vértezve a védendő célok. Érkezhetett az AGM-28 Hound Dog 17 km magasan kétszeres hangsebességgel vagy kis magasságú profillal, a B-58 Hustler kétszeres hangsebességre képes bombázó sem volt leküzdhetetlen, ahogy a háromszoros hangsebességre képes AGM-69 SRAM, de még a soha hadrendbe nem állított B-70 bombázó ellen is felkészültek. A legnagyobb kihívást jelentő célok leküzdése is lehetséges volt legalább az Sz-200-zal (és PVO MiG-25 vadászgépeivel), még ha csak bizonyos korlátozássokkal voltak ezekre képesek (paraméter távolság érték, célsebesség).

Az fejlődés azonban nem állt meg, ami új fajta kihívás elé állította a szovjet tervezőket. Az USA számára nyilvánvaló lett, hogy a nagy magasságban repülő bombázókkal való támadás a kiépült szovjet rakétás légvédelmi rendszerek esetén csak akkor vezetne sikerre, ha az néhány célra korlátozódik, de még akkor is hatalmas veszteségekkel járna a nagy hatótávolságú rakéta-fegyverzet ellenére is. Az AGM-28 nagy magasságú támadó profilja esetén is mélyen be kellett repülni a szovjet légtérbe a célok többségénél, nem beszélve az AGM-69-ről. Az AGM-28 legfeljebb kb. 1200 km-ről az utóbbi legfeljebb 200 km-ről volt indítható. A nagy sebesség és repülési magasság sem jelentett már védelmet, az Sz-200 Vega maximális célsebessége és magassága lefedte az összes lehetséges célpont paramétereit, és még ha a HMZ korlátos is volt, a kevés nagysebességű támadó eszköz ellen komoly tűzerőt képviseltek a szovjet légvédelmi rakéta-rendszerek. A támadó oldaláról nézve a sebesség és repülési magasság további növelése értelmetlen, reális műszaki és költségkereteken belül gondolkodva gyakorlatilag lehetetlen volt.

A megoldás az akkor hadrendben levő támadó fegyvereknél kisebb magasságon és még nagyobb távolságról indítható eszközök megalkotása volt. A lehetséges fenyegetéseket a ’70-es évek legvégétől a levegőből indítható AGM-86 ALCM,[493] a kicsit később hadrendbe álló szárazföldi és hajóról (később már tengeralattjáróról is) érkező BGM-109 Tomahawk,[494] illetve ezek indító platformjai a régebbi B-52 és az új B-1 bombázók jelentették. A fenti új fegyvereket hívja a mai magyar sajtó – és szaksajtó is sajnos pedig az elnevezés pontatlan – cirkálórakétáknak, vagy manőverező robotrepülőgépeknek.[495] (Az angol terminológia ezekre a „cruise missile”). Ezek a robotrepülőgépek az akkor forradalmian új TERCOM vezérléssel rendelkeztek, ami képessé tette őket robotpilótával teljesen autonóm terepkövető, 30 méter magasan történő repülésre. A B-1 kis magasságon (60 méter) szintén terepkövető radar használatával közelítette volna meg a Szovjetuniót.

[492] http://infowsparcie.net/wria/o_autorze/pzr_s300.html *Lengyel nyelvű, Google fordító az ábrák kivételével lefordítja angolra.*
[493] http://www.designation-systems.net/dusrm/m-86.html
[494] *Légi indítását tesztelték B-52-ről, de végül hadrendbe soha nem került.*
[495] *A 6. fejezetben erre még visszatér az írás, az utóbbi kifejezés már inkább pontosabb.*

Hogy szárazföldi telepítésű, illetve tengeralattjáróról indítható interkontinentális ballisztikus rakéták korában mi szükség volt a stratégiai bombázók további rendszerben tartására sőt, újak fejlesztésére az már önmagában érdekes kérdés, de ez már szubjektív kategória. A Szovjetunió felhagyott az interkontinentális bombázók használatával az USA elleni támadásra, fordítva azonban nem így történt.

Véleményem szerint felesleges volt a B-1 Lancer kifejlesztése, mert ugyanazt a fegyvertípust juttatta célba, mint a B-52. Az ICBM-ek és a tengeralattjárókról indítható ballisztikus rakéták mellett egyáltalán mi szükség volt a nagyvárosok lerombolásához egy ilyen fegyverre?

Az ICBM-ek ellen Moszkvát leszámítva semmiféle védelem nem létezett, de a Moszkva köré telepített nukleáris töltetű rakétákat használó rendszer kapacitása is véges. A BGM-109 és AGM-86 sokkal inkább felelt meg különleges katonai célpontok, mint városok ellen, azok ellen egyszerűen pazarlás ezek használata.

(Már ha egyáltalán a nukleáris háborúnak lenne bármi értelme az égegyadta világon...)

Ezen új fegyverek pontossága lehetővé tette az atombiztos bunkerek és megerősített felszíni létesítmények elpusztítását is. Az AGM-86 és BGM-109 navigációs rendszerei olyan pontosak voltak, hogy egyes megerősített pontcélokat képesek akár nukleáris harci rész nélkül is megsemmisíteni. (Például Magyarországon a Szarvaspusztán telepített AVR rendszert minden további nélkül.) Nukleáris harci rész használatkor nincs az a létesítmény, ami kibírná, hogy az ajtaján – szó szerint – egy 200 kt hatóerejű nukleáris fegyver „kopogtat" be. Ezekkel a robotrepülőgépekkel kiiktathatóak voltak a VSz nukleáris fegyvereket tároló létesítményei, illetve a legerősebben védett vezetési pontok is, mint pl. az automatizált vadász rávezető rendszer kulcs elemei.

Azt azonban hozzá kell tenni a fenti történethez, hogy a B-1A fejlesztése 1969-ben kezdődött, lényegében egy „felfújt" FB-111 volt, amely az akkor „mindenhatónak" tekintett alacsony magasságú behatolásra volt kihegyezve, erre pedig jobb volt, mint a B-52. A B-1A-t alapvetően a földháttérben repülő célpontok elleni vadászgéptől (MiG-31) való félelem ölte meg, később a B-2A-t eredményező ATB programra bízták ennek a kérdésnek a megoldását. A B-1B alapvetően átmeneti megoldásnak volt szánva, ennek megfelelően alakult gyártási darabszáma, ami 100 darabnál megállt, amíg az ATB program sorozatgyártása beindulhat. Nagy vita volt a program körül, de a logika a döntés mögött részben érthető. (Cifka Miklós kiegészítése.)

A kismagasságú behatoló B-1A-nak a nagy magasságú maximális sebessége valószínűleg csak a szokásos USAF mánia eredménye volt, de ezt is elfújta a változás szele, ami érintette a harcászati követelményeket is. A szívócsatornába tett RCS csökkentő elem után már elméleti szinten sem volt meg a képessége a B-1B-nek a nagy sebességre, M1,2 lett a plafon még nagy magasságban is. (Eredetileg kismagasságon volt ekkora az elvárás.)

Az persze más kérdés, hogy a hidegháború vége után nem nukleáris fegyverek új generációjával (JDAM) a B-1B egészen másra lett használva, mint amire kitalálták. A hidegháború alatt a Lancer bombázók csak nukleáris csapásmérésre voltak alkalmasak, a hagyományos csapásmérő képességet legfeljebb nem nukleáris harci résszel felszerelt AGM-86-tal érhették el, „buta" bombákat nem integráltak a fegyverzetébe.

Az egész szépsége az, hogy a hidegháború vége meg a B-2-es típus gyártását kaszálta el, így az átmenetinek szánt B-1B típusból ma is kb. 60 darab példány aktív, míg a B-2 gyártása a 20. példánynál befejeződött.

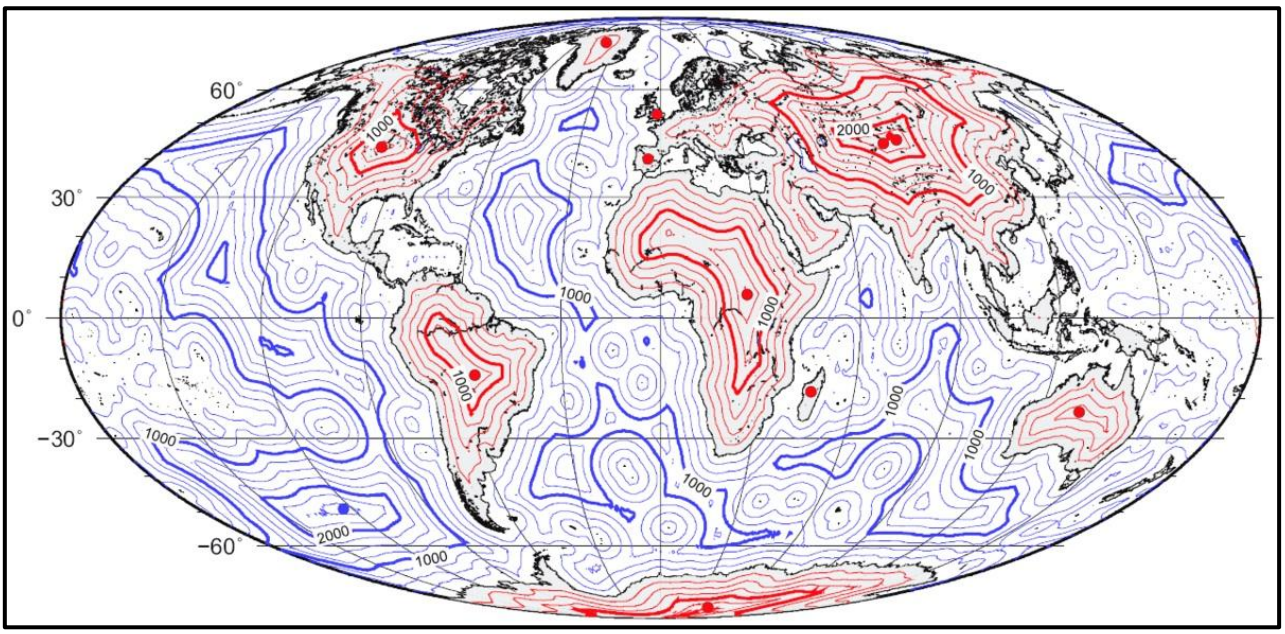
A fenti manőverező robotrepülőgépek nem nagysebességű támadó fegyverek, maximális sebességük mindössze 800-850 km/h. Miért jelentettek mégis radikálisan más fenyegetést a korábbi fegyverekkel összevetve?

- A kisméretű robotrepülőgépek (cruise missile) kis RCS-sel rendelkeznek méretük miatt.
- Rendkívül kis magasságon, 30 méteren vagy sík terep felett repülve akár ennél alacsonyabban közelítik meg célpontjaikat. Ez nagyban behatárolja a légvédelmi rakéta-rendszerek megsemmisítési zónáját, hiszen a radarhorizont alatt repülő célokat nem képesek észlelni és azokra rakétát rávezetni. (Repülőgépek esetén földháttérben kell megtalálni azokat.)
- A célpontok kismagasságú megközelítésének következménye az, hogy az Sz-200 által képviselt területvédelemi képesség ilyen célok ellen az akkori légvédelmi rakéta-rendszerekkel nem volt megvalósítató sőt, mai napig nincs olyan szárazföldi telepítésű légvédelmi rakéta-rendszer, ami erre képes lenne.[496] Még az új Sz-300 rendszer hadrendbe állításával is a Berkut/Volhov közepes magasságú HMZ szintéjére zuhant vissza a megsemmisítési zóna maximális távolsága kismagasságú célok esetén, vagy még azt sem érte el. A védendő célokat körbe kellett telepíteni igen drága légvédelmi osztályokkal körkörösen, ha azok védelmét komolyan gondolták. Gyakorlatilag az összes korábbi erőfeszítést lenullázta a kismagasságú nagy behatolási mélységgel rendelkező autonóm robotrepülőgép A körkörös telepítési forma miatt fel sem merülhetett, hogy néhány nagyvárost, haditengerészei támaszpontot és nukleáris fegyvertárolókat leszámítva mást is védjenek az új légvédelmi rendszerrel, ez pénzügyi képtelenség lett volna.
- A manőverező robotrepülőgépek indítási távolsága elérhette a 2000 km-et, mindkét robotrepülő típus kb. 2500 km-et képes repülni, tehát bőven a légvédelmi rakéta-rendszerek megsemmisítési zónáján kívül indíthatóak. Ezzel a hatótávolsággal akár kerülő úton is képesek voltak elérni Moszkvát és a Szovjetunió területének nagy részét még akkor is, ha nem a legrövidebb irányban egyesesen repülve tették meg az utat. Ennek egyenes következménye, hogy a honi légvédelem elfogóvadászgépeinek kellett volna a robotrepülőgépek döntő részét lelőnie. A legjobb persze az lenne, ha még a bombázókat indítás előtt lelövik, de ez utóbbira az esély meglehetősen csekély lett volna. A területvédelmi koncepciót ezután nem az Sz-300 légvédelmi osztályok telepítése, hanem MiG-31 Foxhound rendszeresítése jelentette. Kicsit furán hangozhat, de az Sz-300 az alacsonyan érkező robotrepülőgépek esetén pontvédelmi funkciót lát el, még ha nem is a klasszikus értelemben véve. (A klasszikus pontvédelmi légvédelmi rendszerek hatótávolsága legfeljebb kb. 10 km, lásd később a haditengerészeti rendszereknél.)

  A bombázók lelövése csak mélyen a Szovjetunióban levő céloknál jött volna szóba, ahol a hatalmas indítási távolság ellenére is a szovjet határhoz közel vagy akár be kellett repülni az ország fölé. Fel sem merülhetett, hogy pl. a Csendes-óceán felett elfogják a bombázókat akár 1000-1200 km-re a Szovjetuniótól. Ehhez egész egyszerűen nem volt elég MiG-31, illetve annak hatósugara is elégtelen volt légi utántöltési képesség hiányában. (A hidegháború végéig csak maroknyi MiG-31 volt levegőben utántölthető.) A következő oldali ábrán látható, hogy a Szovjetunió lényegében egész területe elérhető 2000 km-es indítási távolsággal az óceánok felül, ahova a MIG-31-nek esélye nem volt elrepülni, nemhogy őrjáratozni.

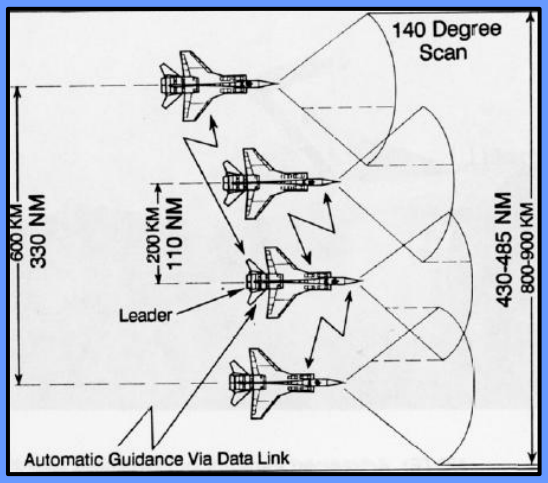
Egy nukleáris háború esetén erősen kétlem, hogy bármely ország területi szuverenitása érdekelte volna az USA-t vagy a Szovjetuniót, az amerikai AGM-86-asok simán átrepültek volna a Szovjetunió felé bármelyik útba eső ország, pl. Pakisztán vagy Irán felett. Na, nem mintha ezek az országok képesek lettek volna lelőni, vagy akár csak nyomon követni / érzékelni az alacsonyan haladó robotrepülőgépeket.

[496] *A haditengerészeti légvédelmi rendszereknél az a témára újra felmerül, lásd később.*



Szárazföldi területek távolsága az óceánoktól.

Érdemes néhány szót szólni a MiG-31-ről, mert annak képességei és funkciója erősen összefüggenek az Sz-300-zal. Nagyon leegyszerűsítve a MiG-31 egy repülő és miniatürizált Sz-300 rakéta osztály, 4 db R-33 rakétával, 4 db célcsatornával a fázisvezérelt radarnak köszönhetően, de körkörös felderítő képesség nélkül, amit az Sz-300-nál a Big Bird radar biztosított, (lásd később). A repülőgépek egymás közti digitális adatkapcsolattal vonalban repülve hatalmas területet kutathatták át kis magasságban érkező robotrepülők és bombázók után.(Érdekes módon a Zaszlon radar 140 fokos pásztázási zónája nagyobb, mint az Sz-300 rendszer tűzvezető radarjának 105 fokos íve.)



Ezekért a hátrányokért cserébe a MiG-31 + R-33 páros megsemmisítési távolsága nagyobb volt kismagasságú és nagymagasságú célok ellen is egészen a '90-es évek közepéig, mint az akkor hadrendben levő Sz-300 változaté. Nagy magasságú célok ellen az Sz-300PM/PMU1 már azonosnak tekinthető, a PM2/PMU2 változatok meghaladták a fenti páros képességeit hatótávolság terén.

A nagy magasságban repülő MiG-31-et – továbbá az A-50 Mainstay légtérellenőrzőt – nem korlátozza a radarhorizont felderítésben, illetve a légvédelmi rakétához képest töredék méretű légiharc rakétával is 100 km-es nagyságrendű megsemmisítési távolság érhető el. A magasan repülés hátránya viszont, hogy a kisméretű célpontokat földháttérben kellett megtalálnia és leküzdenie a MiG-31-nek. Emiatt az R-33 légiharc-rakéta a vadászgépek elleni rakétákhoz képest méretes lett, ahogy a gép radarja is és maga a hordozó platform is.

A MIG-31 az A-50 légtérellenőrző géppel igazán hatékony, ami viszont még a Szovjetunió összeomlásakor sem állt rendelkezésre elégséges mennyiségben, továbbá akkor még volt kiforrott eszköz. Lényegben az A-50 biztosítja azt körkörös felderítési képességet a MiG-31 kötelékek számára, amit az Sz-300 esetén az ezred/dandár vezetési osztály az RLO (Big Bird) radarral és az 55K6 vezetési harcállásponttal.

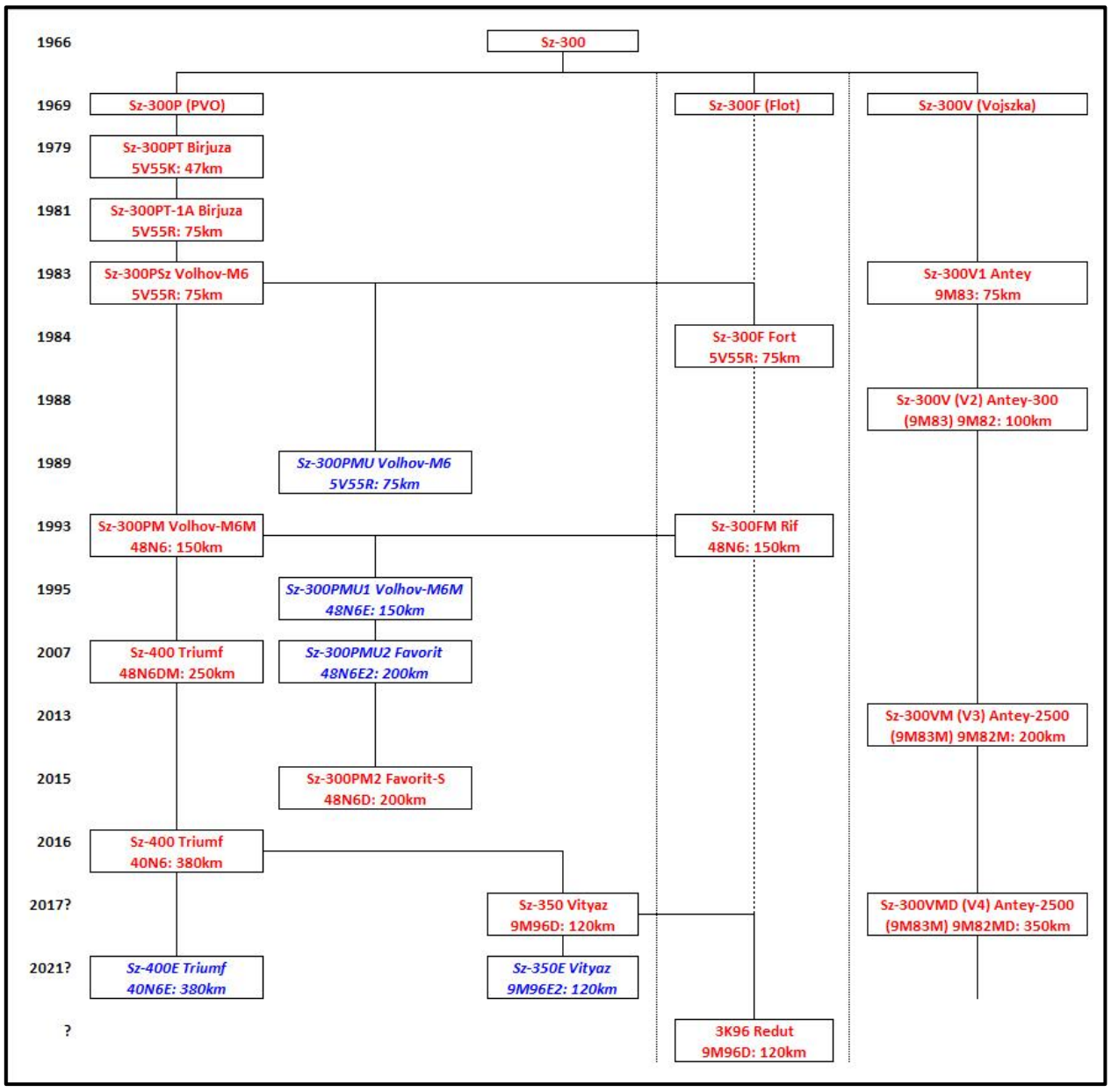
A MiG-31 hadrendbe állítása azonban nem jelentette azt, hogy a MiG-31 őrjáratokon átjutó támadó fegyverekkel a honi légvédelemnek nem kell foglalkoznia. A robotrepülőgépek magasságán érkező célok ellen az összes akkor rendszerben álló honi légvédelmi rakéta-rendszer közül legfeljebb a Nyeva legkorszerűbb változata lett volna használható, de Moszkva köré nem telepítettek ilyen osztályokat. Még, ha csak a belső Berkut gyűrű kiegészítésére telepítettek volna Sz-125 osztályokat a körkörös védelemhez, akkor is embertelen mennyiségre lett volna szükség.

Egy bombázógép akár 8-20 db robotrepülőgépet is indíthatott egymás után percek alatt, tehát rengeteg bejövő céllal kellett számolni egy igen kis területen igen rövid idő alatt, hiszen a manőverező robotrepülőgépekkel is célszerű egy ponton megkísérelni az áttörést, lehetőleg minimalizálva a rendelkezésre álló időablakot a megsemmisítésre. Egy célcsatorna nem lett volna elég a feladathoz, és mivel a Nyeva 1 célcsatornás ezért célcsatornánként kellett volna 1 db Nyeva osztály. A belső gyűrű 22 darab Berkut ezredből állt, ami 6 db célcsatornát feltételezve – ennyi célcsatornával bírt az Sz-300 első változata is – tartalékok nélkül, minimális átfedéssel ez 132 db Nyeva osztály telepítését jelentette volna csak Moszkva köré úgy, hogy a megsemmisítési zónák semmilyen szinten nem fedik át egymást és csak kis távolságú célleküzdés valósítható meg 20km alatti megsemmisítési távolsággal. Belátható, hogy ennek megközelítésnek értelme nem lett volna.

A cél tehát egy olyan légvédelmi rendszer megalkotása volt, ami képes volt 30 méteren repülő célokat is leküzdeni még akkor is, ha azok tömegesen érkeznek, tehát az új légvédelmi rendszer egyetlen osztályának is több célcsatornásnak kellett lennie. Egyetlen célra szolgálatba állítani egy új honi légvédelmi rendszert nem lett volna gazdaságos, tehát legalább a Sz-75M Volhov hatótávolságát (~55 km szubszonikus célok ellen, passzív szakaszban) el kellett érnie közepes magasságú célok ellen, ezzel kiválthatóak lettek egy új légvédelmi rakéta rendszerrel első lépésben az Sz-75M Volhov, Sz-125M Nyeva és az Sz-25M Berkut rendszerek Moszkva körül.

A távlati terv ennél azonban sokkal több volt, már a kezdetekkor megfogalmazott cél nemcsak a Volhov és Nyeva, hanem Vega leváltása is az Sz-300-zal, idővel a Vega megsemmisítési távolságát is el kellett érni a továbbfejlesztésekkel. Ez nem volt egyszerű feladat, ezért igen bölcsen a lépcsőzetes fejlesztés mellett döntöttek és nem „egy szuszra” próbálták megoldani a feladatot. Azt akkor még valószínűleg nem látták előre, hogy ennek a feladatnak a teljesítése évtizedeket vesz majd igénybe.

Az Sz-300 család evolúciójának könnyebb áttekintéséhez a következő oldalon található ábra nyújt segítséget, amin láthatóak a szovjet-orosz, illetve az export változatok típusjelzései az azokhoz tartozó legkorszerűbb rakétákkal. (Az ábrát Hpasp készítette.)



A fejlődési fán az Sz-300V légvédelmi rendszer is megtalálható, amit egy másik iroda fejlesztett ki a hadsereg számára. Az Sz-300P családot a ma Almaz nevet viselő iroda elődje, az Sz-300V-t mai nevén Antejnek hívott iroda elődje alkotta meg. (Mára a két irodát egybeolvasztották.) A fejlődési fa két ágán levő típusok sorszáma azonos, de valójában teljesen eltérő eszközökről van szó, eltérő koncepcióval. Az Sz-300P család a honi légvédelem számára, ezzel szemben az Sz-300V a csapatlégvédelem front szintű légvédelmi rendszerének készült. Az Sz-300P megalkotásánál nem volt cél az ballisztikus rakéta elhárító képesség – ma már ez is fontos –, míg az Sz-300V-nél a Pershing 2 és kisebb hatótávolságú ballisztikus rakéta elleni védelem kiemelt jelentőséggel bírt. Az Sz-300P család fejlesztése során figyelembe vették a vietnámi tapasztalatokat, amelyek összefoglalva a következőek:

- Az ellenfélé a légifölény, cél egy terület (város) megvédése, de adott esetben az „üss és fuss taktika” használata is szükséges lehet. Ez utóbbi inkább a szovjetbarát országok és az USA közötti esetleges konfliktusok esetén fordulhatott volna elő, a VSz országokban jellemzően fix tüzelőállásokba települtek volna az Sz-300-asok, ahogy tették azt Szovjetunió területén is.

- Körkörös lefedettség, gyors áttelepüléssel. A körkörös lefedettség a kereső radarra vonatkozik, a tűzvezető radar oldalszög korlátja továbbra is létezik rávezetés alatt, lásd korábbi légvédelmi

rendszerek esetén is. Természetesen a tűzvezető radar körkörösen ettől függetlenül tetszőleges irányba képes fordulni célmegvilágításhoz.

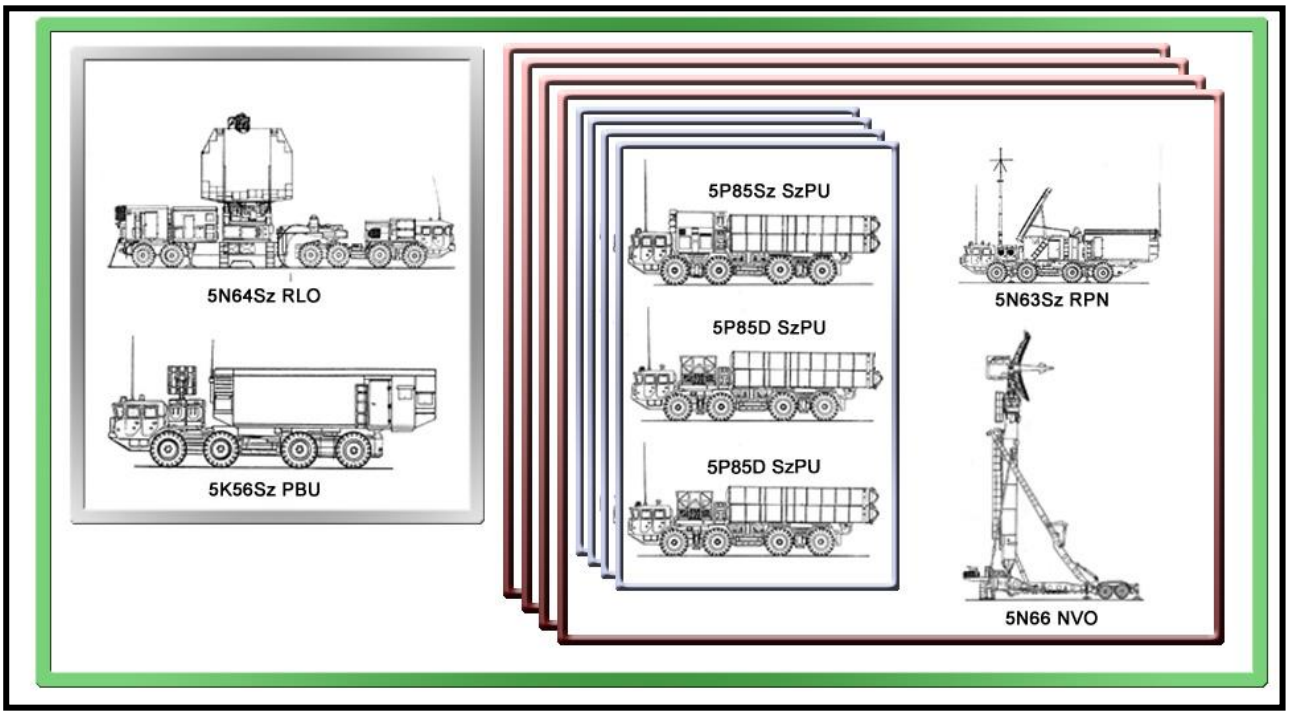
- Továbbra is többféle radar szükséges egy harci osztálynál, viszont emiatt minden harci osztály kitűnő kismagasságú autonóm célfelderítéssel rendelkezik.

A robotrepülőgépek által jelentett fenyegetés olyannyira sürgetővé tette az új légvédelmi rendszer hadrendbe állítását, hogy az eredeti tervekkel ellentétben a kevésbé mobil, utánfutókra szerelt változatának telepítését megkezdték 1978-ban, az Sz-300PT változatot az 5V55K rakétával. Az 1978 és 1983 között gyártott, fix telepítésű 56 db Sz-300PT Birjúza (SA-10A) osztály Moszkva körül egy az egyben váltotta le az Sz-25 ezredeket, 1 db Sz-25 ezredet 1 db Sz-300PT harci osztály váltott le. Rádió-parancsközlő távirányítású 5V55K rakétája 47 km hatótávolságú, alsó megsemmisítési magassága 25 méter volt.

Az Sz-300 felépítése egyes területeken nem tért el a korábbi honi légvédelmi osztályokétól. Egy Sz-300PT osztály többféle radarral rendelkezett az eltérő feladatokhoz, de azok elosztása már eltért a Dvina és Volhov osztályokétól. Az Sz-300 rendszer működésének megértéshez szükséges ismerni azok szervezeti felépítését.

Az Sz-300 rendszer harci osztályai légvédelmi ezredekbe vagy dandárokba tagozódtak be. Egy ezredet 1-4 db harci osztály + 1 db vezetési osztály, egy dandárt 5-6 db harci osztály + 1 db vezetési osztály alkot. Moszkva körül 56 db Berkut ezred volt, ami azt jelenti, hogy voltak 6 db osztályos dandárok és voltak kevesebb osztályból álló Sz-300PT ezredek is azok leváltása után.

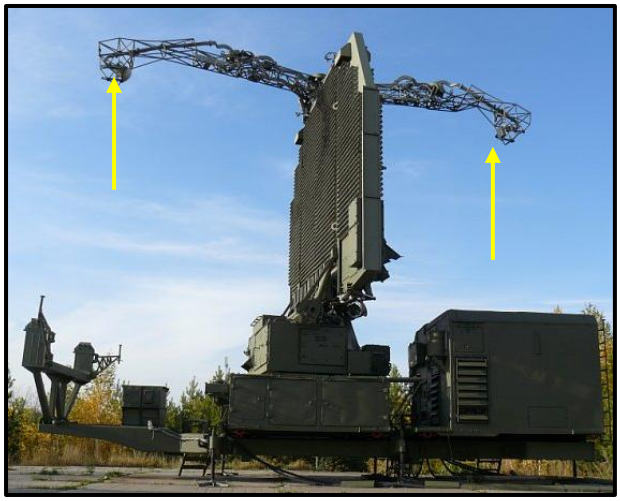
Az S-300 működési elvének és képességeinek megértéséhez nyújt segítséget a lent található ábra, amin egy 4 db harci osztályos Sz-300PSz ezred látható. Az összes Sz-300 változat továbbá az Sz-400 is ehhez megegyező logikai felépítésű kisebb eltérésektől eltekintve, ettől csak az export Sz-300PMU változat tér el, ami nem rendelkezik veszetési osztállyal, ezért a harci osztálynál jelenik meg a 360 fokban pásztázó felderítő radar.



Négy harci osztályos Sz-300PSz ezred felépítése, csak a leglényegesebb elemeket ábrázolva, radarok és rakéta indítók. A harci osztály (piros) négy darab indító szakasszal (kék), 4 db harci osztály és a vezetési osztály együtt az ezred (zöld)

Az Sz-300PT ezred/dandár három radarral rendelkezett:

- Minden harci osztály 1 db 5N66 NVO (Clam Shell), 360 fokban kereső kismagasságú felderítő radarral.
- Minden harci osztály 1db 5N63 RPN (Flap Lid), tűzvezető radarral.
- Minden ezred/dandár vezetési osztálya 1 db 5N64K RLO (Big Bird) 360 fokban kereső közepes/nagy magasságú felderítő radarral.



A korábbi honi légvédelmi rakéta-rendszerekhez képest az Sz-300 abban tér el, hogy csak az ezred/dandár vezetési osztálya rendelkezett nagy hatótávolságú körkörös közepes és nagy magasságú felderítő radarral, ezt a célt szolgálta az 5N64K RLO (Big Bird) radar.[497]

Ennek a radarnak ugyanaz a feladata, ami a P-12/18 (Dvina/Volhov), P-15 (Nyeva) vagy a P-14F (Vega) radarnak, a körkörös célfelderítés és a célok osztályozása. Az RLO által felderített adatokat az ezred/dandár vezetési pontján keresztül (5K56 PBU, F9 kabin) továbbítja a harci osztályok felé, az ezred vezetési pontján jelölik ki a célokat közepes és nagy magasságban normál üzem esetén. (Balra fent látható az 5N64 RLO.)

Az RLO radar sajátossága, hogy nem egy, hanem egyszerre két irányban keres, tehát azonos forgási sebességgel az információk frissítése kétszeres sebességgel történik, mert két nyalábbal „söpör” ellentétes irányokban. Két oldalról a tölcsérsugárzó világítja meg (nyilakkal jelölve a képen) időosztásosan a PESA fázistoló rácsot miközben forog körbe az antenna. A körbeforgás idejéhez képest sokkal rövidebb idő alatt a PESA radar helyszögben (fel-le irányokban) végigtapogatja mindkét oldalt a tűnyalábok szélességben a légteret. Oldalszögben (balra-jobbra, körkörösen) tehát mechanikus pásztázású a radar, helyszögben elektronikus nyalábeltérítéses.

A fentiek nem jelentik azt, hogy egy harci osztály ne tudna önállóan célt keresni, de erre csak bizonyos korlátokkal képes.

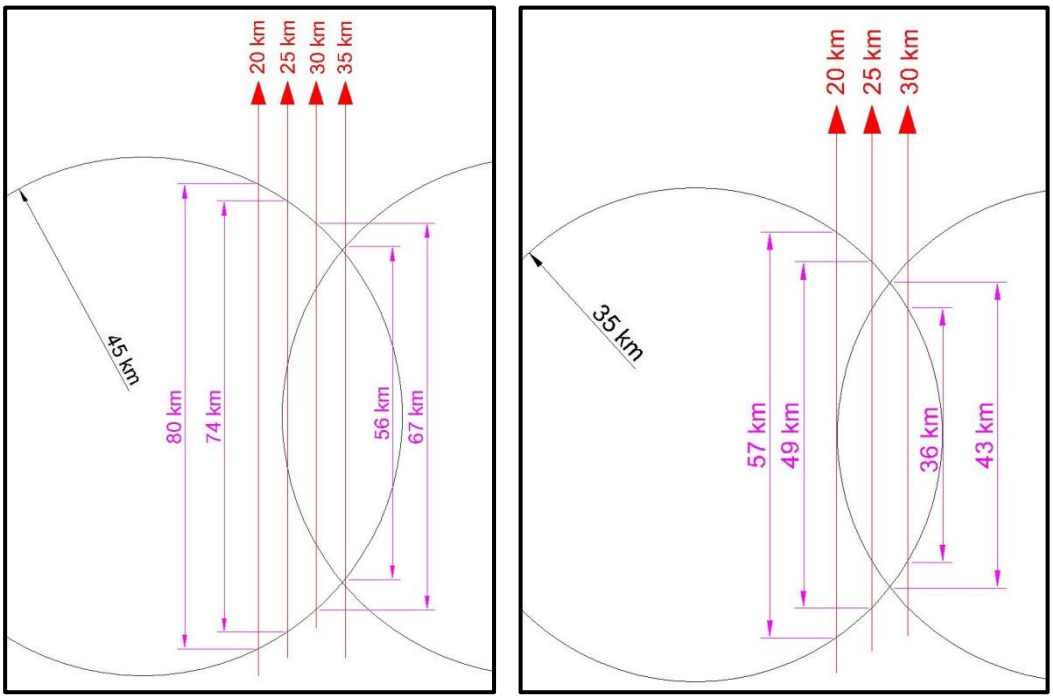
Az alacsonyan közeledő robotrepülőgépek felderítésére a harci osztályok egy külön kismagasságú, körkörösen pásztázó, folyamatos hullámú célfelderítő radarral rendelkeztek, ez volt az 5N66 NVO (Clam Shell). Mivel a kismagasságú célok ellen a horizont nagyban korlátozza a felderítési távolságot, ezért ez a radar magas állványra volt telepítve. (Balra a képen.)

[497] *A Vega kicsit hasonló volt ehhez, ahol az osztálycsoportnak volt egy darab közös felderítő radarja, de ott az osztályok egymás mellett voltak az Sz-300PT-nél viszont az osztályok között akár 30-40 km is lehet a távolság.*

A radar megemelésével 30 méteren repülő célokkal számolva 35 km-ről nagyjából 45 km távolságra tolja ki tökéletesen sík terep esetén a radarhorizontból adódó maximális kismagasságú felderítési távolságot. Ez nem tűnik nagy előrelépésnek, de a nagy távolság paraméterrel érkező célok esetén ez számottevően meghosszabbítja megsemmisítésre rendelkezésre álló időt. Az NVO antenna forgási sebessége 20 fordulat percenként, ezzel a rövid időre felbukkanó célok is gyorsan követésbe vehetőek.

A lenti ábrákon 10 méteres (RPN) és 30 méteres antenna magassággal (NVO) számolt idealizált felderítési zónák láthatóak tökéletesen sík terep esetén, 20, 25 és 30 km-es célparaméter távolságokkal. Jól látható, hogy az a kis többlet az NVO felderítési távolságát nézve mennyivel több időt biztosít a célfelderítésre és célkiosztásra, hogy az RPN azonnal követésbe vehesse a célokat és a rakéta időben célba érjen, mielőtt a célpont kirepül a HMZ-ből.

Mivel az Sz-300 moduláris felépítésű, ezért igény esetén az RPN is telepíthető arra az állványra, mint az NVO, tehát a tűzvezető radar célkövetési távolságát is lehetséges kitolni kismagasságú célpontok ellen.



A radarantenna telepítési magasságának hatása a célkeresésre NVO-val (balra) és az RPN célkövetési képessége (jobbra) idealizált esetben, tökéletesen sík terep esetén.

A bal oldali képen a rakéta rávezetésért felelős a 5N63 RPN (Flap Lid) célmegvilágító- és rakéta-rávezető rádiólokátor (F1 kabin) látható. Ez a radar mechanikus legyezés helyett már elektronikus nyaláb-eltérítést használ oldal- és helyszögben is, PESA elven működő radar volt.

Az ezred vagy dandár vezetési osztály felderítő radarjának használatával kapott adatokat felhasználva keskeny, 1 fokos tűnyalábokkal világíthatta meg a célokat a teljes pásztázási tartományban másodpercenként százas nagyságrendű alkalommal. Ez (is) tette lehetővé azt, hogy az Sz-300 egyetlen tűzvezető radarral egy 105 fokos oldalszög tartományon belül szimultán célleküzdésre legyen képes.

Az elektronikus nyalábeltérítéssel az RPN kellően gyakran képes több célt is megvilágítani a mechanikus legyezéssel ellentétben, ráadásul igen széles oldal- és helyszög tartományban. A felderítő radar adatai alapján miután a célokat követésbe vette az RPN, azok mért sebesség és irány adataival, további tűnyalábokkal pillanatokra történő megvilágítással lehetséges a célkövetés és rakéta rávezetés. Minden egyes tűnyalábbal megvilágítás során nyert sebesség és helyszög adatból a célpont sebessége és iránya meghatározható, tehát a rendszer tudja, hogy a folyamatos célkövetéshez mekkora oldalszöggel és helyszöggel kell megvilágítani a célt. Amennyiben az előrejelzés nem lenne kellően pontos, akkor csak a várható tartomány szélét kell körbetapogatni, amennyiben a célpont nagysebességű és/vagy manőverezik, hogy ismét követésbe vehesse a rendszer.

A rakéták rávezetése alatt az RPN jellemzően egy fix oldalszög pozícióban áll, csak 105 fokos helyszögben képes célt megvilágítani, de ettől függetlenül 360 fokban tetszőleges irányba állítható, elvileg akár rakéta rávezetés alatt is, amennyiben ez szükséges. Ez azonban nem jelenti azt, hogy az RPN teljes körbeforgásra képes, mint a felderítő radarok. Az RPN képes balra fordulni például 200 fokot és jobbra is a középvonaltól, de „egy menetben” 360 fokot egy irányba nem. (A oldalszög értékekre csak a példa kedvéért szerepelnek, nem egzakt értékek a rendszerre vonatkozólag, csak szemléltető funkciójuk van.)

A Berkut esetén a gyakori célmegvilágításhoz a hatalmas Yo-Yo radar antennákból 2-2 darab antennát kellett nagy sebességgel pörgetni – mechanikus legyezés – helyszög és oldalszög szerint is Ennek a megoldásnak az a mellékhatása, hogy azzal az egész megsemmisítési zónát pásztázták le, amikor csak a célpontok környékének végigtapogatására lenne szükség a célpontok mozgásparamétereinek meghatározására és folyamatos követésére. A Yo-Yo féle megoldás rakéta rávezetési szempontból tehát túlzás, hiszen teljes oldalszög és helyszög tartományt letapogatja, addig az Sz-300-nál az RPN csak a célpontokat és azok körüli légteret leváló céljelek után kutatva.

A Berkut radarjához hasonló képesség a „radargyilkos” rakéták ellen egyáltalán nem lenne hátrányos bármilyen légvédelmi rakéta-rendszer számára, a probléma csak az, hogy Yo-Yo féle hatalmas antennákkal képtelenség mobil légvédelmi rendszert megalkotni. (Honi légvédelemnél a települési helyek többségénél „radargyilkos” rakéta fenyegetéssel számolni sem kellett.) Az Sz-300PT esetén ezzel szemben az RPN csak a célokat és azok közvetlen környezetét tapogatja le, viszont emiatt lehetségessé vált olyan méretű radar megalkotása, ami mobil és mégis képes kellően gyakran frissülő adatokkal ellátni rendszert a célokról akkor is, ha azok akár az RPN oldalszög és helyszög tartomány ellentétes szélein is vannak, hiszen nem kötik a mechanikus legyezés korlátai. A Berkuthoz képest a tűzvezető radar „intelligenciájának” következménye, hogy az a viszonylagos vakságát is jelentette a rendszernek célfelderítési szempontból, ezért rendelkezik többféle radarral egy osztály, nemhogy az egész ezred/dandár.

Az Sz-25 rendszer egyetlen ezrede 60x60 fokos oldal- és helyszög tartományban volt csak képes rakétát rávezetni, míg az Sz-300PT körkörösen sőt, utánlövési képességgel is bírt, amíg a Yo-Yo antennák teljesen fixen voltak beépítve. Még egyetlen Sz-300 harci osztály egyetlen fix RPN beállítással is 105 fokos szöget fedett le, ezen felül áttelepíthető, nem fixen lebetonozott rendszer, a Berkuthoz képes az Sz-300 sokkal rugalmasabban alkalmazható.

Az Sz-300PT-nél tűzvezető radar képességeivel elérhető volt a szimultán célleküzdés, de a rakéta vezérlésnél is gondoskodni kellett a szükséges háttérről. Az első Sz-300 változat (PT) még tisztán rádió-parancsközlő vezérléssel rendelkezett, de azt a mobiltelefonokhoz hasonló időosztásos technikával használta.[498] Az új elven működő radarral és az időosztásos vezérléssel érte el az Sz-300PT, hogy egy időben 6 db célra 12 db rakétát volt képes rávezetni.

A vietnámi tapasztalatokból és a várható célsűrűségből következett, hogy az egy osztálynál tűzkészen álló rakéták mennyiségét drasztikusan meg kell növelni, máskülönben a 6 db cél és 12 db rakéta csatornának amúgy sem lett volna értelme. A Dvina/Volhov 6x1 db, a Nyeva 4x2 vagy 4x4 db állványon levő rakétája helyett egyetlen Sz-300PT harci osztály 48 db rakétával rendelkezett. Egy harci osztály a következő fő elemekből épült fel:

- 4 db 5P85PA indító szakasz (пусковой комплекс), minden indító szakasz rendelkezett:
  - 1 db F3 kabinnal (аппаратный контейнер),
  - 3 db 5P851 BPU vontatott indítóállvánnyal (KRAZ-260) (буксируемая пусковая установка),
  - minden indítóállvány 4 db 5V55K később 5V55R ZUR 47 km, később 75km hatótávolságú légvédelmi rakétával (зенитная управляемая ракета)

Tehát egyetlen harci osztály így 4x3 = 12 db indítóállvánnyal, állványonként 4 db, tehát összesen 4x12 = 48 db indítható rakétával rendelkezett. A rakéták elhelyezése és alapvető kialakítása teljesen eltért az összes korábbi honi légvédelmi rendszerétől. A rakéták konténerekbe kerültek szabad ég alatt indító sínen levő rakéták helyett, ez olyan koncepció volt, amit akkor még csak a 9K33 Osza AK és AKM használt, manapság már ez számít korszerűnek és elterjedtnek. A konténerek szállítási helyzetben vízszintesen feküdtek a szállító járművön, telepítést követően a konténerek függőleges helyzetben vannak felállítva.

A rakéta egyfokozatú mint az Sz-25 rakétája volt, nem volt szükség leváló gyorsító fokozatra, mint az összes korábbi honi légvédelmi rendszernél. Ellentétben a Berkuttal az Sz-300 szilárd tüzelőanyagú hajtóművel rendelkezett, mint a Nyeva, viszont a rakéta kinematikai képességei messze felülmúlták a Nyeváét annak ellenére, hogy alig nagyobb nála. (Viszont kb. kétszer akkora tömegű.) Tehát az Sz-300-hoz megalkotott rakéta egyesítette a Berkut és Nyeva rakétáinak összes előnyét, de sikerült a Volhov, Nyeva és Vega hátrányaitól megszabadulni.

A szilárd tüzelőanyag és a konténeres tárolás nagyban megkönnyítette az üzemeltetést, ezek a rakéta élettartamára és időjárás-állóságára is rendkívül kedvező hatással voltak. A rakétákat indításkor a függőlegesen felállított konténerből gáz katapulttal 20 méter magasra dobják fel, majd azt követően indul a menethajtómű, melynek működési ideje kb. 10-11 másodperc. Ez alatt gyorsul fel a rakéta röppályától függően 1800-1900 m/s égésvégi sebességre (~ Mach 6-6,5). Az Sz-300PT/PSz/PMU maximális célsebessége 1200m/s (~Mach 4) volt. A rakéta mérete, kinematikai jellemzői, tárolása és kezelése tagadhatatlanul generációs ugrást jelentett.

Mivel az első Sz-300 változat rádió-parancsközlő rávezetést használt ez kezdetben korlátozta annak megsemmisítési zónáját a vezérlés alapelve miatt. A távolsággal nő a radar mérési hibája, ami egy ponton túl akkora, hogy a rendszer nem képes kellő biztonsággal eltalálni a célpontot. Emiatt van – a későbbiekben

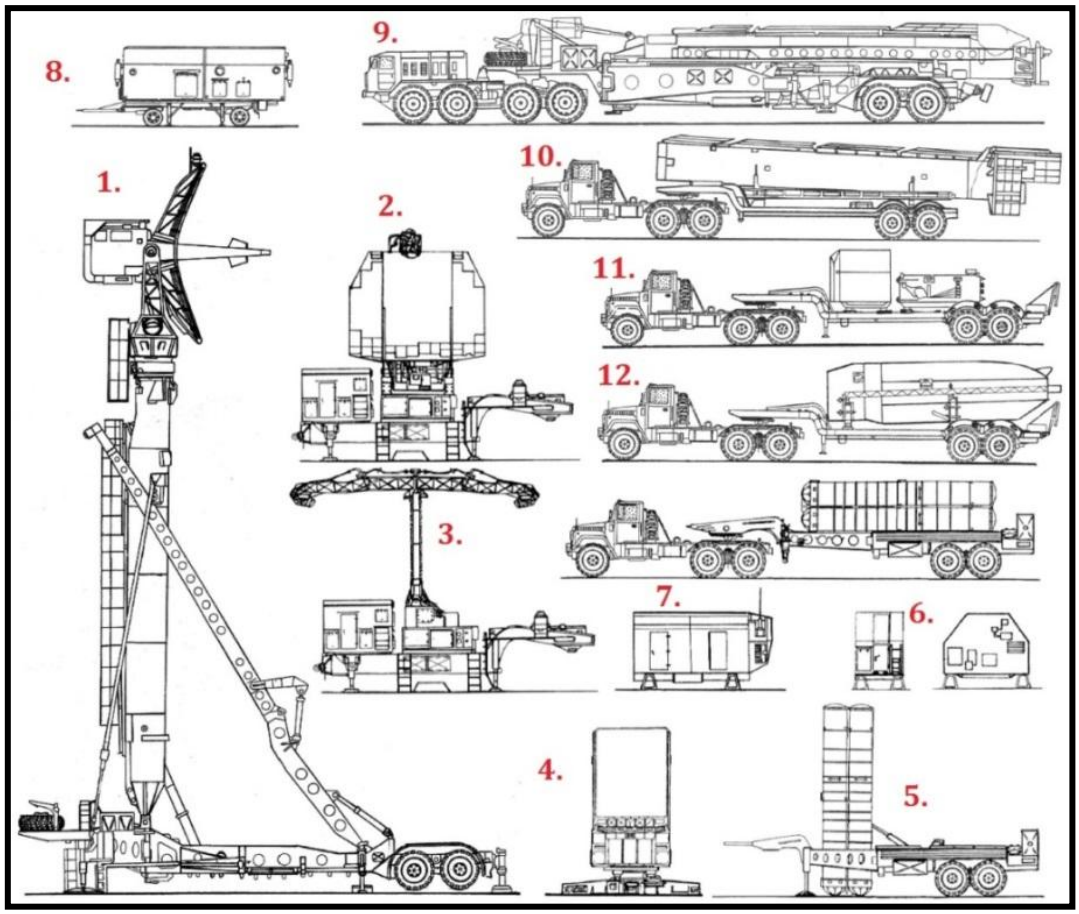
[498] https://en.wikipedia.org/wiki/Time-division_multiplexing
Már az Sz-25 Berkut is képes volt erre, egy RPK antennával 5 db rakéta számára volt lehetséges RPK jel adása.

látni fogjuk – hogy bár a rakéta mérete és tömege alig változott 40 év fejlődés alatt, a korszerűbb Sz-300 változatok egészen elképesztő méretű megsemmisítési zónával rendelkeznek. A HMZ drámai növekedése a vezérlési módszer változásának – rádió-parancsközlőről SAGG-ra –továbbá a radarok teljesítményének köszönhető, nem a rakéta kinematikai paramétereinek megváltozásának.

Már az első rakéta égésvégi sebességével (1,9 km/s) rendelkező ballisztikus rakéta hatótávolsága messze 47 km felett van, kb. 400 km hatótávolság adódik ki ezzel. Tehát a rakéta megalkotásakor előre gondolkoztak még akkor is, ha nem volt kihasználható a rakéta sebességéből adódó maximális hatótávolság az első változat hadrendbe állításakor. A rakéta nagy sebességének voltak előnyei és hátrányai is, ezek a megsemmisítési zóna bemutatásánál lesznek szembeszökőek.

Amikor nyolcvanas évek második felében a Moszkva körüli 56 db Sz-300PT-t, Sz-300PT-1A változatra korszerűsítették, így már azok alkalmazhatták az új 5V55R típusú rakétát is. Ez már nem rádió-parancsközlő vezérlés, hanem a kombinált rádió-parancsközlő + SAGG vezérlést használta, ezzel az PT-1A változat maximális megsemmisítési zónája 75 km-re nőtt.

A lenti ábrán egy Sz-300PT harci osztály eszközei, illetve a vezetési osztály RLO radarja szerepel, vezetési pont nélkül.



70R6 Sz-300PT Birjúza (SA-10A) rendszer elemei

1. 5N66 NVO (Clam Shell) kismagasságú célfelderítő rádiólokátor (F5), minden harci osztálynál 1 db
2. 5N64K RLO (Big Bird) célfelderítő rádiólokátor (F6), csak az ezred vezetési osztályánál 1 db
3. lásd 2. pontot, (oldalnézet)
4. 5N63 RPN (Flap Lid) célmegvilágító és rakéta rávezető rádiólokátor (F1 kabin),

minden harci osztálynál 1 db
5. 5P851 PU indítóállvány, minden harci osztálynál 4 indító szakasz, szakaszonként 3 db állvány, állványonként 4 db 5V55K, 5V55R, esetleg 5V55Sz rakétával, vagy ezek kombinációjával
6. F3 AK tűzszakasz vezérlő kabin, indító szakaszonként 1 db
7. F2 KP harcvezetési kabin, minden harci osztálynál 1 db
8. 5I57 PDE Diesel elektromos aggregátor
9. NVO felpakolva lásd 1. pontot
10. ua
11. ua
12. ua

Az Sz-300 légvédelmi rendszernél a ezred/dandár vezetési osztálya kiemelkedő fontossággal bír a harci osztályok harcképességét nézve. (Kivéve PMU változat, ott nincs ilyen, lásd később.) Az 5N83Sz ezred/dandár vezetési rendszer a következő főbb elemekből állt:

- 1 db 5N64K RLO (Big Bird) 300 km hatótávolságú célmegjelölő rádiólokátor (F6, F7, F8 kabin) (радиолокатор обнаружения)

- 1 db 5K56 PBU ezred vezetési pont (F9 kabin) (пункт боевого управления)

Az Sz-300 harci osztályok számára a kismagasságú zóna felett közepes és nagy magasságban a vezetési osztály RLO (Big Bird) radarja deríti fel célokat, a felderített céladatokat felhasználva a vezetési pont (PBU) jelöli ki és továbbítja a célok koordinátáit megsemmisítésre a harci osztályok felé. (Balra a képen a görög Sz-300PMU1 54K6E export változatú ezred vezetési pontja látható.)

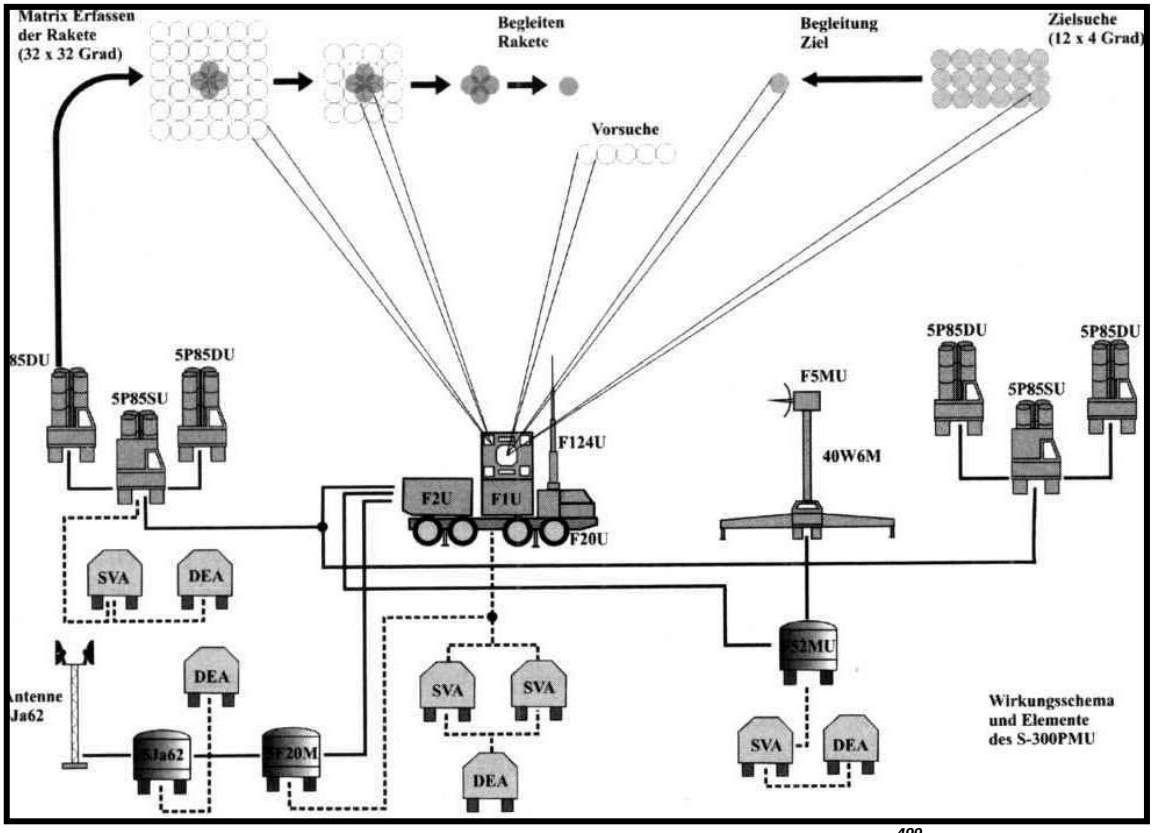
A harci osztályok csak kismagasságú körkörös NVO felderítő radarral rendelkeznek, azzal egészítik ki maguk körül kis magasságon a saját helyzetképüket, hiszen az ezredenkénti / dandáronkénti egy darab RLO radart a radarhorizont a kismagasságú célok tekintetében bekorlátozza. A harci osztályok a vezetési ponttól csak a megsemmisítésre kijelölt céljeleket kapják meg, a többiről célról nincs információjuk, csak amit a saját NVO vagy végszükség esetén az RPN derít fel. Ez szöges ellentétben áll a Patriot koncepciójával, ahol az FU ECS-ei a zászlóalj ICC-jén keresztül a teljes légi helyzetképet megkaphatják, tehát nem csak a számukra kijelölt célpontokat.

Minden harci osztály számára az RLO betervezése túlzás lett volna, továbbá megengedhetetlenül drágává tette volna a rendszert, a vezetési osztály egy harci osztály árának kb. 2/3-át tette ki, egy osztály 14 millió Rubelbe, a vezetési osztály 10 millió Rubelbe került.

A vezetési osztály RLO radarja nélkül harci osztályok közepes- és nagymagasságú helyzetkép-alkotó képessége lényesen gyengébb, mert az RPN és NVO radarok nem arra lettek tervezve, hogy az osztályok körül teljes légtérben hajtsanak végre önálló célkutatást. Az RPN oldalszögben nem képes körbeforogni csak balra/jobbra fordulni a középvonalhoz képest, az NVO radar viszont helyszögben (kismagasságú) korlátos. Az RPN használatával tűnyalábokkal van mód keresésre, de ez sokáig tart, ráadásul forgatni kell hozzá az

RPN-t, mert azt nem körkörös pásztázásra tervezték, lényegében a Nebo rendszer korábbi érintőleges bemutatásnál felvázolt szektoros keresésre van mód, egy adott oldalszög beállítás mellett a 105 fokos oldalszög tartományban pásztázhat az RPN.

Az RPN képes célt is keresni 4x12 illetve 1x105 fokos pásztázással. A kismagasságú kutatás 1x105 fokos üzemmóddal, a tervtáblán vagy rádión kapott célkoordináta alapján a keresés 4x12 fokos üzemmóddal történik, lásd az előző oldali ábrán. Annak ellenére, hogy az RPN elforgatható a korábban tett forgatási korlát miatt ez valójában egy 105 fokos helyszög tartományban levő keresést jelent. Össze sem mérhető ez a felderítési képesség az RLO által biztosított körkörös helyzetképpel.



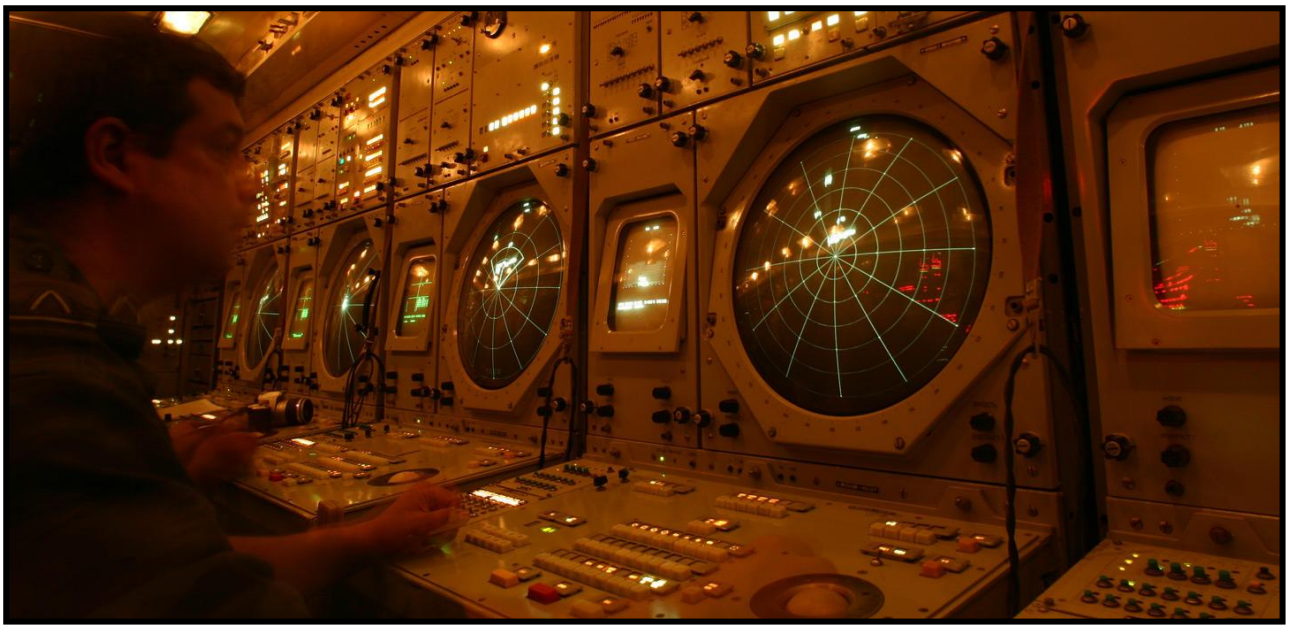
RPN keresési üzemmódok és a Sz-300PMU osztály felépítése.[499]

Az RPN-nel végzett keresés a „radargyilkos” (radar elleni) rakéták miatt is rossz választás, mert már a felderítés alatt is támadhatóvá válik a rendszer, ráadásul nehezen deríti fel az ilyesfajta bejövő fenyegetéseket az RPN, mert ezek akár a radar oldalszirmain (lásd 4.2.3.3. fejezetben) is érkezhetnek vagy akár hátulról is. (AGM-88 fenyegetéssel számolva, lásd a 7.2.3. fejezetben.)

Az ezred/dandár vezetési pontja automatizált üzemű, az operátor számára rangsorolja és felajánlja a célokat olyan módon, ahogy a Patriot rendszernél bemutatásra került, ezeket természetesen módosíthatja az operátor.

A lenti képen a körkörös nagy kijelzőn vannak kijelezve az RLO radar által felderített célok, mellette a balra levő kijelzőn egy adott harci osztály számára kijelölt és továbbított célok vannak megjelenítve. A vezetési ponton 6 db munkaállomás van, tehát egy vezetési pont legfeljebb 6 db harci osztály számára képes céladatokat szolgáltatni. A vezetési pont képes a szomszédos vezetési osztálytól is digitális kapcsolaton keresztül adatokat kapni.

[499] *Der Fla-Raketenkomplex S-300PMU in der NVA, 89. oldal,*



Egy kép az ezred/dandár vezetési pontból. 6 db munkaállomás található egymás mellett, minden operátor egy osztály számára továbbítja a céladatokat. A képen Sz-300PM-hez tartozó PBU vezetési pont látható nem a PT/PSz-é, de ezen személetesebb az belső elrendezés.

Ezen a ponton érdemes összehasonlítani az Sz-300-at az amerikai Patriottal a vezetési módszert és alapvető üzemet nézve. Míg az amerikai rendszernél a zászlóalj vezetési pontja (ICC) képes volt akár az irányítást is átvenni az FU-k felett azok ECS-jein keresztül (harci osztálynak megfelelő egység), erre az szovjet rendszer esetén nincs lehetőség. Az Sz-300PT/PSz koncepciójában az ember (kezelő) jelenléte hangsúlyosabb, mint a Patriotnál. A vezetési pont utasíthatja a harci osztályokat, hogy fordítsák el az RPN-t adott irányba, de átvenni az irányítást felettük nem tudja.

További eltérés, hogy a Patriotnál az azonos szinten levő osztályok (FU) egymással is kommunikáltak, addig az Sz-300-nál az ezred/dandár vezetési ponton keresztül zajlik a kommunikáció a szomszédos osztályokkal, továbbá a később rendszeresített A-50 légtérellenőrző (AWACS) gépekkel is ezen keresztül történik az adatforgalom.

Az is az eltérő felfogás eredménye, hogy a Patriotnál az FU-k minden célt látnak, amit a zászlóalj vagy az E-3 AWACS radarja felderít, ezzel szemben az Sz-300-nál a harci osztály csak az ezred/dandár vezetési pont felől kapott céladatokat látja, amiket kiegészít az osztály saját NVO (végszükség esetén RPN) radarja által felderített célokkal. Nincs önálló 360 fokos közepes és nagy magasságú célkeresési képesség.

A fentiekből az következik, hogy amennyiben az Sz-300 rendszer teljes képességeinek kihasználása a cél, akkor bár az új rendszer mobilabb volt, mint a korábbi Sz-75/125, de a csapatlégvédelemnek nem felelt volna meg sőt, még nagyobb mobilitása is csak bizonyos korlátozásokkal igaz.

- Amennyiben csak az RPN-re hagyatkoztak, akkor az osztály a település megkezdését követően 5 perc alatt tűzkész volt. Az RPN rendelkezett kitolható antennával, amin keresztül kaphatott céladatot az ezred/dandár RLO radarjától a vezetési ponton (PBU) keresztül. Ez azonban a kismagasságú célok ellen korlátozott képességet jelentett, mert ahhoz az NVO felállítása is szükséges, amihez lényegesen

hosszabb idő szükséges. Tehát közepes és nagymagasságú célok elleni helyzetképet az RLO adja, tűzvezetés és korlátozott kismagasságú célkeresés RPN-nel lehetséges, de csak 105 fokos íven.[500]

- Az 5Já62 (5Я62) antenna-rendszer telepítése 45 percet vett igénybe, az Sz-300PMU export változatnál az AVR-rel ezen keresztül lehetett kommunikálni. A VSz tagországokban önálló harci osztályok exportálását tervezték, RLO radar és ezred vezetési pont (PBU) nélkül azok ára miatt. Az SzT-68U (Thin Shield) körkörös felderítő radar felállítása is ennyi időbe került, tehát az export Sz-300PMU mobilitása még szovjet PSz változtatnál rosszabb volt. Amennyiben az egész (harci) osztály áttelepült, akkor 45 perccel a település megkezdése utánig csak az RPN tudott dolgozni és AVR kapcsolat sem állt rendelkezésre, az osztály csak a saját rendkívül korlátozott szektoros RPN-nel végzett célfelderítésre volt képes legfeljebb és annak nem csak kis, hanem közepes és nagy magasságon is kellett volna célokat keresnie.

- Az NVO (Clam Shell) kismagasság felderítő radar telepítési ideje 90 perc, tehát kismagasságú célok ellen a rendszer a település megkezdése után csak ennyivel érte el a teljes harcképességet, amikor a harci osztály teljes képességei birtokában volt, ebben nincs eltérés a export és szovjet változatok között.

- Amennyiben az vezetési osztály települ át és mozog, akkor a teljes ezred/dandár elveszti a RLO által biztosított közepes- és nagymagasságú körkörös felderítési és légi helyzetkép-alkotó képességet. A harci osztályok mobilitása tehát inkább csak vezetési ezred/osztály körüli mozgást jelenti, ha a fenti képességet nem kívánja az ezred/dandár időlegesen elveszteni.

  Amennyiben ellenséges behatás (vagy műszaki okok) miatt az RLO kiesik, akkor annak kiiktatásával az ezred/dandár harcképessége a töredékére zuhan vissza. Tehát a harci osztályok csak annyira távolodhatnak el a vezetési osztálytól, hogy az mindig védve legyen legalább kismagasságú fenyegetések ellen, de ilyenkor RPN-nel is szükséges lehet célt keresni és védeni a mozgó vezetési osztályt, hiszen a vezetési osztály önmagában teljesen védtelen.

  (Ma már Pancir rendszerrel vegyesen települnek az Sz-300/400 ezredek és dandárok, de a ’80-as és ’90-es években erről szó sem volt.)

- A rendszer egyetlen eleme sem páncélozott, a csapatlégvédelemnél ez az orosz megközelítés szerint nem elfogadható, minimum repeszvédelemmel, továbbá ABV (atom, biológiai és vegyi fegyver) védelemmel kell rendelkeznie a járműveknek.

A fentiek ellenére azért „trükközésre” van némi lehetőség, mert a harci osztály egysége megbontható annak moduláris felépítésének köszönhetően. Az export Sz-300PMU változatnál a harci osztályt kettébontásával két helyre telepíthető az osztály. Az első tüzelőállásban előkészítve várakozhat a 5Já62 antenna rendszer, ami biztosítja a kapcsolatot az AVR felé, a másikban várakozhat az SzT-68U körkörös felderítő radar. Mindkét helyen 2 db indító szakasz lehet, szakaszonként 3 db indítóval. (Az indító szakaszok egysége nem bontható meg, lásd később PMU változat bemutatásánál.)

Ebben az esetben csak a RPN mozgott volna a települési helyek között. Ezzel a módszerrel mindkét előre előkészített helyen 5 perces tűzkészültséggel lehetett számolni, viszont a települési helyeket előre elő kellett készíteni.[501] Ezek közül, amíg az egyikben üzemelt az RPN, addig a másik mozoghatott. A szovjet

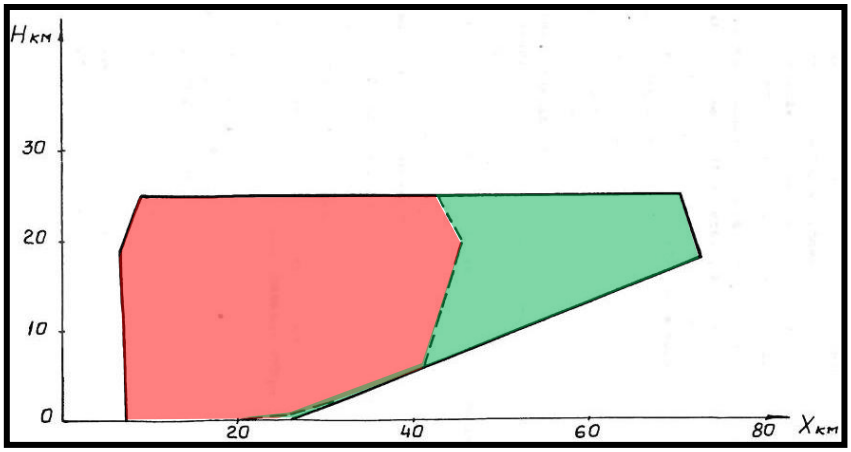
[500] *Ahol AGM-88 HARM veszély áll fent, ott ez elég öngyilkos megoldás véleményem szerint.*
[501] *Der Fla-Raketenkomplex S-300PMU in der NVA, 99. oldal*

változatoknál az AVR-rel való kapcsolatot a vezetési osztályban levő vezetési pont (55K6Sz PBU) oldotta meg, tehát ott AVR kapcsolat is rendelkezésre állt már a település megkezdését követő 5. percben.

Az Sz-300 rendszer felépítésének felvázolása után ideje szót ejteni annak hatásos megsemmisítési zónájáról. A radarok alapvető képességei és felépítése bemutatásra kerültek, a másik komoly tényező, ami a HMZ-t meghatározza a rakéta képességei.

Első lépésben annak tisztázása szükséges, hogy mennyire más pályán haladnak a rakéták az korábbi légvédelmi rakéta-rendszerekhez képest. Az Sz-75 és Sz-125 rendszerek esetében a rádió-parancsközlő antenna és a célmegvilágítás módja miatt a rakéta az osztályt és a célpontot összekötő képzeletbeli vonalon, a vonal köré húzott néhány fokos nyílású kúpon belül mozgott. Az Sz-200 rendszernél félaktív vezérlés, a digitális számítógép és a rakéta robotpilótája már ettől eltérő pályákra is képes volt a rakétát vinni sőt, igazából az RPK-s rendszerektől jellemzően eltérően pályán haladt a rakéta, ami saját magát vezette célra.

Az Sz-300 rendszernél (a Patriot is ilyen) a rakéták végfázis és pályaközi korrekcióval repülő ballisztikus rakéták. Ez azt jelenti, hogy indításkor az akkori érvényes célparaméterek szerint a rendszer kiszámolja a találkozási pontot és ballisztikus pályán – a cél esetleges manővereit figyelembe véve – a rakéta efelé a pont felé repül. Nem manőverező cél esetén csak végfázis korrekció szükséges, amennyiben a célpont irányt, sebességet és magasságot változtat, akkor természetesen a ballisztikus fázis korai szakaszában is be lehet avatkozni röppálya módosítással aerodinamikai kormányzással.



Sz-300PT-1 HMZ-je 0 km paraméterrel 5V55K és 5V55R rakétákkal. [502]

Az fenti ábrán rádió-parancsközlő vezérlést használó 5V55K rakéta HMZ-jét a piros terület, az 5V55R rakétáét a piros és a zöld területek összessége mutatja. Sz-300PT rendszerbe állításakor az Sz-200 Vega rendszernél is említett rakéta felmelegedés problémáját nem tudták még leküzdeni. Emiatt az Sz-300PT a ’70-es évek végén kb. 30 km távolságig képes volt a horizont magasságáig célok leküzdésére, ezzel a kismagasságú robotrepülőgépek elleni maximális közeli HMZ kihasználható volt sík terepet feltételezve. A Moszkva körüli domborzat ilyen, tehát a robotrepülőgépek ellen már megfelelt a rendszer, de a nagyobb magasságon repülő célok ellen továbbra is szükséges volt hadrendben tartani az Sz-200 Vegát és a Dubnát. (Az utolsó Dubna 2007-ben lett nyugdíjazva.) 30 km-nél nagyobb távolság esetén a ***garantált*** megsemmisítési zóna azonban nem ért le a radarhorizontig. A garantált szó okkal van kiemelve, nagyon fontos, lásd később.

[502] http://historykpvo-2.ucoz.ru/index/0-13;
Система зенитного управляемого ракетного оружия "Орша". Технические предложения. 1978; 24.oldal

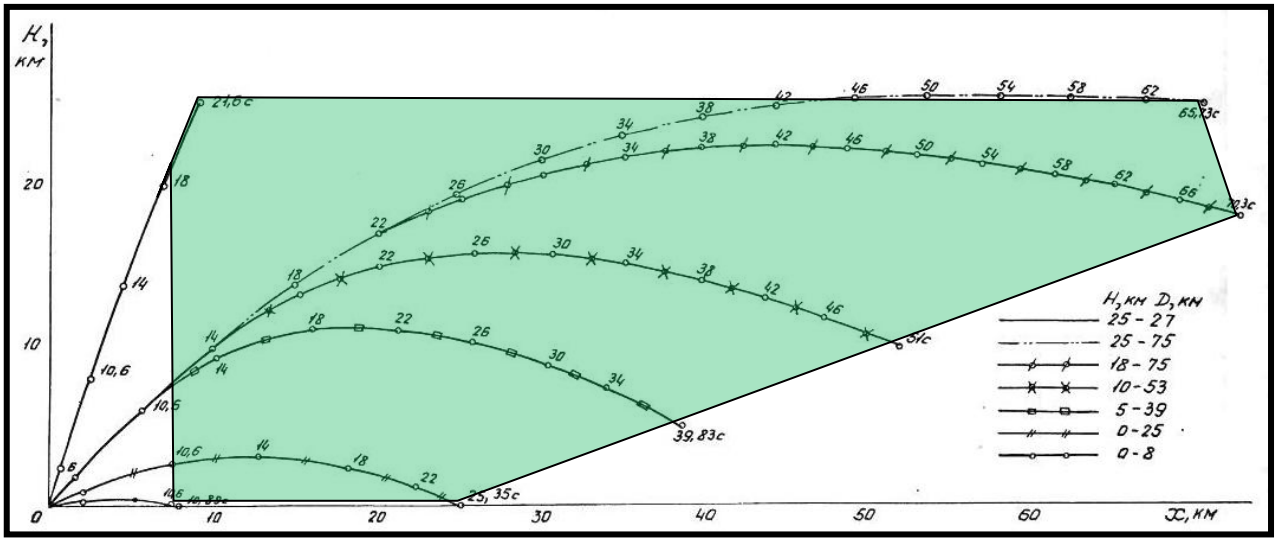
A továbbiakban – és korábban is – a megsemmisítési zóna mindig a garantált zónát jelent, csak itt most ki van hangsúlyozva.

A rakéta felmelegedése miatt a közepes és nagy magasságú harcászati célok ellen a garantált megsemmisítési zóna korlátozott volt, és amennyiben az osztály képes volt magaslatra magasabbra (pl. egy dombtetőre) települni, akkor az alacsonyan repülő célok esetén nem volt kihasználható a nagyobb megsemmisítési zóna. Idealizált sík terepviszonyok esetén 40 km távolságon 5 km alatti célokat nem lehetett támadni sem az 5V55K, de még az 5V55R rakétával sem. 10-12 km magasságban repülő, esetlegesen gravitációs bombákkal támadó bombázógépek is kívül esetek a garantált HMZ tartományon 50 km távolság felett.

Moszkva védelménél ez nem volt probléma, ilyen célpontokkal nemigen kellett számolni már a ’70-es évek végén, de a rendszer exportja esetén ez már korántsem lett volna igaz, ahol adott esetben harcászati vadászgépekkel kellett volna felvennie a harcot, amik az esetek túlnyomó többségében 8-10 km-nél soha nem repülnek magasabban a harci zónában. Harcászati repülőgépek ellen ezek a rendszerek, az akkori rakétákkal csak korlátozottan lettek volna használhatóak.

75 km távolságban az alsó megsemmisítési magasság kb. 17 km, az AGM-28 Hound Dog rakéta még támadható lett volna nagy magasságú profil esetén. Ez a tényező azonban okafogyottá vált, mert az AGM-28-at 1976-ban két évvel az Sz-300PT telepítése előtt az USA kivonta a hadrendből.

A lenti ábrán az Sz-300PT-A1 és Sz-300PSz megsemmisítési zónája látható 0 km paraméterrel, 5V55R rakétával. Az ábrán a rakéta tesztlövészetek során mért röppálya adatok, a pálya és az indítás utáni repülési idő van feltüntetve.[503]



Sz-300PT-A1/PSz megsemmisítési zónája 0 km paraméterrel a ’70-es évek végén ’80-as évek elején 5V55R rakétával. [504]

A fenti diagramon látszik, hogy a rakéta sokkal gyorsabb a Nyeva és Volhov rakétákhoz képest. 25 km (vetületi) távolságba kb. 25 másodperc alatt elér, a teljes ballisztikus röppályát figyelembe véve is ez bőven 1000 m/s feletti átlagsebességet jelent, miközben ez az érték kb. az égésvégi sebessége a rakétáknak az Volhovnál, de csak nagymagasságú célok esetén, ahol ritka már a légkör. Távolabbi célpontok esetén ahol a

[503] *A diagram a soha hadrendbe nem állított Orsa rendszer próbái alatt mért adatokból készült, a rendszer rakétája ugyanaz volt, mint az Sz-300PT-A1 rendszeré.* http://historykpvo-2.ucoz.ru/index/0-13

[504] http://historykpvo-2.ucoz.ru/index/0-13
Система зенитного управляемого ракетного оружия "Орша". Технические предложения. 1978; 45.oldal

rakéta lassulása kisebb az Sz-300 átlagsebessége még ennél is jóval nagyobb, akár a Mach 4-et is meghaladhatja. A rakéta égésvégi sebessége a ballisztikus pálya csúcsmagasságtól függően kb. 1800-1900 m/s (Mach 6-6,5), ez okozza a korábban említett hőterhelési problémát.

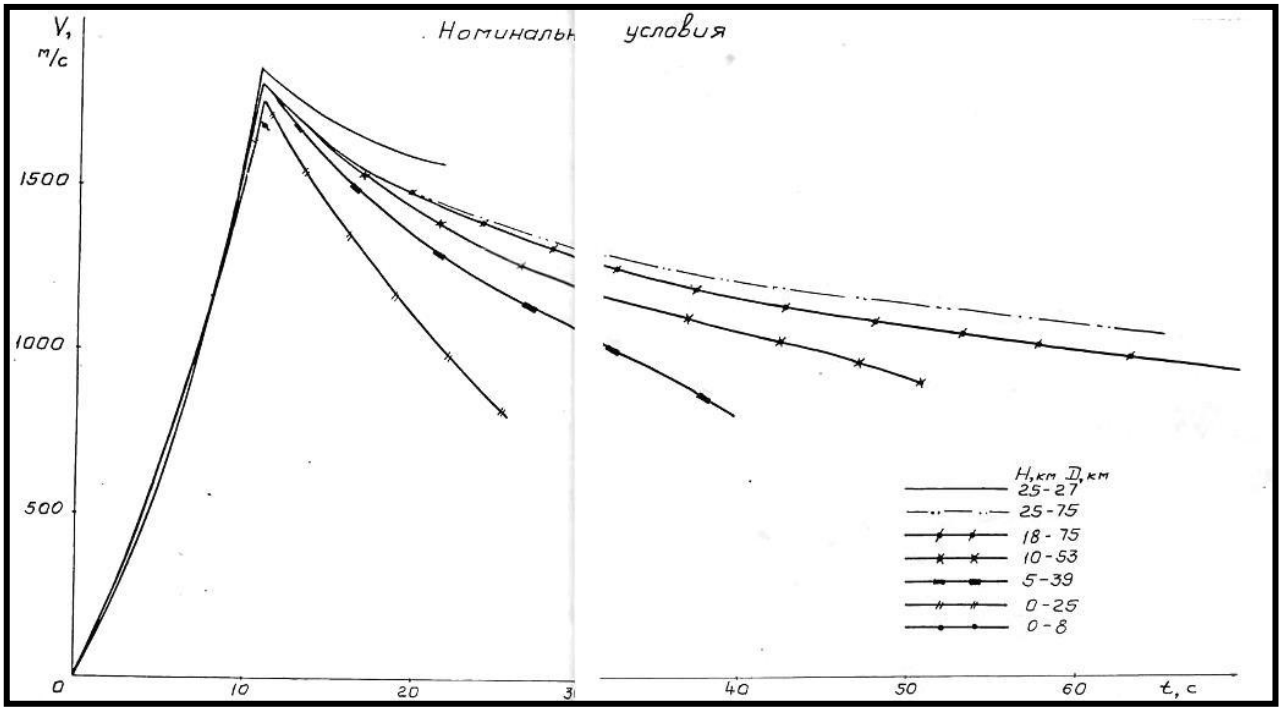
Nagyobb magasságú cél esetén a melegedés kevésbé volt súlyos, az emelkedési fázis után a rakéta a ritkább levegőben repül, ahol kisebb a súrlódás által keltett hő. Kisebb magasságon repülő célnál a pálya zuhanó szakaszán a sűrűbb légkörbe érve azonban a rakéta végül alulmaradt az hőterheléssel folytatott küzdelemben és tönkrement. Ezen hatások miatt emelkedik messze a horizont fölé a garantált HMZ minimális magassága 25 km vízszintes lőtávolság felett.

A következő oldali diagramon a fenti ábrán levő rakéta pályákhoz tartozó mért sebesség adatok láthatóak. Az adatokból a következők derülnek ki:

- A rakéta egyfokozatú hajtóműve kb. 10-11 másodpercig üzemel, ezalatt gyorsítja fel a rakétát az égésvégi sebességre. (Az átlagos gyorsulás a rakéta axiális tengelyében kb. 19G.)

- 30 méteren repülő cél esetén 25 km-re érve a rakéta 1800 m/s sebességről 800 m/s sebességre lassul le kb. 14 másodperc alatt. Ez a lassulás (átlagosan -7G a rakéta tengelyében) és a fenti sebességek jól mutatják a rakétát érő hatalmas hőterhelést.

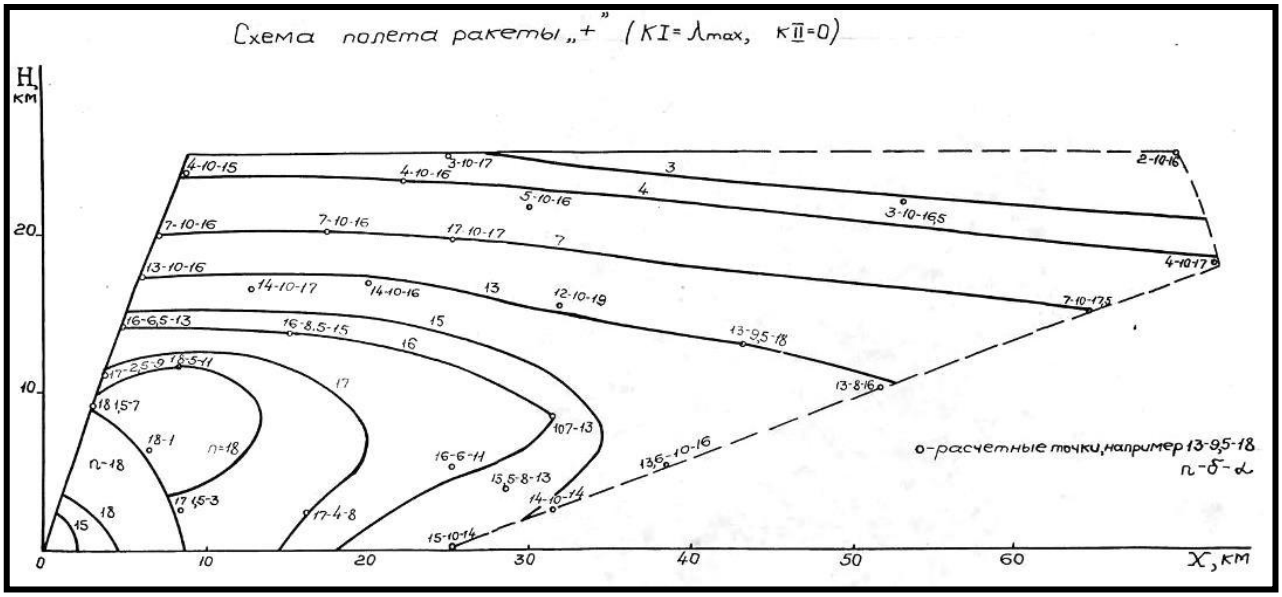
- A maximális megsemmisítési zóna szélén (maximális távolság, maximális magasság, a diagram jobb felső sarka) a rakéta sebessége még mindig 1100-1200 m/s (kb. Mach 4). A ballisztikus pálya csúcsa a maximális HMZ magasság közelében van. A rakéta bár magasságot itt még nem veszít, de a sebesség görbén látszik, hogy alig lassul. Tehát a rakéta kinematikailag messze többre lenne képes, ha a hőterhelés vagy a rendszer által használt radarok képességei nem korlátoznák le.



5V55R rakéta idő-sebesség diagramja, lőtéri mérés. [505]

[505] http://historykpvo-2.ucoz.ru/index/0-13;
Система зенитного управляемого ракетного оружия "Орша". Технические предложения. 1978; 46.oldal

Az Sz-300 rakéta sebességprofilja tehát lényegesen eltért az összes korábbi légvédelmi rakétáétól, ahol a rakétahajtóművek szinte a teljes röppályán üzemeltek (Berkut, Dvina, Volhov, Nyeva), viszont a hajtómű kiégése után gyorsan lassultak és a passzív szakaszban legfeljebb nem manőverező szubszonikus célok ellen voltak igazán hatásosak. Ettől csak a Vega tért el nagy távolságú célok esetén, ahol nagy magasságban még gyorsult a rakéta és az hosszú passzív szakasszal rendelkezett, mert nagy magasságban a hatalmas átmérőjű rakéta lassulása viszonylag szerény volt. Az Sz-300n-nál ezzel szemben az indítás után egy nagy lökettel indult útra,szinte minden esetben a rakéta passzív szakasza dominálja a pályát, hiszen kb. 10 km repülés után a rakéta hajtóműve kiégett. Ennek ellenére a rakéta manőverező képessége felülmúlta a korábbi légvédelmi rakéta-rendszereket.



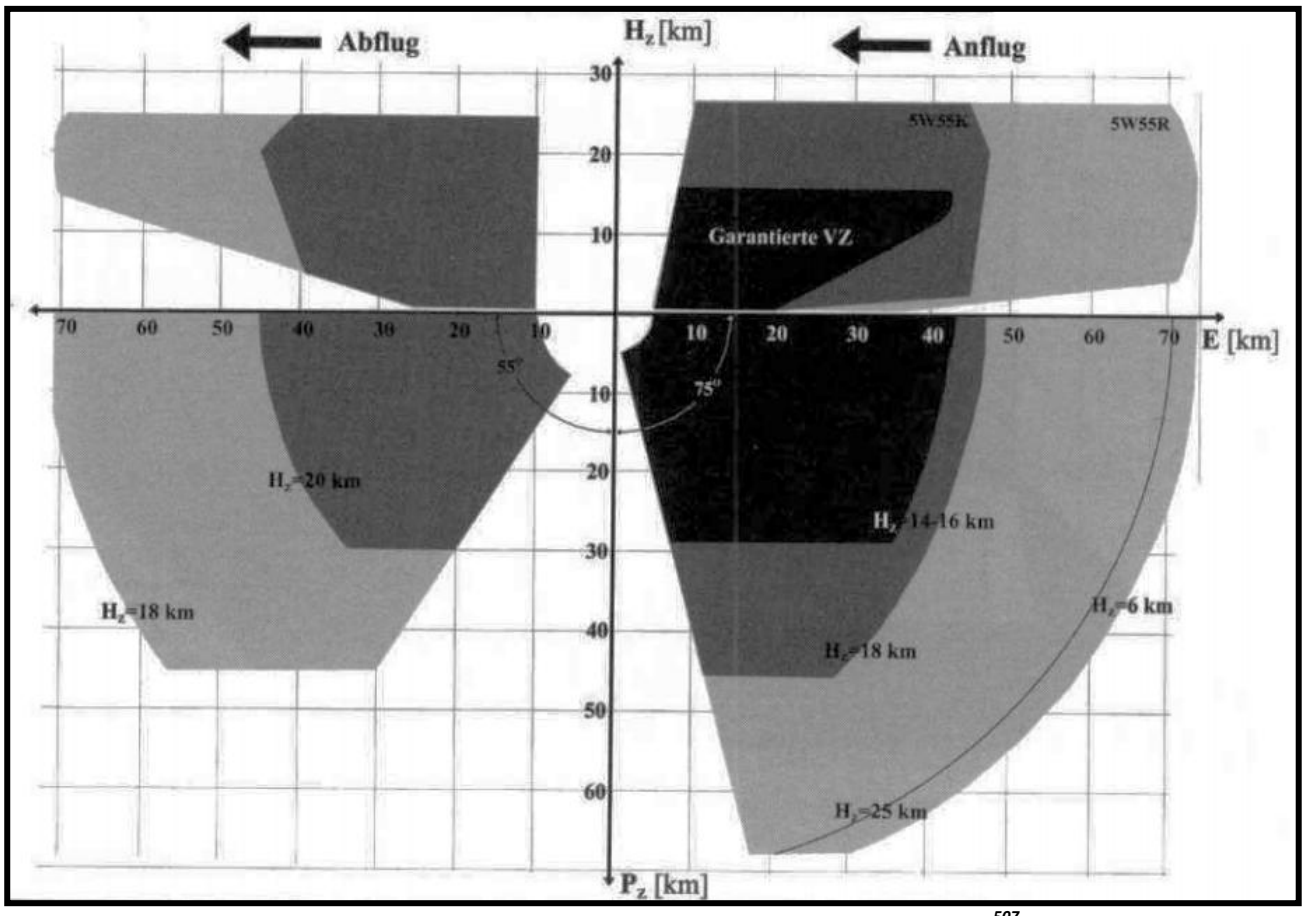
A fenti ábrán[506] a rakéta által elérhető maximális túlterhelés van ábrázolva, a hármas számcsoportok első számjegye mutatja a maximális túlterhelés nagyságát. Látható, hogy a HMZ jobb felső részén a rakéta már alig képes manőverre, a maximális lehetséges túlterhelés mindössze 2G. Emiatt törik le a 80 km távolság után a HMZ maximális magassága a PMU-1 változatnál használt 48N6 rakétának – lásd később –, mert a rakéta gyakorlatilag manőverképtelennek tekinthető ezen magasság felett. Ez nem jelenti azt, hogy időlegesen a rakéta nem repülhet a HMZ felett későbbi változatoknál 250 km-es lőtávnál, de akkor már csak irányítás nélküli ballisztikus rakétaként viselkedik. Ekkor a röppálya egyes szakaszán a rakéta nem képes manőverezni, a végfázisban vagy a sűrűbb légkörbe évre korrigálhat a rakéta, amennyiben szükséges.

A diagramon látható továbbá, hogy nemhogy a Volhov és Nyeva, de harcászati célok ellen a HMZ egész területén nagyobb túlterhelésre képes a rakéta, mint a korábbi honi légvédelmi rendszerek bármelyike. Harcászatilag kedvező mellékhatás a rakéta hajtóműű rövid, mindössze 10-11 másodperces égés ideje. A közeledő rakéta a cél számára mindig láthatatlan a korábbi, a végfázisig erősen füstölő rakétákkal ellentétben, ezért a célba vett gép pilótája nem tudja, hogy mikor szükséges a kitérő manőver végrehajtása. Egyes távolságok és sebességek esetén kitérő manőver sikeres végrehajtása akkor sem lenne lehetséges, ha a rakéta vizuálisan nyomon követhető lenne, mert olyan precíz időzítést és relatív helyzet ismeretet kíván meg, ami még elvi szinten is kizárja ennek lehetőségét.

A rakéta kinematikailag és harcászati lehetőségeket nézve teljesen más kategóriát jelentett, mint a Nyeva, Volhov vagy mint a Vega 40 km-en belüli és kis és közepes magasságú célok ellen. Már a legelső rakétaváltozat sebessége és maximális túlterhelése is messze meghaladta az összes korábbi honi légvédelmi

[506] http://historykpvo-2.ucoz.ru/index/0-13
Система зенитного управляемого ракетного оружия "Орша". Технические предложения. 1978; 66.oldal

rendszerét, csak az Sz-200 Vega múlta felül HMZ-ben nagy magasságú célok leküzdésekor az Sz-400 változat megjelenéséig, de az Sz-200 Dubna még ezeket is felülmúlta az 40N6 rakéta kifejlesztéséig. (40N6 még 2017 végén sem állt hadrendbe.)



Sz-300PMU (SA-10B) megsemmisítési zónája a '80-as évek végén.[507]

Ezek után lássuk részletesebben az Sz-300PMU (SA-10B) megsemmisítési zónáját, összehasonlítva a korábbi honi légvédelmi rendszerekkel. A fenti ábrán látható hogy bár kismagasságú célok ellen a HMZ javult, azonban még itt sem ért le a garantált zóna a horizontig. 10 méteren levő RPN-nel számolva 350 méteres magasságban repülő cél már a horizont felett van 70 km távolságban az osztálytól. Az ábrán 70 km-nél az alsó garantált megsemmisítési magasság ezzel szemben még mindig kb. 3 km. Persze ez is nagy előrelépés volt, '70-es évek végén ekkora távolságban a garantált minimális megsemmisítési magasság 15 km volt.

Figyelemreméltó, hogy a garantált megsemmisítési zóna (garantierte VZ az ábrán) a korábbi, a rakéta maximális túlterhelését bemutató ábrán a kb. 15G maximális túlterhelésű tartományt fedi le, ezért ez valószínűleg az manőverező célokra (vadászgépek) vonatkozó HMZ.

A minimális megsemmisítési távolság a Nyevával összevetve nagyobb, ez a függőleges indítási mód és az indítás utáni hatalmas gyorsulás következménye. A rakéta forduló sugara még a jónak számító maximális túlterhelés ellenére is nagy, ellenben a rakéta képességei ahhoz megfelelőek voltak, hogy a Vega 17 km-es értékével szemben jóval szerényebb, mindössze 4 km-es a minimális megsemmisítési távolság elérhető legyen.

[507] *Der Fla-Raketenkomplex S-300PMU in der NVA, 82. oldal*

Azonban Sz-300-nál sincs másként, a célpont paraméterétől függően korlátos a HMZ, csak ennek arányaiban, okaiban és mértékében tér el a korábbi rendszerekétől. Ennek oka szintén a rakéta kinematikai képessége, illetve hogy a célpont radiális sebessége nem lehet tetszőlegesen kicsi a „beaming" hatás miatt. Az Sz-300PT/PSz nem folyamatos hullámú tűzvezető radart (Sz-200 Vega), hanem impulzus üzemű doppler radart használt. A digitális megoldások és doppler módszer korlátai miatt 125 km/h alatti radiális sebességű célokat a rendszer nem képes követni.

A lenti táblázat tartalmazza a különféle Sz-300 változatok által használt rakéták paramétereit. A rakéta típusoknál a legjobb képességet biztosító változatok szerepelnek az adott komplexumhoz. A rendszer visszafelé kompatibilis, a korszerűbb komplexum is képes régebbi rakétát használni, tehát az Sz-400 is használhat szükség esetén pl. 48N6 típusú rakétát is.

típusváltozat	*rakéta*	*rakéta*	*hatótáv*	*magasság*	*célsebesség*
-	-	*kg*	*km*	*km*	*km/h* *m/s*
Sz-300PT (SA-10A)	5V55K	1480	5-47*	0,025-27*	1200m/s
Sz-300PT-1A (SA-10A)	5V55R **5V55Sz**	1660	5-75*	0,025-27*	1200m/s
Sz-300PSz/PMU (SA-10B)	5V55R	1660	5-75*	0,025-27*	1200m/s
Sz-300PM/PMU1 (SA-20A)	48N6/48N6E **6Zh48**	1800	5-150	0,01-27	2800m/s
Sz-300PM2/PMU2 (SA-20B)	48N6D/48N6E 9M96E 9M96E2	1835 333 420	3-200 1,5-40 1,5-120	0,01-27 0,01-20 0,01-30	2800m/s 4800m/s 4800m/s
Sz-400** (SA-21)	48N6DM/48N6E3 40N6 9M96 9M96D	1835 1893 333 420	4-250 4-380 1,5-40 1,5-120	0,01-27 0,01-27 0,01-20 0,01-30	4800m/s 4800m/s 4800m/s 4800m/s

*** A megsemmisítési zóna kismagasságú célok ellen a rakéta felmelegedés miatt korlátozott, lásd később.**

**** Eredeti típusjelzése Sz-300PMU3 volt, marketing okokból változtatták meg Sz-400-ra.**

A pirossal jelölt nukleáris harci résszel rendelkező rakéta, azonos HMZ-vel rendelkezik, mint a nem nukleáris változat. Lehetséges, hogy az 5V55Sz az 5V55K rakéta speciális változata volt, nukleáris fejjel a K változattal is lehet messzebbre lőni, az RPK rávezetési pontatlansága ekkor nem számít, csak a rakéta hőterhelése a korlát.

A rakéták és HMZ ismertetése után szükséges szót ejteni a rendszer egy egészen új képességéről is. A korábbi rakétás légvédelmi rendszerekhez képest az Sz-300 elnyomása vagy megsemmisítése egészen más problémát jelent mennyiségileg és minőségileg is. Az AGM-88 HARM (és hasonló fenyegetések) ellen a rendszer részleges védettséget élvez, ahogy az amerikai Patriot is, lévén ezekre is képes rakétát rávezetni az Sz-300. A Nyeva és Volhov esetén a rendszerek egy célcsatornás volta miatt ez fel sem merülhetett, értelmetlen rakétát pazarolni egy másik rakéta lelövésére, csak a rakéta fogy vele miközben más célra úgysem tud dolgozni az osztály, amennyiben radar elleni rakéta (REL)[508] közeledését észlelték, akkor inkább lekapcsolták a rávezető állomást.

Bár a honi légvédelemnél REL-lel, mint célponttal nemigen kellett számolni, mégis felkészítették az Sz-300-at ezekre is. Ilyen fenyegetés legfeljebb néhány szovjet települési helynél volt realitás, amik harcászati gépek hatósugarába estek, ellenben a VSz, vagy szovjetbarát országokba telepített változatoknál igenis számolni kellett ezekkel. Moszkva vagy más, mélyen az országban levő célpontok messze a harcászati

[508] *Angoulul ARM – anti radiation missile*

(taktikai) gépek hatósugarán kívül esnek, stratégiai bombázókon pedig soha nem rendszeresítettek ilyen rakétákat.

A Patriot radarjával szemben az RPN egyfunkciós és nincs keresésre optimalizálva, ezért a fent említett fenyegetéseket jellemzően akkor képes érzékelni, ha az RPN-nel követett célok egyike indít ilyet rakétát. Ekkor a leváló céljelet érzékeli a rendszer, ahogy a nagyon régi Dvina is, amit ezek után képes követni, sőt akár rakétát is indítani rá, hiszen az Sz-300 nem egy célcsatornás.

Ez hatalmas előrelépés az összes korábbi honi légvédelmi rendszerhez képest, amiket egy célcsatornás képességük miatt könnyen el lehetett nyomni. Bejövő radar elleni rakéta esetén vagy követték tovább az eredeti célt, és megkockáztatták a megsemmisülést vagy le kellett kapcsolni a rávezető állomást. Az Sz-300-nál ilyenkor csak a szabad célcsatornák és a rendelkezésre álló rakéták száma csökkent, de ettől a rendszer még dolgozhatott párhuzamosan tovább más célpontokra is miközben a bejövő rakétákat képes volt lelőni. Az elnyomás is sokkal nehezebbé vált, a megsemmisítése az osztálynak meg aztán végképp.

Az Sz-300 REL elleni önvédelmi képességeinek azonban több korlátja van:

- Az RPN csak 105 fokos oldalszög tartományban képes egyidejűleg legyezni, tehát miközben rakétát vezet célra, a radar megvilágítási tűzívén kívül is érkezhet AGM-88 HARM, amit az RPN semmiképpen nem érzékelhet, tehát rakétát sem vezethet rá. Az oldalszirmokon keresztül is önmagát célra vezetni képes HARM rakéta ellen egy magányos harci osztály képességei emiatt korlátozottak

- Jó esetben az ezred/dandár (NVO, Big Bird) radarja képes érzékelni a közeledő REL-t, de erre nem feltétlen lehet építeni a távolságok és a célpont kis RCS értéke miatt. Az ezred/dandár RLO radarja körkörös lefedést biztosít, de az nem közvetlenül a harci osztály mellett települ (és ez is lehet mozgásban). A HARM indításkor a távolság 100-150 km is lehet az RLO és a rakéta között, ami mindössze tized négyzetméteres radarkeresztmetszettel bíró cél, ennek észlelése nem feltétlen biztosított az ezred/dandár RLO radarjával nagy távolságban. Kisebb távolság esetén valószínű, hogy az RLO képes érzékelni azokat, a kérdés az, hogy az osztálynak marad-e elég ideje reagálni a fenyegetésre.

- Amennyiben a horizont alól felugró cél indítja a rakétát, akkor a kismagasságú kereső radar (NVO, Clam Shel) érzékelheti a rakétát emelkedő fázisban oldalszög korlátozás nélkül. (Az AGM-88 mindig magasságot gyűjt emelkedés után a ritkább légkörben történő vitorlázáshoz.)

- Két irányból közeledő rakéta esetén csak az egyik irányba tud dolgozni egy harci osztály még akkor is, ha az ezred/dandár RLO radarja esetleges képes mindkét irányból közeledő rakétákat érzékelni.

- A VSz országokba exportált PMU változatnál nem volt ezred/dandár szintű vezetési osztály (lásd később), a harci osztályok az AVR-be kötve üzemelve, illetve önálló, körkörös felderítő radarral bírtak, az SzT-68U-val. Ezzel érdekes módon a HARM elleni védelem elvileg magasabb szintű az szovjet változathoz képest, mert az osztály saját körkörös felderítő radarja mindig közelebb esik a fenyegetéshez, mint az szovjet változatoknál a vezetési osztály RLO-ja. Az RLO és a harci osztályok közötti terepviszonyok sem számítanak, az RPN és az SzT-68U ugyanazt a légteret pásztázza ugyanazon helyről, tehát a lefedésük is ugyanaz.

Az Sz-300 fent felsorolt korlátai ellenére is teljesen más dimenziójú fenyegetést jelentett, mint a korábbi Volhov + Nyeva kombinációja, amik egyetlen reális opciója gyakorlatilag a lekapcsolás volt AGM-45 támadás esetén is, nemhogy az AGM-88-cal számolva, ami bármilyen irányból érkezhetett. Azoknál más védekezési képesség egyáltalán nem is létezett. Amennyiben két Sz-300 osztály egymáshoz közeli átfedésben települt

még az exportváltozatok esetén is, ha AVR kapcsoltban voltak egészen elképesztő mennyiségű HARM és/vagy egyszerre három irányból támadás szükséges azok túlterheléshez.

Az Sz-300 képességeinek értelmezéséhez egy további fogalom tisztázása szükséges, ez pedig a ciklusidő. Az célpont első észleléstől a rakéta becsapódásáig eltelt idő a cél távolságának függvényében adja meg a rendszer ciklusidejét, amit célcsatornánként kell értelmezi. Minimális, 7 km-es távolságnál ez 31 másodperc, 75 km-nél (Sz-300PMU) 97 másodperc.[509] A rakéták 3 másodperces időközönként indíthatóak. Egy tömeges robotrepülőgép támadás esetén 18 másodperc alatt indul 6 db rakéta és ahogy eltalálja az első célpontot az első indított rakéta, akkor szabadul fel célcsatorna, majd kezdődik előről a ciklus az első és sorban a többi célcsatorna számára.

Fontos megjegyezni azt, hogy a rakéta felkészítése és az azonosítás a rakéták repülési ideje alatt párhuzamosan is történhet, ebből lehet számolni azt, hogy adott célmennyiség esetén mikor merül ki a rendszer képessége annak túlterhelése miatt. (Az Sz-300PT kortárs Osza rakétájában a giroszkóp 15 másodperc alatt pörgött fel, tömeges támadás esetén, amikor lehet tudni, hogy több cél van ezt korábban is meg lehet kezdeni ettől rövidülhet a ciklusidő, mert a felkészítés ezen lépését korábban elvégezheti a rendszer.)

A rakéta, továbbá a rendszer több elemének eddig ismertetett képességinek összességének bemutatását lássuk egy gondolatkísérletben egy elképzelt tömeges robotrepülőgép támadásnál, idealizált esetben, teljesen sík terep esetén.

A 30 méteren repülő robotrepülőgépet 35 km távolságban észleli RPN, de az NVO már korábban, 45 km távolságból követésbe képes venni a célpontokat, tehát az RPN tudja, hogy a célok hol és mikor fognak felbukkanni, az RPN azonnal megvilágíthatja azokat, amint lehetséges. Ezt megelőzően a rakéták is felkészíthetőek az indításra a kellő mennyiségben, de a célra dolgozás és lőelem számítása csak a célkövetés megkezdése után lehetséges.

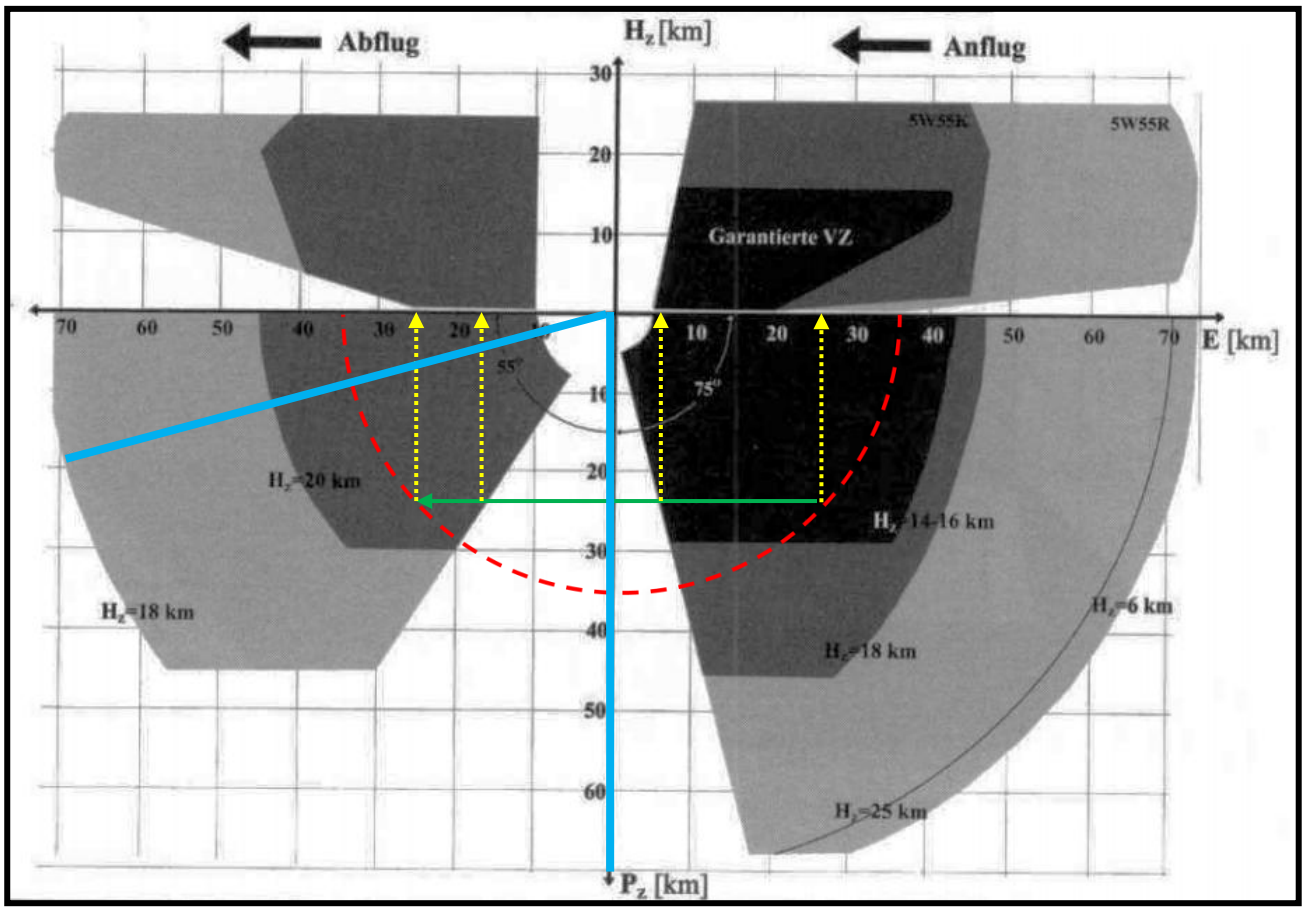
A rakéta repülési ideje 30 km távolságra kb. 20 másodperc, a rendszernek kb. további 15-20 másodperc szükséges – attól függően, hogy a giroszkóp előtte felpörgött-e – az azonosításhoz, a rakéta előkészítéséhez, a döntéshez és a tűzmegnyitáshoz. Az RPN első észleléstől számolva a manőverező robotrepülőgép kb. 9 km-et tesz meg, mire az első rakéta célba ér, az első találatot követően minden 1 km repülés után érkezik egy rakéta és indítható a következő, ahogy felszabadul célcsatorna.

A HMZ-nek viszont korlátai vannak (lásd korábbi ábrán), ami kiemelten fontos kérdéssé teszi a minél korábbi rakétaindítást, mielőtt a nagyobb paraméterrel érkező célpont a rendszer „vakfoltjába” repül. A HMZ-t bemutató ábrán a piros szaggatott kör mutatja az idealizált esetben az RPN célkövetési korlátját a horizont miatt

A gondolatkísérletben a zöld nyíllal jelölt sávban érkezzenek a robotrepülőgépek, amik megpróbálják áttörni a rendszert. A sáv 23 km-es paraméterrel rendelkezik, ez a következő oldali ábrán látható. Ebben nagyjából 20 km-en keresztül vannak a célok a HMZ-ben az első RPN észleléstől számítva. Ebben az idealizált esetben tehát legfeljebb 18 db rakéta sikeres rávezetése lehetséges mielőtt azok kirepülnek a HMZ-ből, ha azok egy falkába tömörülve érkeznek.

[509] *Der Fla-Raketenkomplex S-300PMU in der NVA, 83. oldal*

Utánlövés esetén a horizont alá repülés előtt az HMZ-ben kb. 8 km-t haladnak a célok. Lehetséges, hogy már a kirepülési előtti 8 km-es sávban képes ismét követni az RPN a célokat, de reálisan nézve 1-2 db cél lelövésénél több nem jön számításba, mire odaér a rakéta a célok eltűnnek a horizont mögött.



Sz-300PMU (SA-10B) megsemmisítési és a gondolatkísérletben érkező robotrepülőgépek pályája.

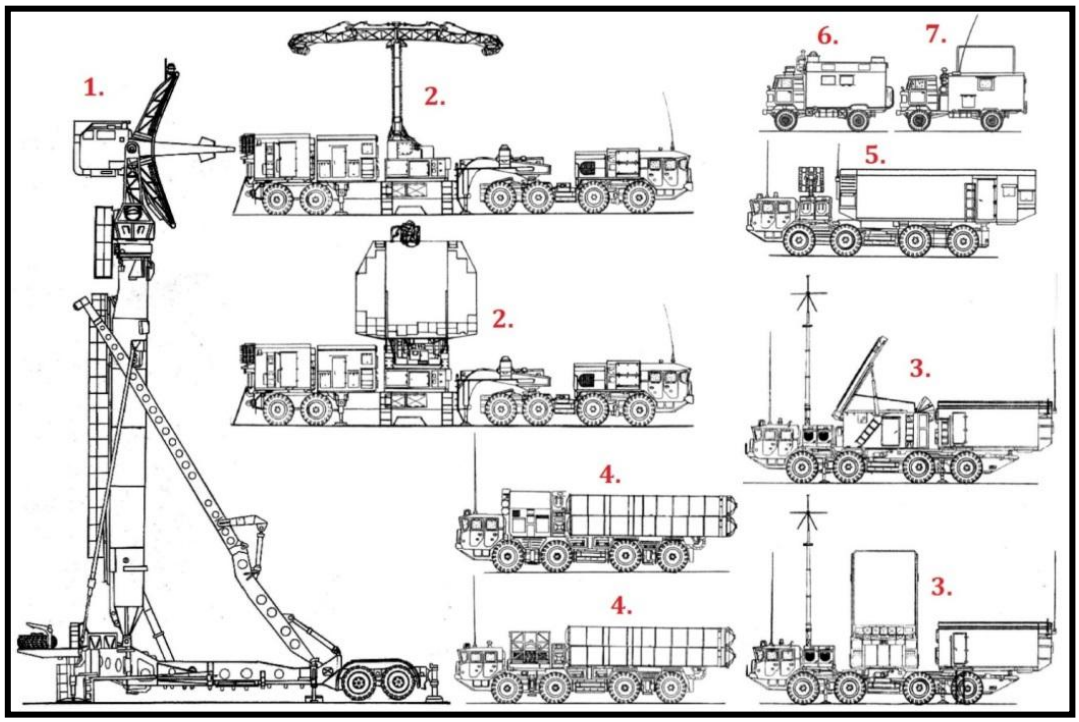
Ebből látható az, hogy az Sz-300 osztályok között ilyen célok esetén átfedés szükséges a nagy paraméterrel érkező célok miatt már csak azért is, mert ha két oldalról próbálják áttörni a védelmet, akkor a 105 fokos RPN oldalszög korlátozás miatt nem tud két irányba tüzelni egy harci osztály, a szomszédos osztálynak kell besegíteni.

Az átfedés mértéke viszont nagyon függ attól – lásd RPN és NVO első észlelési távolság diagramokon – hogy, hogy a radarok milyen magasságban vannak, tehát a terepviszonyoktól is. Egy közeli domb is hatalmas részeket takarhat ki HMZ-ből, de egy ilyen tetejére települve kismagasságú célok ellen a HMZ nagymértékben kitolható, a radarhorizont távolsága távolabbra helyezhető az osztálytól.

Ha a célkövetés megszakad, még a cél ismételt befogása esetén is a rakéta nem feltétlen képes a cél felé fordulni, hiszen 1000-1500 m/s feletti sebességgel is haladhat az utolsó számított elfogási pont felé, egész egyszerűen előfordulhat, hogy a célpont mozgásparamétere megváltozik – a robotrepülőgép is végezhet fordulót – és a rakéta nem képes már a szükséges forduló végrehajtására, mert az információ hiány ideje miatt hibásan számított (prolongált) elfogási pontot vett figyelembe a rendszer.

A fentiek után térjünk vissza az Sz-300 rendszer evolúciójához. Az SZ-300PT után a következő változat az 1983-tól 1990-ig legyártott mobil Sz-300PSz Volhov-M6 (SA-10B) volt. Ez a variáns valószínűleg a hírszerzés megtévesztésére kapta a Volhov nevet, az Sz-75-höz semmi köze nem volt. A 70 db legyártott harci osztályból 20 db Leningrád köré települt, a többi csak a fontosabb településeknél váltotta le (általában településenként néhány harci osztály) az Sz-75/125 légvédelmi rendszereket.

A következő oldali ábrán egy Sz-300PSz harci osztály eszközei, illetve a vezetési osztály RLO radarja és vezetési pontja szerepel.



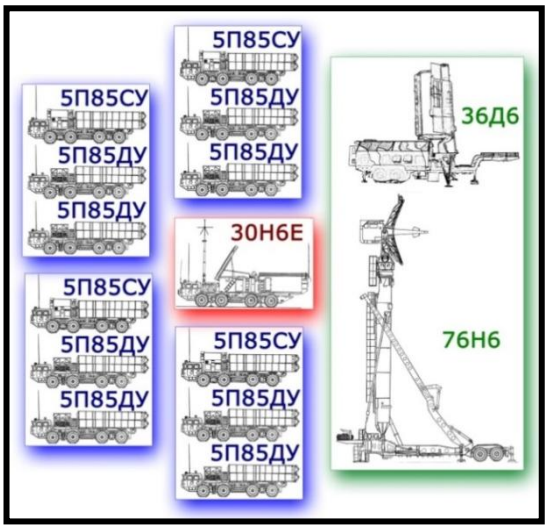
75R6 Sz-300PSz Volhov-M6 (SA-10B)

1. 5N66M NVO (Clam Shell) kismagasságú célfelderítő rádiólokátor (F5M)
2. 5N64Sz RLO (Big Bird) célfelderítő rádiólokátor (F6 antenna, F7, F8 kabin)
3. 5N63Sz RPN (Flap Lid) célmegvilágító és rakétarávezető rádiólokátor (F1Sz antenna, F2K kabin)
4. Felül 5P85Sz SzPU önjáró indítóállvány (F3Sz kabin + 4 db 5V55K, 5V55R, esetleg 5V55Sz rakétával, vagy ezek kombinációjával).
   Alul 5P85D SzPU önjáró indítóállvány (4 db 5V55K, 5V55R, esetleg 5V55Sz rakétával, vagy ezek kombinációjával)
5. 5K56Sz PBU harcvezetési kabin (F9)
6. 1T12 geodéziai beméró gépkocsi
7. KSM parancsnoki stáb járműve

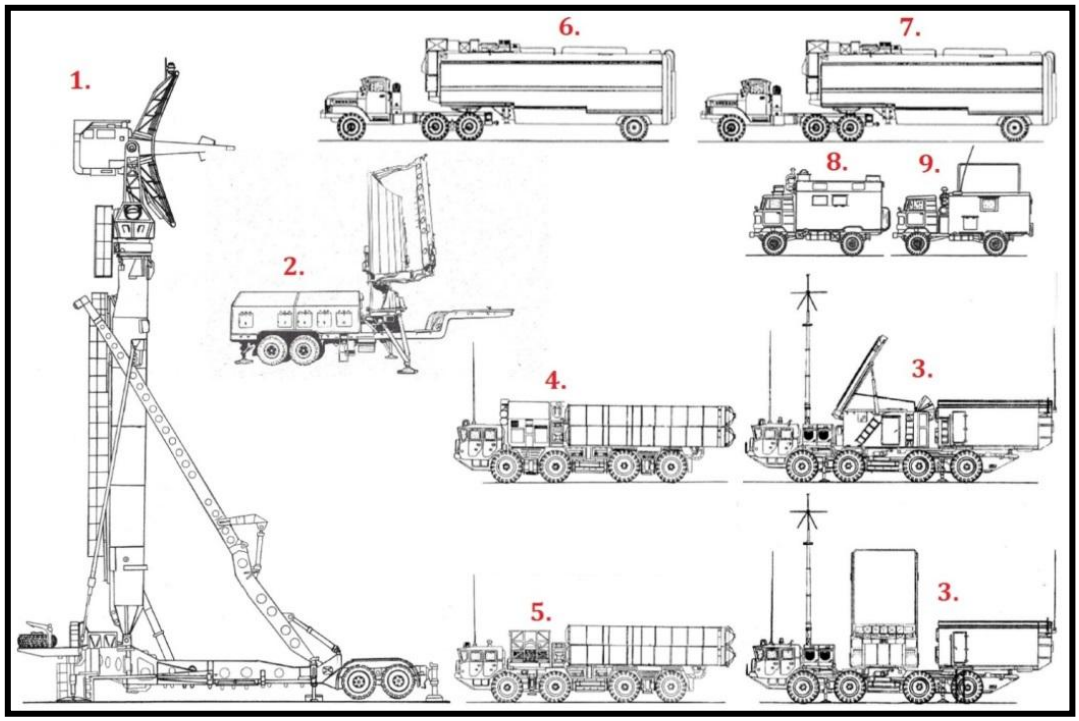
A legszembetűnőbb változás a PT változathoz képest, hogy a rakétaindító tubusok önjáró járműre kerültek, ahogy az RPN is, de az NVO és RLO radarok méretükből kifolyólag továbbra is vontatott alvázon maradtak. A rendszer alapvető felépítése és képességei azonos rakéta esetén valószínűleg nem tértek el különösebben a PT változattól. Valójában ez volt az eredetileg tervezett első Sz-300 változat, a PT „tűzoltásként” készült el rohamtempóban a robotrepülőgépek rohamos elterjedésétől tartva.

A PSz széria utolsó 6 db példánya Sz-300PMU Volhov-M6 (SA-10B) jelzéssel export változatban készült el. 1989-ben Bulgária és az NDK kapott 1-1 db osztályt, 1990-ben pedig Csehszlovákia 1 db osztályt. Ekkor érkezett el a keleti blokk számára a rendszerváltás, emiatt az elkészült 2 db magyar és 1 db lengyel osztály

már nem került leszállításra. A magyar személyzetet kiképezték és az osztályhoz tartozó alakulat laktanyája is elkészült, de a technika soha nem érkezett meg, a rendelést Magyarország visszamondta. A két Sz-300PU osztályt később az orosz államadósság leírásáért cserébe nem kaphattuk meg.[510] A Budapest környéki dandár átfegyverzésére-átszervezésére 1975-ben készült el a terv, ami már tartalmazta a két új típusú közepes hatótávolságú komplexumot. A német újraegyesítéskor az NDK-ba exportált 1 db osztály visszakerült a Szovjetunióba. Így az egykori VSz tagországokba szánt 4 db osztályt végül Kína vásárolta meg 1993-ban, ezekért 1994-ben 220 millió dollárt fizetett. A lenti ábrán láthatóak egy Sz-300PMU osztály főbb elemei.



A PMU változat markánsan eltér a PSz-től, takarékossági okokból nincs ezred/dandár szintű vezetési osztály RLO radarral és PBU-val. Az osztályok nem rendelkeztek közös vezetési ponttal, hanem attól eltérően a Volhov és a Nyeva osztályokhoz hasonlóan üzemeltek volna. Az osztályok AVR-be beköthetőek voltak, továbbá minden Sz-300PMU osztály saját körkörös felderítő radarral bírt, ez volt az 36D6 SzT-68U (Tin Shield). Az Sz-300PMU harci osztály fő elemeivel a bal felső ábrán látható.



90Zs6 Sz-300PMU Volhov-M6 (SA-10B)

1. 76N6 NVO (Clam Shell) kismagasságú célfelderítő rádiólokátor (F5MU)
2. 36D6 SzT-68U (Tin Shield) célfelderítő rádiólokátor
3. 30N6E RPN (Flap Lid) célmegvilágító és rakétarávezető rádiólokátor (F1U antenna, F2U kabin)
4. 5P85SzU SzPU önjáró indítóállvány (F3U kabin + 4 db 5V55K, 5V55R rakétával, vagy ezek kombinációjával)
5. 5P85DU SzPU önjáró indítóállvány (4 db 5V55K, 5V55R rakétával, vagy ezek kombinációjával)
6. 5Sz99M Szenyezs automatikus vezetési rendszer 26M6 PBU harcvezetési kabinja

[510] *28 db MiG-29 9.12 vadászgép szállításába az oroszok beleegyeztek, akkori árfolyamon 800 millió USD értékben.*

7. 5Sz99M Szenyezs automatikus vezetési rendszer 27M6 DPBU kiegészítő harcvezetési kabinja
8. 1T12 geodéziai beméró gépkocsi
9. KSM parancsnoki stáb járműve

Az indító járművek elnevezése és típusjelzése kavarodásra adhat okot. A típusjelzést követően a rövidítések a következőket jelentik.

- PU – indítóállvány
- BPU – vontatott indítóállvány.
- SzPU – önjáró indítóállvány

Az SzU és DU karaktersor az indítóállványok típusjelzésének eleje és vége.

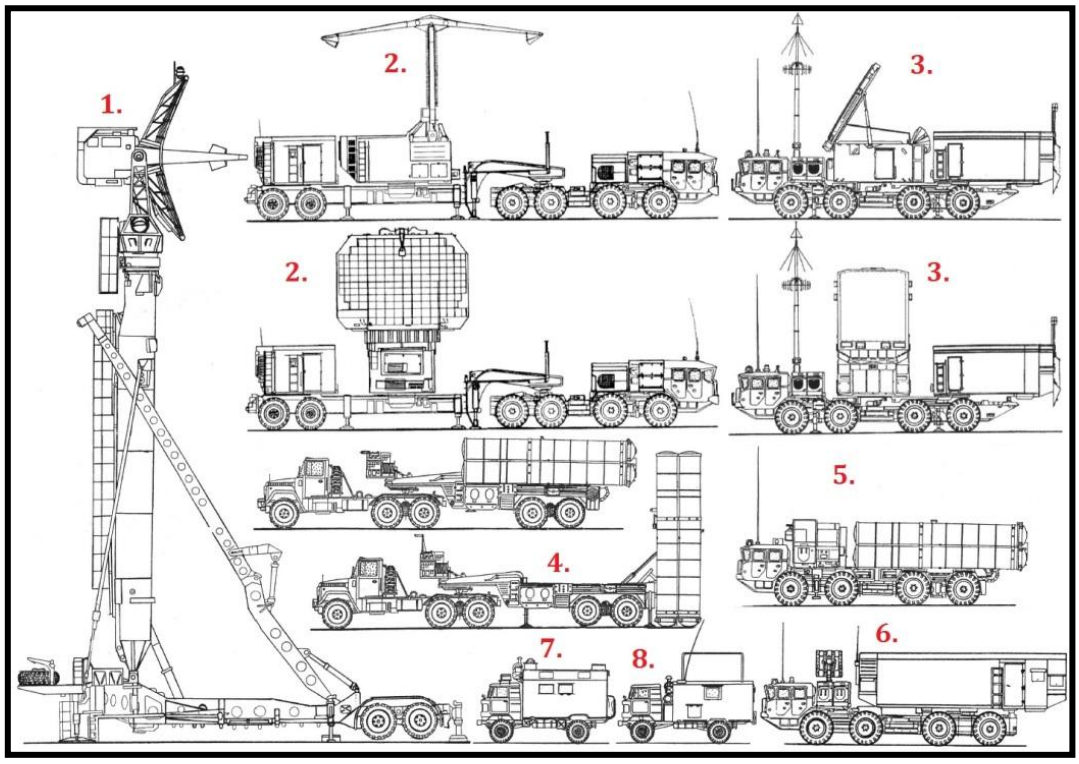
További fontos technikai részlet, hogy az SzU és a DU önjáró indítóállványok nem azonosak, emiatt a rendszer indítói három indítóból álló blokkokban (szakaszokban) használhatóak csak. A DU-k (ду) csak kábeles kapcsolaton keresztül tudnak kommunikálni RPN-nel, de csak az SzU-n (су) keresztül, a DU-k önmagukban nem képesek üzemelni. Emiatt 1 db 5P58SzU + 2 db 5P58DU alkot egy indító szakaszt, 4 db ilyen szakasz található egy osztályban. Az SzU képes kábelen és rádión is kapcsolatot létesíteni az RPN-nel. Ez a fajta differenciálás az indítók között a PM/PMU1 változatnál megszűnt, attól a változattól kezdve az összes indítót képes kezelni az RPN, tetszőleges darabszám, illetve elrendezésre való tekintet nélkül.

A következő változat a sorban az Sz-300PM Volhov-M6M (SA-20A), illetve annak export változata, az Sz-300PMU1 voltak, de ezek már csak a hidegháborút követően készültek el, csak a Szovjetunó felbomlását követően állították hadrendbe azokat.

Oroszország gazdasági problémái miatt a hidegháborús szokásokkal ellentétben hamar exportálták ezt a változatot, ezzel enyhítve az országot sújtó pénzhiányt. 1993 és 1996 között kb. 35 db osztályt gyártottak, amiből az utolsó 8 db Sz-300PMU1 Volhov-M6M (SA-20A) jelzéssel export változatban készült el. Ezekből Kína 4 db osztályt vásárolt 462 millió USD értékben szovjet adósság leírás címén, továbbá Görögország és Vietnám 2-2 db komplexumot vásárolt, 230-230 millió USD értékben. (Vezetési osztályokkal együtt, tehát a görög és vietnámi Sz-300-asok csak kétosztályos ezredek.)

Az Oroszországban maradt 27 db harci osztályból 20 db a Moszkva körüli belső védelmi gyűrűre került. (A külső gyűrű tüzelőállásain időközben lakóparkok létesültek.) A maradék 7 db Sz-300PM harci osztály, továbbá a felszabadult összes (56 db) Sz-300PT pedig a fontosabb településeken, általában településenként csak pár osztály váltotta fel az akkor még hadrendben levő Sz-75/125 rendszereket, amik a hadrendből 1996-ban véglegesen kivonásra kerültek, ezzel Oroszországban egy korszak lezárult. Az első generációs honi légvédelmi rakéta-rendszerek ikonikus hidegháborús példányai szülőföldjükön nagyjából négy évtizedes aktív szolgálat után eltűntek.

Az Sz-300PM/PMU1 továbbra is 6 db célcsatornás maradt, viszont az új 48N6 rakétával a maximális megsemmisítési távolság 150 km-re nőtt, a minimális megsemmisítési magasság közeli kis magasságú célok ellen 10 méterre csökkent. A lenti ábrán egy Sz-300PM/PMU1 harci osztály eszközei, továbbá az vezetési osztály RLO radarja szerepel a vezetési ponttal.



35R6 Sz-300PM Volhov-M6M (SA-20A)

1. 76N6 NVO (Clam Shell) kismagasságú célfelderítő rádiólokátor (F5MU)
2. 64N6 RLO (Big Bird) célfelderítő rádiólokátor (F6M antenna, F8M kabin)
3. 30N6 RPN (Tomb Stone) célmegvilágító és rakétarávezető rádiólokátor (F1M antenna, F2M kabin)
4. 5P85T PU indítóállvány (4db 48N6, 6Zs48, 5V55K, 5V55R, esetleg 5V55Sz rakétával, vagy ezek kombinációjával)
5. 5P85SzM SzPU önjáró indítóállvány (4db 48N6, 6Zs48, 5V55K, 5V55R, esetleg 5V55Sz rakétával, vagy ezek kombinációjával)
6. 54K6 PBU harcvezetési kabin (F9M)
7. 1T12 geodéziai bemérő gépkocsi
8. KSM parancsnoki stáb járműve

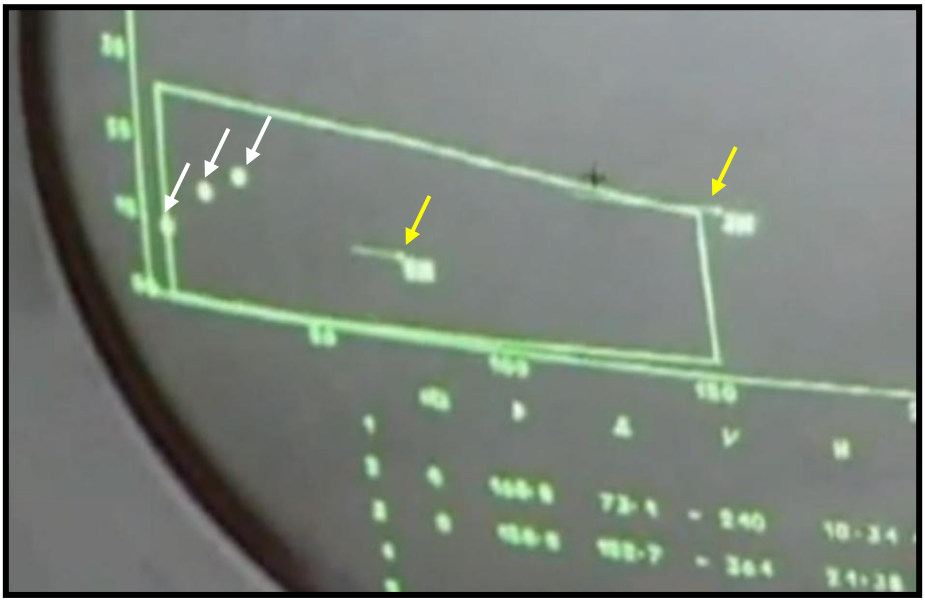
Az Sz-300PM rendelkezhet vontatott és önjáró rakétaindítókkal is. Ezek alkalmazása nem vegyesen történt az osztály vagy önjáró vagy vontatott indítókat használ, de vegyesen sosem. A vontatott változatok jellemzően Moszkva köré kerültek és a PT változatokat váltották le, az önjáró indítókat valószínűleg exportra szánták, ahol a mobilitás sokkal fontosabb az „üss és fuss” taktika alkalmazásával. A lenti felsorolás a 90Zs6E Sz-300PMU1 Volhov-M6M (SA-20A) export változat elemeinek jelöléseit tartalmazza.

1. 76N6 NVO (Clam Shell) kismagasságú célfelderítő rádiólokátor (F5MU)
2. 64N6E RLO (Big Bird) célfelderítő rádiólokátor (F6M antenna, F8M kabin)
3. 30N6E1 RPN (Tomb Stone) célmegvilágító és rakétarávezető rádiólokátor (F1M antenna, F2M kabin)
4. 5P85TE PU indítóállvány (4db 48N6E, 5V55K, 5V55R rakétával, vagy ezek kombinációjával)
5. 5P85SzE SzPU önjáró indítóállvány (4db 48N6E, 5V55K, 5V55R rakétával, vagy ezek kombinációjával)
6. 54K6E PBU harcvezetési kabin (F9M)
7. 1T12 geodéziai bemérő gépkocsi
8. KSM parancsnoki stáb járműve

A PM/PMU1 változattal tehát elérkeztünk a ’90-es évek közepéhez/végéhez. A figyelmesebb olvasónak feltűnhet, hogy a ’70-es években megfogalmazott HMZ-vel bíró, nevezetesen a Vega leváltására alkalmas rendszert még ekkorra sem sikerült megalkotni majd két évtized elteltével sem. Az Sz-300PM/PMU1 maximális megsemmisítési távolsága is „csak” 150 km-es, továbbá ennél a változatnál is igaz, hogy a garantált HMZ zóna nem ér le a horizontig, bár annak a közelében van. Az Sz-200-asok leváltására 1985 óta fejlesztett 400 km-es hatótávolságú változat rendszeresítését a Szovjetunió széthullása és az orosz pénzügyi összeomlás 1998-ban megakadályozta.

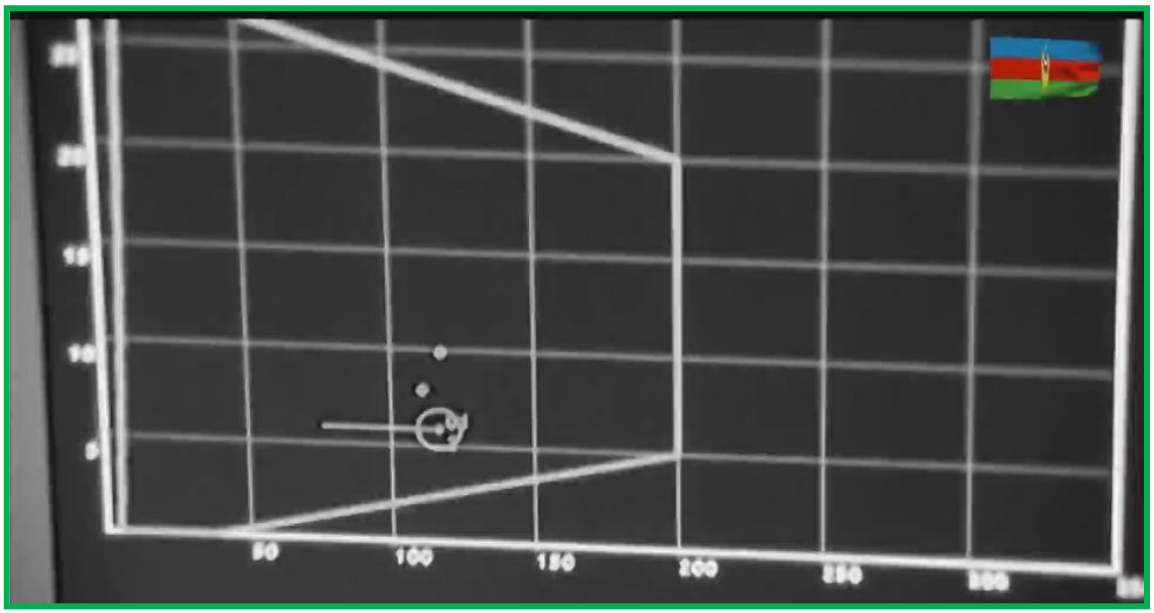
Ezen a ponton érdemes visszatérni a HMZ-re. Bár a rakéták tömege – lásd összefoglaló táblázatban korábban – a 48N6 változat óta szinte változatlan maradt (1800-1900 kg), ennek ellenére a maximális megsemmisítési távolság 150 km-ről 380 km-re nőtt az Sz-300PMU1 és Sz-400 között. Ez úgy lehetséges, hogy a rakétatest (valószínűleg) könnyebb kompozitból készült fém helyett, illetve kicsit nőtt a hajtóanyag tömege. 250 km-es ballisztikus hatótávolsághoz kb. 1400 m/s, míg 380 km-es hatótávolság eléréséhez kb. 1750 m/s égésvégi sebesség szükséges. Ez utóbbi sebességet már nemhogy az 48N6 rakéta, de már a korai 5V55R típus is elérte. Az Sz-300PM/PMU1 rendszer 48N6 rakétával ábrázolt rendszer HMZ diagramján maximális távolságnál a HMZ függőleges vonallal ér véget. Az ábrázolás azt mutatja, hogy a célmegvilágítás/célkövetés korlátozza le a HMZ-t és nem a rakéta kinematikája, az ennél lényegesen messzebbre is képes elrepülni.

Az Sz-25 Berkut és Sz-75 Volhov rendszerek 0 km paraméterű HMZ ábráin a maximális távolság nem függőleges vonallal határolt, tehát azokat a rakéta kinematikája korlátozza le, de azoknál 55 km távolság felett amúgy is véget érne a HMZ az RPK vezérlés korlátai miatt.

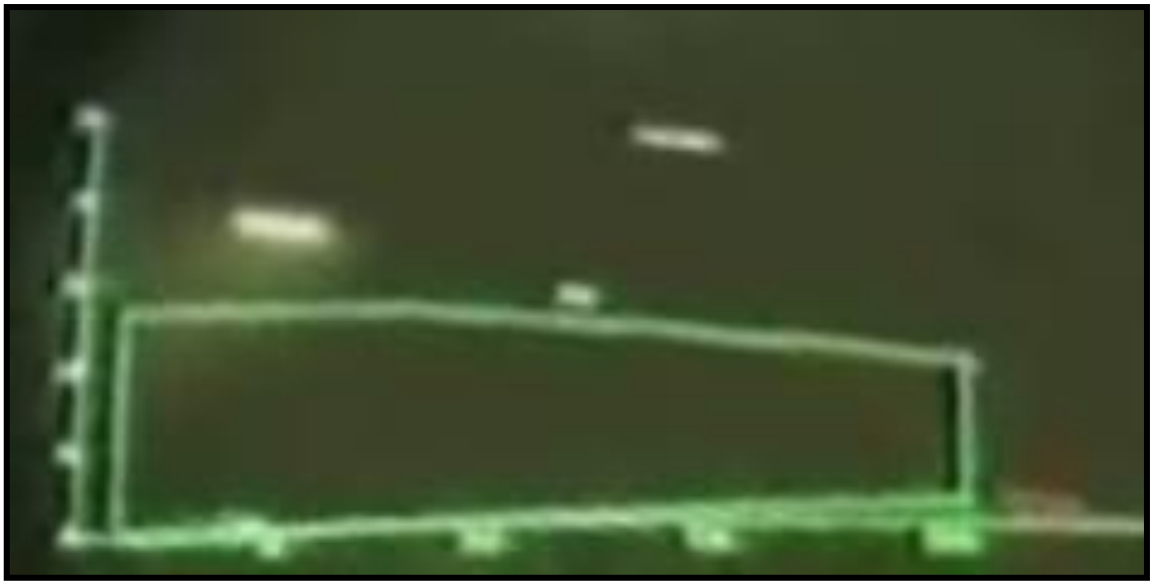


Sz-300PMU1 HMZ a rendszer indikátorán. 48N6 rakétával. 2 db célt követ a rendszer (sárga), 3 db rakéta úton a célpontok felé (fehér). A távolabbi cél még HMZ-n kívül, de mire a rakéta odaér, már HMZ-n belül lesz. A két cél paraméterei a jobb alsó sarokban láthatóak. Oldalszög, távolság, sebesség és magasság. Ezen az ábrán a HMZ leér a horizontig, 150 km távolságban kb. 1,5 km a HZM minimális magassága.

Ami további figyelmet érdemel az a rendszer minimális megsemmisítési magassága. Mind az Sz-200 Vega/Dubna és az Sz-300 különféle változatainál látható, hogy kezdetben a HMZ nagy távolságon nem ért le a radarhorizontig. Az Sz-300 esetében viszont az lehet látni a HMZ diagramokról elérhető felvételeken, hogy még azonos rakéta változat esetén is hol leér a horizontig a HMZ, hol valamivel afelett ér véget, példák a fenti illetve lenti képeken ezekre.



Sz-300PMU2 HMZ 48N6E2 rakétával. 200 km távolságban az ábra 5 km-es minimális célpont magasságot mutat. Ezzel szemben 200 km távolságnál a 2 km magasságban repülő cél már éppen a horizont felett van. Látható, hogy a garantált HMZ nem ér le a horizontig.

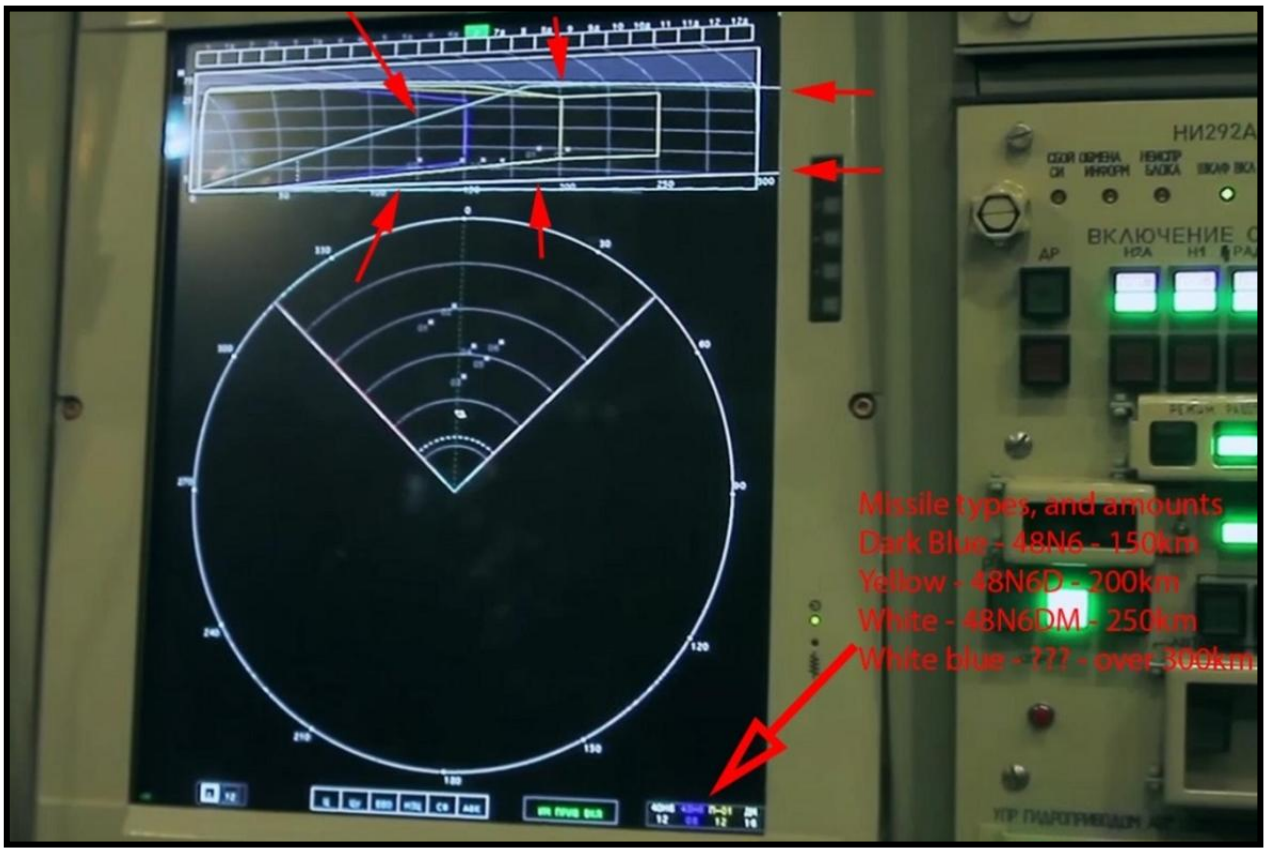


Sz-300PMU2 HMZ 48N6D rakétával. A vízszintes skálán a távolságok 50 km-es osztásban vannak, a függőleges tengelyen 10 km-es a skála osztása. Maximális magasság 27 km, maximális távolság 200 km. A maximális távolságnál a HMZ leér a horizontig, kb. 2 km-en van a HMZ alja, ami ekkora távolságban azonos a radarhorizont magasságával.

A következő oldali képen egyszerre látható az 48N6 (150 km), 48N6D (200 km) és 48N6DM (250 km) rakétákkal elérhető megsemmisítési zóna, a kép az Sz-400 rendszer kijelzőjéről készült. A horizontig egyik rakéta garantált HMZ-je sem ér le, ellenben az előző oldalon látható Sz-300PMU2 esetében a HMZ hol leér, hol nem, ráadásul pont a régebbi indikátoron megjelenített HMZ ér le a horizontig és az újabb rendszernél nem.

Az orosz metódus a HMZ diagramhoz mai napig adott százalékos valószínűséget rendel hozzá. Lehetséges, hogy az eltelt évek alatt a lőtéri tapasztalatok által módosították a 99%-os zónát. Ez viszont nem azt jelenti, hogy adott esetben a HMZ diagram alatti tartományban a célpont biztosan a HMZ-n kívül repül. Épeszű ellenfél nem építhet arra, hogy 200 km távolságban 4 km-en repülve úgysem fogja eltalálni az Sz-300PMU2, csak mert a HMZ diagram 5 km magasságban van 99%-os megsemmisítési valószínűség

mellett. A harcászati realitás (véleményem szerint) az, hogy ezen rendszerek egészen a radarhorizontig veszélyt jelentenek annak ellenére, hogy HMZ diagram minimális magassága mekkora.[511]

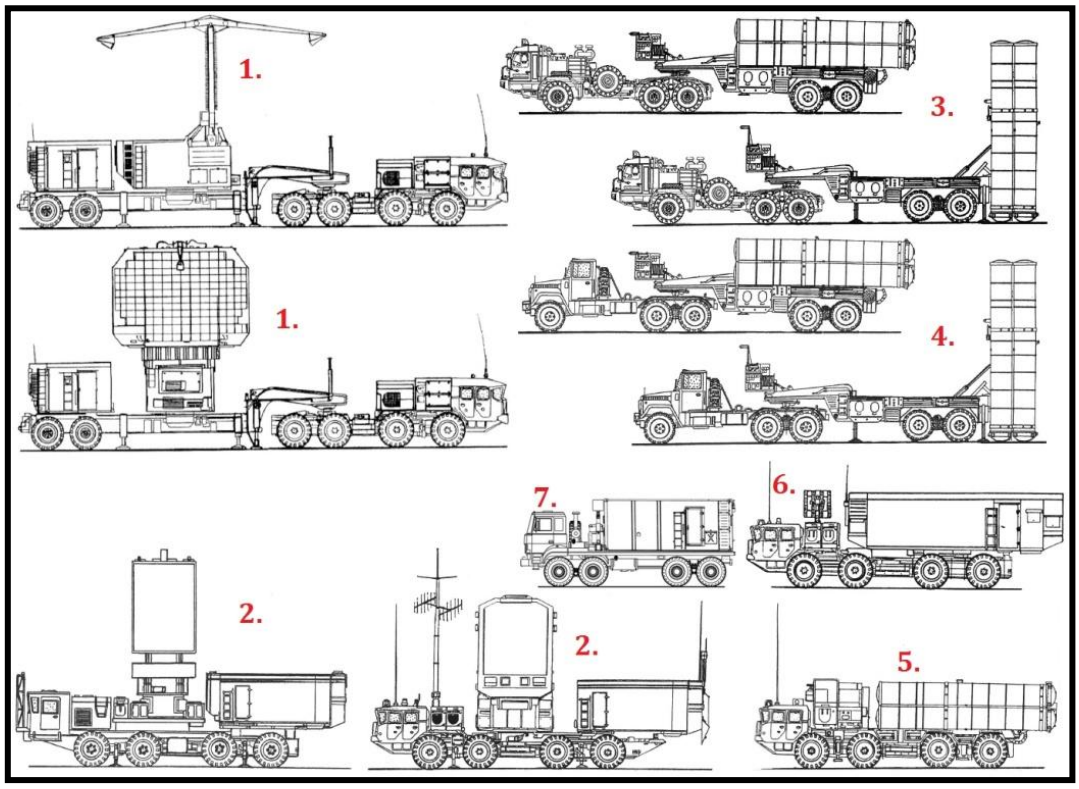


Sz-400 indikátorán eltérő rakéta típusokkal elérhető HMZ-k ábrázolása. Sötétkék-48N6-150 km, sárga-48N6D-200km, fehér-48N6DM-200km.

Az Sz-300 család gyártásának újraindítását majd tíz éves szünet után, a Kínaiak által 2004-ben finanszírozott megrendelés tette lehetővé. Oroszország és Kína 16 db Sz-300PMU2 Favorit (SA-20B) osztály leszállításában állapodott meg két részletben, összesen 2 milliárd USD összértékben. Algéria szintén rendelt 500 millió USD-ért 4 osztályt, vezetési osztályokkal együtt. A korszerűsített gyártóüzemben 2007-és 2009 között gyártották le a 20 db export komplexumot. Az új változathoz új rakéta is dukált, ez volt az 48N6E2, amivel és további radar fejlesztésekkel a rendszer megsemmisítési zónája 200 km távolságra nőtt. A célcsatornák száma nem változott, 6 db célcsatornás maradt a rendszer, célpontonként maximum 2 db rakéta rávezethetőségével.

Irán még korábban rendelt a PMU2 változatból 800 millió USD értékben, de a nemzetközi helyzet miatt (embargó) azok leszállítása nem volt lehetséges, csak 2016 végétől. Az PMU2 fejlesztéseit az orosz Sz-300PM változatok is megkapták, ebből lett a PM2 változat, 2015-ben indult orosz az Sz-300PM osztályok korszerűsítése PMU2-re. A PMU2 esetén nem változott sem a célcsatornák, sem a rakétacsatornák száma.

[511] *A szerző véleménye szerint.*



35R6-2 Sz-300PM2 Favorit (SA-20B)

1. 64N6-2 RLO (Big Bird) célfelderítő rádiólokátor
2. Bal oldalon 96L6 VVO (Cheese Board) körkörös célfelderítő rádiólokátor (már nem csak kismagasságban keres önállóan, mint korábban az NVO/Clam Shell radarral)
   Jobb oldalon 30N6-2 RPN (Tomb Stone) célmegvilágító és rakétarávezető rádiólokátor
3. 5P85TM PU indítóállvány
   (4 db 48N6D, 48N6, 6Zs48, 5V55K, 5V55R, 5V55Sz rakétával, vagy ezek kombinációjával)
4. 5P85T-2 PU indítóállvány
   (4 db 48N6D, 48N6, 6Zs48, 5V55K, 5V55R, 5V55Sz rakétával, vagy ezek kombinációjával)
5. 5P85SzM2 SzPU önjáró indítóállvány
   (4 db 48N6D, 48N6, 6Zs48, 5V55K, 5V55R, 5V55Sz rakétával, vagy ezek kombinációjával)
6. 54K6-2 PBU harcvezetési kabin
7. 55K6 PBU harcvezetési kabin

A lenti lista az 35R6E2 Sz-300PMU2 Favorit (SA-20B) export változat főbb elemei tartalmazza:

1. 64N6E2 RLO (Big Bird) célfelderítő rádiólokátor
2. Bal oldalon 96L6E VVO (Cheese Board) célfelderítő rádiólokátor
   Jobb oldalon 30N6E2 RPN (Tomb Stone) célmegvilágító és rakétarávezető rádiólokátor
3. 5P85TE3 PU indítóállvány
   (4 db 48N6E2, 48N6E, 5V55K, 5V55R rakétával, vagy ezek kombinációjával)
4. 5P85TE2 PU indítóállvány
   (4 db 48N6E2, 48N6E, 5V55K, 5V55R rakétával, vagy ezek kombinációjával)
5. 5P85SzE2 SzPU önjáró indítóállvány
   (4db 48N6E2, 48N6E, 5V55K, 5V55R rakétával, vagy ezek kombinációjával)
6. 54K6E2 PBU harcvezetési kabin
7. 55K6E PBU harcvezetési kabin

A PM2/PMU2 típusok esetén a legszembetűnőbb változás a nagyobb HMZ-n felül, hogy a korábban megszokott kis magasságú felderítő radar, az NVO helyett a 96L6 VVO körkörös felderítő radarral rendelkezik.

Az előző oldali ábrán a VVO önjáró alvázon van, tehát a kismagasságú felderítési zóna ezzel gyengébb, mint a régi utánfutós NVO radarral. Ez visszalépésnek tűnhet kismagasságú felderítés terén, viszont így nem csak az vezetési osztály RLO-ja, hanem minden osztály önállóan is bír körkörös felderítő képességgel. Tehát akkor is képesek a körülöttük levő légtér ellenőrzésére, ha éppen a vezetési osztály mozog, vagy vezetési osztály nincs is. (Ez utóbbi Sz-300PMU koncepciója.) Az osztály önállóságát növelték ezzel, továbbá a radargyilkos rakéták elleni védelmet, hiszen körkörös pásztázással ezen felderítése is hatékonyabb, ha az osztály maga is rendelkezik ezzel a képességgel.

Az Sz-300 rendszer alapvetően moduláris, elvi akadálya nincs annak, hogy a mobilitás feláldozásával a VVO radart is ugyanarra az állványra tegyék fel (40V6M UV univerzális torony),[512] mint az NVO-t. Ez az SzT-68U-cal is lehetséges ez, lásd a lenti képeken vagy ahogy korábban említve volt, az RPN-nel is lehetséges. Ezeket a radarokat külön is meg lehet vásárolni, Vietnám utólag szerezte be a VVO radarokat az Sz-300PMU1 osztályaihoz, amik alapesetben rendelkeznek NVO-val. Tehát a vietnámi Sz-300PMU1 harci osztályok képesek önállóan is célt keresni és üzemelni, mert a vezetési osztály RLO radarján felül egy további kereső radarral bírnak harci osztály szinten.

A szlovák Sz-300PMU osztálynak is 2 db 40V6M UV tornya van, egyikre az NVO-t, másikra az RPN-t telepítik, legalábbis gyakorlatokon ezt látni. Ez természetesen nem zárja ki azt, hogy szükség esetén az RPN önjáró alvázon üzemeljen.

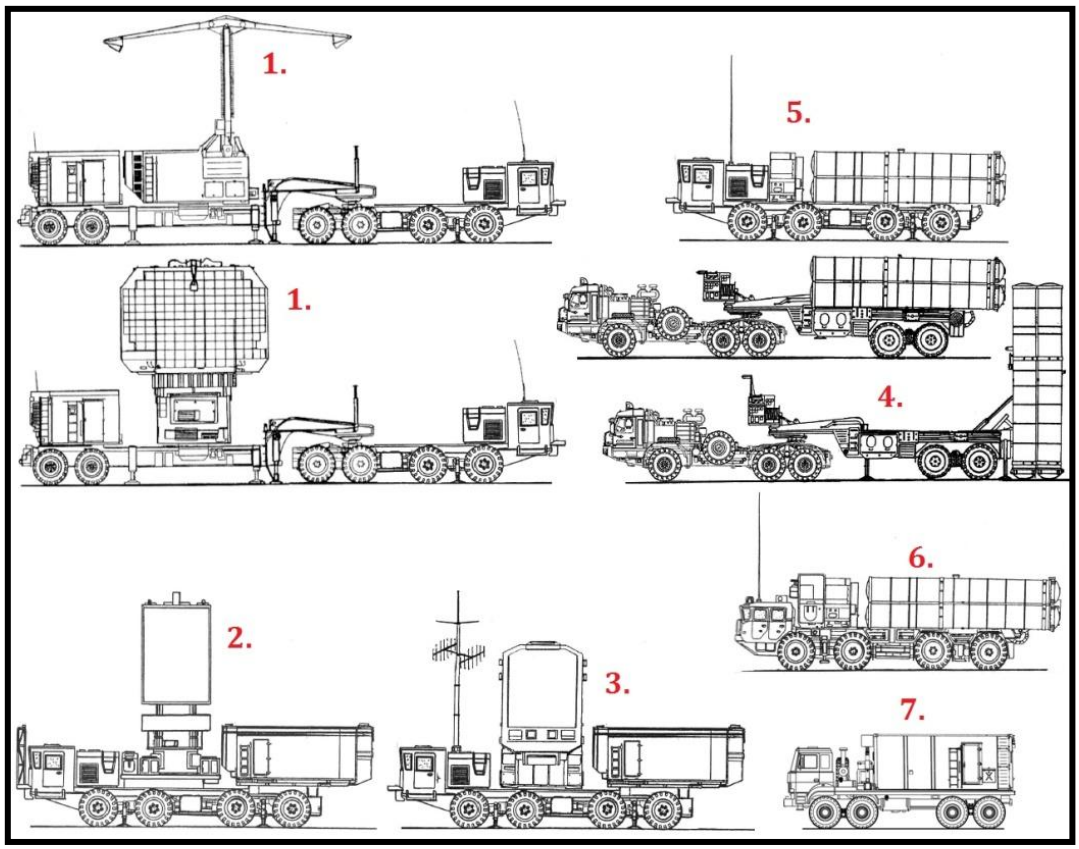
96L6 VVO radar 40V6M állványon (balra) és SzT-68U radar szintén 40V6M állványon (középen), 5N63 RPN (jobbra.)

Az export Sz-300PMU2 osztályok gyártása közben 2007-ben és 2009-ben elkészült az első két Sz-300PMU3 osztály Oroszország részére, ezeket marketing okokból nevezték át, ez lett az Sz-400 Triumf (SA-21) változat. Az változat célcsatorna mennyiségét megduplázták, immáron 12 db áll rendelkezésre, továbbá az új 48N6DM rakétával a HMZ eléri a 250 km-et. A PMU2 export változatok gyártásának befejezését követően 2011 óta gyorsított ütemben történik az Sz-400 gyártása. 2020-ra 56 osztályt terveznek rendszerbe állítani ebből a változatból, lecserélve ezzel az összes megmaradt, mára már igencsak koros Sz-300PT osztályokat.

[512] http://www.ausairpower.net/PVO-S/76N6-40V6-1.jpg

2016 végig Moszkva körül 8 db osztály, Leningrád körül 4 db Sz-400 osztály telepítése történt meg, a fennmaradó mennyiség 2-3 osztályos ezredekben a fontosabb településeknél váltotta le a korábbi változatokat. 2017-ig még nem állt hadrendbe az új 380 km hatótávolságú rakétatípus, az 40N6 első példányai, az Sz-400 még nem érte el képességeinek maximumát.

2020 után várhatóan az Sz-400-as is exportra kerül, tárgyalások folynak 6 db osztály eladásáról Kínának 3000 millió USD értékben, 5 db osztály szállítására India számára 2500 millió USD értékben, illetve Törökországba is, 2500 millió dollárért 4 db harci osztály plusz vezetési osztállyal együtt. [513] Az Sz-400 főbb elemei a lenti ábrán láthatóak:



40R6 Sz-400 (Sz-300PMU3) Triumf (SA-21)

1. 91N6 RLO (Big Bird) célfelderítő rádiólokátor
2. 96L6 VVO (Cheese Board) célfelderítő rádiólokátor
3. 92N6 MFR (Grave Stone) multifunkciós rádiólokátor
4. 5P85TM PU indítóállvány (4db 48N6DM, 48N6D, 48N6, 6Zs48 rakétával, vagy ezek kombinációjával)
5. 51P6 SzPU önjáró indítóállvány (4db 40N6, 16db 9M96D rakétával, vagy ezek kombinációjával)
6. 5P85SzM2 SzPU önjáró indítóállvány (4db 48N6DM, 48N6D, 48N6, 6Zs48 rakétával, vagy ezek kombinációjával)
7. 55K6 PBU harcvezetési kabin

A lenti lista az 40R6E Sz-400E (Sz-300PMU3) Triumf (SA-21) export változat főbb elemei tartalmazza:

1. 91N6E RLO (Big Bird) célfelderítő rádiólokátor
2. 96L6E VVO (Cheese Board) célfelderítő rádiólokátor
3. 92N6E MFR (Grave Stone) multifunkciós rádiólokátor

[513] http://www.thedrive.com/the-war-zone/12841/its-official-turkey-is-getting-russias-s-400-air-defense-system

4. 5P85TE3 PU indítóállvány (4 db 48N6E3, 48N6E2, 48N6E rakétával, vagy ezek kombinációjával)
5. 51P6E SzPU önjáró indítóállvány (4 db 40N6E, 16 db 9M96E2 rakétával, vagy ezek kombinációjával)
6. 5P85SzE3 SzPU önjáró indítóállvány (4 db 48N6E3, 48N6E2, 48N6E rakétával, vagy ezek kombinációjával)
7. 55K6E PBU harcvezetési kabin

A jelenleg szolgáltban álló Sz-300PSz példányok jövőbeli leváltását az új Sz-350 Vityaz típussal tervezik. A 16 db célcsatornás komplexum 120 km hatótávolságú aktív önirányítású rakétája a 9M96D. 2020-ra 30 db osztályt terveznek hadrendbe állítani az Sz-350-ből.

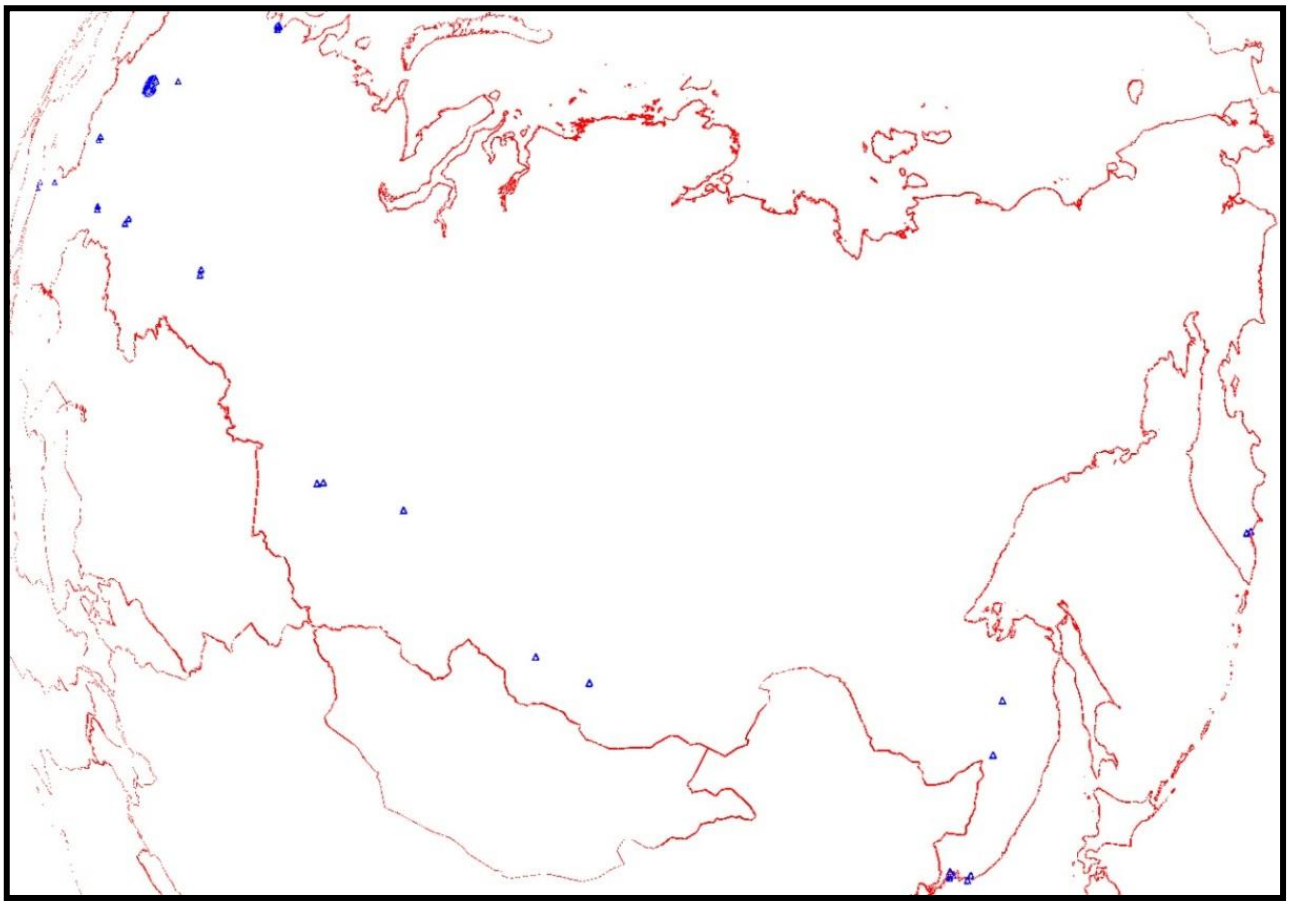
2016 végén az orosz honi légvédelem 40 ezrede 75 komplexummal védelmez 30 lokációt.

Kiemelt városok	**Fontosabb települések**	**Fekete Tengeri Flotta**
• Moszkva; 8 Sz-400, 16 Sz-300PM • Szentpétervár; 4 Sz-300PM, 8 Sz-300PSz	• Habarovszk 2 Sz-300PSz • Szolnvecsnij 3 Sz-300PSz • Irkutszk 2 Sz-300PSz • Nazarovo 2 Sz-300Psz	• Novorosszijszk 2 Sz-400 • Feodoszija, Krím félsziget; 2 Sz-400
Fontosabb települések	**Csendes Óceáni Flotta**	**Légierő bázisai**
• Jekatyerinburg; 2 Sz-300PSz • Szamara; 2 Sz-300PSz • Voronyezs 2 Sz-300PSz • Kalinyingrád; 2 Sz-400, 4 Sz-300PSz • Novoszibirszk; 2 Sz-400 • Azov; 2 Sz-300PM • Szuhumi, Abházia; 2 Sz-300PSz	• Kamcsatka 3 Sz-400 • Vlagyivosztok 2 Sz-400 • Nahodka 2 Sz-400	• Engelsz 2 Sz-300PSz • Hmeymim, Szíria 1 Sz-400
		Északi Tengeri Flotta
		• Murmanszk; 4 Sz-400, 2 Sz-300PM, 2 Sz-300PSz • Szeverodvinszk 4 Sz-300PT

Az oroszok ceruzája kezd egyre vastagabban fogni. Kína 2004-ben még 16 db Sz-300 PMU2 osztályt vett 2000 millió dollárért. Az Sz-400 lehetséges, hogy bír egyéb új üzemmódokkal is, zavarvédettebb illetve 12 db célcsatornával bír, stb., mint a PMU2, de pusztán a mennyiséget és lefedést nézve – szinte biztosan kizárt, hogy a 380 km-es hatótávolságú rakétát exportálnák – egyáltalán nem tűnik logikus lépésnek ilyen csekély mennyiség ilyen elképesztően drágán vásárlása.

Számomra logikusabb lépésnek tűnik PMU2 változat beszerzése Sz-400 helyett, amennyiben az nagyjából hasonló áron elérhető, mint Kínának a múltban. Még ha a 40N6 rakétával 380 km-es HMZ elérhető töredék Sz-400 osztállyal ugyanakkora területi lefedés, papíron 380 km-es sugarú szép nagy köröket rajzolgatva, ez csak illúzió.

Valójában a radarhorizont miatt harcászati célok ellen az Sz-400 nem rendelkezik számottevően nagyobb HMZ-vel, mint az S-300PMU2, legfeljebb ha az aktív radaros rakétának képes lenne célkoordinátákat adni légtérellenőrző gép. Azonban az Sz-400 az orosz A-50-nel történő együttműködéshez lett tervezve és nem a NATO E-3 Sentry típushoz és még az sem biztos, hogy erre képes az A-50 + Sz-400 páros, csak sejthető, mert ez tűnik logikusnak.



Sz-300/400 osztályok települési helyei. (2016/17 szíriai település nélkül.)

RLO (Big Bird) megemelve (balra), leengedve a pódium (középen), SzT-68U megemelve (jobbra).

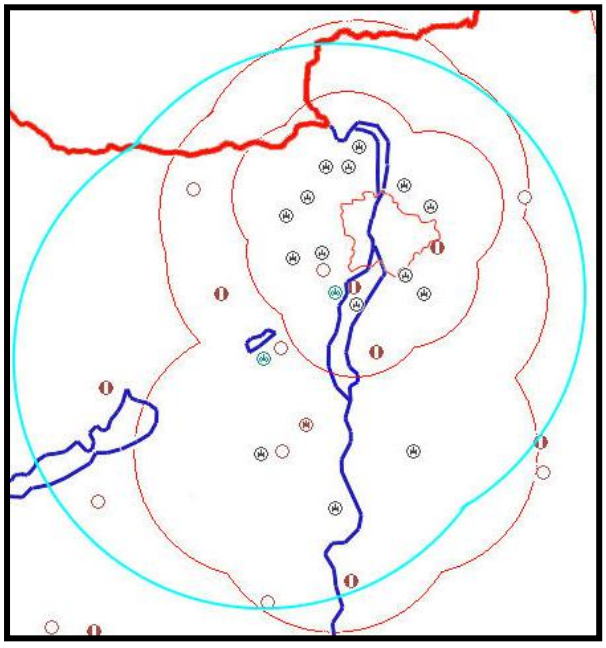
A rendszer telepítési formáját szükséges kiegészíteni, a Moszkva körül települt alakulatok esetében. Az Sz-200-nál bemutatott módszerhez hasonlóan a radarok egy részét itt is megemelték speciális építmények létesítésével. Ezek képesek az RLO vagy bármelyik más radart megemelni, a radart hordozó jármű ráhajt a pódiumra, majd az felemeli a radart járművestül. (A szerkezet 100 tonna teherbírású.)

Kétféle magassági méretben léteznek ezek a speciális építmények, ezeket Moszkva körül építették az Sz-300PT hadrendbe állításakor, még a 70-es évek végén. Összesen 10 db torony készült el Moszkva körül, minden Sz-300PT ezred/dandár RLO-ja (Big Bird) kapott egyet, ezzel javítva azok kismagasságú felderítő képességeit, de az elsődleges cél inkább a korábban bemutatott Sz-200 példához hasonlóan, a környező erdők szintje fölé kiemelés volt. Amikor a Berkut külső gyűrűje felszámolásra került, akkor a belső gyűrűn új tornyokat építettek, 2016 végén összesen kb. 12 db-ot használtak. A külső gyűrűn lepusztulva, elhagyatva állnak a tornyok.

Érdemes megvizsgálni, hogy az Sz-300PMU hadrendbe állítása mit jelentett volna Magyarország számára, amennyiben azok beszerzése megtörtént volna, mert szemléletesen bemutatja az S-300 képességeit összevetve a korábbi rendszerekével.

A Budapest körüli légvédelmi rakéta gyűrűt 6 db Nyeva és 6 db Volhov osztály alkotta a ’80-es évek végén. Számszerűleg ez összesen 12 db tűzcsatornát jelentett, ami elsőre soknak tűnik, de a kép azonban csalóka.

Az osztályok elhelyezkedése miatt egy koncentrált, a gyűrű áttörésével próbálkozó támadás esetén még igen megengedően nézve is, közepes magasságú célokkal számolva 5 db célcsatornánál több nem reális egy adott behatolási irányt nézve. Ez az 5 db csatorna 3 db Volhov és 2 db Nyeva osztályt jelent, összesen 3x6 + 2x4 db = 26 db indítható rakétával, újratöltés nélkül ennyi volt gyorsan indítható. A lőszabályzat szerint a Volhov rendszerrel három rakétát, a Nyevával két rakétát kellett egy célra indítani, ezt követve a támadható célok száma mindössze 2x2 + 2x4 = 12 db nagy célsűrűség esetén. A Volhov minimális célmagassága 100 méter volt, alacsonyan repülő célok ellen – pl. olasz Tornado csapásmérők – kérdéses hatásossággal bírtak.



A fenti célcsatorna és rakéta mennyiséghez képest egyetlen Sz-300PMU osztály igaz, hogy nem az egész várost körkörösen fedte le egy időben, de a 105 fokos tűzíve lehetővé tette volna, hogy az egy irányból érkező áttörést minden további nélkül megállítsa. Nem véletlenül telepítették volna azokat a fővárostól délnyugati irányba, a város megkerülése elég valószínűtlen volt annak harcászati hátrányai miatt.

A 6 db célcsatorna, a 75 km-es HMZ és a 48 db indításra kész rakéta azt jelentette, hogy egy a fent felvázolt támadási forma esetén egyetlen Sz-300PMU osztály tűzereje és harcértéke meghaladta a Budapest köré telepített, a támadás irányába eső Volhov és Nyeva osztályok összesített tűzerejét közepes- és nagymagasságú, nemhogy alacsonyan közeledő célpontok esetén. Az kiemelten fontos érdi és szarvaspusztai AVR rendszerek központjai is a HMZ-be estek, képes volt azokat is oltalmazni.

Ráadásul nemcsak ebben, de a maximális HMZ-ben is felülmúlta az elődöket, hamarabb volt lehetséges a célpontok megsemmisítése és a HMZ-je akkora volt hogy a főváros megkerülését és kelet felől támadását gyakorlatilag értelmetlenné tette a közelben levő katonai repterek miatt. Tökölt és Kiskunlacházát is védte 1-1 db szovjet Nyeva osztály, továbbá MiG-29 repülő ezredek voltak 1986-tól. Ennek ellenére az

Sz-300PMU rendszeresítése utáni tervek nem számoltak a régebbi légvédelmi osztályok leszerelésével. További egy Sz-300PMU osztály beszerzése volt tervbe véve, ez a Velencei tó mellett települt volna, lásd a fenti ábrán. A zöld szimbólumok jelzik az két Sz-300PU osztályt, a HMZ-jüket a ciánkék színű körök mutatják.

Két Sz-300PMU osztály telepítése esetén – véleményem szerint – leszerelhetőek lettek volna a fix tüzelőállásban levő Volhov és Nyeva osztályok. Egy fixen telepített és egy mozgó Sz-300PMU osztály tűzereje messze meghaladta ezekét és kihasználva a keletnémetek által alkalmazott osztály kétfelé bontást, akár több előkészített tüzelőállás is rendelkezésre állhatott szükség esetén. Persze ettől az RPN-ek mennyisége nem nőtt volna és valódi 360 fokos lefedés nem volt biztosítható, de a rendszer HMZ-je miatt erre nem volt szükség szerintem, a kelet felől érkező támadást pusztán a nagy HMZ-jével eleve értelmetlenné tette.

Végezetül az eddigi fejezetek szokásainak megfelelően néhány link kép- és videó anyaghoz.

A lenti videón az Sz-300, itt is látható a manuális célravezetés gyakorlás, az operátor a Nyeva és Volhovnál megszokott módon a helyszög/oldalszöget állítja be a kézikövető kerékkel.

https://www.youtube.com/watch?v=bk9iqsbzqlY

Sz-300 üzem közben, település, rakétaindítás.

https://www.youtube.com/watch?v=R9xEUwJVVVM

Képgyűjtemény.

http://www.ausairpower.net/APA-Russian-SAM-Radars-DKB.html
http://www.ausairpower.net/APA-Grumble-Gargoyle.html
http://simhq.com/forum/ubbthreads.php/topics/4319869/1

6.2.1.2.6. A hiányzó láncszemek

A Szovjetunióban nem csak a fentiekben hadrendbe állított eszközök fejlesztésén dolgoztak, a sikeresen hadrendbe állított rendszerek mellett számtalan más koncepción is megalkottak és fejlesztették ki az ahhoz szükséges elemeket.

Ezek egy része sikertelen fejlesztés volt, a kor technikai szintjén nem volt lehetséges megvalósítani azokat kellően üzembiztosan és költséghatékonyan, ilyen volt pl. a Dál rendszer, aminek hadrendbe állítását már a tüzelőállások létesítése közben szakították félbe.

Több elképzelést koncepcionálisan vetettek el, de azok egyes elemeit felhasználták a későbbi rendszereknél, ilyen volt például az Sz-300PT/PSz-nél ismertetett 5V55R rakéta is. Bővebben az összefoglaló ezekkel nem foglalkozik, mert ezek soha álltak hadrendbe, de említés szintjén ezek az elképzelések érdekesek, segítenek megérteni a hadrendbe állt légvédelmi rakéta-rendszerek evolúcióját. Ezek igen rövid összefoglalása a lenti linkgyűjteményen található.

http://forum.index.hu/Article/viewArticle?a=138594592&t=9120320
http://forum.index.hu/Article/viewArticle?a=138810253&t=9120320
http://forum.index.hu/Article/viewArticle?a=138888181&t=9120320
http://forum.index.hu/Article/viewArticle?a=138981736&t=9120320
http://forum.index.hu/Article/viewArticle?a=139067283&t=9120320
http://simhq.com/forum/ubbthreads.php/topics/4236786/all/Soviet_PVO_SAM_systems_develop

6.2.2. XXI. századi megoldások, a jövő útja?

Az összes eddigi bemutatott légvédelmi rakéta-rendszerben közös, hogy rávezető állomással üzemelnek, ami korlátozza azok tűzívét, vagyis a megsemmisítési zónájukat. A XXI. században az aktív radarvezérlésű rakéták elterjedése azonban egy egészen új trendet vázol fel, a klasszikus rávezető állomás nélküli légvédelmi rakéta-rendszerekét. Klasszikus rávezető állomásos felépítés alatt értjük azt, amikor a tűvezető radar és a rakéta számára céladatokat szolgáltató egység lényegében egy és ugyanaz, illetve tűzvezető radarhoz képest a rakétaindító-állványok vagy járművek nem telepíthetőek szét nagy távolságra.

Az Sz-300 és a Patriot rendszerek bemutatása után felmerülhet, hogy a digitális adatkapcsolattal rendelkező, hálózatban üzemelő automatizált légvédelmi rendszerek miért nem képesek arra, hogy az egyik rávezető állomás a másik osztály által indított rakétát vezesse célra, ezzel szűkítve a támadók lehetőségeit.

Ennek alapvető korlátja a SARH / RPK + TVM / RPK+SAGG vezérlési módszerek működési eleve és technikai korlátai. A vezérlések típusainak bemutatásnál már említve volt, hogy az indító osztálytól való távolságmérés a rakéta hátulján levő antennákkal történik válaszjeladók segítségével. A rakéta csak úgy képes kommunikálni a rávezető állomással, ha annak hátulja a rakétát indító osztály felé néz. A SAGG vezérlés az egyben kombinált RPK + félaktív módszer, tehát az RPK jelek vétele miatt is szükséges ez a fajta kötöttség, ami korlátozza a rakéta pályáját. Az aktív radarvezérlésnél ugyanez a probléma, MCG adás szögkorlátja is pontosan emiatt volt kezdetben 30 fok, ami még ma is csak 60 fok körül van. (A használt hullámhossz, az antenna mérete és annak iránykarakterisztikájának összessége, illetve a rakéta aerodinamikai kialakítása is korlátozza a körkörös vétel lehetőségét.) Tehát a fenti megfogalmazott kérdésben felvetett képesség még aktív radaros rakétákkal sem valósítható meg, legalábbis ebben a formában nem.

A Sz-300 család bemutatásnál említve volt egy képessége megszűnése, nevezetesen, hogy alacsonyan behatoló célpontok ellen az eddig bemutatott légvédelmi rakéta-rendszerekkel nem lehetséges a területvédelem megvalósítása a horizontból adódó felderítési és célkövetési korlát miatt. Ez csak extrém domborzati viszonyok esetén megoldható és akkor is jellemzően csak bizonyos irányokban, amikor a hegytetőre vagy dombtetőre települve a radarhorizont kitolható. Például egy Budapest körüli hegytetőre települve szabad kilátást feltételezve – erdők ne zavarják a radart – a síkságok irányába jelentősen kitolódik a radarhorizont, de a Dunántúli középhegység felől alacsonyan érkező robotrepülőgépek folyamatos célkövetése ettől még nem lehetséges, hiába van magasan a rávezető állomás.

A fenti területvédelmi képesség elvesztésének áthidalására született már megoldás, de ez jelenleg csak haditengerészeti légvédelmi rendszereknél létezik, illetve feltételezhető az Sz-400 és Sz-350 Vityaz rendszernél, erről a későbbiekben eszik szó.

A légvédelmi rendszerek legújabb generációja ezen képességbeli hiányok befoltozását célozta meg, illetve valósították meg már részben azokat. Ennek bemutatása néhány rendszer felépítésén és képességein keresztül történik, ezek NASAMS/NASAMS2, az Sz-350 Vityaz, továbbá az ASTER 30-SAMP/T. Kezdjük időben a legkorábbival, illetve HMZ terén is a legkisebbel, a NASAMS rendszerrel.

A NASAMS a fenti honi légvédelmi és a később bemutatásra kerülő hadsereg és front szintű szovjet-orosz csapatlégvédelmi rendszerektől is alapvetően eltér felépítésében, ami biztosítja számára az eddig nem látott képességeket. (A csapatlégvédelmi rendszerek bemutatását lásd az 6.2.3 fejezetben.)

Az összes klasszikus rávezető állomással rendelkező légvédelmi rakéta-rendszer tűzíve korlátozott, mert a tűzvezető radarnak folyamatosan rá kell látnia a célpontokra, az RPK, félaktív, TVM és a SAGG rávezetési módszer miatt. Még legrobosztusabb légvédelmi rendszerek (Patriot, Sz-300/400) is csak 105 fokos tűzívvel rendelkeznek, ami azon kívül tartózkodik arra a célpontra az osztály képtelen rakétát rávezetni.

A célcsatorna mennyiség megnövelésével a rávezető állomásos légvédelmi rendszereket csak az egy irányból érkező célokkal végrehajtott túlterhelését tette nehezebbé, de nagymértékben, a tűzív nagyságát meghaladó aspektussal érkező bejövő célokkal szemben a rendszerek továbbra is tehetetlenek. Ha például azonos időben érkezik egy célpont keletről és nyugatról is egy Sz-300 osztályhoz, akkor csak az egyik irányban képes tevékenykedni. Még ha a felderítő radarokkal minden célt is lát az osztály az RPN forgatása szükséges a célok leküzdése között ha van erre idő.

Emiatt rendelkeznek kiegészítő közeli légvédelemmel a nagy hatótávolságú rendszerek, hogy még ha két irányban nem is képesek dolgozni, de legalább a saját védelmük (nagyjából) körkörös az osztályt fenyegető célokkal szemben. Ezt a védelmet az Sz-300V esetén 9K330 Tor (SA-15), Sz-300/400-nál a Pancír (SA-22) rendszerek biztosíthatják. Szükség esetén egyszerűen egymáshoz közel települve védelmezhetik egymást is az osztályok, Sz-300V esetén például a közelben levő hadsereg szintű Buk (SA-11) rendszerrel is együttműködhet az AVR rendszerek segítségével.

A klasszikus rávezető állomásos rendszereknél egy osztály/üteg – rendszertől függ ezek mérete és elnevezése – koncentrálva, egy helyen települ. Tehát amennyiben elektronikai felderítéssel a tűzvezető vagy akár csak a felderítő radar pozícióját sikerült meghatározni, akkor garantált, hogy azok közelében vannak a rakétaindítók is. Az adott típusú radar típusának beazonosítása tehát a légvédelmi rendszerek HMZ-jét is többé/kevésbé meghatározhatóvá teszi, ami megkönnyíti az ellenük végzett tevékenységet, jó becslés adható azon távolságra, ahol még van idő reagálni azok által indított rakétákra és arra is, hogy szükség esetén azok HMZ-jén kívül maradjanak.

A rávezető állomásos megoldás további hátránya, hogy a légvédelmi rakéták rávezetése alatt a tűvezető radarok végig érzékenyek a korszerű radar elleni rakétákra, mint pl. az AGM-88 HARM. A HARM már a ’80-as években is képes volt a tűzvezető radarok oldalszirmait felhasználva célba találni a légvédelmi rendszerek tűzívén, kívül, sőt akár hátulról is. A régebbi szovjet-orosz RPK vezérlést használó rendszerek esetén még az PRK jelek alapján is lehetséges volt a találat a HARM alkalmazásával.

Az összes légvédelmi rakéta-rendszer harcértéke a tűzvezető radar kiiktatásával nullára csökken, teljesen mindegy, hogy az osztály többi felderítő radarja érintetlen marad vagy sem, ha nincs rávezető állomás, akkor pestiesen szóval vége a dalnak. A radar megsemmisítése/megbénítása után – lehet, hogy javítható a berendezés – ráadásul védtelenül maradnak az osztály/üteg rakétaindítói is, azokat is el lehet pusztítani.

Ennek természetesen tudatában voltak a tervezők és a légvédelmi rendszerek üzemeltetői is, ennek a felismerésnek a következménye már a ’80-as évek végén látható volt. A 9K37 Buk (SA-11) szovjet csapatlégvédelmi rendszernél az egy ütegben levő tűzvezető radarok számát megnövelték önjáró rakétaindító és rávezető állomások (TELAR)[514] használatával, ezzel növelve a célcsatornák számát. Ez nem csak a célcsatorna mennyiséget növelte meg, de egyben redundanciát is biztosít, mert egyetlen osztálynak/ütegnek is több célcsatornája és radarja van sőt, ezzel a tűzív nagyságát is megnövelték, hiszen mindegyik rávezető állomás tetszőleges irányba fordulhatott.

[514] *transporter erector launcher and radar*

Ez harcászatilag előnyös fejlemény, a probléma ezzel a megközelítéssel az, hogy ez nagyon drágává tette a Buk rendszert a sok radar miatt, még ha azok nem nagy hatótávolságú radarok, tehát a teljesítményből adódó méret és költség kisebb, mintha mondjuk, ha az Sz-200-nál növelnék meg rávezető állomások számát osztályonként.

Az Sz-300V (SA-12, lásd a 6.2.4.5.1. fejezetben) az önjáró indítók és rávezető állomások ellenére az osztály 9Sz32 SzNR (Grill Pan) radarja nélkül üzemképtelen. Tehát hiába van ütegenként külön folyamatos hullámú (CW) célmegvilágító radar, valójában a Grill Pan jelenti a szűk keresztmetszetet, amennyiben az elpusztul vagy üzemképtelenné válik, akkor az osztály harcképessége megszűnik. (A dandár ballisztikus rakéta-elhárító képessége a Pershing II ballisztikus rakéta ellen a dandár 9Sz19 PO (High Screen) felderítőradarjától függött, ebből dandáronként csak 1 db áll rendelkezésre. A kisebb hatótávolságú, Mach 3 sebességű ballisztikus rakéták ellen valószínűleg az osztályok SzNR radarja is megfelelt.) Az 9K81 Sz-300V és 9K37 Buk bővebb ismertetését lásd a csapatlégvédelem bemutatásánál.

A fenti példákban a legmasszívabb és legkorszerűbb közepes és nagy hatótávolságú légvédelmi rendszerek szerepeltek, a korábbi 2K12 Kub (SA-6), és a 2K11 Krug (SA-4) esetén osztályonként/ütegenként 1 db célcsatorna állt csak rendelkezésre. Mindegyik rendszerben közös, hogy amelyik irányból észlelhető tűzvezető radar kisugárzás a légvédelmi rakéta abból az irányból érkezik a célpont felé.

Az összehasonlításhoz első lépésben AIM-120C-7 rakétával vizsgáljuk meg a NASAMS képességeit. Létezik ennél nagyobb HMZ-vel bíró rakéta a NASAMS-hoz, pl. a ESSM vagy az új AMRAAM-ER, de jelenleg a NASAMS2[515] is csak ezzel került rendszeresítésre.[516] Nagyon fontos, hogy bármelyik rakétát is vizsgáljuk, annak aktív radaros vezérléssel kell rendelkeznie, ez ESSM esetén fontos kitétel, amiből félaktív vezérléssel bíró változat is létezik.

A NASAMS2 képes infravörös rakéták használatára is, amik rendelkeznek az indítás utáni célbefogás (LoAL) képességgel, ilyenek például az IRIS-T és az AIM-9X Block II rakéták. A LoAL képesség szükségességét a konténerből történő indítás megköveteli, hiszen a célbefogás indítás előtt a konténerben tárolt rakétánál nem lehetséges.

A NASAMS rendszer osztályának fő elemei a következőek:

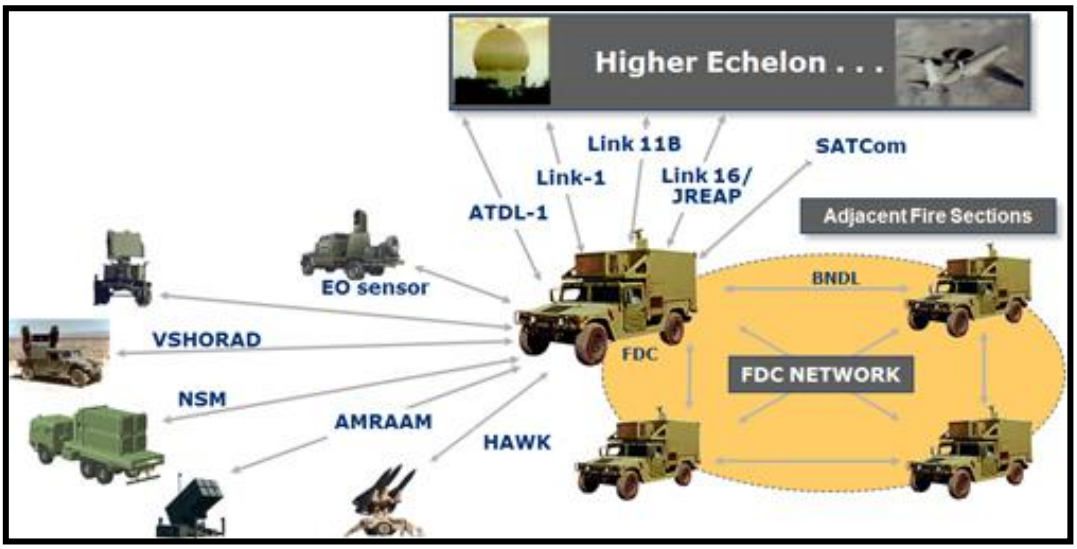
- AN/MPQ-64 Sentinel, S sávú, 360 fokban legyező 3D-s felderítő radar, oldalszögben mechanikus legyezésű, helyszögben fázisvezérelt radar. Vontatott, telepített és önjáró alvázon is használható. Egy osztályhoz több radar is tartozhat.
- Elektro-optikai célkövető és távolságmérő egység, egy osztályhoz több EO egység is tartozhat.
- Tűzvezető központ, FDC, osztályonként 1 db.
- Rakétaindító-állvány, szintén létezik telepített és önjáró változatban is. Egy osztályhoz maximum 12 db indító tartozhat, egy indító 6 db rakétaindító tubussal rendelkezik.

NASAMS rendszer alapvetően abban tér el minden korábbi radarvezérlésű légvédelmi rakéta-rendszertől, hogy nincs tűzvezető radar, nincs klasszikus rávezető állomás. Az AN/MPQ-64 Sentinel radar funkciója csak célkeresésre korlátozódik, ráadásul mivel ezekből több tartozhat egy osztályhoz és rendkívül

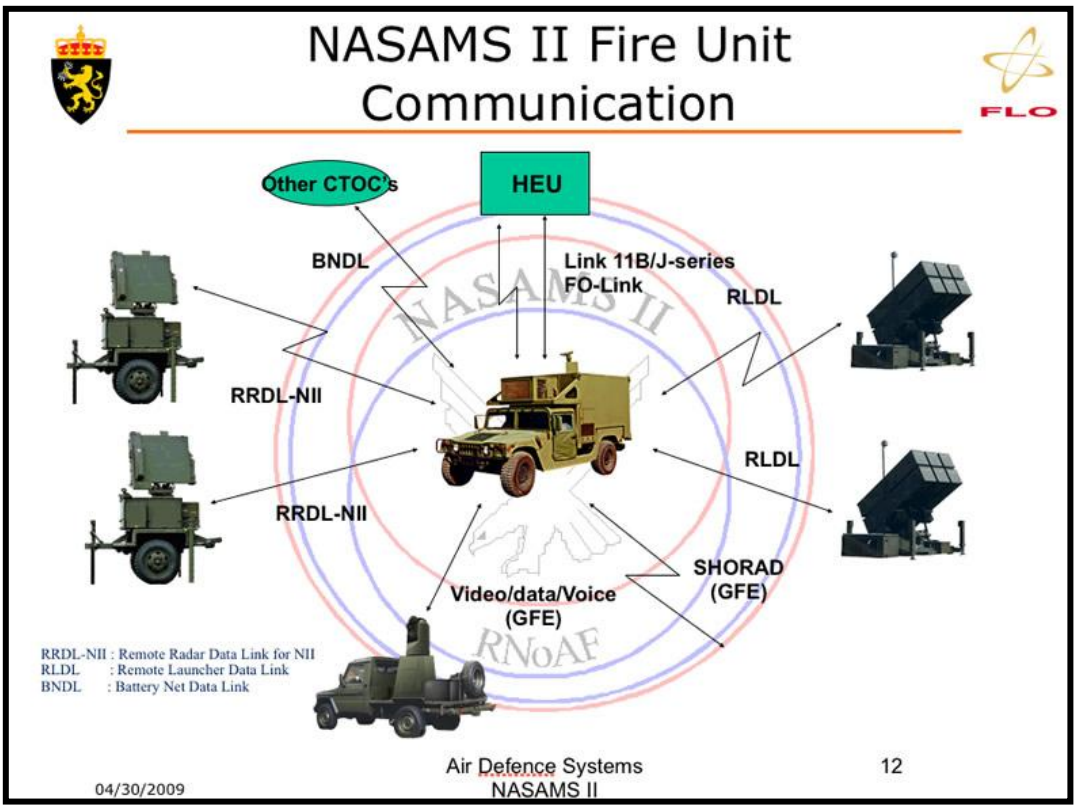
[515] http://www.raytheon.com/capabilities/rtnwcm/groups/public/documents/content/nasams_pdf.pdf
https://www.youtube.com/watch?v=AD70rPjLa9w

[516] *Egyes HMZ adatok alapján ez nem egészen egyértelmű, mert 40 km-es HMZ-t is adtak meg vásárló számára, ami az ESSM vagy az AMRAAM-ER rakéta esetén lehetséges.*

mobilak, ezért azok bemérése nem könnyű, csak szakaszosan üzemelnek. Mivel ezek nem klasszikus rávezető funkciót látnak el, ezért a radarok az indítóállványokhoz képest tetszőlegesen telepíthetőek, csak az adatkapcsolat biztosításához szükséges távolság korlátozza őket. Ez még kisméretű antennák esetén földi sugárzást feltételezve sík terepen is kb. 25 km-es távolságot jelent, de megfelelő magaslati pontokra telepítve vagy légtérellenőrző géppel együttműködve ez a távolság limit kitolható.



A NASAMS rendszer elvi vázlata.



A NASAMS rendszer elvi vázlata.

Az AIM-120 vagy más aktív radaros rakétának elég néhány másodperces gyakorisággal biztosítani – főleg kis távolság esetén – frissített adatokat az MCU/MCG jel sugározásához, amit viszont nem a felderítő radar, hanem az rakétaindító állványhoz tartozó antenna sugároz a rakéta felé. Az indító állvány adatkapcsolaton keresztül kapja meg a célkoordinátákat az osztály FDC-jétől. Ezzel a módszerrel megoldható a fejezet elején említett probléma, nevezetesen, hogy az összes korább légvédelmi rendszernél a rávezető állomás, vagyis a radar felé kellett néznie a rakéta hátuljának. A NASAMS esetén a rakéta hátulján levő antennák a telepített

rakétaindító-állvány vagy önjáró indító járművek felé néznek, de azok a fentieknek köszönhetően tetszőlegesen széttelepíthetőek a Sentinel radarokhoz képest. A rakétaindítók helyzete tehát nem függ sem osztályhoz tartozó felderítő Sentinel radarok, illetve az elektro-optikai célkövető rendszerek telepítési helyéhez képest. Még, ha a felderítő radarokat sikerül is bemérni a szakaszos üzemük közben, akkor sem lehet megállapítani abból, hogy hol vannak az osztályhoz tartozó rakétaindítók, tehát a támadónak fogalma sincs arról, hogy a rendszer megsemmisítési zónája meddig tart, ami elképesztően rizikóssá teszi ezen rendszer elleni harcot, ha annak mobilitását és áttelepíthetőségét kihasználva üzemeltetik.

Mivel a NASAMS rendszerhez tartozó rakéta aktív radarvezérléssel bír emiatt nincs klasszikus rávezető állomás, ezért azokkal tetszőleges irányokba lehetséges rakétaindítás, továbbá annyi darab célra lehetséges rakétát indítani szimultán, ahány darab rakétája van a rendszernek. Röviden a rakéták száma azonos a célcsatornák számával.

A célcsatornák hatalmas mennyiségén felül egyetlen NASAMS rakétaindító valódi 360 fokos tűzívvel bír Ez a 360 fok nem látszólagos, mint például a Sz-300P család estén, hogy 360 fokon belül egy tetszőleges 105 fokos ívet fed le, hanem valóban szimultán 6 db célpont küzdhető le úgy, hogy azok bármilyen irányban lehetnek az indítóhoz képest. Ez teljesen egyedi képesség, semmilyen rávezető állomásos légvédelmi rendszer nem bír ilyen szintű aspektus és célcsatorna rugalmassággal úgy, hogy ennyire kevés és kisteljesítményű radart használ.

Az adatkapcsolat az FDC-n keresztül biztosítja, hogy bármilyen eszköztől kaphat célkoordinátákat a NASAMS, tehát még, ha a NASAMS osztály összes Sentinel radarja is megsemmisül, az osztály amennyiben mástól megkapja a légi helyzetképet – ez lehet légtérellenőrző repülőgép, vadászgép, más fix vagy mobil radar, akár másik NASAMS osztály radarja, Patriot radarja, stb. – akkor a rendszer harcképessége alig vagy egyáltalán nem csökken amennyiben azok keresési és célfelderítési zónája átfed a NASAMS rendszer állványai által meghatározott rakéta kinematika által biztosított HMZ-vel. Sőt, ez egyben azt is jelenti, hogy a fentiek megléte esetén a Sentinel radar használata nem is szükséges.

A NASAMS ezért a klasszikus módon radar elleni rakétával (REL/ARM) gyakorlatilag nem elnyomható, mert nincs rávezető állomás, legfeljebb az információkat adó keresőradart lehet kiiktatni, de a rakétaindító-állványokat és az FDC-t ilyen fegyverrel megcélozni sem lehetséges. Végszükség esetén az AIM-120 rádión kapott oldalszög és távolság adatok alapján is elindítható, mert kis távolság esetén rakéta saját radarját azonnal felkapcsolva képes magát célra vezetni. Természetesen nem ez az ideális üzeme az osztálynak, de jól mutatja azt, hogy mennyivel nehezebb egy ilyen légvédelmi rendszer ellen bármit tenni a korábbi hagyományos rendszerekkel ellentétben.

Ideális esetben az első figyelmeztetés, amit támadó kap, hogy rövid időre a besugárzásjelzőn felvillan egy keresőradar, a célkövetés ezek után lehetséges az osztály infravörös rendszerével is, amennyiben célpont annak hatótávolságán belül van. Ezek után 10-15 másodpercen belül már úton lehet a rakéta a támadó felé – már, ha a HMZ szélén repült –, akinek erről fogalma sincs, hiszen pontos MCG/MCU esetén az az AIM-120 csak a találat előtt 4-6 másodperccel kapcsolja fel a saját radarját. Amennyiben légtérellenőrző repülőgép vagy más nagy hatótávolságú radar biztosítja a céladatokat, akkor akár 100-200 km-nél messzebb repülve bármilyen radartól (a támadó szemszögéből nézve) a semmiből érkezhet a NASAMS rendszer által indított rakéta, arra semmi nem figyelmeztet, hiszen a Sentinel radarok sem üzemelnek.

Az indítás észlelése is rendkívül körülményes, leginkább lehetetlen a szolgálatban álló repülőgépek nagy részén, mert azokon nincs körkörös rakétaindításra figyelmeztető rendszer. Amelyiken van, azok is csak

legfeljebb az indítás után képesek lokalizálni az indítóállvány helyét, de ez is inkább ma csak az F-35 esetén meglevő képesség a DAS rendszerrel, mert a MAWS funkciója a figyelmeztetés a rakéta közeledésére és annak irányára. Indítás után a rakéta mozog, ebből az állvány helye legfeljebb viszonylagos pontossággal állapítható meg, de ilyen funkcióval a klasszikus MAWS rendszerek nem rendelkeznek. A pilóta vizuálisan legfeljebb a felvert port veheti észre, de azt is csak rendkívül kis távolságból és csak véletlenül, hiszen a besugárzásjelző nem az indító helyére figyelmeztet, hanem legfeljebb a Sentinel radar irányát adja meg. A közeledő rakéta nem észlelhető szabad szemmel, mert az AIM-120 hajtómű működési ideje mindössze kb. 8 másodperc és a hajtómű harcászati szempontból füstmentes, néhány száz méterről már nem látni a gyér füstöt.

Az első rakétaindítás után egy amerikai szintű elektronikai felderítő és bemérő képességgel egy AWACS, JSTAR vagy más egyéb elektronikai felderítőgép esetleg bemérheti azt az indítót ami már indított rakétát, de rakétaindítás előtt megtalálni az indítóállványokat szinte lehetetlen.

A rendszer minden egyes eleme mobil, akár helikopter is szállíthatja azokat olyan helyekre is, amit úton közlekedve el sem lehet érni, tehát a NASAMS olyan helyekre is telepíthető, ahonnan normál esetben az ember nem is számít fenyegetésre.

A NASASMS tehát úgy valósít meg lokális területvédelmet legfeljebb 10 km magasságú célok ellen , hogy egyik eleme sem hatalmas és nehezen mozgatható, hanem kisebb elemeket felhasználva azokat széttelepíti. A NASAMS névlegesen 25 km távolság és 10 km-es magasságig hatásos az AIM-120C-7 rakétával. Ez lényegében a harcászati célok 100%-át lefedi egy kis- és középhatalom esetén amivel reálisan szembe kell nézni. Egy osztály 4-6 db indítóval akár 100 km-es körzetet is lefedhet úgy, hogy a rendszernek lényegében nincs utánlövési korlátozása sem.

A NASAMS kismagasságú célok ellen is képes területvédelemre a rakéta kinematikai korlátain belül, amennyiben légtérellenőrző gép által a helyzetkép biztosított. A légtérellenőrző lesugározza a helyzetképet és a horizont vagy tereptárgy által blokkolt terület fölé vezetve a rakétát az utána saját kisméretű radarjával befoghatja a célt végfázisban, ezzel egy egészen új korszakot jelent a NASAMS. A fenti eset a rakéta kis HMZ-je miatt igen elméleti, de a későbbiekben bemutatott nagyobb hatótávolságú rakétákkal operáló rendszereknél a radarhorizont alatt repülő célok elleni tűzmegnyitás egyáltalán nem elméleti lehetőség. (Ausztrália, az egyik jövőbeli vásárló bír az ehhez szükséges légtérellenőrző géppel, Finnország nem.)

Nem véletlen választották a finnek a Buk-M1[517] rendszer leválására a NASAMS-ot annak ellenére, hogy nincs ballisztikus rakétaelhárító képessége – a finneknek felesleges és a csúcskategóriát jelentő orosz ballisztikus rakéták ellen amúgy is elégtelen a Buk-M1 képessége –és az AIM-120 HMZ-je kisebb a Buk-M1 rakétájával összevetve. Azonban az AIM-120 már hadrendben állt a Finnországban, csak szoftvermódosítás szükséges az alkalmazáshoz, hardveresen azonos az F/A-18 vadászgépeken használt légiharc rakétával. Emiatt a légvédelmi rendszer két kulcselemének a

[517] *A finn légvédelmi rendszerek beszerzésének történetéről angol nyelven a mellékletek között egy roppant őszinte beszámoló található. Ennek rövidített változata Hpasp fordításában magyarul is mellékelve van.*

fegyverzete azonos, nem szükséges két eltérő rakétát hadrendben tartani. A teljes finn NASAMS beszerzés mindösszesen két darab F/A-18C Hornet repülőgép árába került.

A NASAMS túlélőképessége, flexibilitása páratlan, hiszen az indítók csak az FDC kiiktatásával vesztik el harcképességüket, de az FDC és a felderítő radar(ok) és az EO egységek települési helye tetszőleges, nem lehet egyetlen támadással megsemmisíteni azokat. Az FDC és rakétaindítók bemérése önmagában is nehéz feladat még a legkorszerűbb eszközökkel is, hiszen az FDC csak szakaszosan és kis teljesítménnyel sugároz ki az adatkapcsolat használata során nem folyamatosan, mint egy rávezető állomás.

NASAMS rakétaindító önjáró mobil járművön telepítés közben (balra)és telepítve (jobbra).

AN/MPQ-64 Sentinel radar önjáró és vontatható, telepített kivitelben.

A NASAMS koncepciójának a nyilvánvaló harcászati előnyei mellett hátrányai is vannak ezeket a következőek:

- Az AIM-120 rakéta darabára kb. 1,5-2 millió USD attól függően, hogy ki mekkora mennyiséget, milyen műszaki támogatással (és politikai hátszéllel) vásárolja meg. Tehát adott rakéta mennyiség felett egy komplett NASAMS csomag ára meghaladhatja egy más téren (HMZ távolság) hasonló kategóriás rendszerét, ami félaktív rakétát használ. Egy aktív radaros rakéta ára sokszorosa egy félaktív rakéta árának.

- Bár repülőgépek ellen lokális területvédelmet képes biztosítani, ballisztikus rakéta elhárításra még elméleti szinten sem nagyon alkalmas a rendszer. Az AIM-120 rakéta képes eltalálni M3.0 sebességű célokat, de a Patriotnál és máshol is emlegetett mellérepülő célok ellen ez lényegében az indító saját védelmét jelentené legfeljebb.

A NASAMS rakétaindítókra amúgy sem indít ballisztikus rakétát senki, hiszen azok pozíciója alapesetben nem ismert, tehát ez a képesség szükségtelen is. Amúgy is csak legfeljebb Iszkander szintű, néhány tucat méteres szórással rendelkező ballisztikus rakéta lenne képes az indítót eltalálni, azokat meg nem pazarolják ilyen célpontokra, és ilyennel lényegében csak Oroszország és az USA (MGM-140 ATCAMS) rendelkeznek.

- AIM-120 rakéta alkalmazása esetén egyetlen indító megsemmisítési zónája viszonylag korlátozott, bár ez csak az igazi nagyágyúkkal, Patriot, Sz-300P/V, a Buk-M1 és a Buk későbbi változataival, illetve a HAWK-kal összevetve igaz. Az AMRAAM-ER és ESSM Block 2 rakéta esetén a HMZ eléri indítónként a 40 km-et, ami már a BuK-M1 és HAWK-kal azonos, de ennek már komolyabb harcászai kihatásai vannak, lásd később.

- A Sentinel radar igaz, hogy kompakt és mobil, de ez az önálló felderítési lehetőségeket is behatárolja, harcászati célok ellen a maximális távolsága kb. 75 km. Ez az AIM-120 rakétával párosítva megfelel, de AMRAAM-ER és ESSM esetén már kevésbé. Ekkora HMZ-vel bíró rakéta esetén vagy nagyobb teljesítményű radar, vagy több Sentinel radar szükséges a nagyobb légtér lefedéséhez, hogy a rakéták megsemmisítési zónája valóban hatásosan kihasználható legyen.

- Az aktív vezérlésű rakéta elvileg megtéveszthető vontatott csali használatával, bár ez igaz az összes aktív radarvezérlésű, SARH, TVM és SAGG vezérlést használó légvédelmi rendszerre is, amik nem fázisvezérelt vevőt és/vagy adót használnak. Ez a rakéta oldali korlát, amennyiben a jövőben fázisvezérelt aktív radaros rakéta rendelkezésre áll nincs akadálya integrációnak, jelenleg is számtalan rakéta alkalmazása lehetséges a NASAMS-sal.

Finn NASAMS osztály munka közben, Helsinki közelében, az FDC egyik kijelzőjén a légi helyzetkép látható. Célok, azok pályája és egyéb célparamétereik.

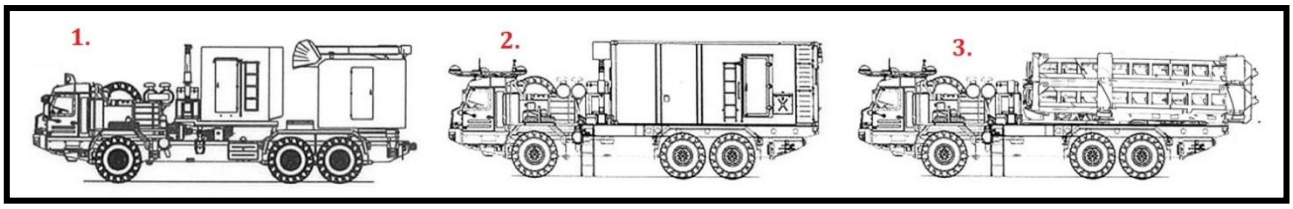
A NASAMS esetében az AIM-120C-7 rakéta kis HMZ-je a rendszer folyamatos célkövetési képessége felé viszonylag szerény korlátot támaszt, hiszen MCG-t csak rendkívül rövid ideig kell biztosítani, ezért a radarok szakaszos használata viszonylag könnyen megoldható. Nagyobb távolságú célleküzdés esetén ESSM/AMRAAM-ER rakétával a helyzet megváltozik.

A probléma az, hogy a rakéta repülési ideje elérheti az 1 percet, a Vityáz és SAMP-T rendszernél már akár 2 percet is. Ekkora távolság esetén vagy a rendszer saját radarjának, vagy más forrásból származó

adatokkal hosszabb ideig kell biztosítani a folyamatos célkövetést. Nagy távolság estén a lézeres távmérés nem lehetséges, tehát nagyobb felderítési távolságú radarokra kell támaszkodni.

A nagyobb HMZ biztosítása rendszer felderítő radarjának méretnövekedésével jár, illetve hosszabb célkereséssel, ami támadhatóvá teszi a rendszer ezen elemét, ha annak hullámhossza a radar elleni rakéták hullámhossz tartományába esik. A Sentinel a tűzvezető radarok jellemző tartományában, X sávban üzemel a Vityáz multifunkciós radarja, az 50N6 is centiméteres hullámhosszon üzemel.

A Vityáz[518] rendszer esetén (egyelőre) nincs szó széttelepíthetőségről, az egész osztály az 50N6 felderítő radar és a 50K6 harcvezetési központ köré csoportosul. A lenti ábrán láthatóak az Sz-350 Vityáz rendszer elemei.



50R6 Sz-350 Vityáz

1. 50N6 MFR multifunkciós rádiólokátor, osztályonként 1-2 db
2. 50K6 PBU harcvezetési kabin, osztályonként 1 db
3. 50P6 PU indítóállvány, osztályonként 1-8 db, indítónként 12 db rakétával

Annak ellenére, hogy a Vityáz aktív radarvezérlésű rakétát használ a célcsatornák száma mégsem az indítható rakéták számával egyezik meg, „csak” 16 db célcsatornával rendelkezik repülőgépek ellen, minden célpontra két rakéta vezethető rá (32 db rakétacsatorna), vagy 12 db célcsatornával ballisztikus rakéták ellen. A ballisztikus célnál valószínűleg azért csökken a követhető célok száma, mert azokra gyakrabban kell rámérni, így kevesebb időosztás marad szabadon a célkövető radar számára, továbbá magasabb helyszögekre is figyelni kell a repülőgépekhez képest. Aktív radarvezérlés csak a cél közelében van, addig rádió-parancsközlő távirányítással repül a rakéta.

A Vityáz a következő rakéta típusokkal bír:[519]

rakéta	*rakéta*	*hatótáv*	*magasság*	*célsebesség*
-	*kg*	*km*	*km*	*m/s*
9M96	333	1-40	0,005-20	4800 m/s (?)
9M96M 9M96E2	333	1-60 (?)[520]	0,005-20	4800 m/s (?)
9M96D 9M96E	420	120 km 30 km ballisztikus a rakéták ellen	00,005-30	4800 m/s

A Vityáz aktív radarvezérlésű rakétával 120 km-es megsemmisítési távolsággal bír repülőgépek és valószínűleg nagysebességű (Mach 2-3) vagy akár szubszonikus robotrepülőgépek és rakéták ellen, ezeken

[518] https://goo.gl/5kWtJd
https://thaimilitaryandasianregion.wordpress.com/2016/10/17/s-350e-vityaz-50r6-sam/
https://de.wikipedia.org/wiki/S-350
http://militaryrussia.ru/blog/topic-633.html

[519] *Az Interneten ahány forrás, annyi hatótávolságot ír, továbbá az sem tisztázott, hogy az export változatok azok melyik orosz rakétatípusoké. A fenti táblázat pusztán a HMZ-k azonosságából következnek.*

[520] *Az orosz marketing anyagokban a 9M96E változat szerepel 60 km-es HMZ-vel.*

felül maximum 4800 m/s sebességű ballisztikus rakéták elfogására is képes. A fenti értékekből kiviláglik, hogy csodák nincsenek, a ballisztikus rakétaelhárítás esetén igaz az, ami a Patriotnál. A nagy sebességű célok ellen a rendszer távolság paramétere az osztály mellett elrepülő nagysebességű ballisztikus rakéták ellen korlátozott, 120 km helyett csak 30 km távolságig hatásos. Az ABM képességhez természetesen messze komolyabb felderítő radar szükséges – mint a NASAMS rendszer kisméretű Sentinel radarja – , hogy a bejövő nagy sebességű célpont kellő távolságról időben felderíthető legyen.

Az Sz-350 az aktív radarvezérlésű rakéták mellett az 9M100 rakéta kis hatótávolságú infravörös vezérlésű rakétával is rendelkezik, ezzel kb. 15 km-ig küzdhet le célokat, ez valószínűleg az osztály saját védelmét szolgálja helikopterek, UAV és egyéb közeli, de kisméretű célok ellen. A rakétatípusok közös jellemzője, hogy aerodinamikai kormányzáson felül gázdinamikai kormányrendszerrel is rendelkeznek a Patriot PAC-3- rakétájához hasonlóan. Az Sz-350 abban is újat mutat, hogy a Patriot rendszerhez hasonlóan ez is teljesen automatizált üzemű, az operátorok csak beállítják és felügyelik annak működését. A rendszer minden eleme önjáró, telepítési ideje 5 perc.

A területvédelem a Vityázzal magasabb szinten akkor lenne elérhető, ha az képes együttműködni az A-50 légtérellenőrző repülőgéppel – erre valószínűleg már most is képes – illetve a radartól lehetővé válik a az indítók széttelepítése, ahogy a NASAMS estén.

A Vityaz rendszer elemei, balra fent az 5Já62 cikloida mikrohullámú relé antennája, jobbra az Vityaz tervezett kommunikációs antennái.

Ezen feltételek teljesülése esetén elvben a Vityáz is képes a rakéta kinematikai korlátain belül, az 50N6 radarhoz képest horizont alatti célokat leküzdeni, amennyiben légtérellenőrző repülőgép által a szükséges

légi helyzetkép biztosított. Ezt a célt szolgálják feltehetően a következő oldalon látható kép jobb oldalán levő eszközök, az oszlopok tetején levő antennákkal. Ezek szinte pontosan ugyanúgy néznek ki, mint a már ’80-as éveken is használt Vektor és Szenyezs AVR rendszernél használt 5Já62 antennák és ahogy ezt már korábban is megszokhattuk, az antennák formája és mérete elsősorban azok feladatától függ. Ezekkel válik majd lehetségessé a Vityáz rendszer indítóinak széttelepítése.

Oroszország már most is rendelkezik erre alkalmas légtérellenőrző gépekkel, ezek már a ’80-as évekbeli konfigurációban is képesek voltak a honi légvédelmi rendszer AVR elemeivel sőt, a csapatlégvédelem hadsereg szintű (9Sz52 Poljana-D4, Buk) és a front szintű vezetési (9Sz457 KP, Sz-300V) pontjával is adatkapcsolatot létesíteni.

További lehetségese kiegészítés a Vityáz számára, hogy a rendszerrel leváltani szándékozott Sz-300PSz ezredek megöröklik azok RLO (Big Bird) radarjait, amivel a rendszer számára a körkörös felderítési képesség biztosítható (legalább repülőgépek ellen) anélkül, hogy az 50N6 radart fel kellene kapcsolni. Ez esetben az is feltételezhető, hogy a RLO-tól kapott céladatok segítségével akár rakéta is indítható pont úgy, ahogy a NASAMS esetén a Sentinel radarral, csak a nagy különbség az, hogy a Big Bird radar nem támadható REL-lel, mert méteres hullámhosszon üzemel.

Az, hogy az Sz-350 milyen szervezeti egységként váltja majd le az Sz-300PSz-at jelenleg nem ismert, annak felépítéséből sejthető, valószínűleg két harci osztályos Sz-300PSz ezredeket váltanak ki vele, jellemzően Oroszország vidéki városainál, ahol jelenleg az Sz-300PSz-ből mindenhol 2 db harci osztály alkot egy ezredet:

- Kalinyingrád 2 db ezred, 4 harci osztály
- Leningrád 4 db ezred, 8 db harci osztály
- Engelsz, Jekatyerinburg, Szamara,Voronyezs ,Habarovszk, Komszomolszk, Irkutszk, Accshinszk 1 db ezred, 2 db harci osztály

2 Sz-300PSz harci osztály összesen 96 db rakétával rendelkezik (2 osztály x 12 indító x 4 rakéta), ami pontosan megegyezik egy Sz-350 komplexum javadalmazásával. (8x12 db)

1 db Sz-350 komplexum a következőkből épül fel (csak a főbb harci elemek):

- 1 db PBU vezetési pont
- 2 db MFR radar, tehát 2 db harci osztály
- 2x4 db PU indítóállvány a 2 db harci osztályhoz
- 96 db rakéta

A vezetési pont és radar (MFR-PBU) közötti távolság maximum 2 km, az indító és a vezetési pont (PU-PBU) közötti távolság szintén 2 km. A két Sz-350 komplexum közötti vezetési pont (PBU-PBU) távolsága legfeljebb 15 km, ami AVR kapcsolattal 30 km-re növelhető (PBU-AVR), ezzel tehát két PBU egymástól akár 60 km-re is lehet. Ennek valószínű kiterjesztése várható esetleg az indítókra is, ahol az PBU-PU vagy MFR-PU távolságot növelik meg. Az összes fenti feltétel esetén azért nehéz rávezető állomás nélküli rendszernek titulálni a Vityázt, mert nem rendelkezik felderítő radar redundanciával és kisegítő lehetőséggel, mint a NASAMS, de a rendszer modularitása miatt ennek elvi lehetősége ettől függetlenül (elvileg) biztosítható.

A fentiekhez hasonló rendszer a francia SAMP/T, [521] amit elsőre ránézésre, mintha a rávezető állomás nélküli megoldást favorizálók csapatát erősítené, de ez inkább a Vityáz rendszerhez van közel. Az előbbihez hasonlóan ez is rendelkezik ballisztikus rakéta elhárító képességgel, maximum 600 km hatótávolságú hadászati ballisztikus rakéták ellen, viszont a rendszer csak egy radarral rendelkezik.

A SAMP/T Főbb részei az Aster 30 rakéta, az Arabel[522] multifunkciós radar továbbá a rakétaindítók. Fontos eleme volt a SAMP-T programnak, hogy más NATO légvédelmi rendszerekkel interoperábilis legyen, azaz részei, vagy az egész rendszer legyen képes együttműködni más komplexumokkal, mint a rendszer része, vagy annak vezető állomása. Ez lényegében a Patriot, HAWK és NASAMS-nál alkalmazott FDC-k közötti adatkapcsolat megteremtését jelenti. (Erre egyébként a korszerűsített magyar 2K12 Kub is képes már, ezzel és más egyéb fejlesztésekkel valószínűleg a legkorszerűbb Kub változat az egész világon.)

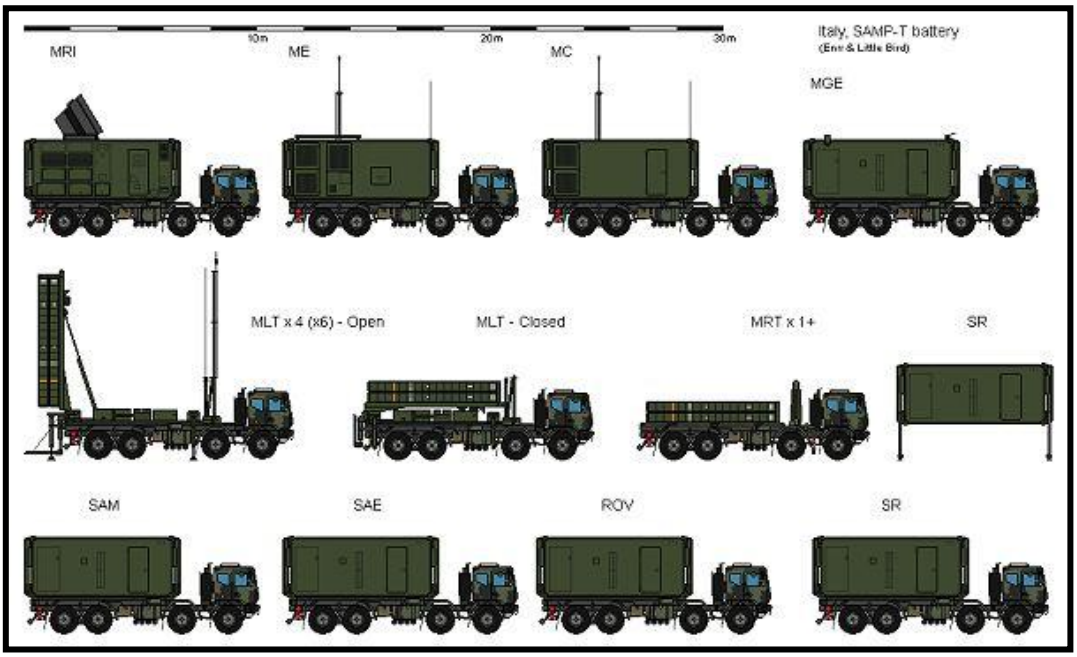
A SAMP/T indító jármű 8 db tűzkész rakétakonténerrel van ellátva, tűzkész állapotban a rakétakonténereket függőleges irányba állítják, a teherautó alváz hátsó részén. Egy indítójárműről 10 másodperc alatt az összes rakéta indítható sorozatban, két különböző indító esetén a rakétaindítások közötti minimális idő 0,5 másodperc .

A SAMP/T rendszer az Aster 15 illetve Aster 30 típusú rakétákat használja, az Aster 30 nagyobb hatótávolságú, amelynek első fokozata szilárd hajtóanyagú gyorsító rakéta, ami indítás után leválik, de ellentétben a régi szovjet rakétákkal már indítás után is képes manőverezni a rakéta. Ezzel a megoldással régi szovjet-orosz légvédelmi rendszerekhez hasonló, de mégis korszerűbb formában, mert 450 kg-os össztömeggel is lényegesen nagyobb megsemmisítési zónával rendelkezik. A 900 kg feletti induló tömegű Nyeva maximális megsemmisítési távolsága a 25 km-t sem érte el. Ezzel szemben az Aster 30 rakéta maximális sebessége 1400 m/s (kb. Mach 4,5), 50 m és 20 km között magasságban képes célokat leküzdeni, a 3 km felett repülő légi járművek ellen a hatótávolsága 100 km, az ez alatt repülők ellen 50 km.

A rakéta tehetetlenségi (inerciális) navigációs rendszert használ, rávezetési adatainak korrigálását az Arabel multifunkciós radar végzi a digitális adatkapcsolaton keresztül, végfázisban aktív radarvezérléssel közelíti meg a célpontot. Az aktív radaros vezérlés és a rendkívül nagy sebességgel pásztázó Arabel radar biztosítja a valódi 360 fokos tűzívet. Bár a SAMP/T aktív radarvezérlésű rakétákat használ, a Vityáz rendszerhez hasonlóan a célcsatornák száma mégis korlátos, szimultán legfeljebb 10 db cél leküzdése lehetséges (egyes források szerint 16 db, de a linkelt francia videó is csak 10 db célcsatornát említ).

[521] https://goo.gl/wUUhD4
https://goo.gl/dxG63h
http://www.army-technology.com/projects/aster-30/
https://www.youtube.com/watch?v=0Nk3HV-dDcU
http://www.military-today.com/missiles/sampt.htm

[522] http://www.eurosam.com/products/eurosams-building-block/arabel/



MRI	***Arabel többfunkciós keresőradar***
ME	***Tűzvezető központ***
MGE	***Generátor egység***
MLT	***rakétaindító (osztályonként 4-6 db)***
MRT	***rakéta utántöltő jármű (osztályonként 2 db)***
SAE & SAM	***karbantartó és javító járművek***

A SAMP/T rendszernél szintén felsejlik a horizont alá tüzelés képessége, ez kimondatlanul az interoperábilis elvárásból következik. Ez a kitétel (elvileg) képesség teszi arra, hogy légtérellenőrző repülőgéptől vagy akár más radartól kapott légi helyzetképes segítségével az Aster 30 rakétát olyan pályán vezérelje, ahol a lehető legtovább fenntartható a MCG/MCU biztosítása, majd a végfázisban az rakéta aktív vezérléssel próbálkozhat a cél autonóm elfogásával. A rávezető állomás nélküliséget valamennyire erősíti az, hogy az indítók maximum 25 km-es távolságra (egyes források szerint csak 10 km) széttelepíthetőek a radarhoz képest. A rendszer főbb elemei a lenti ábrán láthatóak:

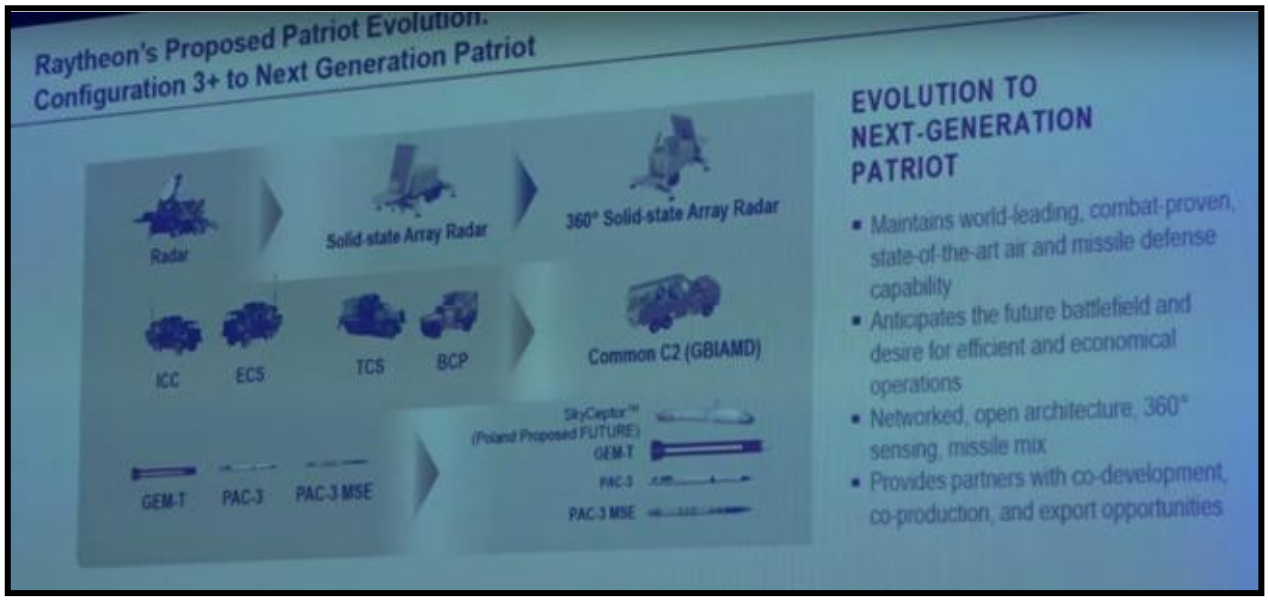
Rakétaindító jármű telepített pozícióban balra, Arabel radar jobbra.

Kétlépcsős (kétfokozatú) Aster 30 rakéta indítása.

A jövő útjának tekinthető koncepciót vázol fel az izraeli Stunner rakétán alapuló Skyceptor légvédelmi rendszer, ami a Patriot legújabb változatának tekinthető. A rakéta kettős képalkotós infravörös és AESA radaros aktív vezérléssel rendelkezik, amivel egyértelműen a vontatott csalikkal operáló célpontok elleni ellenlépésnek tekinthető, mind maga az infravörös vezérlés, mind a nagysebességű pásztázásra képes radar miatt.

A korábbi Patriot koncepcióhoz képest további markáns eltérést jelent a kétfokozatú rakéta illetve az, hogy az osztály immáron rendelkezik 360 fokos lefedésű keresőradarral. A Patriothoz képest további eltérés, hogy az ICC és ECS helyett egy összevont egység látná el ennek feladatát (Common C2, GBIAMD). A rendszer egyelőre csak papíron létezik – tehát mindössze egy ígéret – Lengyelország számára ajánlották fel. A kétfokozatú rakétával és az elképzelt 400 km-es (!)-es maximális hatótávolsággal elvi síkon hadrendbe állításakor ez lenne a világ legkorszerűbb nagy hatótávolságú légvédelmi rakéta-rendszere. Ez is részben rávezető állomás nélküli rendszernek tekinthető, hiszen már az ős Patriot változat is megkaphatta a légi helyzetkép megalkotásához szükséges adatokat a szomszédos Patriot osztályoktól, illetve az E-3 Sentry légtérellenőrző gépektől. Az új rendszer esetén is lehetséges ez, tehát valójában tetszőleges számú radar adataiból összerakott helyzetkép alapján lehetséges a rávezetés, a kérdés „mindössze” az, hogy melyik osztály indítsa a rakétát és melyik osztály felderítőradarja üzemel.

A Stunner rakéta, ezen alapulna a jövőbeli rakéta. A rakéta sajátos orrész kialakítását a kettős vezérlés követeli meg.



Összefoglalva röviden a következő generációs Patriot rendszerről.

A fenti példákból látható, hogy nagy hatótávolságú rávezető állomásos vagy akár rávezető állomás nélküli rendszerekkel a kismagasságú célpontok ellen is megoldhatóvá válik a területvédelem főleg, amennyiben légtérellenőrző vagy más repülőgép radarjával lehetséges a kismagasságú célok folyamatos követése.

A fenti fejlődése extrém kifutási esetének tekinthető az a gondolta, hogy védekezésben vadászrepülőgépekre szinte nincs szükség. Nagy hatótávolságú, aktív radaros rakétával rendelkező légvédelmi rendszer a légtérellenőrző géptől teljes légi helyzetképet kaphat a kismagasságú célpontok ellen is. A légvédelmi rakéta-rendszer közelében őrjáratozó AWACS / AEW&C repülőgépet is képes oltalmazni a légvédelmi rakéta rendszer, akár az arra indított – ma még nem is létező – extrém nagy hatótávolságú légiharc-rakétákat is képes lelőni. Persze az, hogy mennyibe kerül egy ilyen légvédelmi rakéta és mindenre érdemes-e azt használni, az már más kérdés...

A 9Sz52 Poljana-D4 évtizedek óta képes az A-50-től kapott légi helyzetkép fogadására és a legújabb Buk-M3 már aktív vezérlésű légiharc rakétával is rendelkezik. A fenti koncepció megvalósítására annyiban nem képes, hogy egy üteg vagy harci osztály nem fed le elég nagy területet ehhez, de Sz-400 és 40N6 rakéta esetén ez a koncepció látszik felsejleni. Az ’70-es években elvesztett területvédelmi képesség visszaállíthatónak látszik kismagasságú célok ellen is, amennyiben a rakéta felmelegedése nem korlátozza le a HMZ alsó magasságát.

A másik kirajzolódó trend, hogy a vontatott csalik elterjedésével valószínűleg előbb-utóbb az aktív vezérlésű rakéták AESA vagy minimum PESA radarosak lesznek, de elképzelhető, hogy akár a SAGG/TVM megoldás mellett megjelennek a rakétákon is a fázisvezérelt antennarácsot használó vevők.

6.2.3. Automatizált vezetési rendszerek

A mellékletek között a Vozduh AVR rendszerről egy részletesebb, három részes írás található Palik Mátyás Csabától, ami nem csak magával a Vozduhhal, hanem az AVR rendszerek elméleti és gyakorlati hátterét is magában foglalja, emiatt ez a fejezet csak nagyon tömören foglalja össze az AVR rendszerek megszületésének okait, továbbá néhány konkrét példán keresztül mutatja be annak következményeit.

A szovjet és amerikai légvédelmi rendszereknél már említve voltak az automatizált rávezető rendszerek, amerikai oldalról a SAGE, szovjet-orosz oldalról a rendszerek nevesítése nélkül, ezen szerepe kiemelten fontos a vadászgépek illetve a légvédelmi rakéta-rendszerek eredményes használatához és együttműködéshez.

Az ellenséges célokról kapott adatok mellett alapvető, hogy a saját (illetve szövetséges) repülőgépek helyzete is ismert legyen. A légvédelmi rendszerek kialakulásának kezdetétől fogva ezeket az információkat, a különböző szinteken lévő rádiótechnikai alegységektől viszonylag hosszú idő alatt tudták csak továbbítani az irányító parancsnokságok felé. A rádiólokációs információkat élő szóban, vezetékes vagy vezeték nélküli híradó vonalakon küldték azokra a szintekre, ahol ezeket feldolgozták, összesítették. Ezeket az adatokat mindenképpen meg kellett jeleníteni vizuálisan érzékelhető formában is, hiszen csak így lehet pontosan felmérni a légi helyzetképet és meghozni a megfelelő döntéseket a szükséges ellenlépésekhez.

Kezdetben a felület, amelyre az adatokat felvitték hatalmas terepasztal volt, ezen mozgatták a kötelékeket jelképező figurákat, ahogy tették azt már 1940-ben az Angliai csata alatt. Később függőleges üveglap volt a tervtábla, erre jellemzőem zsírkrétával vitték fel a céljeleket és azok adatait. Kezdetben ez a módszer kielégítően működött, és még a számítógépek korában is meglepően sokáig fennmaradt, ám idővel világossá vált, hogy a katonai és polgári repülőgépek számának rohamos növekedésével ez nem tud lépést tartani, a módszer használhatatlanná válik. A módszer kimeríti a személyzet teljesítőképességeinek határát mind a követhető célpontok számát, mind a célok frissítési gyakoriságát nézve, a tervtáblán levő információk egyszerűen nem tartanak lépést a valósággal, tehát ennek fényében túl kései vagy hibás döntések is születhetnek.

A tervtáblás módszer, rádión beérkező adatok alapján a célpontok adatait üvegtáblára zsírkrétával viszik fel. A célpont ábrázolt útvonalán látható körök mutatják az adatok frissítésének gyakoriságát. Jól látható, hogy mennyire korlátos az ábrázolható célok mennyisége és a frissítési gyakoriság a rendszerben levő humán faktor miatt. Néhány köteléknél több nem követhető ezzel a módszerrel osztály szinten és az adatok továbbítása és ábrázolása hadszíntér szinten valós időben fizikailag lehetetlen.

A rádiólokációs információk a híradó rendszer bonyolultsága miatt a felhasználókhoz jelentős késéssel jutottak el, egyes esetekben ez akár 5 perces nagyságrendet is elért. Amennyiben beavatkozás vált szükségessé egy adott légi céllal kapcsolatban, akkor még további időbe telt a parancsok eljuttatása az alárendelt egységekhez. Lényegében ez az a szint, amit 1940-ben az Angliai csata idején el tudtak érni, ami a támadók akkori sebessége mellett megfelelt, de a nagysebességű bombázógépek korában már elégtelen volt.

Ezért kezdődött meg tehát az automatizált vezetési és adattovábbító berendezések fejlesztése, amelyek jelentősen lerövidítették ezt a folyamatot, kezdetben perces, majd néhány másodperces nagyságrendre. Ezen automatizált rendszerek segítségével végül a légvédelmi egységek, illetve magasabbegységek harcálláspontjain kvázi valós idejű adatokkal dolgozhattak és hozhatták meg a szükséges döntéseket, illetve továbbíthatták azokat a végrehajtók felé végül szintén gyakorlatilag valós időben.

A fejlődés eredményeként az 1950-es években, a Szovjetunióban megjelentek a légvédelmi rakéta- és tüzércsapatok automatizált tűzvezető berendezései (automatizált harcálláspontok). A légvédelmi rakéta csoportosítások automatizált tűzvezető berendezéseinek első generációja az ASzURK (légvédelmi rakétakomplexumok automatizált vezetési rendszere) volt, majd a következő évtizedekben, mind a VSz-ben, mind a NATO-ban jól látható fejlődésen mentek keresztül az automatizált légvédelmi vezetési rendszerek.

Az AVR-ek szempontjából nézve a légvédelmi rendszereket három alap kategóriára osztották az orosz filozófia szerint:

1. **Kézi,** már említett tervtáblás adatátvitel, az információk a rendszer szempontjából nézve nagy késésekkel kerültek továbbításra, majd feldolgozásra, több perces nagyságrenddel.
2. **"U" típusú automatizált rendszerek,** az első AVR-ek különböző technikai segítséggel, cél az információáramlás felgyorsítása, továbbra is tervtáblás módszer, azonban a tervtáblán a célmegjelenítés már automatikus, nem korlátozza le a beszéd és az operátor személyzet sebessége. A céladatok begyűjtését, összegzését és megjelenítését automatizálták, a gépesítés következményeként ez már szinte közel valós idejű is lehetett.
3. **"M" típusú automatizált rendszerek,** a AVR-ek egységes rendszere (VP-01M, VP-02, VP-03, VP-11, ASzURK, VEKTOR, SZENYEZS.), kezdve a rádiótechnikai (RT) alakulatoktól, a légvédelmi rakéta-parancsnokságon és a légierő vezetési pontokig az adatátvitelek digitális formában történő kódolt továbbításáig. Ebben az "M" típusú rendszerben már megjelentek a különböző számítógépek, adatrögzítők, a folyamatok egyes lépései teljesen automatizálttá váltak. Már nem csak a céladatok továbbítása volt automatizált, de a vezetési rendszerek már döntési lehetőségeket is felkínáltak az operátoroknak. Az automatizált rendszerek nem csak a légvédelmi rakéta osztályok tüzének összehangolására voltak képesek, de a légvédelmi rendszer részét képező vadászgép kötelékekkel is számolt, azokat is számításba vette a célcsatornák és célpontok kiosztásánál.

Első körben a cél tehát az volt, hogy a tervtáblán megjelenő adatok automatikusan és közel valós időben jelenjenek meg, de ez alapján a célpontok kiosztása még mindig manuálisan történt és a parancsokat sem adatkapcsolaton, hanem gyakran élőszóban továbbították. Ezzel a módszerrel képzett személyzet már képes volt elkerülni azt, hogy ugyanazon osztály ugyanazon célpontokat támadja meg.

A fejlődés következő lépcsőfoka az volt, amikor a vezetési rendszer a célparaméterek és a saját vadászkötelékek helyzete alapján javaslatot is tett arra, hogy melyik célpontot melyik légvédelmi rakéta

osztály vagy vadászkötelék támadja meg sőt, az AVR rendszerek ennél többre is voltak képesek attól függően, hogy milyen mélységben voltak kiépítve egyes elemeik. Lehetővé vált zavaró célok kiháromszögelése sőt, egyes AVR rendszerek segítségével pusztán a felderítő radarok által is lehetségessé vált a Volhov és Vega osztályokkal történő rakétaindítás úgy, hogy a rávezető állomás célmegvilágító radarjának használata nem volt szükséges, csak a becsapódás előtti 25 másodperccel volt szükséges felkapcsolni azt.

A rávezető állomás radarjának felkapcsolásáig az AVR-be kötött méteres hullámhosszal dolgozó felderítő radarok háromszögeléséből nyert koordináták segítségével az AVR számolta célpont irányát a rakétát indító osztályhoz képest, az alapján történt az RPK jelek sugárzása a Volhov esetén. Az AVR 10 másodpercenként látta el frissített céladatokkal az légvédelmi rakétaosztályokat.

Ez azt jelentette, hogy nagy távolságból az AGM-45-tel szinte támadhatatlanok lettek a Volhov osztályok, mert a légvédelmi rakéta már régen úton volt a célpontja felé, amikor a rávezető állomást fel kellett kapcsolni. Mire az AGM-45-öt képes volt az ellenfél indítani, addigra már le is lehetett kapcsolni a célmegvilágítást. Ez persze szigorúan elméleti helyzet nagy távolságú célleküzdésnél, közeli célok esetén a 25 másodperces felkapcsolási korlát miatt ez az előny már nem volt kikaszálható, pl. radarhorizont alól indított vagy onnan felbukkanó és indított rakéta esetén.

A fentieken túlmenően fontos megérteni az, hogy az AVR terminológia is egy többszintű rendszert takar, szovjet és VSz országok honi légvédelemnél a következő szinteken a következő AVR rendszereket használták:

- Ezred/dandár szintű vezetési rendszerek pl. az ASzURK, Vektor, Szenyezs.
- Hadsereg/hadest szintű rendszer pl. a VSz-11 Vozduh
- Front/hadszíntér például az Almaz rendszer

Az amerikai SAGE rendszer méretében és kiterjedtségében hatalmas volt, a fenti felépítést korlátozottan lehet alkalmazni rá. Jó közelítéssel a NORAD központ az Almaznak megfelelő szint, a SAGE DC és CC elemei valahol a Szenyezs/Vektor szervezeti szintjének felelnek meg. Egy alközpont 2-5 db vadász ezredet (wing) továbbá a BOMARC osztályok munkáját tudta vezényelni.

A fent említett szovjet-orosz AVR-ek típusai és azok képességei röviden:

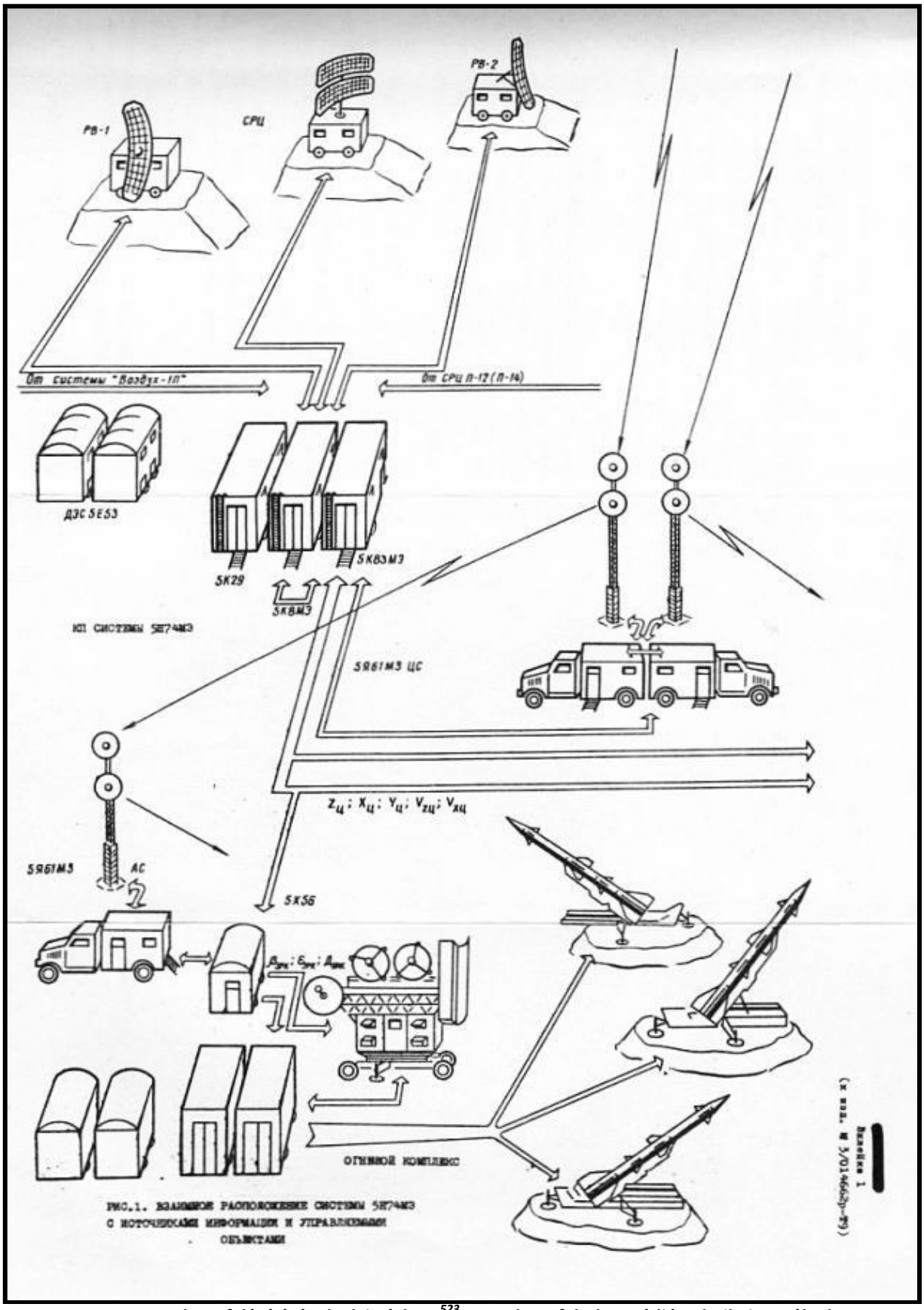
Sz-100V ASzURK-1

1963-tól egy légvédelmi rakéta ezred/dandár, legfeljebb 8 db Sz-75 rakéta osztály tüzének vezetésére képes, P-14/35/12 lokátorokkal illetve PRV magasságmérő radarokkal.

ASzURK-1M

1966-tól egy légvédelmi rakéta ezred/dandár, legfeljebb 8 db Sz-75/Sz-125 rakéta osztály tüzének vezetésére, ez exportálta is a Szovjetunió, 5N74ME Asurk-1ME típusjelzéssel a következő országokba (export éve-db):

Egyiptom 1971-4 db	Szíria 1972-1, 1973-1 db	NDK 1972-1 db	Vietnám 1982-2 db
Csehszlovákia 1973-1 db	Románia 1973-1 db	Irak 1974-1 db	Líbia 1975-3 db



ASzURK rendszer felépítésének elvi vázlata.[523] A rendszer feladata rádiótechnikai osztályok, kereső- és magasságmérő radarjainak adatainak begyűjtése, összegzése, majd célok kiosztása a légvédelmi rakétaosztályok felé.

[523] http://simhq.com/forum/ubbthreads.php/topics/3938312/1

ASzURK-1MA

1967-től egy légvédelmi rakéta ezred/dandár, legfeljebb 8 db Sz-75/Sz-125 rakéta osztály, továbbá 1 db Sz-200 osztálycsoport (2, 3, vagy 5 osztályos) tüzének vezetésére.

Vektor-2

1972-től 14 db légvédelmi rakéta osztály tüzének vezetése (Sz-75/125/200).

5N35E Vektor-2VE

- 40 db légi cél adatainak, egyidejű fogadása és feldolgozása 10 másodperces jelfrissítési gyakoriság mellett
- 14 db légvédelmi rakéta osztály (Volhov, Nyeva) irányítására, 8 cél/perc sűrűséggel, automatikus célelosztás a komplexumok technikai és taktikai paramétereinek, továbbá az osztályok pillanatnyi beavatkozási helyzetének (pl. felkészített rakéták száma, harckészültség szintje, stb.) figyelembe vételével.
- 5 db repülőkötelék (MiG-21, MiG-23, MiG-25) légi célra történő rávezetésére,

Kabinba épített mobil komplexum, de Magyarországon védett objektumba telepítették Érden. A rendszert a következő országokba exportálták (export éve-db):

Lengyelország 1979-1 db, 1981-1 db, 1982-1 db	NDK 1979-1 db	Magyarország 1980-1 db (Érd „20”-as objektum)	Szíria 1982-5 db
Csehszlovákia 1980-1 db	Bulgária 1980-1 db	Kuba 1983-1 db	

5Sz99E Szenyezs-E

50 db légicél (kötelék) követése, 17 db légvédelmi rakéta osztály tüzének vezetése (Sz-75/125/200/300), 6 db saját elfogó (kötelék) műszeres célravezetése (MiG-21/23/25), továbbá képes elektronikai zavarást végző célok automatikus kiháromszögelésére is. Elvileg kabinba épített mobil komplexum, de nálunk védett objektumba telepítették Szarvaspusztán.

exportja:

Csehszlovákia 1984-1 db	Líbia 1985-2 db	NDK 1984-1 db

5Sz99ME Szenyezs-ME exportja:

Magyarország 1987-1 db (Szarvaspuszta „50”-es objektum)	NDK 1987-1 db	
Csehszlovákia 1989-1 db	Szíria 1988-2 db	Líbia 1990-1 db

VSZ-11M Vozduh

60 db légicél (kötelék) követése, 3 db vadászrepülő ezred (VP-04M, Rubezs-Pori), 5 db légvédelmi rakétadandár (ASzURK, Vektor, Szenyezs), 6 db vadászirányító pont (VP-11, Vektor, Szenyezs), 1 db rádiózavaró zászlóalj (AKUP-22) automatizált vezetésre képes egyszerre.

A zárójelben felsorolt alacsonyabb szinten levő AVR elemek által küldött adatokat fogadta és dolgozta fel, majd sugározta vissza is a kidolgozott parancsokat. A VSz-11 lényegében Magyarország teljes honi légvédelmét képes volt kiszolgálni, légvédelmi hadsereg szintű AVR rendszer.

Magyarországon Veszprémben került telepítésre („10”-es objektum, „Szikla”).

A Szikla, a két nagy kör alakú kijelző az elektronikus összegzett légi helyzetkép megjelenítői, a nagy üveglap a zsírkrétás-tervtáblás módszerhez áll rendelkezésre tartalék megoldásként.

5D72 Almaz-2

7 db magasabbegység vezetése, összeköttetés a szomszédos országok rendszerével. Csak a Varsói szerződés kapta meg, Magyarországon 1985-ben került rendszerbe („30”-as objektum, Nagytarcsa). A teljes magyar AVR légi helyzetképet az Almaz rendszer számára továbbították Kijevbe, ahol a teljes VSz légi helyzetképének összegzése történt meg. Exportja a következő években valósult meg:

Magyarország 1985 (Nagytarcsa „30”-as objektum)	NDK 1979	Lengyelország 198?
Csehszlovákia 1980	Románia 1980	Bulgária 1978

Az AVR rendszerek funkciója összefoglalva röviden akként írható le, hogy egyszer magasabb szintű vezetési pontokon a döntéshozók az összes radar által gyűjtött és összeállított helyzetkép segítségével hozzák meg a helyes döntéseket és nem a légvédelmi osztályok egymástól elszigetelt egységként a vadászlégierő tevékenységének figyelembe vétele nélkül. A másodlagos funkciója – hasonlóan fontos – a parancsok és célkoordináták minél gyorsabb és automatizált megadása, hogy a helyes döntések és a kiadott parancsok időben elérjék az azokat végrehajtókat.

A Vozduh rendszer egy elemének paraméterein bemutatásán keresztül láthatóvá válik, hogy mennyire kevés, de mennyire létfontosságú információ megosztására voltak képesek korabeli AVR-ek.

*A **VP-01M** a Vozduh rendszeren belül a végpontokhoz (lokátorokhoz) csatolt alap AVR, amely képes volt a rádiólokátor információk megjelenítésére, automatizált gyűjtésére, azok továbbítására a parancsnokságokon lévő további részelemek, magasabbegységek felé (VP-02, VP-03, VP-11, stb.).*

*A **VP-01M** rendszerhez 2 db távolságmérő radart és 1 db magasságmérő radart lehetett közvetlenül bekötni. A radarok által szolgáltatott információk 32 bites kódolt adatként került továbbításra.*

1-8	*bit*	*X célkoordináta*
9-18	*bit*	*Y célkoordináta*
19-2	*bit*	*állami hovatartozás*
22-28	*bit*	*magasság információ*

A 32 bites adat hosszúsága kb. 0,5 másodperc volt. A VP-01M adatátviteli sebessége 60 Bd (Baud) volt. Az adatok továbbítása telegrafikus jelként történt. Csak összehasonlításként a Vektor rendszer 1200 Bd, de a modernebb AVR-ek adatátviteli sebessége is csak 2000 Bd volt, még ez utóbbi is mindössze 6 kbit/másodperc átviteli sebességet jelenti. A '90-es évek végén az Internet korszak hajnalán a betárcsázós modemek sebessége ennek majdnem tízszerese, 56 kbit/s volt.

(A VP-01M rendszerei 2 db URAL-375-ös teherautó felépítményében és 2 db utánfutóban kerültek elhelyezésre.)

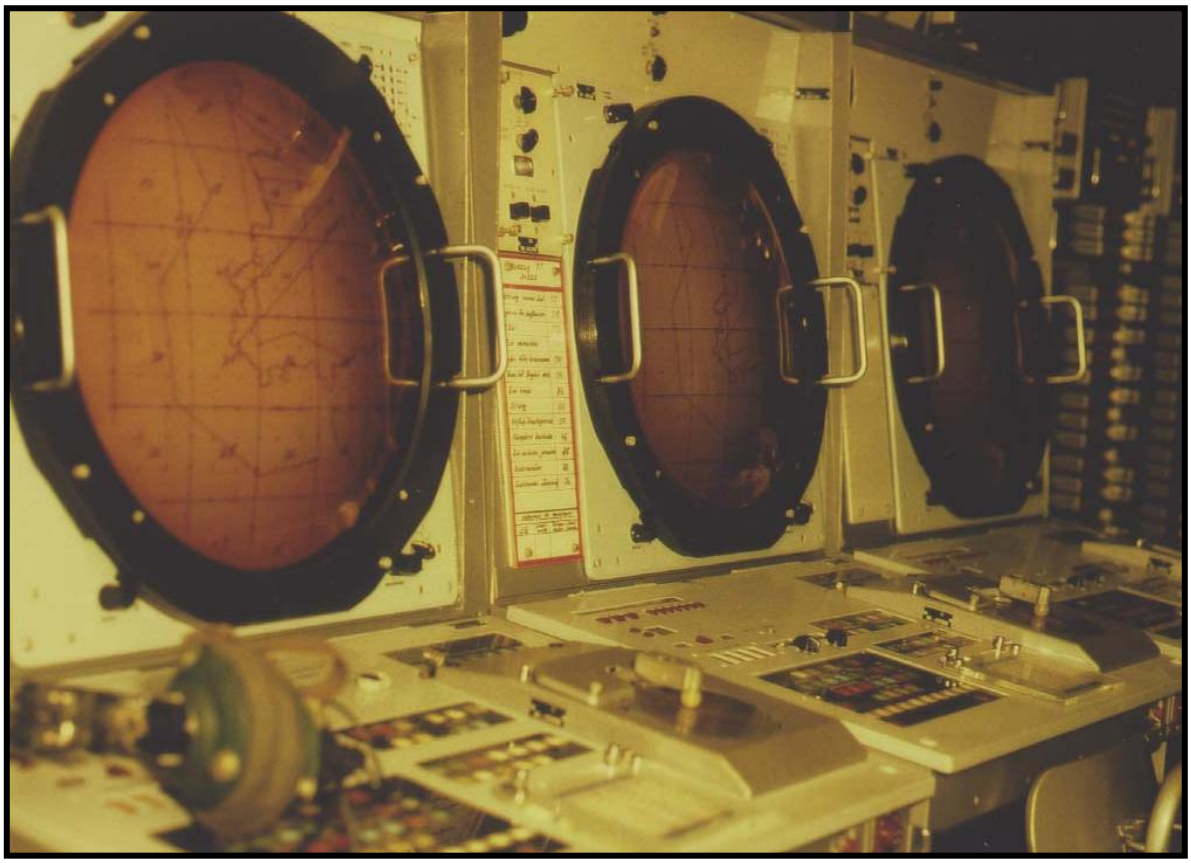
A SAGE teljesítménye is hasonlóan szerény volt mai szemmel nézve mérete ellenére, de mégis elképesztően fejlett volt a kor színvonalán.[524] Minden egyes irányító központban (directional center) 60 000 db vákuumcső, 175 000 db dióda és akkor újdonságnak számító 13 000 db tranzisztor volt 256 kB mágneses memóriával, ami 150 db képernyő számára tette lehetővé adatok megjelenítését. A rendszer teljes tömege 250 tonna volt, 75 000 művelet / másodperces sebességgel.

A mellékletek (szervezeti felépítés 1987-es állapot) és később az összefoglaló törzsanyagában látható MN szervezeti felépítésén látható, hogy a Volhov, Nyeva osztályok hogyan tagozódtak be és szervezeti felépítésen is látszik, hogy a felsőbb szintű AVR-ek hol voltak telepítve. Az Veszprémben levő „Sziklába" futottak be a rádiótechnikai osztályok radarjainak célkoordinátái illetve az Érden levő AVR koordinálta a légvédelmi rakétaosztályok működését Budapest körül. A 6 db rádiótechnikai (radaros) zászlóaljból 3 db tartozott 3 db légvédelmi rakétás egységhez (Sárbogárd, Érd, Miskolc), míg a maradék 3 db a 3 db magyar vadászezredhez (Kup-Veszprém, Kecskemét, Taszár). Az rádiótechnikai századok elhelyezkedése kijelölte a felelősségi zónákat.

[524] https://goo.gl/9e5kVr
http://ed-thelen.org/sage.html

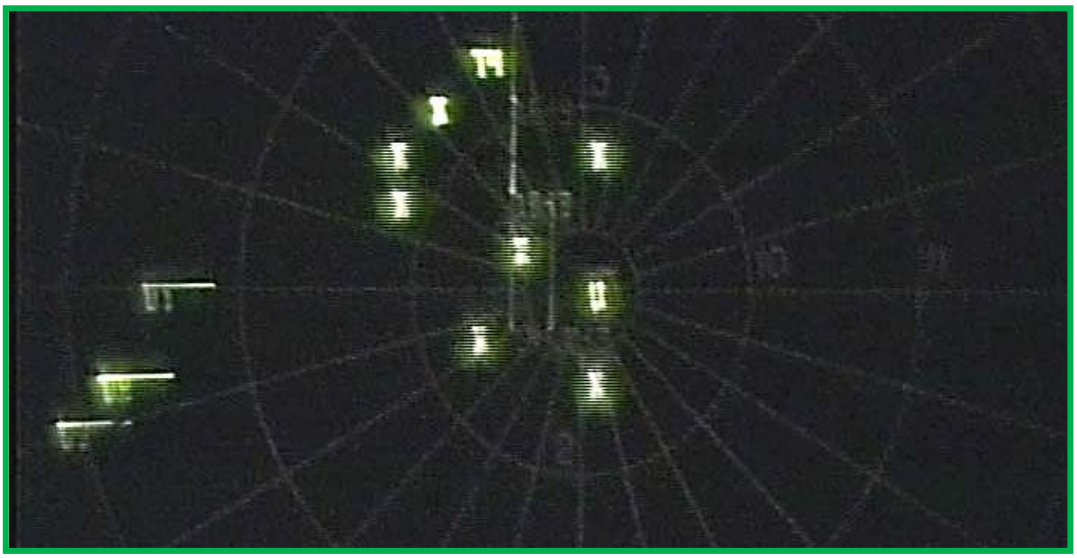
Almaz rendszer munkaállomásaink egy része és két megjelenítője, amire felvetíthető a légi helyzetkép.

A kivetítő üzem közben, Skandinávia északi része, és északi orosz területek. A térkép mérete szemléletes azt nézve, hogy az Almaz rendszert mekkora terület felügyeletére tervezték.



PORI AVR munkaállomásai. A több kijelző több operátor számára tette lehetővé ugyanazon légtér felügyeletét a célsűrűségnek megfelelően.

Vektor AVR munkaállomásai.



Vektor munkaállomás kijelzője, X - Sz-75/125 osztály, II - Sz-300PMU osztály, 01..03 – céljelek, 74 - zavaró célpont

A SAGE Subsector Command Post egysége, az irányító központ (DC) 3. emeletén. Figyelemreméltó a hasonlóság a későbbi szovjet-orosz Almaz rendszerrel.

6.2.4. Csapatlégvédelem

6.2.4.1. Bevezetés

A hidegháború alatt a szovjet légvédelmi rendszerek voltak dominánsak, nagy számban éles harci körülmények között szinte csak ezek demonstrálhatták képességeiket, ezért a szovjet mintájú csapatlégvédelem felépítésén és képességein keresztül kerül bemutatásra a téma. Az USA, NATO illetve más országok csapatlégvédelme, továbbá a Varsói Szerződés többi tagállamának képességei a szovjettel vannak összehasonlítva, kihangsúlyozva a felfogásbeli, illetve a mennyiségi minőségi különbségeket.

A csapatlégvédelmi eszközök használatának, működésének és szervezeti tagozódásához szükséges ismerni a szárazföldi haderők alapvető felépítését is legalább minimális mértékben. Némi eltéréssel minden haderő nagyjából a lent ismertetett szintezés szerint épül fel a legkisebb egységtől a legmagasabbig. Ettől sajátos helyi eltérések előfordulhatnak, például a dandár/ezred szint egyes fegyveres erőknél nem létezik vagy azok nagysága eltér a világátlaghoz képest, továbbá egyes fegyverrendszerek néha meglepő szervezetek állományába tartoznak vagy tartoztak, ezekről később konkrét példákon keresztül esik szó.

A szervezeti felépítés és ismertetés bemutatása nagyban támaszkodik Tarr Gábor, Hpasp és Kecskeméti Oszkár ismereteire, a velük folytatott levelezésre, a fejezet egyes részei a velük folytatott eszmecsere átemelt és szerkesztett változata.

Ez a fejezet nem a „szárazföldi haderők kisokosa”, csak olyan mértékben történik meg a szárazföldi fegyveres erők felépítésének a részletezése – némi kikacsintással – amit a csapatlégvédelem megkövetel, így lehetővé téve az arányok és képességek bemutatását.[525]

A mellékletek között megtalálható FM 100-2-3[526] The Soviet Army – Troops, organization & equipment dokumentum a lentinél sokkal részletesebben ismerteti a Szovjet Hadsereg szervezeti felépítését és felszerelését. Az FM 100-2-3 valószínűleg hibáktól korántsem mentes – hiszen részben hírszerzési anyagokra épít –, de részletessége és mérete miatt rendkívül hasznos anyag. Az összefoglaló ezen, továbbá a lektorok által pontosított adatokon, azok forrásain és ismeretanyagán alapszik.

A következő oldalon található táblázat segít nagyjából képbe kerülni, hogy egy alakulat mérete nagyságrendileg kb. mit jelent átlagosan a világ fegyveres erőiben.[527]

A lábjegyzetben[528] található videó a II. világháborús német páncélos hadosztályra vonatkozik, de a később bemutatott harcoló és támogató alakulatok hierarchikus felépítése, nagyságai és alapvető fogalmai igen jól látszódnak rajta.

Megjegyezendő, hogy a hidegháborús hármas tagozódású szovjet mintájú hadosztályszerkezet roppantul hasonlít a második világháborús németre. A videó tartalmának gerincének és elvének megismerése nagyban segít megérteni, hogy a szovjet összhaderőnemi felépítés miért is született meg és miért nézett ki úgy, ahogy.

[525] *A szárazföldi hadviselésről hasonló összefoglaló megírásának örömét meghagyom másnak.*
[526] *http://fas.org/irp/doddir/army/fm100-2-3.pdf, a mellékletek között is megtalálható.*
[527] *A táblázatot Kecskeméti Oszkár készítette.*
[528] *https://www.youtube.com/watch?v=rk-T-iNSdaw*

alakulat szint		méret	tagozódás	parancsnok	megjegyzés
raj	*squad*	3-15 fő	legkisebb harcászati alegység	őrmester / törzsőrmester / főtörzsőrmester	*az angolszász típusú hadseregekben lehetnek részei a fire team tűzcsoport; a harckocsi személyzete a raj; a repülő csapatoknál 2 géppárból áll – 4 db repülőgép.*
szakasz	*platoon*	30-50 fő	harcászati alegység (2-5 db raj)	hadnagy-főhadnagy	*lehet önálló is (egységek, magasabb egységek állományában);*
század - üteg	*squadron - battery*	75-200 fő	harcászati alegység (3-5 db szakasz)	főhadnagy - százados-esetleg őrnagy	*a tüzérségnél, légvédelmi csapatoknál üteg;*
zászlóalj - osztály	*battalion*	400-800 fő	harcászati egység (3-5 db század)	őrnagy	*a tüzérségnél, légvédelmi csapatoknál osztály (3-5 db üteg);*
önálló zászlóalj - osztály	*battalion*	400-800 fő	harcászati egység (3-5 db század)	alezredes-ezredes	*több támogató alegységgel rendelkezik; a tüzérségnél, légvédelmi csapatoknál osztály (3-5 db üteg);*
osztálycsoport		500-1000 fő	harcászati egység (2-3 db osztály)	alezredes-ezredes	*légvédelmi csapatoknál fordul elő;*
ezred	*regiment*	800-2000 fő	harcászati egység (3-5 db zászlóalj, osztály)	alezredes-ezredes	*aránylag kötött szervezeti forma, a repülő csapatoknál - wing*
dandár	*brigade*	2500–5000 (11000*) fő	harcászati egység	ezredes - dandár tábornok	*az ezredtől rugalmasabb a felépítése, tartozhat alá zászlóalj (osztály), osztálycsoport és ezred is. Az ezreddel azonos szintű, de nagyobb szervezet, nemzetekként változó; *Ausztria –Svájc esetében ezek lényegében hadosztály méretű egységek.*
dandár harccsoport	*brigade group*	4000–5000 fő	harcászati egység	ezredes - dandár tábornok	*nemzetközi kontingenseknél alkalmazzák eseti jelleggel. A US NAVY-ben a Regimental Combat Team (RCT) néven alkalmazzák, az USMC-nél Brigade Combat Team BCT); gyakorlatilag egy megerősített dandár*
hadosztály	*division*	10 000–15 000 fő	hadműveleti - harcászati magasabbegység (2-4 db ezred,v. dandár)	dandár tábornok-vezérőrnagy	*hosszabb ideig képes teljesen önállóan harctevékenységet folytatni,*
hadtest	*corps, legion*	25 000–60 000 fő	hadműveleti magasabbegység (3-5 db dandár, v. hadosztály)	vezérőrnagy, altábornagy	*a hadsereggel azonos szintű, de attól kisebb szervezet, ritkán alkalmazzák, a létszám és harci technika függvénye, hogy hadtestbe vagy hadseregbe szervezik a dandárokat, hadosztályokat.*

hadsereg	*army, field army*	40 000–200 000 fő	hadműveleti magasabbegység (3-8 db hadosztály, dandárok, ezredek)	altábornagy, vezérezredes	*Feladata hadműveleti célok elérése, hadászati feladatok támogatása érdekében; Lehetnek benne hadtestek is, de alapvetően hadosztályok, dandárok alkotják, dandár v. ezred szintű közvetlen alakulatokkal.*
seregtest, hadseregcsoport	*army group*	400 000– 1 500 000 fő	hadászati magasabbegység, 3-6 db hadsereg	altábornagy, vezérezredes, hadseregtábornok (marsall)	*Békeidőben a legmagasabb szintű katonai szervezet; A hadseregcsoportban lehetnek seregtestek, általában 2 db, de alapvetően hadseregeket foglal magában;*
Front	*front*	400 000– 1 500 000 fő	hadászati magasabbegység	altábornagy, vezérezredes	*A front háború esetén kerül megalakításra a hadászati feladatok végrehajtása érdekében. A legmagasabb szintű katonai harcoló szervezet;*

A Magyar Néphadsereg (a továbbiakban MN) 1986-ig a szovjethez igen hasonló (lényegében egyező) szervezeti felépítést használt, ez kék keretes írást követő ábrán látható 1987 után a MN egy egészen más szervezeti felépítésre állt át, a klasszikus szovjet és Varsói Szerződésben használttól eltérőre. A második világháború előtt és utána alkalmazott „hármas rendszerről" a „négyes rendszerre". Az előbbiben 3 db zászlóalj alkot 1 db ezredet (plusz támogató alakulatok), 3 db ezred 1 db hadosztályt (plusz támogató alakulatok), az utóbbiban 4:1 db mennyiségi arány áll fenn.

1987-től az új felépítés alapegysége a dandár lett, azokat tagolták be hadtestekbe. A várható ellenfél, az olasz haderő szervezeti felépítése is ilyen volt akkor, valószínűleg ez volt az átalakítás egyik mozgatórugója. Mivel ez felépítés eltér szovjettől és a VSz-ben általánosan megszokottól, ezért itt nem ismertetem, de a mellékletek között az 1987 előtti és utáni szervezeti ábrák is megtalálhatóak, pusztán összehasonlítás végett.

Egyes VSz tagállamok is dandárokban szerveződtek (pl. Bulgária), de a NATO fő erejével szemben álló csehszlovák, lengyel és keletnémet hadseregek a szovjet zászlóalj --> ezred --> hadosztály szervezeti felépítést használták.

Az összefoglaló nagy általánosságban a '70-es évektől tárgyalja a csapatlégvédelmet, mert a szovjet fegyveres erőkben addigra terjedtek el számottevő mértékben a bemutatott eszközök. A VSz tagállamok a '70-es évek közepétől kezdték ezeket hadrendbe állítani, azonban ez a folyamat egészen a '80-as évek legvégéig nem zárult le, illetve ahogy később látni fogjuk, annak mértéke és üteme jelentősen elmaradt a szovjetekétől.

A következő kiegészítést Ambasa készítette, kismértékben van kiegészítve illetve szerkesztve.

*A seregtest egy összefoglaló elnevezés, nem önálló szervezet. A hadtudományi lexikon szerint: „hadműveleti, vagy hadászati feladatok megoldására létrehozott katonai szervezet **általános** megnevezése. Lehet hadtest, hadsereg, hadseregcsoport (szerintem még hadosztály és dandár is, de ez már az én véleményem). Létezik egyébként a csapattest elnevezés is, amely alatt az ezredeket és az önálló zászlóaljakat értették, pl. a Magyar Királyi Honvédségben.*

Én az önálló zászlóaljat nem érzem külön szervezeti lépcsőnek, ilyen alapon bármely önálló (vagy régebbi kifejezéssel hadsereg, vagy fővezérség közvetlen) egység lehet az. A front csak a szovjeteknél létezik, gyakorlatilag a békében hadseregcsoportnak nevezett szervezetet háborúban frontnak nevezik át, nem önálló szervezeti lépcső.

Érdemes néhány alapvető fogalmat tisztázni, mert tapasztalatom szerint nagy a zűrzavar a használata közben, és sokan úgy használják, hogy azt sem tudják mit jelent csak nagyon szakszerűnek akarnak látszani.

***alegység:** kötelékben lévő (azaz nem önálló) zászlóalj (osztály), század (üteg), szakasz, raj.*

***egység:** közigazgatásilag és gazdaságilag önálló katonai szervezet. Törzsből (parancsnokság)és alegységekből áll. Ezek általában az ezredek és az önálló zászlóaljak.*

***magasabbegység**: több egységet és magasabbegységet, valamint vezetői és kiszolgáló szervezeteket magába foglaló szervezet, amely lehet összfegyvernemi, illetve szakcsapat. Ezek a dandárok, hadosztályok, hadtestek. A háború előtti magyar katonai nyelvezetben ezeket értették seregtest alatt.*

***haderőnem:** a szárazföldi csapatok, a légierő, és a haditengerészet, egyes helyeken önálló haderőnem a légvédelem, a hadászati rakétacsapatok, vagy akár a tengerészgyalogság (pl. US Marine Corps), vagy a parti őrség (pl. US Coast Guard).*

***fegyvernem:** Leegyszerűsítve azon jellegű csapatok, amelyek akár önállóan képesek területet elfoglalni és megtartani. Konkrétan ilyenek a lövészek (gyalogosok), a harckocsizók (páncélosok) és a tüzérek. Más haderőnemeknél mint pl. a légierőknél külön fegyvernem a vadászok, a bombázók, vagy a szállító repülők, míg a haditengerészetekben a tengeralattjárósok, vagy a felszíni hajók, a repülők, vagy a partvédelemi tüzérség alkotnak külön fegyvernemeket.*

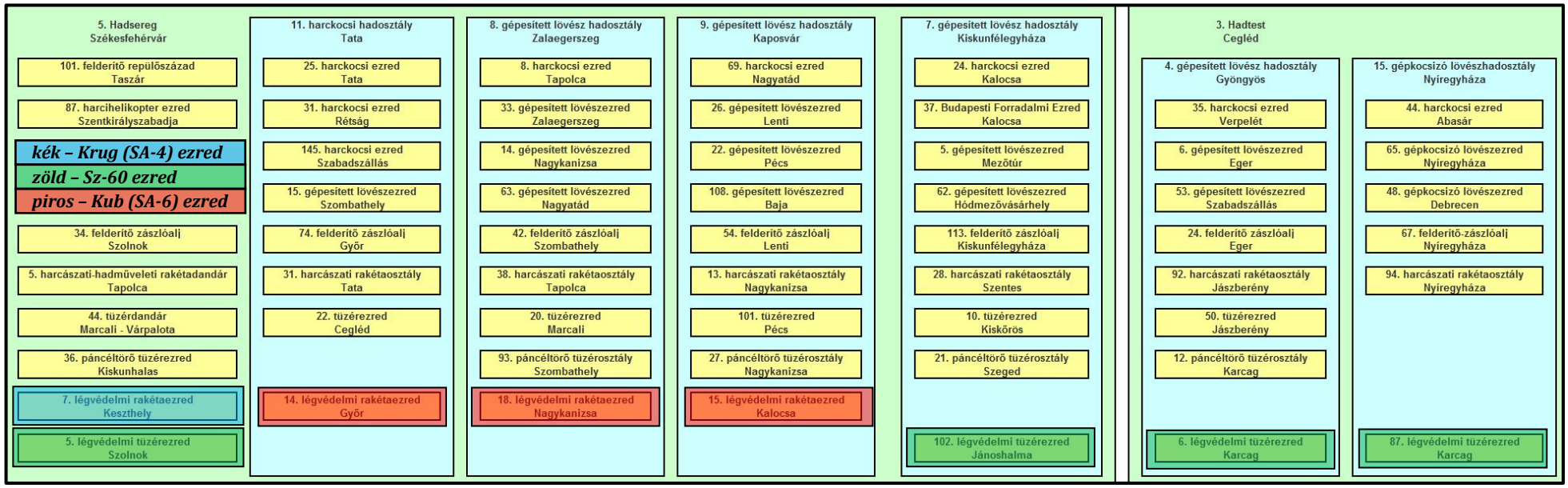
***szakcsapat**: minden más ami nem fegyvernem az szakcsapat, ilyenek pl. a híradósok, a műszakiak, az ellátók stb.*

Ma a NATO-sítás szerint újabb elnevezések is bekerültek, amelyek csak részben fedi a korábbi kategorizálásokat

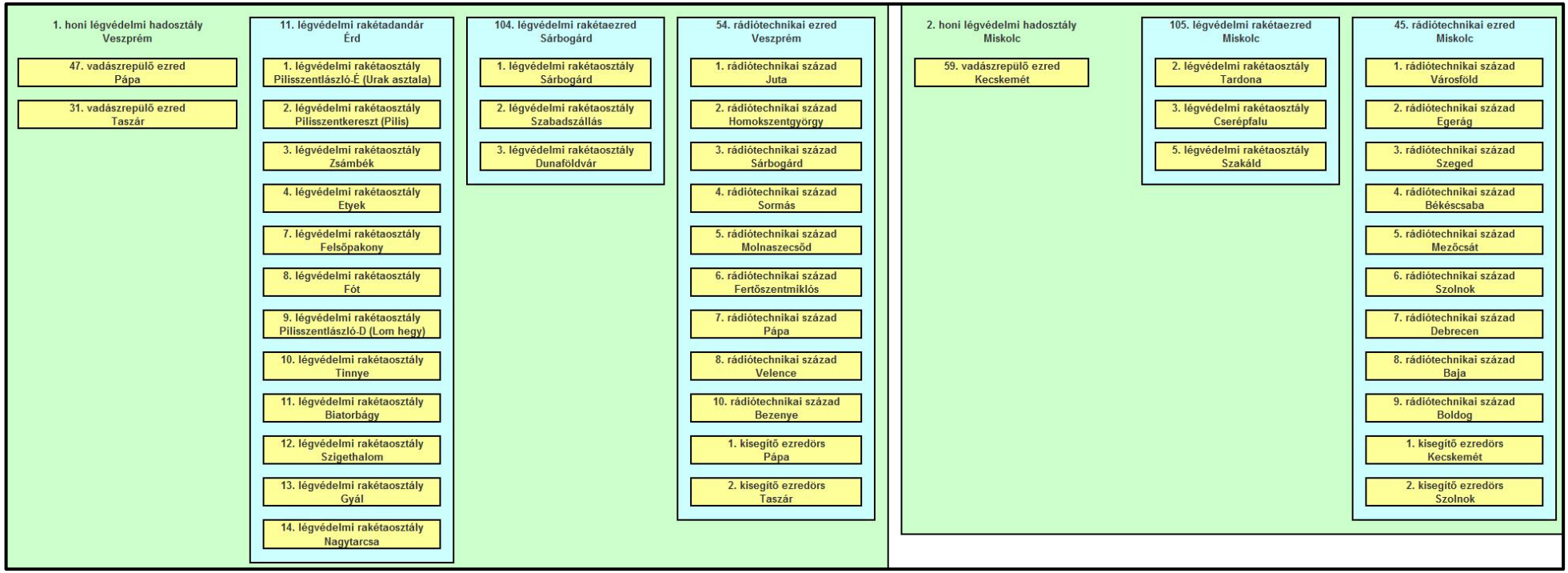
***harcolók:** lövészek (gyalogosok), páncélosok (harckocsizók)*

***harctámogatók**: tüzérek, légvédelmisek*

***harcbiztosítók**: műszakiak, híradósok, ellátók stb.*



A MN felépítése 1986-ban. Felül a szárazföldi harcoló hadosztályok csapatlégvédelemmel és harctámogató alakulatokkal, alant a honi légvédelem felépítése.



6.2.4.2. Szovjet mintájú csapatlégvédelem felépítése

Egy hadosztály, hadsereg vagy hadszíntér (front) parancsnok nem képes mindent ellenőrzése alatt tartani a vezetési pontjáról, kénytelen beosztottaira és alárendeltjeire hagyatkozni. A légvédelmi rendszerek feletti irányítás, azok alkalmazhatósága, képességei és mennyisége is eszerint lettek kialakítva és skálázva.

A szovjet összhaderőnemi koncepcióban a legkisebb manőverező egység a zászlóalj. Az összhaderőnemi koncepció azt jelenti, hogy zászlóalj szinten is rendelkezik az egység minden szóba jöhető célpont ellen fegyverzettel, még ha nem is csúcskategóriással. A zászlóaljak már a zászlóalj szintű eszközökkel is képesek mindenféle típusú célpont ellen harcképességet felmutatni. Repülőgépek és helikopterek ellen a vállról indítható rakétával (pl. Sztrela-2), harckocsik ellen harckocsival, a gyalogság irányított páncéltörő rakétáival (pl. 9M113 Konkursz), hátrasiklás nélküli lövegeivel (SzPG-9) vagy nem irányított páncéltörő rakétával (pl. RPG-7) vagy gyalogsági harcjárműről indított irányított páncéltörő rakétával és gyalogság ellen a saját gyalogsággal és miden szóba jöhető tűzfegyverével. A későbbiekben látni fogjuk, hogy a felsőbb szintekhez tartozó (pl. ezred vagy hadosztály szintű) támogató egységekkel a zászlóaljak harcképessége ennél lényegesen magasabb is lehetett.

Az szovjet / VSz haderő felépítése egészen szakasz méretű egységektől kezdve vizsgálható lenne, de az összefoglaló szempontjából, a légvédelem mennyiségi és minőségi vizsgálatának szempontjából szükségtelen, ezért az összefoglaló zászlóalj szinttől tárgyalja csak a felépítést. Szovjet és VSz hármas rendszerű tagozódásában alapvetően kétféle zászlóaljat különböztettek meg a klasszikus „harcoló" ezredeknél, gépesített lövész és a harckocsizó zászlóaljakat. Ez a megkülönböztetés létezik és folytatódik ezred, hadosztály sőt, egészen hadsereg szinten is.[529]

Zászlóalj:

- Egy harckocsi zászlóalj állományába 30+1 db közepes harckocsi tartozott, a +1 db a zászlóalj parancsnoki járművet takarja.
- Egy gépesített lövész zászlóalj [530] állománya kb. 40-50 db páncélozott szállító jármű[531] és/vagy lövészpáncélos (gyalogsági harcjármű)[532] köztük 2 db parancsnoki járművel.

Ezred:

- Egy harckocsi ezred állományába 3 db harckocsi zászlóalj tartozott, ez 3x31 db + 1 ezred parancsnoki harckocsi, tehát névleges állomány 94 db.
- Egy gépesített lövész ezred állományába 1 db harckocsi zászlóalj és 3 db gépesített lövész zászlóalj tartozott, ez kb. 120 db PSzH / lövészpáncélost és 31 db harckocsit jelentett névlegesen.

---

[529] *Harcoló alakulat alatt értjük azt, ami „látótávolságban" küzdi le az ellenfelet, amik harckocsi, lövészpáncélos, páncéltörő rakétás lövészpáncélos vagy gyalogsági egységekből épül fel, nem ballisztikus rakéta, tüzérségi, légvédelmi vagy más rendeltetésű pl. rádiótechnikai alakulat. Ezeket harctámogató vagy röviden támogató alakulatok megnevezéssel kezeli az összefoglaló a továbbiakban.*

[530] *Az angol terminológia máshogy különbözteti meg a gumikerekes és lánctalpas járművekkel ellátott alakulatokat. A gumikerekes alakulatok „motorized", a lánctalpas járművekkel operáló alakulatok „mechanized" elnevezést kapták. Angol művek magyar fordításában az előbbiek „gépkocsizó lövészként" szerepelnek jellemzően. A magyar terminológiában ténylegesen az a gépkocsizó lövész, akit nem páncélozott járművön szállítanak, így lehet, hogy magyar alakulatok is egy ideig gépkocsizó lövészek voltak, míg mások gépesítettek, annak függvényében, hogy milyen ütemben kapták meg a PSzH-ikat. (A második mondat Ambasa megjegyzése.)*

[531] *APC – armored personnel carrier, páncélozott szállító jármű, PSzH,*

[532] *IFV – infantry figthing vehicle, lövészpáncélos*

Ezen felül még volt a felderítő századának úszó-harckocsi szakaszában PT-76 könnyű, kéltű harckocsi. Ezek tűzereje és páncélvédettsége össze sem mérhető a klasszikus T-54/55/62/72/80 bármelyik harckocsi páncélvédettségével és tűzerejével. Természetesen a feladatuk sem azonos azokéval, az ellenfél könnyű fegyverzetű felderítő erőinek leküzdéséhez és tűztámogatásra vannak ezek a harckocsik.

Hadosztály:

- Egy harckocsi hadosztályhoz 3 db harckocsi- és 1 db gépesített lövészezred tartozott.
- Egy gépesített lövész hadosztályhoz 3 db gépesített lövész- és 1 db harckocsi ezred tartozott.

Fontos megérteni, hogy a zászlóaljak, ezredek és hadosztályok kemény magját a harcoló alakulatok biztosították, de ahhoz eredményes tevékenységéhez a támogató alakulatok is nélkülözhetetlenek. Ilyen támogató alakulatok minden szervezeti szinten léteznek, azok mérete és képességeik nagysága az, ami változik. Már a gépesített lövész zászlóalj is rendelkezett támogató alakulatokkal, pl. tüzérségi támogatással (aknavető üteg), a légvédelmi szakasszal és híradós szakasszal.

Ezred szinten is létezik híradós alakulat, csak már nem híradós szakasz, hanem híradós század, aknavető helyett a 122 mm tüzérségi zászlóalj ad tűztámogatást, légvédelmi szakasz helyett légvédelmi üteg van az ezredhez rendelve.

Hadosztály szinten felderítő zászlóalj, tüzérezred (rakétás-, önjáró vagy vontatott tüzérségi löveggel), műszaki zászlóalj, híradós zászlóalj, vegyvédelmi század, egészségügyi/orvosi zászlóalj, helikopter század (harci vagy szállító), légvédelmi ezred, stb. álltak rendelkezésre.

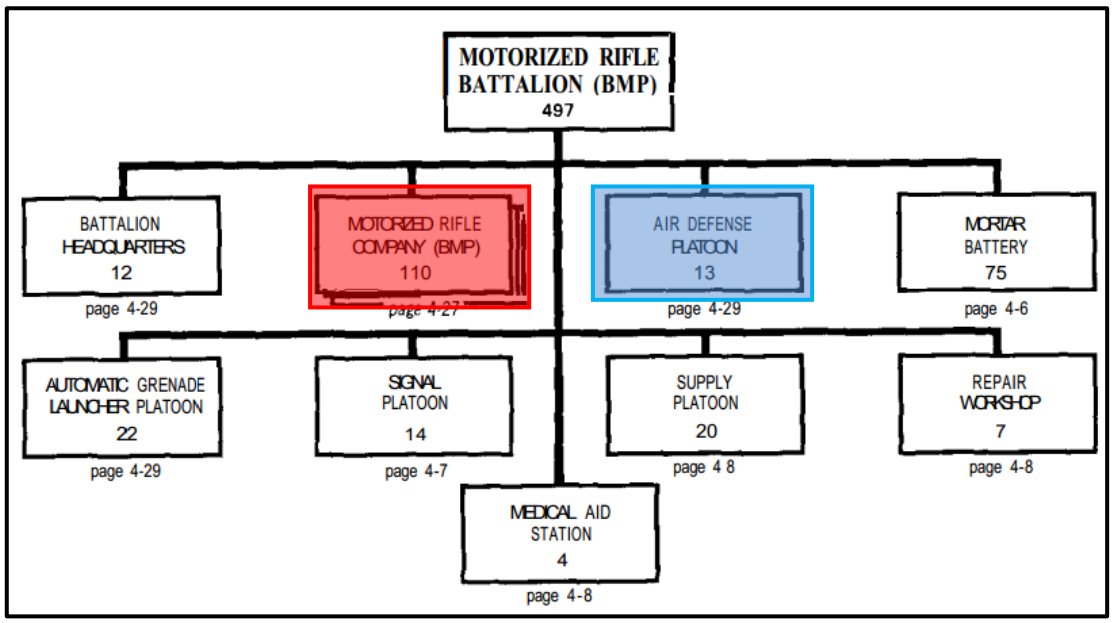
Tehát a támogató alakulatok mérete azzal arányosan nő, hogy milyen szervezeti szinten levő egységet támogat, hogy mihez van hozzárendelve. Természetesen a megnevezése is ezen alapszik az alakulatoknak.

Egy harckocsi vagy gépesített lövész ezrednek a „harcoló” 3+1 zászlóaljának állománya felülmúlta egy légvédelmi ezredét, ahogy egy lövész szakasz mérete is nagyobb, mint a vállról indítható légvédelmi rakétát használó légvédelmi szakaszé, de azért összemérhetőek. Egy harckocsi ezred teljes személyi állománya névlegesen kb. 1600 fő, egy Osza vagy Kub ezredé kb. 500 fő.

A már említett FM 100-2-3 dokumentumban a fent felsorolt alakulatok és szervezeti szintek több ábrán szerepelnek különféle típusú egységekre részletesen kibontva, a lentiekben csak néhány szerepel, amik a csapatlégvédelem mennyiségi és minőségi értelmezéséhez, a légvédelem rétegződésének megértéséhez szükséges.

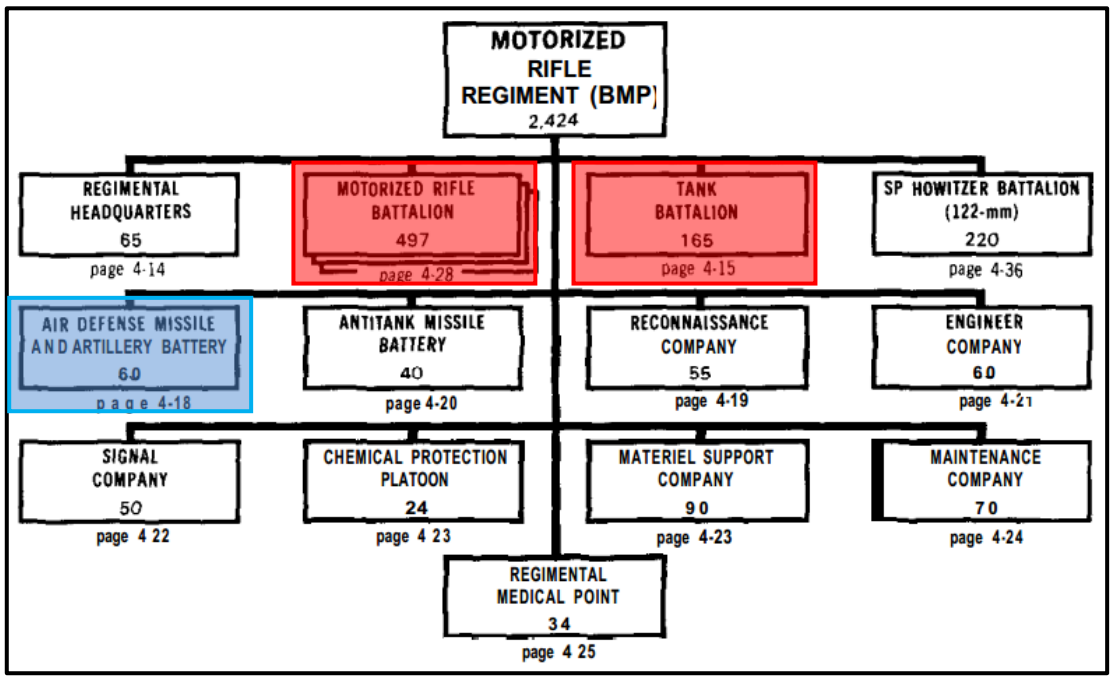
A fenti elnevezésekkel és méretbeli skálázással remélhetőleg sikerült képbe hozni az olvasót és ennek segítségével érthetővé válik a Varsói Szerződés illetve más országok fegyveres erőinek szervezeti és azok légvédelmének felépítése.

A következő oldali felső ábrán egy szovjet mintájú gépesített lövész zászlóalj elemei láthatóak, pirossal jelölve a fő harcoló századok, illetve kékkel a zászlóalj szintű légvédelmi alakulattal, a légvédelmi szakasszal.

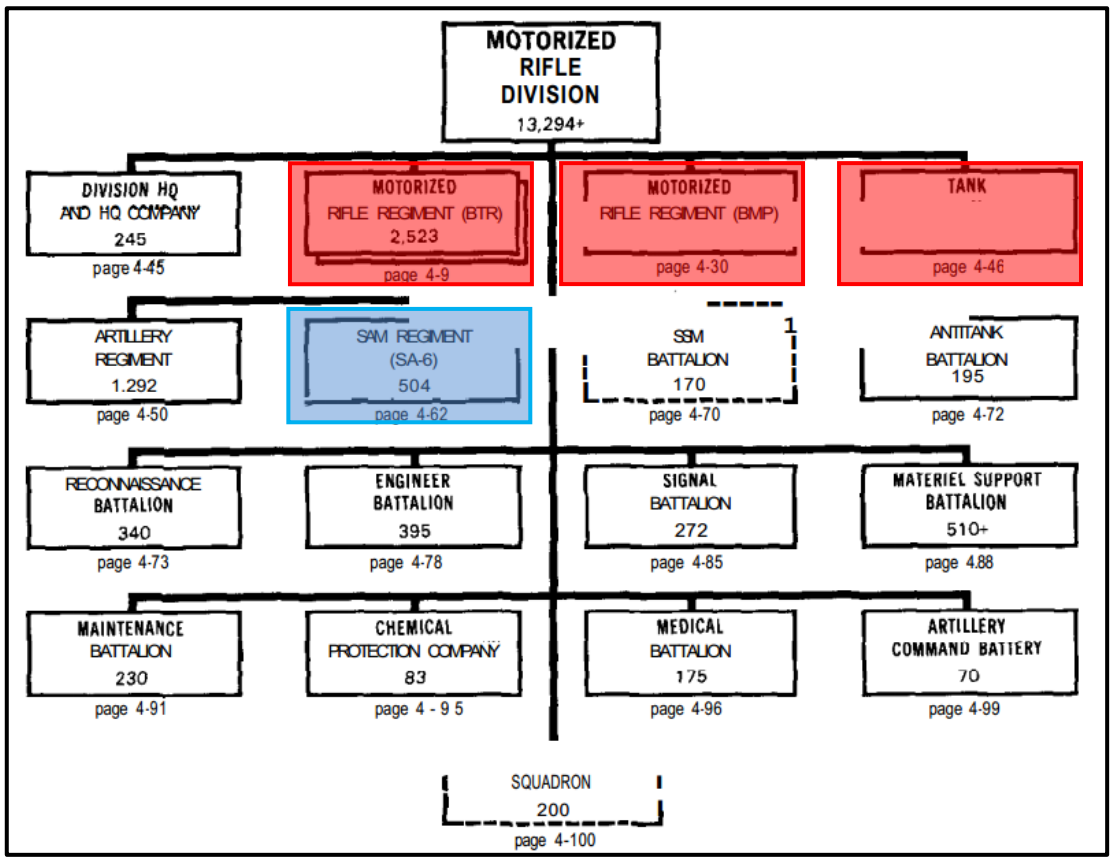


Egy gépesített lövész zászlóalj „harcoló" (piros) századokkal (company, 3db), a támogató szakasz szintű alakulatokkal és az aknavető üteggel (mortar battery). A kék téglalap jelzi a légvédelmi alakulatot, a légvédelmi szakaszt (platoon.)

A lenti ábrán egy gépesített lövész ezred elemei láthatóak, pirossal a fő harcoló zászlóaljak – gépesített lövész illetve harckocsi zászlóaljak –, kékkel a zászlóalj szintű légvédelmi alakulattal, a légvédelmi üteggel.



Egy gépesített lövész ezred, „harcoló"(piros) zászlóaljakkal (battalion, 3 db motorized rifle és 1 db tank), a támogató század szintű alakulatokkal és légvédelmi (kék) üteggel. Az ábrán látható a támogató alakulatok méretbeli és képességbeli szintezése is, a tüzérségi támogatást itt már 122 mm-es önjáró tüzérségi löveggel (2S1 Gvozgyika) rendelkező zászlóalj biztosítja (SP howitzer battalion.)



Egy gépesített lövész hadosztály, „harcoló" (piros) ezredekkel (regiment, 3 db motorized rifle –ebből kettő BTR és egy BMP járművekkel – és 1 db tank), század szintű támogató a vegyvédelmi (chemical protection), zászlóalj szintű a felderítő (reconnaissance), egészségügyi (medical) ,és ezred szintű a tüzérezred (artillery), légvédelmi rakéta ezred (kék).

A fent szereplő ábrán egy gépesített lövész hadosztály elemei láthatóak, pirossal a fő harcoló ezredek – gépesített lövész illetve harckocsi ezredek –, kékkel a hadosztály szintű légvédelmi alakulattal, a légvédelmi ezreddel. (Az ábrán 2K12 Kub/SA-6 szerepel, ami nem egészen pontos, lásd később.)

A fenti ábrákon az alakulatok téglalapjában a számok az adott egység névleges személyzeti állományát mutatják, ezekből kiszámolható, hogy „harcoló alakulatok" nagyjából felét-kétharmadát teszik ki egy zászlóalj/ezred/hadosztály állományának. Hadosztály esetén ez az arány lefelé tolódik el, mert nagyobb arányt képviselnek a támogató egységek és azok felszerelése is komolyabb.

Egy gépesített lövész (összfegyvernemi) hadsereg 1 db harckocsi és 4 db gépesített lövész, míg egy harckocsi hadsereg 4 db harckocsi és 1 db gépesített lövészhadosztályból (division) állt. A Magyar Néphadsereg felépítését bemutató ábrán látható, hogy egy hadsereg a hadosztályba sorolt alakulatokon felül is rendelkezett még további harcoló és támogató alakulatokkal, amik egyik hadosztályhoz sem tartoztak. Ezek képezték a hadsereg szintű tartalékot illetve biztosítottak egyfajta rugalmasságot és persze látták el az alapfeladatot is a légvédelmet nézve. A hadsereg szintű légvédelem is ide van besorolva, a hadsereg szintű légvédelmi ezred (Magyarországon) vagy dandár (Szovjetunió).

Fontos megérteni azonban békeidős, és a háborús szervezetek közötti különbségeket. Békeidőben állhatott hadsereg 4-5 db hadosztályból, egy hadtest 2-3 db hadosztályból, ezek betartották a nemzeti határokat. Háborúban viszont egy front 2 db vagy 3 db hadseregből állt a hadászati irány fontossága alapján, a hadsereg elvileg mindig 5 db hadosztályból állt. Délnyugati irányban Magyarországon a következő egységek voltak (sorszám, állomáshely):

- Magyar Néphadsereg: 1 db harckocsi hadosztály (11. Tata), és 5 db gépesített hadosztály (8. Zalaegerszeg, 9. Kaposvár, 7. Kiskunfélegyháza, 4. Gyöngyös, 15. Nyíregyháza)

- Szovjet Déli Hadseregcsoport: 2 db harckocsi hadosztály (13. Szentkirályszabadja, 19. Esztergom), és 3 db gépesített hadosztály (254. Székesfehérvár, 93. Kecskemét, 30. Zólyom)

Így állt volna össze 1 db front (másodlagos stratégiai irányban) 2 db hadsereggel és 1 db tartalék harckocsi hadosztállyal, összesen (2x5 + 1) = 11 db hadosztállyal. (Valószínűleg a szentkirályszabadjai volt tartalék harckocsi hadosztály, azt vonták ki elsőnek a szovjet kivonuláskor, de egyesek szerint az ungvári volt a tartalék hadosztály.) Az NSZK–NDK–Csehszlovákia irányban a frontot 3 db hadsereg alkotta volna, 2 db gépesített lövész és 1 db harckocsi hadsereggel.[533]

A fentiekből az is következik, hogy a szovjet és a VSz tagországok haderőit önmagában vizsgálni értelmetlen, mert háború esetén ezek együttesen álltak volna össze közös vezetésű hadsereggé és alkottak volna egy frontot a szovjet erőkkel és egyik sem önállóan tevékenykedett volna. Ez viszont megborítja az elméleti mennyiség ismertetését nemcsak a légvédelemnél, hanem az egész VSz katonai képességeit nézve. A VSz tagországoknál az alakulatok feltöltöttsége sokszor hiányos volt, ezért emiatt a front légvédelme egyáltalán nem lett volna egyenszilárd sem mennyiségileg, sem minőségileg, ahogy a harcoló alakulatok erejét nézve sem, lásd később.

A források értelmezése során az összefoglaló megírásában segédkezők között nem alakult ki teljesen egységes álláspont aszerint, hogy egy front összetétele mennyire lett volna fix, azaz hogy a hadsereg valóban 5 db, illetve a front (2x5 + 1) db hadosztályból állt volna. Az afganisztáni invázió és hadjárat idején a fentitől lényegesen eltérő felépítés is volt, ezen a ponton ambasának átadom a szót.

„Egyébként, hogy mennyire nem merev a rendszer háborús időkben, arra jó példa szovjet 40. hadsereg szervezete, amely Afganisztánban harcolt, nem öt hadosztályból áll, hanem csak három gépesítettből (és nem rendelkezett szervezetszerűen harckocsi hadosztállyal), a támadás idejére hiányzott egy hadosztálya ezért a központi tartalékból (Belorussziából) alárendeltek egy légideszant hadosztályt, viszont számos megerősítő erővel is rendelkezett (5 db önálló dandárral és 4 db önálló ezreddel) (1979-80.). Később megkapta a hiányzó hadosztályát, viszont kivonták a légideszant hadosztályt és csak két dandárja és három ezrede volt (1982.)”

Ellenben más forrásokból kiolvasható, hogy a teljes VSz + szovjet hadosztályokból mindig (?) 5 db hadosztállyal bíró hadseregekből álltak volna össze egy tartalék harckocsi hadosztállyal.[534] Ezzel szemben az FM 100 2-3 viszont intervallumokat ad meg a hadseregenkénti hadosztályok tekintetében. Ez esetben viszont az homályos, hogy a hadsereg és front szintű légvédelem hogyan szerveződne, mert elég hihetetlennek tűnne az, hogy egy pl. 3+3 hadsereges hadseregcsoport (Front), front szintű és hadsereg szintű légvédelme mennyiségileg és/vagy minőségileg ugyanaz lenne, mint egy 2 db hadsereges, hadseregenként 5 db hadosztályos hadseregcsoporté nem beszélve arról, ha még a hadosztályok mennyisége sem azonos.

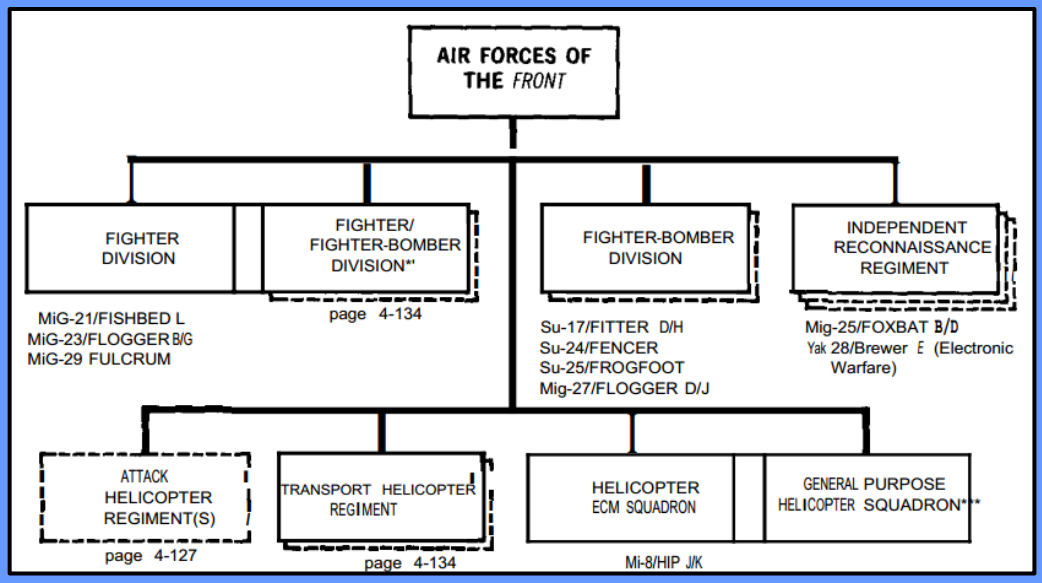
A fentiek ellenére a továbbiakban mindig öt hadosztályos hadseregekkel számol az ismertető, mert ezt több forrás támasztja alá, általános esetként véve ezt tűnik célravezetőnek. Abszolút igazság nincs ezen a

[533] *A fenti két bekezdés Hpasp kiegészítése szerkesztve a békeidős és háborús felálláshoz képest.*
[534] *Ez a leírás a mellékletben megtalálható, angol nyelven.*

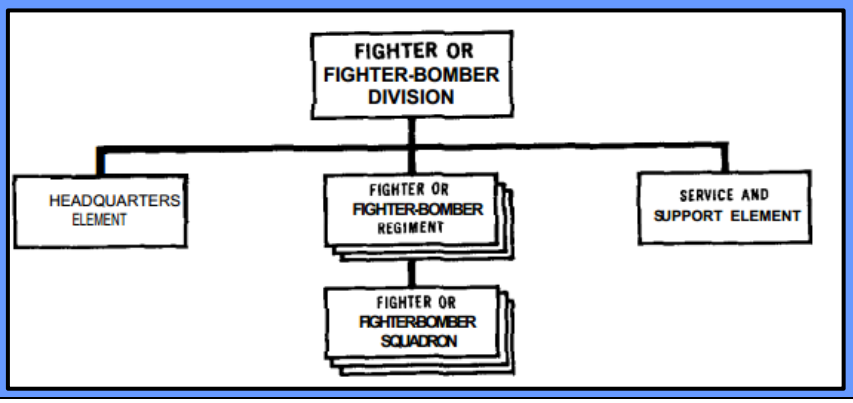
téren, nem is annak elérése a cél most, hanem az idealizált átlagos eset, illetve az abból levezethető valós képességek.

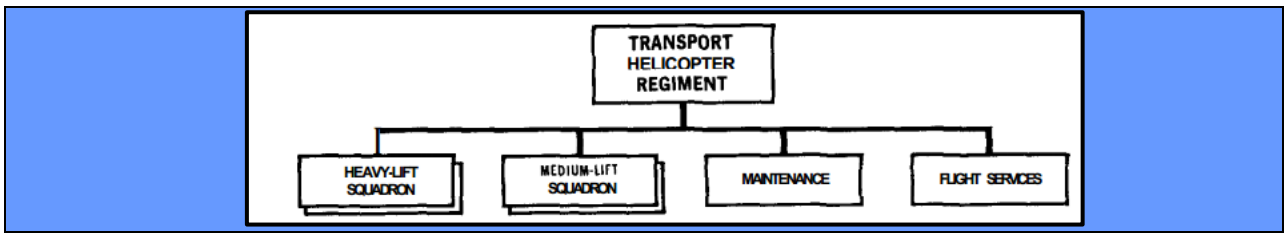
Az FM 100-2-3 a fenti diagramokat egészen front szintig végig bontja, annak 162. oldalán látható a front átfogó szervezete, amiből kiviláglik, hogy mennyire összetett és sokrétű alakulatból épül fel egy teljes hadest állománya. Néhány további szervezeti diagram az összefoglaló alapvető témája miatt lent szerepel, amin a front/hadseregcsoport számára rendelkezésre álló repülőerő állomány látható. Mivel az összefoglaló nem csak a légvédelemről szól ezért ide kívánkozik ez a rövid kitérő.

Egy front (hadseregcsoport) repülő ereje 3-5 db vadász/vadászbombázó hadosztályból állt, ami mellé tartozott független felderítő és elektronikai zavaró ezred is. Szállító helikopter ezred és elektronikai zavaró helikopteres század is része volt a front állományának, de adott esetben a szárazföldi haderő hadosztályokhoz rendelt harci helikopterein felül a front légiereje (Frontrepülő Csapatok) is rendelkezett harci helikopterekkel.



A vadász/vadászbombázó hadosztályok jellemzően három ezredből épültek fel, egy ezred három századból. Egy század állománya 15-18 db harci gép volt. (Századonként 3-4 db kétüléses kiképző-gyakorló géppel, amelyek nem voltak teljes harcértékű harcigépek. Tehát egy fronthoz tartozó Frontrepülő Csapat ereje nagy szórást mutatott, akár 300-750 db merevszárnyú harci repülőgép lehetett az állomány nagysága. A szállító helikopteres ezred két nehéz szállító helikopter típusa Mi-6/26, a közepes szállító helikopter a Mi-8/17 volt. Az ezred névleges állománya 24/32 db volt ezekből.





Szovjet / VSz légvédelmi felépítés mennyiség és minőségi rétegződése a ’80-as évek végén elméletben a lentiekben szereplően épült fel. Azért elméleti és névleges mert nem minden alakulatot fegyvereztek át korszerűbb technikára, ezért egyes hadosztályok eszközei adott esetben még a korábbi generációt képviselték. Ezen felül az alakulatok feltöltöttsége technikával és személyzeti oldalon hatalmas szórást mutatott attól függően, hogy melyik országban levő szovjet vagy melyik VSz tagország melyik hadosztályáról volt szó.

A szovjet hadosztályok mindig korábban kapták meg a legkorszerűbb technikát, a VSz tagországokhoz képest akár 5-10 évvel korábban is sőt, egyes harceszközök exportja fel sem merült, pl. sem a T-64 sem a T-80 harckocsi család egyetlen változatát sem exportálták a hidegháború alatt, kizárólagos alkalmazójuk a Szovjetunió volt. A minőségi elmaradásra példa, hogy amikor az szovjet erők már nem használták pl. a 9K32 Sztrela-2-őt vállról indítható rakétát és helyette a 9K38 Igla vagy 9K310 Igla-1 állt hadrendbe, addig az MN-ben vagy más VSz tagországokban Igla-1-et megelőző MANPAD generáció elterjedtnek számított még a ’80-as évek legvégén is.

A VSz tagországok közül még a „bezzegország” NDK-ban sem volt meg az összes hadosztálynál a szovjettel azonos mennyiségű és minőségű légvédelem, nemhogy a Magyar Néphadseregben, bár a többi tagországgal összevetve érdekes módon egyes területeken a MN nem is állt annyira rosszul.

Történelmi okokból régebben használt eszközök felsorolása is megtörténik a ’80-as évek végi állapothoz képest, ez által érthető meg a fejlődés. A mellékletek között elérhető Excel táblázatban[535] látható a hadrendbe állított szovjet-orosz légvédelmi rendszer evolúciós fejlődési fája, továbbá a táblázat azt is tartalmazza, hogy melyik légvédelmi rendszer melyik szervezeti szinthez tartozott.

A következőkben csak az adott szervezeti szinten levő eszközök felsorolása történik meg, egyre fentebb lépve az alsóbb szinteken levő „kumulált” mennyiség nem, a teljes mennyiség összegzése később található meg.

Ahol légvédelmi járművek alkotják az egység állományát ott természetesen nem csak azok alkotják azt az egységet – ahogy honi légvédelmi rendszereknél sem csak a rakétaindító járművekből és radarokból állt egy osztály –, hanem az azt kiszolgálókból is. Teherautókból, tartálykocsikból, parancsnoki járművekből, stb. Ezek az összefoglalóban nem szerepelnek, de aki ezekre is kíváncsi, az FM 100 2-3-ban megtalálja azokat.

Az FM100 2-3 nem mindenhol pontos, az abban található ellenőrzött információkat egészítettem ki a lektorok adataival. A légvédelmi eszközök harcászati paramétereinek bemutatására későbbi fejezetben kerül sor.

[535] ***Szovjet-légvédelmi-rendszer-evolúció [HUN].xls.*** *A táblázatot Hpasp készítette, csak magyarra lett fordítva és ki lett egészítve, hogy jobban illeszkedjen az összefoglaló felépítéséhez.*

A harcoló alakulatok közvetlen légvédelme a különböző szervezeti szinteken a következő volt:

- ***Zászlóalj***

Gépesített lövész zászlóaljanként[536] rendelkezett 1 db 9K32 Sztrela-2 (SA-7) vagy 9K34 Sztrela-3 (SA-14) vagy 9K310 Igla (SA-16) vagy 9K38 Igla (SA-18) légvédelmi szakasszal. [537] Szakaszonként 4 db lövész rajjal, rajonként 2 db indító + parancsnoki, azaz összesen 9 db indítóval. Ezek vállról indítható rakéták. (MANPAD).

- ***Ezred***

Ezredenként 1 db üteg 2 db légvédelmi szakasszal:

- Légvédelmi rakéta szakasz,[538] 1 db 9K31 Sztrela-1 (SA-9) vagy 9K35 Sztrela-10M (SA-13) légvédelmi szakasz. 1 db légvédelmi szakaszban 4 db harcjármű + 1 db parancsnoki jármű, ez utóbbi egy BTR-60-ból kialakított vezetési pont, amely kapcsolattal rendelkezett felsőbb szintű AVR felé. A vezetési pont képes volt légihelyzet-adatok fogadására rádión vagy adatkapcsolaton keresztül más légvédelmi alakulatok felderítő radarjaitól.
- Légvédelmi gépágyú szakasz. 1 db ZSzU-23-4 Silka légvédelmi szakasz, egy ütegben 4 db harcjárművel + 1 parancsnoki jármű. (Egyre korszerűbb Silka változattal a korszerűsítéseket követően.)

  A 1990-től 1 db 2K22M Tunguszka (SA-19) szakasz váltotta volna fel a fenti 1+1 db gépágyú és légvédelmi rakéta szakaszt, 4+4 db helyett 6 db járművel.[539] A Szovjetunió összeomlása miatt erre nem került sor, a Tunguszka elterjedtsége marginális volt 1990-ben.

- Az ezredparancsnokság (tehát ezredenként) rendelkezett további 3 db 9K32 Sztrela-2 (SA-7) vagy 9K94 Sztrela-3 (SA-14) vagy 9K310 Igla (SA-16) vagy 9K38 Igla (SA-18) rakétaindítóval.

- ***Hadosztály***

Hadosztályonként 1 db légvédelmi rakéta ezred, ami vagy 1 db 2K12 Kub vagy 1 db 9K33 Osza ezred volt:

- A harckocsi hadosztály közvetlen légvédelmét 1 db 2K12 Kub (SA-6) ezred biztosította, egy ezred 5 db légvédelmi osztályból állt. Osztályonként 1 db SZURN tűzvezető radarral (1 db célcsatorna), 4 db indító járművel, járművenként 3 db rakétával (+kiszolgáló és rátöltő járművek.) Egy osztály tehát 12 db indítható rakétával és 1 db célcsatornával rendelkezett, az ezred összesen 5 db tűzcsatornával és 5x(4x3) = 60 db indításra kész rakétával bírt.

  A Kub ezred minden osztályához tartozott 3 db 9K32 Sztrela-2 (SA-7) vagy 9K94 Sztrela-3 (SA-14) vagy 9K310 Igla (SA-16) vagy 9K38 Igla (SA-18) rakétaindító is.

---

[536] *Az FM 100-2-3 szerint a harckocsi zászlóaljak nem rendelkeztek közvetlen légvédelemmel. Ezzel ellentmondó adatokat kaptam a lektoroktól, akik szerint még a Magyar Néphadseregben is a lövészek teherautókon és terepjárókon követték ezek a zászlóaljakat. Abból lehet (?) esetleges keveredés, hogy az ezredparancsnokság rendelkezett vállról indítható légvédelmi rakétákkal (FM 100-2-3 43. oldal), 3 db indítóval illetve az, hogy háború esetén a harckocsi zászlóalj állományát szétszórják a gépesített lövész századok között, tehát ez által van szakasz szintű légvédelme az abban levő harckocsiknak a gépesített lövészzászlóalj eszközei által.*

[537] *Az adott korszaktól és országtól függ a rakéta típusa, minden olyan esetben igaz ez, ahol „vagy" kapcsolattal vannak ezek felsorolva.*

[538] *Itt a korábban említettel ellentétben a megnevezés „nem lép szintet". Ez csak látszólagos, mert igaz, hogy szakasznak hívják, csak az alkalmazott technika színvonala magasabb és kettő van belőle.*

[539] *Az FM 100-2-3 szerint csak négy darabbal.*

- A technikai alakulat szintén rendelkezett a harcoló alakulatok parancsnokságához hasonlóan további 3 db 9K32 Sztrela-2 (SA-7) vagy 9K94 Sztrela-3 (SA-14) vagy 9K310 Igla (SA-16) vagy 9K38 Igla (SA-18) rakétaindítóval.

- A gépesített lövészhadosztály közvetlen légvédelmét 1 db 9K33 Osza (SA-8) légvédelmi ezred biztosította. Egy ezred 5 db légvédelmi osztályból (ütegből) állt, osztályonként 4 db járművel. Egy jármű 1 db célcsatornával és 6 db rakétával rendelkezett. (Az AK és AKM változatok 6 db rakétásak voltak, az első, kis mennyiségben gyártott változat még csak 4 db rakétával bírt). Összesen tehát 20 db tűzcsatornával rendelkezett az ezred.
- A hadosztályparancsnokság rendelkezett (tehát hadosztályonként) rendelkezett további 6 db 9K32 Sztrela-2 (SA-7) vagy 9K94 Sztrela-3 (SA-14) vagy 9K310 Igla (SA-16) vagy 9K38 Igla (SA-18) rakétaindítóval.

A 2K12 Kub és a 9K33 Osza rendszereket váltotta le a 9K331 Tor-M1 (SA-15) annak ellenére, hogy annak megsemmisítési zónája számottevően kisebb, mint a Kub rendszeré és nem kétéltű, mint az Osza.[540] A Tunguzkához hasonlóan a Tor is hidegháború utáni rendszernek tekinthető, a hidegháború végén mutatóban volt csak belőle.

Az Osza fejlesztése éveket késett ezért a Varsói Szerződés tagországai gépesített lövész hadosztályok légvédelmét is Kub ezredekkel valósították meg, ami komoly anyagi terhet jelentett ahhoz képest, hogy csak negyed annyi tűzcsatornát biztosított egy Kub ezred, egy Oszával felszerelthez képest. Az Osza érkezésekor ezeket az ezredeket átfegyverezték, ahol megtörtént az Osza beszerzése, mert például Magyarország soha nem vásárolta meg az Oszát.

Az FM 100-2-3 nem ennyire határozottan rendeli az Oszát és a Kubot a hadosztályok típusa mellé, hanem opcionálisan vagy-vagy alapon kezeli azokat. Ez valószínűleg amiatt van, hogy egyes alakulatok végül megkapták az Oszát a Kub helyett, de nem mindegyik, csak vasfüggöny túloldaláról nézve az átfegyverzés nem volt pontosan követhető.

A Kub előtt harckocsi hadosztályoknál Sz-60 légvédelmi tüzérezredek, a gépesített lövész hadosztályoknál szintén Sz-60 ezred volt Osza helyett. Észak-Korea mai napig hatalmas mennyiségű KSz-12, KSz-19 és Sz-60 légvédelmi ágyút tart rendszerben. Ezek elavult eszközök voltak már a '70-as években is nagy sebességű manőverező repülőgépek ellen.

Még a '80-as években is használtak VSz és 3. világbeli szovjetbarát országok Sz-60 légvédelmi ágyúkat, mert nem jutott elég pénz korszerű légvédelmi eszközök beszerzésére. Ezek lényegében alig haladták meg a II. világháború utáni amerikai légvédelmi ágyús rendszerek képességeit. Az általuk használt radar a II. világháborúban az amerikaiak részéről átadott SCR-584 radar másolata és minimális mértékű továbbfejlesztése, mint a SzON-4 és SzoN-9 radarok. Az amerikaiak közelségi gyújtós lőszert használtak már a II. világháború idején is a légvédelmi ágyúkhoz, de ezt nem adták át a Szovjetuniónak és nem is használták később sem. Az Sivatagi Vihar alatt Irak rengeteg Sz-60 ezreddel bírt, de ezek lényegében hatástalannak bizonyultak repülőgépek ellen a légvédelmi rakétákkal összehasonlítva.

[540] *Valószínűleg a célcsatornák számának növelése volt a prioritás, a Kub hatásos megsemmisítési magassága és távolsága egyszerűen alig adott érdemi pluszt, a '80-as években is az akkori taktikai támadó fegyverekkel támadó repülőgépek ellen bőven megfelelt a Tor-M1 (SA-15) megsemmisítési zónája. Akkoriban a legelterjedtebb levegő-föld rakéta az AGM-65 különféle változatai voltak, aminek rávezetési korlátai miatt a reális indítási távolsága 10 km alatt volt, az indító repülőgép is legfeljebb 3-4 km magasan repült. Nem irányított bombák eredményes használatához a célpontot néhány km távolságra szükséges volt megközelíteni, a bombák jellemző oldási magassága is legfeljebb 3-4 km volt.*

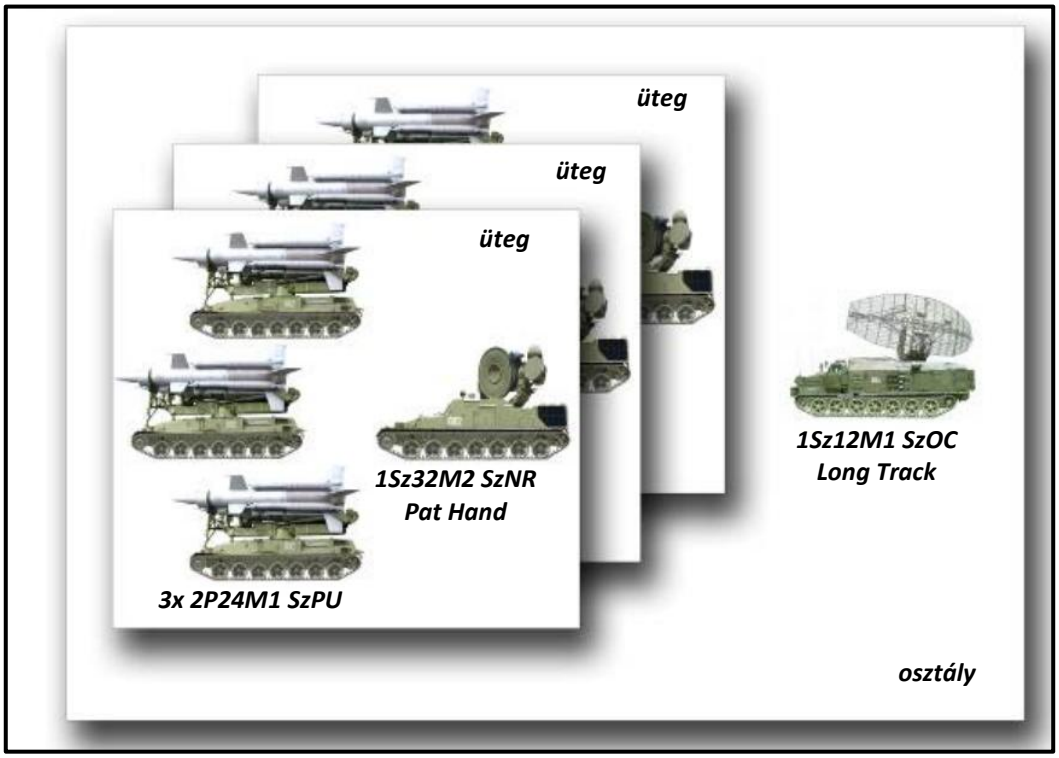
- ***Hadsereg***

Hadseregenként 1 db légvédelmi rakéta dandár (vagy ezred, ahol spóroltak, lásd később.). A ’80-as évek elejéig a 2K11 Krug (SA-4) biztosította a hadsereg szintű csapatlégvédelmet, a tervezett váltótípusa a 9K37 Buk (SA-11).[541] Magyarország másodlagos frontnak számított, ennek ellenére érdekes módon Európában itt jelent meg először a Buk-M1 1987-ben, 1990-ig az NDK-ban állomásozó szovjet csapatoknál is legalább egy Krug dandár átfegyverzése megtörtént Buk-M1-re.

- 2K11 Krug dandár. A szovjet erőknél 1 db dandár 3 db osztályból állt, osztályonként 3 db üteggel (komplexum), összesen 9 db osztállyal. A Magyar Néphadsereg légvédelmi dandár helyett légvédelmi ezredet rendszeresített, az ezred csak 2 db osztállyal rendelkezett 3 db helyett, ebből az következik, hogy 1 db dandár 9 db célcsatornával, a MN féle ezred esetén csak 6 db célcsatornával rendelkezett.

  Egy ütegben 3 db indító jármű, járműveként 2 db rakéta (+utántöltés) alkotta az állományt. Harci osztályonként 1 db 1Sz12M1 Long Track felderítő radar, ütegenként 1 db 1Sz32M2 SzNR célmegvilágító és rávezető állomással rendelkezett a rendszer.

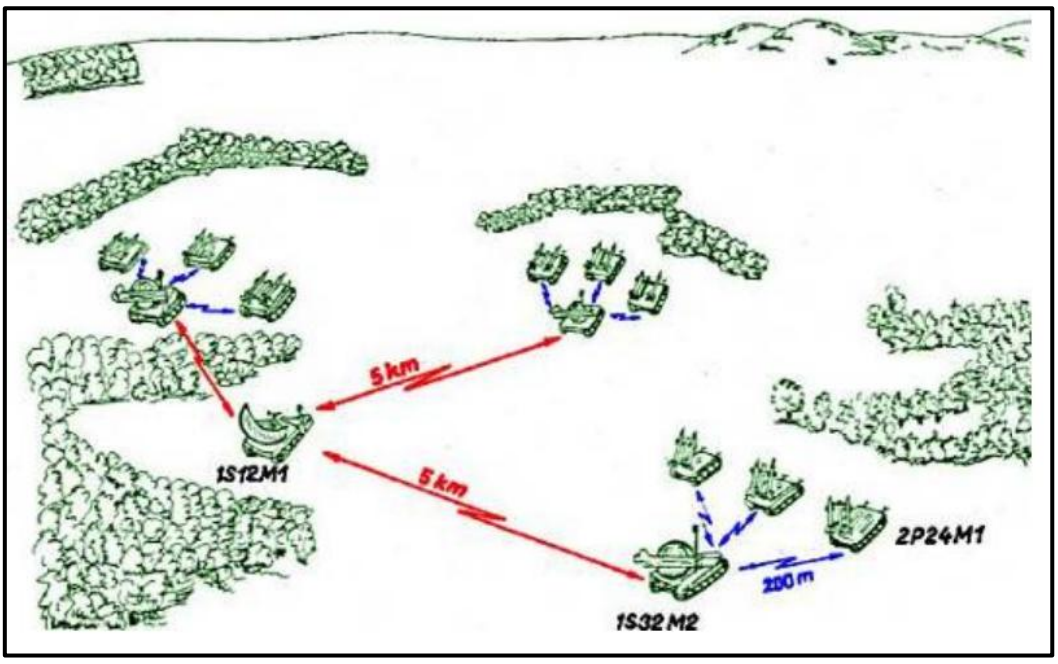
  A lenti ábrán 1 db Krug osztály látható a támogató/kiszolgáló járművek nélkül.



Krug légvédelmi osztály felépítése támogató/kiszolgáló járművek nélkül. 2 db osztály alkot egy ezredet (MN), 3 db egy dandárt. (SzPU az önjáró indítóállvány, az SzNR a rakéta rávezető állomás, míg a SzoC a célmegjelölő rádiólokátor állomás orosz rövidítése.)[542]

[541] *Ez részben visszalépés volt, mert az első Buk nem rendelkezett ballisztikus rakéta leküzdésének képességével. Ennek oka az lehetett, hogy ezt a front szintű légvédelem továbbra is biztosította, a Krug-ot csak az Sz-300V váltotta le front szinten, am szintén rendelkezett a ’80-as évek végén már ballisztikus rakéta védelmi képességgel, egészen az M8,0 sebességgel érkező Pershing rakéta ellen is használható volt. A Krug maximális célsebessége kb. M3,0 volt. A ’90-es években érkező Buk-M2 USA típusjelzése SA-17, ez már használható volt ballisztikus rakéták ellen.*

[542] *7.oldal, 2K11M1 KRUG-M1 (NATO kód: SA-4B Ganef) Közepes Hatótávolságú Önjáró Légvédelmi Rakétarendszer Szimulátor Leírása, forrás: http://sites.google.com/site/samsimulator1972/home*



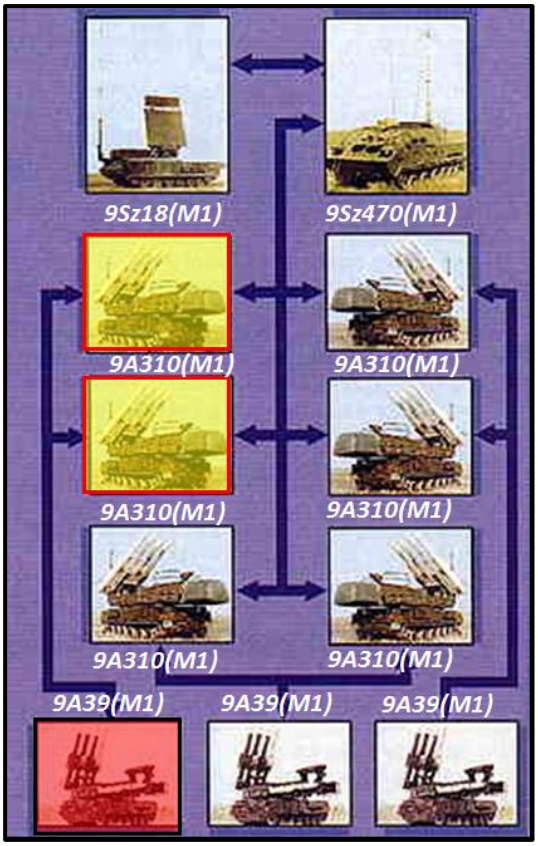
Egy Krug légvédelmi osztály tipikus települési formációja.

- 9K37 Buk-M1 dandár 4 db harci osztályból állt, osztályonként 3 db üteggel, összesen tehát egy dandár összesen 12 db üteggel rendelkezik. A dandár vezetési pontja a 9Sz52 Poljana-D4 jármű.

  Minden osztály 1 db Kupol-M1 (9Sz18(M1)) célfelderítő radarral és 1 db 9Sz470(M1) vezetési ponttal rendelkezett a 3 db rakétás üteghez.

  Egy ütegben 2 db rávezető és rakétaindító jármű (9A310(M1) SzOU/TELAR)[543] és 1 db rakétaindító és utántöltő jármű (9A39(M1) PZU/TEL). A rávezető járművek egy célcsatornásak voltak, ezzel tehát összesen 12x2 = 24 db célcsatorna állt rendelkezésre dandáronként. A SzoU 4 db rakétát, a PZU 8 db rakétát hordozott (+utántöltés).

  A jobb oldali ábrán egy Buk osztály rakétaindító járművei és radarjai láthatóak. A 2 db sárga + 1 db piros jármű alkot egy üteget, 3 db üteg alkotja az osztályt. Ezek csatlakoznak a vezetési ponthoz ami a Kupol felderítő radar által kapott adatok szerint osztja ki a célokat és az osztályok közötti munkát a 9Sz52 Poljana-D4 ASU segíti.



A Poljana-D4 nem szerepel a fenti szervezeti ábrán, a Buk osztályok egymás közti, illetve a később bemutatásra kerülő Sz-300V dandárok osztályainak tevékenységét hangolta össze sőt, az A-50 légtérellenőrző géppel is képes volt adatkapcsolatot létesíteni. A Poljana-D4 valójában frontszintű AVR vezetési eszköz volt, nagyjából a VSz-11 Vozduh rendszernek megfelelő, de attól eltérően teljesen mobil

[543] *Szovjet és angol terminológia szerinti rövidítés.*
TELAR = transporter erector launcher and radar
TEL = transporter erector launcher

AVR eszköz. A Buk osztályok települési sémája valószínűleg a Krug rendszeréhez lett volna hasonló, az osztályok településtek volna egymástól nagyobb távolságra, de az osztályok ütegei az osztály vezetési pontjától (9Sz470) és radarjától (9Sz18) valószínűleg csak néhány km-re lettek volna. A különbség abban volt számottevő, hogy nem 3 db osztály, hanem 4 db települt szét és 1 db osztály nem 3 db, hanem 6 db célcsatornával rendelkezett, illetve az indításra kész rakéták száma is drámaian nőtt 18 darabról 36 darabra.

- ***Front/hadseregcsoport***

Front/hadseregcsoport 1 db légvédelmi rakéta dandár. A hidegháború legvégéig 1 db Krug dandár jelentette a front szintű légvédelmet, ami teljesen azonos volt a hadsereg szintű Krug dandárral. 1988-tól teljes értékű 9K81 Sz-300V, azt megelőzően 1983-tól Sz-300V1 dandár. A V1 változata az Sz-300V-nek nem rendelkezett ballisztikus rakéta-elhárító képességgel, az ahhoz szükséges elemek akkor még hiányoztak a dandár állományából, de később ezekkel kiegészültek. 1990-ig kb. 2 db Sz-300V dandárt gyártottak le, tehát valószínűleg csak az NDK-ban váltotta le a 2K11 Krug rendszert, más VSz tagállamba nem jutott már Sz-300V-ből, a Szovjetunió gazdasági helyzete gátat szabott az Sz-300V hadrendbe állításnak.

Magyar Néphadsereg nem rendelkezett front szintű légvédelemmel szovjetek biztosították a Déli Hadseregcsoport számára. Csehszlovákia két hadsereggel rendelkezett a hidegháború utolsó évtizedében, annak front szintű légvédelmét ők biztosították, nem a Szovjetunió.

Az Sz-300V dandár 4 db harci és 1 db vezetési osztályból állt, harci osztályonként 2+1 db üteggel, tehát a dandár összesen 12 db üteggel rendelkezett

- A ***vezetési osztály*** rendelkezett:
  - 1 db körkörös célfelderítő radarral, 9Sz15 KO (Bill Board),
  - 1 db ballisztikus rakéta felderítő radarral, 9Sz19 PO (High Screen)
  - 1 db vezetési ponttal, 9Sz475 KP
- ***Harci osztályonként*** 3 db (2+1) üteggel és 1 db tűzvezető radarral (9Sz32 SzNR, Grill Pan). A három ütegből 2 db repülőgépek elleni rakétákkal, 1 db ballisztikus rakéták elleni rakétákkal volt felszerelve.
  - 1 db repülőgép elleni üteg 2 db indító-és rávezető (9A83 PU) és 1 db darab indító és rátöltő járműből (9A85 PZU) áll. Minden indító jármű 4 db rakétával (9M83) rendelkezik. Minden 9A83 PU jármű 1 db cél megvilágítására képes a rakéta rávezetés végfázisában, tehát 2 db repülőgépek elleni célcsatornával rendelkezik 1 db üteg.
  - 1 db ballisztikus rakétaelleni (ABR) üteg 2 db indító-és rávezető (9A82 PU) és 1 db darab indító és rátöltő járműből (9A84 PZU) áll. Minden indító jármű 2 db rakétával (9M82) rendelkezik. Minden 9A82 PU jármű 1 db cél megvilágítására képes, tehát 2 db ballisztikus rakéta elleni célcsatornával rendelkezik 1 db ABR üteg.

Minden indító és rávezető (PU) jármű 1 db célcsatornával bír, ezek a végfázisban világítják meg a célokat folyamatos hullámú radarral, a végfázisig a 6 db célcsatornával rendelkező 9Sz32 SzNR (Grill Pan) radar irányítja a rakétákat rádió-parancsközlő módon. (Az alapelv hasonló az AEGIS légvédelmi rendszeréhez, lásd később.) Az ABR rakéta és célcsatorna használható repülőgép ellen is sőt, elektronikai zavaró gépek ellen kifejezetten a nagyobb hatótávolságú rakétát szánták.

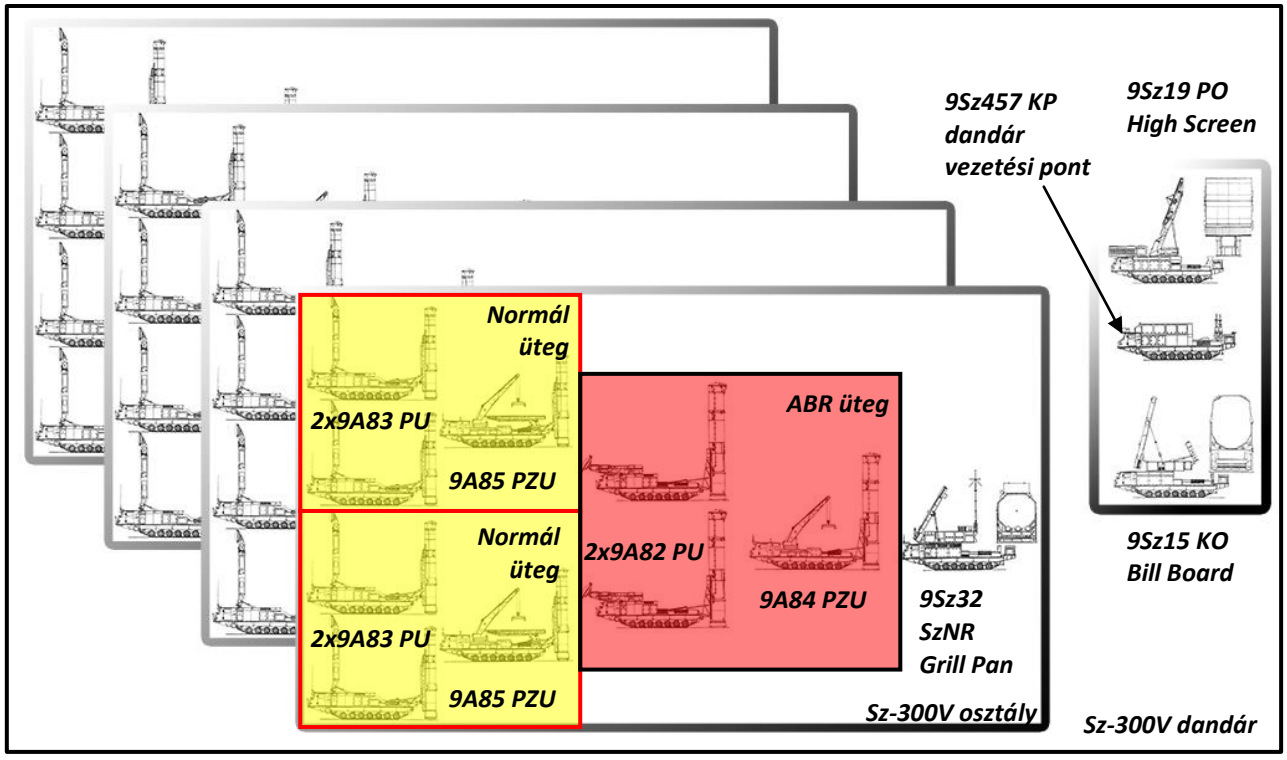
Az Sz-300V osztály:

- 6 db 9M82 ABR rakétával és 2 db ballisztikus rakéta elleni célcsatornával,
- 24 db 9M83 normál légi célok elleni rakétával és 4 db célcsatornával rendelkezik.

Az Sz-300V dandár:

- 24 db 9M82 ABR rakétával és 8 db ballisztikus rakéta elleni célcsatornával,
- 96 db 9M83 normál légi célok elleni rakétával és 16 db célcsatornával rendelkezik.

Az Sz-300V1 annyiban tért el a teljes értékű Sz-300V-től, hogy hiányzott a lenti ábrán pirossal jelölt ballisztikus rakéták elleni üteg és az ahhoz szükséges High Screen felderítő radar a vezetési osztályból.



Egy Sz-300V légvédelmi rakéta dandár felépítése, támogató/kiszolgáló járművek nélkül. 2 db repülőgépek elleni (sárga) és egy ballisztikus rakéták elleni (ABR) üteg (piros).

Amíg nem állt rendelkezésre a 2K11 Krug, addig Sz-75M Volhov biztosította front és hadsereg szinten a csapatlégvédelmet, de ez csak történeti érdekesség, már a '60-as években megkezdték leváltását Krug rendszerrel a szovjetek. Ahol nem rendszeresítettek Krug-ot, ott az egyes VSz tagországok jellemzően a 2K12 Kub rendszert használták. azt megelőzően nem volt hadsereg és front szintű légvédelmi rakétás egység.

A csapatlégvédelem minőségi és mennyiségi rétegződésénél fontos megemlíteni azok elterjedésének sebességét is. Az átfegyverzésnél elmondható, hogy az első alapváltozat és annak rendszerbe állítási ideje nagyon félrevezető, ha bárki abból próbálja levezetni az átfegyverzés ütemét. A szovjeteknél az első alapváltozat jellemzően igen kis mennyiségben került rendszeresítésre, ez már a Volhov rendszernél is igaz volt. Az első igazán elterjedt változta az Sz-75M volt az Sz-75V-hez képest, csakhogy az „M" változat 4 évvel később érkezett, a gyártás felfutása csak ezután következett, de ez például a 9K33 Oszánál sem volt ez másképp.

Sikeres állami próbák után 1971. október 4-én a 9K33 Osza rendszeresítésre került a következő legyártott mennyiségekkel (év-db), 1970-1db, 1971-3db, 1972-15db. 1973-ban az megalakult az első ezred de mindösszesen csak 12 db járművel, amikor egy ezred névleges állománya 20 darabból állt, továbbá a rendszeresített változat nem a későbbi 6 db indítható rakétával rendelkező AKM változat volt, csak 4 db indítható rakéta volt és azok sem konténerekben voltak elhelyezve

Az Tunguzka és Tor sem kivételek a fenti trend alól. A 2K22M Tunguzka rendszerbe állítási ideje (Hpasp evolúciós táblázata szerint) 1989, a 2K22 alap változatból a fentiek szerint nem készült számottevő mennyiség, tehát 1990-ben legfeljebb néhány ezred átfegyverzése történt meg a 2K22M Tunguzkával, ami azt jelenti, hogy nagyjából fehér holló gyakoriságú volt a teljes szovjet haderőt, nemhogy az egész VSz-t nézve.

A Tor-M1 rendszeresítési éve 1991, ennek megfelelően az szintén hidegháború utáni rendszernek tekinthető. Az Osza vagy Buk leváltása a hadosztály szintű légvédelemnél nagyjából egy hadosztálynál történhetett meg, és az is csak a 9K330-mal és nem a 9K331 Tor-M1-gyel. Az Osza példából kiindulva még az is elképzelhető,hogy a leváltás nem a teljes névleges állománnyal valósult meg ebben az esetben.

A következő oldalon levő táblázatok tartalma az eddig elhangzottak és az alábbiak szerint:

- Az 1. táblázat egy szovjet harckocsi hadosztály elméleti/névleges felépítését és csapatlégvédelmét foglalja összes egyszerűsített formában bemutatva 1990 körüli.
- Az 2. táblázat egy szovjet gépesített lövészhadosztály elméleti/névleges felépítését és csapatlégvédelmét foglalja összes egyszerűsített formában bemutatva a 1988-1990 körüli állapotokat átfegyverzés után, illetve a korábban, az átfegyverzés előtti eszközöket.
- A 3. táblázat az 1. és 2. táblázatok összefogásával mutatja be egy front légvédelmét és felépítését két elképzelt 5 hadosztályos hadsereg esetén. Azért két hadsereges front szerepel, mert az NDK-NSZK határt leszámítva minden front két hadsereges volt, másfelől ez még ábrázolható volt akkora táblázatban, ami olvasható A/4-es lapméreten. Három hadsereges front/hadseregcsoport esetén a front egy további gépesített lövész hadsereget tartalmaz.

Az 1. és 2. táblázatban a harckocsi ezred- és zászlóaljak kék színűek, a gépesített lövészek sárgák. A színek segítenek eligazodni, hogy az 1. és 2. táblázat melyik celláját foglalja magában a 3. táblázat, hogy a hadsereg mennyi és milyen fajta hadosztályokat tartalmaz.

Szovjet mintájú csapatlégvédelem felépítése harckocsi hadosztály 1. táblázat				
zászlóaljak		**ezredek**		**hadosztály**
1.	**harckocsi zászlóalj**	**1.**	**harckocsi ezred** *közvetlen légvédelme azonos a gépesített lövész ezredével*	**harckocsi hadosztály** 3 db harckocsi ezred 1 db gépesített lövészezred, *légvédelmi rakétaezred adja a <u>hadosztály szintű légvédelmet</u>* *1 db Kub ezred* • *5 db Kub üteg* *5 db célcsatorna* *60 (5x4x3) db rakéta állványon* *<u>ütegenként:</u>* • *1 db SZURN (Straigth Flush) felderítő és rávezető lokátor* *1 db tűzcsatorna* • *4 db indító jármű* *3 db rakéta / indító jármű* *(+ utántöltés)* *+ hadosztály parancsnokság 6 db Sztrela-2/3 vagy Igla indítóval** *A terv ennek lecserélése volt 1 db Tor ezredre.* • *5 db Tor harci osztály* • *1 db vezetési osztály* *20 db (5x4) célcsatorna* *160 db (5x4x8) rakéta* *<u>harci osztályonként:</u>* • *1 db9S737 vezetési pont* • *4 db 9A331 harci jármű* *8 db rakéta a járművön* • *2 db 9T244 szállító-töltő jármű*
2.	**harckocsi zászlóalj**			
3.	**harckocsi zászlóalj**			
4.	**harckocsi zászlóalj**	**2.**	**harckocsi ezred**	
5.	**harckocsi zászlóalj**			
6.	**harckocsi zászlóalj**			
7.	**harckocsi zászlóalj**	**3.**	**harckocsi ezred**	
8.	**harckocsi zászlóalj**			
9.	**harckocsi zászlóalj**			
10.	**gépesített lövészzászlóalj – névlegesen kb. 40-50 db + 2 db parancsnoki lövészpáncélos** *Közvetlen légvédelme egy zászlóaljnak 1 db Sztrela-2/3 vagy Igla/Igla-1 légvédelmi szakasz, szakaszonként 4 db lövész raj rajonként 2 db indító + parancsnoki, azaz összesen, 9 db MANPAD indító**	**4.**	**gépesített lövészezred** *Közvetlen légvédelme az ezrednek 1db üteg 2 db szakasszal:* • *1 db ZSzU-23-4 Silka, egy szakaszban 4 db jármű ** (+1 parancsnoki)* • *1 db Sztrela-10M** egy szakaszban 4 db jármű járművenként 4 rakéta tubusban (+1 parancsnoki)* *+ ezred parancsnokság 3 db Sztrela-2/3 vagy Igla indítóval*	
11.	**gépesített lövész zászlóalj**			
12.	**gépesített lövész zászlóalj**			
13.	**harckocsi zászlóalj – névlegesen 30 + 1 db parancsnoki harckocsi** *Nincs közvetlen légvédelme a FM 100-2-3 szerint a harckocsi zászlóaljaknak.*			
	<u>Támogató alakulatok zászlóaljanként:</u> *aknavető üteg, hadtáp szakasz, híradós szakasz, stb..* *A fenti „harcoló” zászlóaljaknál felsorolt légvédelmi szakasz is ide kívánkozik, de az szemléletesebb felépítés miatt szerepel a fenti részben.*		***<u>Támogató alakulatok ezredenként:</u>*** *felderítő század, műszaki század, vegyvédelmi szakasz, tüzérségi zászlóalj, stb.* *A fenti „harcoló” ezredenként felsorolt légvédelmi üteg is ide kívánkozik, de az szemléletesebb felépítés miatt szerepel a fenti részben.*	***<u>Támogató alakulatok hadosztályonként:</u>*** *felderítő zászlóalj, ballisztikus rakéta osztály, tüzér ezred, stb.* *A légvédelmi rakéta ezred is támogató, de a téma miatt külön van ábrázolva fent, a hadosztály szintű légvédelmet ez biztosítja.*

* *Elvileg indítóként 3 db (?) rakétával. 1990-ben a szovjet alakulatoknál legfeljebb másodvonalas alakulatoknál fordulhatott elő Sztrela-3, Sztrela-2 már ott sem.*

** *Sztrela-10M előtt korábban Sztrela-1. a ’80-as évek végén a Szovjetunió már nem használta a . Sztrela-1-et. A 4 db Silka+4 db Sztrela-10M-et váltotta volna le a tervek szerint 6 db 2K22M Tunguszka +1 db parancsnoki jármű.*

*** *Az Osza ezred egy ideig Kub volt, mint a harckocsi hadosztályoknál, az átfegyverzés nem mindig valósult meg. A mellékletek között elérhető SAMsim Osza kézikönyvében fel vannak sorolva VSz tagországonként, hogy mennyi egységet érintett az Osza késése miatti Kub típusra átfegyverzés.*

Szovjet mintájú csapatlégvédelem felépítése gépesítet lövész hadosztály 2. táblázat				
zászlóaljak		ezredek		hadosztály
1.	harckocsi zászlóalj	1.	harckocsi ezred közvetlen légvédelme azonos a gépesített lövész ezredéve	gépesített lövészhadosztály*** 3 db gépesített lövészezred, 1 db harckocsi ezred légvédelmi rakétaezred adja a hadosztály szintű légvédelmet 1db Osza ezred • 5 db Osza harci osztály • 20 db (5x4) célcsatorna 120 db (5x4x6) rakéta* harci osztályonként: • 1 db vezetési pont • 4 db9A33 harci jármű 6 db rakéta a járművön • 2 db9T217BM2 TZM szállító-töltő jármű 12 db rakéta/jármű + hadosztály parancsnokság 6 db Sztrela-2/3 vagy Igla indítóval* A terv ennek lecserélése volt 1 db Tor ezredre. • 5 db Tor harci osztály • 1 db vezetési osztály 20 db (5x4) célcsatorna 160 db (5x4x8) rakéta harci osztályonként: • 1 db9S737 vezetési pont • 4 db 9A331 harci jármű 8 db rakéta a járművön • 2 db 9T244 szállító-töltő jármű
2.	harckocsi zászlóalj			
3.	harckocsi zászlóalj			
4.	gépesített lövészzászlóalj – névlegesen kb. 40-50 db + 2 db parancsnoki PSZH/lövészpáncélos Közvetlen légvédelme egy zászlóaljnak 1 db Sztrela-2/3 vagy Igla/Igla-1 légvédelmi szakasz, szakaszonként 4 db lövész raj rajonként 2 db indító + parancsnoki, azaz összesen, 9 db MANPAD indító**	2.	gépesített lövészezred (BMP) • 1 db ZSzU-23-4 Silka üteg, egy ütegben 4 db jármű ** (+1 parancsnoki) • 1 db Sztrela-10** üteg 4 db jármű (+1 parancsnoki) + ezred parancsnokság 3 db Sztrela-2/3 vagy Igla indítóval*	
5.	gépesített lövész zászlóalj			
6.	gépesített lövész zászlóalj			
7.	harckocsi zászlóalj			
8.	gépesített lövész zászlóalj	3.	gépesített lövészezred (BTR)	
9.	gépesített lövész zászlóalj			
10.	gépesített lövész zászlóalj			
11.	harckocsi zászlóalj			
12.	gépesített lövészzászlóalj	4.	gépesített lövészezred (BTR)	
13.	gépesített lövészzászlóalj			
14.	gépesített lövészzászlóalj			
15.	harckocsi zászlóalj – névlegesen 30 + 1 db parancsnoki harckocsi Nincs közvetlen légvédelme a FM 100-2-3 szerint a harckocsi zászlóaljaknak.			
	Támogató alakulatok zászlóaljanként: aknavető üteg, hadtáp szakasz, híradós szakasz, stb.. A fenti „harcoló” zászlóaljaknál felsorolt légvédelmi szakasz is ide kívánkozik, de az szemléletesebb felépítés miatt szerepel a fenti részben.		Támogató alakulatok ezredenként: felderítő század, műszaki század, vegyvédelmi szakasz, tüzérségi zászlóalj, stb. A fenti „harcoló” ezredenként felsorolt légvédelmi üteg is ide kívánkozik, de az szemléletesebb felépítés miatt szerepel a fenti részben.	Támogató alakulatok hadosztályonként: felderítő zászlóalj, ballisztikus rakéta osztály, tüzér ezred, stb. A légvédelmi rakéta ezred is támogató, de a téma miatt külön van ábrázolva fent, a hadosztály szintű légvédelmet ez biztosítja..

A következő oldalon látható front a korábban ismertetettek szerint lehet akár három hadsereges is, de legfeljebb 1 db harckocsi hadsereggel és mindig egy tartalék harckocsi hadosztállyal. (A tartalék hadosztály nem szerepel az táblázatban.) A kiemelt NDK - Csehszlovákia - NSZK fronton 2 db gépesített lövész és 1 db harckocsi hadsereg alkotta a hadseregcsoportot, Magyarországon 2 db gépesített lövészhadsereg. Tehát attól függően, hogy milyen hadtestről van szó, akkor a lenti két hadseregből állítható össze a hadseregcsoportot.

F R O N T / H A D S E R E G C S O P O R T ***3 . t á b l á z a t***				
Hadosztályok	***Hadsereg***	***Hadosztályok***	***Hadsereg***	Céltól és helyszíntől függően 1-3 hadsereg (jelen esetben 2 db), a hadsereg mérete is függ a benne levő hadosztályoktól, tehát egy frontot magába foglaló alakulatok összesített ereje és technikája között hatalmas eltérés lehet. Front 2 db hadseregből állt, a hadseregek tartalék hadosztálya nem szerepel a táblázatban. A hadseregcsoport kb. 200-250 km támadott, a hadsereg kb. 100-120 km szélességben
gépesített lövészhadosztály	***harckocsi hadsereg*** 2-4 db harckocsi hadosztály, (itt 3 db) 0-2 db g.l. hadosztály,(itt 2 db) *légvédelmi dandár adja a* *<u>hadsereg szintű légvédelmet</u>* *1 db Krug dandár*	***gépesített lövészhadosztály***	***gépesített lövészhadsereg*** 4 db gépesített lövész hadosztály, 1 db harckocsi hadosztály, *légvédelmi dandár adja a* *<u>hadsereg szintű légvédelmet</u>* *1 db Krug dandár*	*Krug dandár, lásd hadsereg szintű légvédelemnél balra.* *1990-ig kb. két Sz-300V (V2) dandár gyártása megtörtént, ezért biztosan nem jutott minden frontra Sz-300V. Átfegyverzés után Sz-300V légvédelmi dandár adja a front/hadseregcsoport szintű légvédelmet.* • *1 db vezetési osztály (mobil AVR)* • *4 db Sz-300V rakéta osztály* *24 db célcsatorna (16+8 ABR)* *120 db rakéta (96+24 ABR)* *<u>rakéta osztályonként</u>* • *2 db repülőgépek elleni üteg* • *1 db ABR üteg* • *1 db Grill Pan rávezető radar* *<u>ABR rakéta ütegenként</u>* • *2 db 9A82PU indító és rávezető* • *1 db 9A84 PZU indító / utántöltő* *<u>repülőgép elleni rakéta ütegenként</u>* • *2 db 9A83 PU indító és rávezető* • *1 db 9A85 PZU indító / utántöltő*
gépesített lövészhadosztály	• *3 db Krug osztály* *9 db (3x3) célcsatorna* *54 db (3x3x6) db rakéta állványon* *(+ utántöltés)* *<u>osztályonként:</u>* • *3 db üteg* • *1 db Long Track felderítő radar* *<u>ütegenként:</u>* • *1 db Pat Hand tűzvezető radar* *1 db célcsatorna* • *3 db indító jármű* *2 db rakéta/jármű*	***gépesített lövészhadosztály***	• *3 db Krug osztály* *9 db (3x3) célcsatorna* *54 db (3x3x6) db rakéta állványon* *(+ utántöltés)* *<u>osztályonként:</u>* • *3 db üteg* • *1 db Long Track felderítő radar* *<u>ütegenként:</u>* • *1 db Pat Hand tűzvezető radar* *1 db célcsatorna* • *3 db indító jármű* *2 db rakéta/jármű*	
harckocsi hadosztály	*A terv ennek lecserélése 1 db Buk dandárra, ez részlegesen megtörtént 1990-ig.* • *4 db Buk harci osztály* • *1 db vezetési osztály (? 2db radar)* *24 (4x6) db célcsatorna* *192 (4x3x16) db rakéta állványon* *<u>harci osztályonként:</u>* • *3 db üteg* *<u>ütegenként:</u>* • *2 db SzOU/TELAR,* *4 db rakéta/jármű* • *1 db PZU/TEL* *8 db rakéta/jármű* *(+ utántöltés)*	***gépesített lövészhadosztály***	*A terv ennek lecserélése 1 db Buk dandárra, ez részlegesen megtörtént 1990-ig.* • *4 db Buk harci osztály* • *1 db vezetési osztály (? 2 db radar)* *24 (4x6) db célcsatorna* *192 (4x3x16) db rakéta állványon* *<u>harci osztályonként:</u>* • *3 db üteg* *<u>ütegenként:</u>* • *2 db SzOU/TELAR,* *4 db rakéta/jármű* • *1 db PZU/TEL* *8 db rakéta/jármű* *(+ utántöltés)*	
harckocsi hadosztály		***harckocsi hadosztály***		

A front egy szervezeti egység neve, létezett NDK, csehszlovák, lengyel front is. A Lengyelország nem volt határos szárazföldön egyik NATO állammal sem. Tehát a frontot úgy kell elképzelni, hogy a fenti egységekből tevődött össze. Más ország terminológiája szerint a „front" az „hadseregcsoport" lenne.

A front légvédelme mennyiségileg összesen a következő feltételek szerint,

- Referencia az átfegyverzés előtti, „klasszikus hidegháborús"mennyiség, amikor:
  - ezred szinten ZSzU-23-4 és Sztrela-1/10 van 2K22M Tunguszka helyett
  - hadosztály szinten Osza és/vagy Kub országtól és hadosztálytól függően
  - hadsereg szinten Krug van Buk-M1 helyett
  - front szinten még Krug van Sz-300V helyett
- A gondolatkísérlet során azzal a közelítéssel élünk, hogy minden gépesített lövészhadosztály Osza ezreddel rendelkezik és nem Kub ezreddel, mint a valóságban. Ez sokkal több célcsatornát jelent, még ha kisebb megsemmisítési zónával is jár, mint Kub esetén egy járművet nézve.
- A rakétáknál csak az egyszeri javadalmazással számoltam és az akkor elérhető legkorszerűbb változat képességeivel.
- A hadseregek minden hadseregcsoportban vegyes hadosztályokból tevődtek volna össze, a VSz tagország és az ott állomásozó szovjet erőkből. Ez azt jelenti, hogy az elméleti szovjet mintájú állomány helyett az adott VSz tagország színvonala miatt a nem szovjet VSz hadosztályok légvédelme minőségileg és mennyiségileg is alulmaradt a szovjettel összevetve, még a legjobban felszerelt első lépcsős alakulatokat nézve is. A következő oldalon látható mennyiség emiatt teljesen elméleti, nagyon túlbecsülő közelítése a valóságnak.
- 1990 környékén az alakulatok egy részét minimálisan átfegyverezték korszerűbb eszközökre, de ez igen messze állt a teljestől a fent bemutatottak alapján. Nagyjából azzal lehet számolni, hogy az NDK-NSZK fronton egy dandár Sz-300V, illetve az NDK-ban és Magyarországon 1-1 db hadseregnél volt már Buk-M1. Tunguzkából olyan minimális mennyiség volt, hogy kerekítési hiba a nagy összképet nézve, Tor-M1-gyel nem is számolok még 1990-ben sem.
- Több tényező is van, ami a valódi harcértékre igen komolyan kihat. Az összes fenti esetnél számításba kell venni, hogy azok teljesen idealizált esetek, azok csak a mesékben léteznek, a valóságban a következő tényezőkkel szükséges számolni (ez igaz a szembenálló feleket nézve is):
  - Az állománytáblának való megfeleltetés, személyzettel való feltöltöttsége az alakulatnak, hogy van-e aki üzemelteti a technikát, megvan-e az előírt harcoló létszám.
  - Az eszközei, készletei feltöltöttek-e, a fenti tényező csak a technikára nézve. Lásd az eltérést a névleges Vsz és MN ezredek és zászlóaljak légvédelmének, meg az összes többi spórolást.
  - A tagjai kiképzettek-e, a vezetése összeszokott és az állománya gyakorlott.
  - Az eszközök műszaki megbízhatósága és pillanatnyi hadrafoghatósága.

A fentiek alapján leszűrhető az, hogy egy alakulat papíron levő harcértéke mennyire valós és mennyire áll közel az elméletihez az két igen különböző dolog. Egy elképzelt két hadsereges 1 db gépesített lövész és 1 db harckocsi hadsereges szovjet front csapatlégvédelme 1980 körül névlegesen a következő lett volna:

❖ ***Két hadsereges hadseregcsoport (front) elképzelt légvédelme 1980 körül***:

1 db Krug dandár = 3 db Krug osztály = 3x3 = 9 db üteg, (nagy hatótávolságú)
9 db célcsatorna
54 db rakéta

➢ ***2 db HADSEREG:***

2 db Krug dandár= 6 db Krug osztály = 6x3 = 18 db üteg, (nagy hatótávolságú)
2x9 = 18 db célcsatorna
2x54 = 108 db rakéta

- ***6 db gépesített lövészhadosztály:***

6 db Osza ezred = 6x5 = 30 db osztály = 30x4 = 120 db Osza jármű
6x(5x4) = 120 db célcsatorna
6x(5x4)x6 = 720 db rakéta, („közepes" hatótávolságú)*
6x6 = 36 db Sztrela-2/3 MANPAD indító (hadosztály parancsnokságok)

- *6x3 = 18 db gépesített lövészezred:*

18x4 = 72 db ZSzU-23-4 Silka önjáró légvédelmi gépágyú
18x4 = 72 db Sztrela-1/10 önjáró légvédelmi jármű (kis hatótávolságú, infravörös)
18x3 = 56 db Sztrela-2/3 MANPAD indító (ezred parancsnokságok)

- 6x9 = 54 db gépesített lövészzászlóalj:

54 x 9 = 486 db Sztrela-2/3 MANPAD indító

- *6x1 = 6 db harckocsi ezred:*

6x3 = 18 db Sztrela-2/3 MANPAD indító (ezred parancsnokságok)

- 6x3 = 18 db harckocsi zászlóalj:

Nincs közvetlen légvédelme. (FM 100-2-3 szerint.)

- ***4 db harckocsi hadosztály***

4 db Kub ezred = 4x5 = 20 db üteg
20 db célcsatorna
4x5x(4x3) = 240 db rakéta (közepes hatótávolságú)
4x6 = 24 db Sztrela-2/3 MANPAD indító (hadosztály parancsnokságok)

- *4x3 = 12 db harckocsi ezred:*

12x4 = 48 db ZSzU-23-4 Silka önjáró légvédelmi gépágyú
12x4 = 48 db Sztrela-1/10 önjáró légvédelmi jármű (kis hatótávolságú, infravörös)
12x3 = 36 db Sztrela-2/3 MANPAD indító (ezred parancsnokságok)

- 4x10 = 40 db harckocsi zászlóalj:

Nincs közvetlen légvédelme. (FM 100-2-3 szerint.)

A fenti mennyiségek összefoglalva a következő oldali táblázatban láthatóak.

típus	*cél-csatorna*	*rakéta*	*céltávolság*	*célmagasság*	*megjegyzés*
2K11 Krug	27 db	162 db	6-55 km	0,15-24 km	>800 m/s (ballisztikus rakéta is)
2K12 Kub	20 db	240 db	4-25 km	0,02-8km	
9K33 Osza*	120 db	720 db	1,5-6,5 km 1,5-10 (15) km 1,5-10 km	0,01-5 km 0,025-5km 0,1-5 km	célsebesség <100 m/s célsebesség <300 m/s célsebesség <500 m/s
9K31 Sztrela-1 vagy 9K35 Sztrela-10M	„120 db”	480 db	0,8-5 km	(0,01) 0,025-3,5 km	optikai (Sztrela-1), infravörös vagy optikai (Sztrela-10M), nem radaros, de egy jármű egy célra dolgozhat
MANPAD	„672 db”	„672 db”	max. 4 km	~ 2km	Igla-1 szemből is indítható 1981-től,max. célseb. kb. M1.0, távolság 5 km
ZSzU-23-4	„120 db”	gépágyú	0,2-2 km	0-1,5 km	radarvezérelt

*Az Osza és a Tor nem „klasszikus” közepes hatótávolságú rendszerek. Az 5-6 km felső megsemmisítési magasságuk és a 11-15 km távolságuk átmeneti kategóriába sorolják azokat. Az elődjük a Kub hatótávolsága 22-25 km volt változattól függően, csak éppen hatómagassága elérte a 8 km-et, egyes források szerint a 12 km-et is. Tehát közepes és közepes között is van különbség. A Tor félúton van a klasszikus pontvédelmi és kis hatótávolságú, illetve a HAWK/Buk/Kub közepes hatótávolságú rendszerek között.

A következő oldalon az előző oldalon tett összehasonlítást megismétlésre történik, azonban már 1990-es állapotokat feltételezve. A tervek szerint a ’90-es évek közepére és végére kellett volna lecserélni az Sztrela-10, Kub, Osza és Krug rendszereket teljesen, ehhez képest még 2017-ben is hadrendben van az Osza illetve a Sztrela-10 korszerűbb változata, a 2K22 Tunguzka korszerűbb változatai még mindig nem szorították ki teljesen, ahogy a Tor sem az Oszát. A Krug mára teljesen eltűnt és csak a Buk különféle változatait használja Oroszország.

Az lenti 1990-es állapotoknál a Tor továbbra sem szerepel, de a lenti állapothoz képest csak apró cserét jelent ennek a fejlesztésnek a feltételezése, az járművek száma nem változik, pusztán a járművenkénti rakéta mennyisége nő 6 darabról 8 darabra.

❖ ***Két hadsereges hadseregcsoport elképzelt légvédelme részleges átfegyverzés, 1990-ben***:

1 dbSz-300V dandár = 4 db osztály, (nagy hatótávolságú)

24 db célcsatorna, 16 db repülőgép elleni + 8 db ballisztikus rakéta elleni

120 db rakéta, 96 db repülőgép elleni + 24 db ballisztikus rakéta elleni

➢ ***2 db HADSEREG:***

2 db Buk dandár = 2x4 = 8 db harci osztály = 8x3 = 24 db üteg, (közepes hatótávolságú)

24x2 = 48 db SzOU = 48 db célcsatorna, 48x4 = 192 db rakéta

24x1 = 24 db PZU = 24x8 = 192 db rakéta

- ***6 db gépesített lövészhadosztály:***

  6 db Osza ezred = 6x5 = 30 db osztály = 30x4 = 120 db Osza jármű

  6x(5x4) = 120 db célcsatorna

  6x(5x4)x6 = 720 db rakéta, („közepes" hatótávolságú)*

  6x6 = 36 db Sztrela-2/3 MANPAD indító (hadosztály parancsnokságok)

  - *6x3 = 18 db gépesített lövészezred:*

    18x4 = 72 db ZSzU-23-4 Silka önjáró légvédelmi gépágyú

    18x4 = 72 db Sztrela-1/10 önjáró légvédelmi jármű (kis hatótávolságú, infravörös)

    18x3 = 56 db Sztrela-2/3 MANPAD indító (ezred parancsnokságok)

    - 6x9 = 54 db gépesített lövészzászlóalj:

      54 x 9 = 486 db Sztrela-2/3 MANPAD indító

  - *6x1 = 6 db harckocsi ezred:*

    6x3 = 18 db Sztrela-2/3 MANPAD indító (ezred parancsnokságok)

    - 6x3 = 18 db harckocsi zászlóalj:

      Nincs közvetlen légvédelme. (FM 100-2-3 szerint.)

- ***4 db harckocsi hadosztály***

  4 db Kub ezred = 4x5 = 20 db üteg

  20 db célcsatorna

  4x5x(4x3) = 240 db rakéta (közepes hatótávolságú)

  4x6 = 24 db Sztrela-2/3 MANPAD indító (hadosztály parancsnokságok)

  - *4x3 = 12 db harckocsi ezred:*

    12x4 = 48 db ZSzU-23-4 Silka önjáró légvédelmi gépágyú

    12x4 = 48 db Sztrela-1/10 önjáró légvédelmi jármű (kis hatótávolságú, infravörös)

    12x3 = 36 db Sztrela-2/3 MANPAD indító (ezred parancsnokságok)

    - 4x10 = 40 db harckocsi zászlóalj:

      Nincs közvetlen légvédelme. (FM 100-2-3 szerint.)

A fenti mennyiségek összefoglalva a következő oldali táblázatban láthatóak

típus	célcsatorna	rakéta	céltávolság	célmagasság	megjegyzés
9K81 Sz-300V	16 db 8 db	96 db 24 db	6-75 km 13-100 km	0,025-25 km 1-30 km	>1700 m/s >2400 m/s (ballisztikus rakéta)
9K37M Buk-M1	48 db	192 db	3,5-35 km	0,015-22 km	célsebesség <800 m/s
9K33 Osza*	120 db	720 db	1,5-6,5 km 1,5-10 (15) km 1,5-10 km	(0) 0,01-5 km 0,025-5km 0,1-5 km	célsebesség <100 m/s célsebesség <300 m/s célsebesség <500 m/s
9K35 Sztrela-10M	„120 db”	480 db	0,8-5 km	(0,01) 0,025-3,5 km	lásd előző táblázat
MANPAD	„672 db”	?	max. 4-5 km		Igla-1 szemből is indítható 1981-től,max. célseb. kb. M1.0
ZSzU-23-4	120 db	gépágyú	0,2-2 km	0-1,5 km	radarvezérelt

A Krug leváltásnak hatása jól látszik, 1 db Sz-300V dandár majdnem annyi célcsatornával bír (24 db), mint korábban a hadsereg és front szinten az összes Krug (3x9 = 27 db), miközben az Sz-300V mellett levő hadosztály szintű Buk-M1 további 48 db célcsatornát biztosít bár azt hozzá kell tenni, hogy a Krugnál kb. 1/3-dal kisebb HMZ távolsággal, viszont ahhoz képest nagyon sok rakétával és jelentősen több célcsatornával.

A teljes Osza --->Tor-M1 átfegyverzés esetén a célcsatornák száma nem nőne, a rakéták száma nőne járművenként 6 darabról 8 darabra, néhány ezred átfegyverzése nem sokat változtat az összképen. A Tor-M1 valójában „csak” egy jobban összerakott korszerűbb Osza, ami cserébe elvesztette a kétéltű képességét és a korszaknak megfelelő technológiai szinttel elérte azt, hogy a korábban megszokott antenna erdő megszűnt. (Az Osza rendszert a hidegháború alatt csak hosszú szenvedés után sikerült összehozni.)

Az teljes Kub ---> Tor-M1 átfegyverzés hatása az már sokkal brutálisabb, mert a hadosztályonkénti tűzcsatornák száma 5 darabról 20-ra nőtt volna, és egy javadalmazással számolva 60-ról 160 darabra nőtt volna a rakéták mennyisége. Tekintve, hogy a fenti elképzelt fronton 4 db harckocsi hadosztály van, ez az egész frontra nézve +400 db rakéta és +60 célcsatorna a régihez képes némileg kisebb HMZ-vel, de pl. AGM-88 HARM elleni tüzelés képességével a Tor-M1 által.

A fenti ismertetett szervezeti felépítéshez kapcsolódó téma, hogy mik azok a gyalogsági harcjárművek és páncélozott szállító harcjárművek. A páncélozott szállító harcjármű (PSZH) és a lövészpáncélos (gyalogsági harcjármű) közötti eltérést a hidegháború végén a CFE fegyverzetkorlátozási egyezmény határozta meg jogi értelemben. Ha a jármű 20 mm vagy annál nagyobb kaliberű löveggel rendelkezett, akkor az gyalogsági harcjárműnek minősült.

Az előbbire példa pl. az amerikai M113 általánosan elterjedt változata, ami csak M2 Brownig géppuskával rendelkezett az utóbbira pl. a szovjet BMP és egyes BTR jármű változatok. Az ilyen járművek jellemzően kétéltűek (úszóképesek), de a páncélzat és tömegnövekedéssel ez a képesség nem mindig adott. A fenti besorolás sajnos harcérték szempontjából szerintem gyakorlatilag használhatatlan a következő dolgok miatt.

A gyalogsági harcjármű első klasszikus képviselője a BMP-1 volt a Szovjetunióban. Ennek páncélzata elégséges volt az akkori nehéz géppuska elleni védelem szempontjából sőt, kétéltű is volt. Több hiányossága ellenére feladatát betöltötte, szerte a világban a mai napig hadrendben tartják. A Szovjetunió, a Varsói Szerződés és szovjetbarát államok fegyveres erőinek egyik alapját jelentették a BMP-1 különféle változatai a hidegháború alatt

Balra BTR-80, jobbra M-113, mindkettő csak géppuskával rendelkezett.

A BMP-1 egy alacsony nyomású 73 mm-es rövid csövű löveg mellett irányított páncéltörő rakétákkal[544] is rendelkezhetett. (Nem minden felhasználó szerelte fel minden járműre annak ára miatt.) A későbbi BMP-2-be már 30 mm-es gépágyú került és szinten képes volt páncéltörő rakéta használatára. Ez eddig tiszta sor. Egyértelmű, hogy a csak 7,62 mm űrméretű géppuskás BTR-60P vagy akár a BTR-60PB 14,5 mm-es nehéz géppuskával felszerelt járművel összemérve tűzerőben egészen más kategóriát képvisel egy BMP-1/2 bármilyen löveggel. Csakhogy a későbbi BTR-80A, ami már 30 mm-es gépágyúval bír a CFE szerint azonos besorolásba esik a Konkursz vagy más páncéltörő rakéta alkalmazására képes BMP járművekkel.

Egy Konkursz rakétás BMP-2 a '80-as évek elején képes volt minden potenciális NATO harckocsi megsemmisítésére még a legerősebb frontpáncél védelmét nézve is (akár az első vonalbeli Leopard 2 és M1 Abrams), ezzel szemben a BTR-80A gyakorlatilag nem rendelkezik páncélelhárítási képességgel. Kis távolságból oldalról vagy hátulról képes csak átütni egy harckocsi páncélzatát, de ember legyen a talpán, aki összehoz ilyen helyzeteket és nem járna iszonyatos mészárlással a BTR-ek között. Tehát két teljesen eltérő képességű járművet sorolnak azonos osztályba.

Az IFV klasszikus amerikai képviselője az amerikai M2 Bradley egy generációval később érkezett, megjelenésekor a kortárs BMP-2-höz fogható tűzerővel és páncélzattal bírt, ellenben nem volt kétéltű.

A „klasszikus" APC kategóriába a már korábban említett M113 és különféle változatai tartoztak, de itt megint kisiklik a fenti jogi besorolás. Ugyanis az M113-nak is volt olyan változata, ami rendelkezett irányított páncéltörő rakétával (M47 Dragon), azonban a csöves tűzfegyvere továbbra is csak egy géppuska volt.

Balra a BMP-1 Matjulka pct. rakétával az indító sínen, a jobboldali képen M2 Bradley TOW páncéltörő rakéta indítása közben.

Persze a fentieken kívül számtalan ilyen kategóriájú jármű létezik, de ez a kettő tekinthető talán a hidegháborús korszak két ikonikus járműjének Persze nem csak az USA és a Szovjetunió rendelkezett ilyenekkel, ilyen volt például a nyugatnémet Marder 1 lövészpáncélos vagy a francia AMX-10P.

[544] *ATGM – anti tank guided munition*

6.2.4.3. A csapatlégvédelem rétegződése és lefedettsége

6.2.4.3.1. Mennyiségi és minőségi eloszlás

A fentiekben bemutatottak alapján első látásra szinte áthatolhatatlannak tűnik a szovjet mintájú csapatlégvédelem még a ’70-es évek végi felállással is, nemhogy az elképzelt és részlegesen átfegyverzett front 1990-ben az akkor kifejlesztett, de még hadrendbe nem állított harceszközökkel. Azonban a számok önmagukban félrevezetőek, mert ezek HMZ-je, reakcióideje, áttelepülés után tűzkészültséget elérési ideje, stb. nagyon komolyan árnyalják ezt a képet, nem beszélve a légvédelmi rendszerek célazonosítási, célkiosztási hatékonyságról és a reakcióidejükről amik a honi légvédelemhez képest sokkal dinamikusabb környezetben zajlanak.

A szovjet és a VSz államok csapatlégvédelmével szembeszállást nem magányos gépekkel képzelte el a NATO, radar elleni rakétákkal, alacsonyan repüléssel, elektronikus zavarással és ezek kombinációjával, illetve koncentrált támadással operálhattak. Az ellenséges tevékenységtől függően a Buk-M1, Tor vagy Sz-300V saját védelmére is adott esetben rakétát és tűzcsatornát kellett felhasználni, hogy a bejövő AGM-88-ra vagy más radar elleni rakétára, illetve nukleáris háború esetén ballisztikus rakétafenyegetés miatt azokra is célcsatornákat kellett tartalékolni. Már a 2K11 Krug is 3 Mach célsebességű ballisztikus rakétákra dolgozhatott, az Sz-300V azzal szemben már dedikált ABM célcsatornákkal és rakétákkal bír.

A másik faktor maga a csapatlégvédelem alapvető működési követelménye, a mozgás az áttelepülés közben illetve a telepítési idő. Egyszerre soha nincs az összes osztály, üteg vagy szakasz tűzkész állapotban. Még ideális esetben is azzal lehet számolni, hogy 1-2 Krug osztály mozgásban van, telepítés alatt áll vagy bármilyen más okból nem tűzkész, mert pl. kifogyott éppen a rakétákból és azok tűzkésszé tételen dolgoznak. Ez a mozgás a front változása miatt szükséges, illetve a saját túlélőképesség növelésére, továbbá a rendszerek harcászati hatékonyságát javítja, ha a települési helyüket képesek a lehető legtovább rejtve tartani.

A fent felsorolt elméleti mennyiség egy hadseregcsoport esetén kb. 200-250 km-es frontvonal mentén adott mélységben rétegződne, ami akár 20-40 km mélységű is lehet, hadosztályok és azok legfontosabbnak tartott eszközeinek védelme szerint elosztva. Arra viszont nincs garancia és nem evidens, hogy a frontvonalon minden hadosztály sikeresen felfejlődött és szétbontakozott már. Ezekből az következik, hogy célcsatornák száma nem feltétlen annyira sűrű, mint amennyire a táblázat alapján elsőre látszik különösen a Buk-M1 és Sz-300V előtti időszakot nézve.

A támadó gépek érkezhetnek alacsonyan, ami eleve kizárja egyes rendszerek maximális HMZ-n történő alkalmazását, elektronikai zavarás is segítheti őket, rendelkezhetnek saját önvédelmi rendszerekkel, manőverezéssel kitérni a régebbi légvédelmi rendszerek rakétái elől nagyon is reális lehetőség, és valóságban is gyakran végrehajtott eset volt a kitérés. Azt azért hozzá kell tenni, hogy ezt nagyrészt honi légvédelmi rakéták ellen tették, komolyabb mennyiségben a korszak célpontjaihoz nézve megfelelő manőverező képességgel bíró rakétákat igen kevés konfliktusban vetettek le, ilyen volt 1973 és 1982-ben az arab-izraeli háborúk során a 2K12 Kub, illetve az 1991-es Sivatagi Vihar alatt az 9K33 Osza, Kub és francia eredetű Roland légvédelmi rendszerek rakétái.

A fontosabb tényezők közé tartozik még az is, hogy a légvédelem áttelepülési sebessége soha nem éri el azt, amit a támadó gépek bevetésének súlypontjának áthelyezésével lehet elérni. A repülőgépekkel sokkal könnyebb gyorsan egy helyre koncentrálni a mennyiséget és tűzerőt, mint a védekező félnél a célcsatornák és rakéták mennyiségét. Természetesen a csapatlégvédelmet nem csak légvédelmi rakéták, hanem a Front Légierő vadászgépei is biztosíthatják.

A hatalmas rakétamennyiség is részben csalóka, mert a Krug és Kub egységeknél egyetlen tűzvezető radar kiiktatásával egy teljes osztály harcértéke nullára csökken, tehát tízes nagyságrendben esik ki indítható rakéta, illetve minden egyes megsemmisített radar vagy csak SEAD tevékenység által elnyomott osztály eggyel kevesebb célcsatornát jelent. Az Osza ebből a szempontból jobb a Kubnál, mert a kisebb HMZ ellenére minden jármű rávezető állomásként funkcionál, tehát rengeteg célcsatornával bír egy Osza ezred egy Kub ezredhez képest, nem véletlenül az elöl haladó gépesített lövész alakulatok kapták ezeket (lásd később.) A Tor-M1 tovább vitte ezt a koncepciót, de a rakéták számát 25%-kal növelte. A harckocsizó hadosztályoknál a Kub leváltásával Tor-M1 rendszerre drámaian nőtt teljes átfegyverzés esetén a tűzcsatornák száma.

Hadsereg szinten a Buk-M1 esetén egy osztály már nem 3 db tűzvezető radarral bírt, mint a Krug, hanem a SzoU/TELAR miatt 6 db volt, tehát a célcsatornák száma osztályonként megduplázódott és 3 db helyett már 4 db harci osztály volt egy dandárban. Osztály szinten 100%-kal, dandár szinten 266%-kal nőtt a célcsatornák száma. Bár a Buk-M1 rakéta HMZ-je lényegesen kisebb a Krughoz képest (hasonlóan a Kub --> Tor-M1 átfegyverzéshez), csak éppen a célcsatornák száma dandár-dandár összehasonlításban majdnem a háromszoros. Még ha ki is esik 1 db TELAR bármilyen okból, akkor sem esik 0-ra a harcértéke nemhogy egy osztálynak, de még egy ütegnek sem.

A megnövelt rávezető állomás mennyiség egyik legnagyobb előnye az, hogy a célcsatorna mennyiség növelése egyben azt is jelenti, hogy több irányban is képes egy üteg dolgozni, tehát nehezebb feladat több irányból támadással túlterhelni azt, ez a radar elleni rakéták elleni védelemnél kiemelten fontos. Természetesen a Buk-M1 védelme sem áttörhetetlen vagy nem „elnyomhatatlan”, de mesze nagyobb erőforrás igénye van egy ilyen akciónak a Krug rendszerrel összevetve. Mind a Buk-M1, mind az az Sz-300V eseté tisztán kivehető szándék volt a célcsatornák számának drasztikus megnövelése, illetve a légi helyzetképalkotás és automatizáltság növelése, a Poljana-D4 vezetési pont is emiatt készült.

A fenti mennyiségi bemutatást követően a lentiekben egy végletekig leegyszerűsített gondolatkísérletben egy hadosztály támadási sávjába behatoló 24-48 gépes támadó kötelék elleni tűzerő és HMZ vizsgálata történik. Egy USAF század 24 db gépből áll névlegesen, tehát ez néhány század együttműködése által végrehajtott csapásmérést takar, ez az értelmes mennység, amivel érdemes nekimenni komoly légvédelemnek. Ez nem légből kapott feltételezés, a Sivatagi Vihar hadművelet alatt ekkora sőt, néha ennél nagyobb kötelékekkel is támadtak egy időben összehangolva.

A teljes hadseregcsoport/front szélességében (200-250 km) egy pillanatban reálisan nézve akár 100-200 db repülőgép + helikopterek is támadhatták volna a VSz csapatait AWACS, elektronikai zavarás és SEAD támogatással együtt. Csak a repülőgépeket nézve nagyságrendileg százas nagyságrendű eszköz lehetett egy Sz-300V dandár megsemmisítési zónájában, a nagy és közepes hatótávolságú légvédelmi rendszerek tüzének összehangolásához szükség volt a csapatlégvédelem számára is AVR-re sőt, ez egészen az ezred szintű Sztrela-10M és Silka számára rendelkezésre állt, lásd bővebben a csapatlégvédelmi fejezet végén.

A következőkben két nagyon leegyszerűsített ábrán történik az arányok érzékeltetése, hogy érthető legyen a helyzet, de a légvédelem rétegződésének szemléltetéséhez néhány további kiegészítés és megjegyzés szükséges.

Korábban említve volt, hogy a front/hadseregcsoport struktúra békeidőben nem létezik, csak háború esetén állnak össze a hadosztályok így. Ennek megfelelően a fenti táblázatok kicsit „skizofrének”, mert a

békeidős és a háborús szervezet felépítést összemossák a könnyebb mennyiségi ábrázolás és érthetőség miatt, de harchelyzetben nem így harcoltak volna az egységek.

Békeidőben egy gépesített lövészezred harcoló állománya a következő:

1.gépesített lövész zászlóalj(~40 db BTR-60/70/80 vagy BMP-1/2)
2. gépesített lövész zászlóalj (~40 db BTR-60/70/80 vagy BMP-1/2)
3. gépesített lövész zászlóalj (~40 db BTR-60/70/80 vagy BMP-1/2)
1.harckocsi lövész zászlóalj (~ 31 db T-55/62/72/80 harckocsi)
(tüzér, légvédelmi, műszaki, vegyvédelmi, stb. támogató alakulatok)

Háborús időszakban egy gépesített lövészezred harcoló állománya a következő:

1.gépesített lövész zászlóalj(~40 db BTR-60/70/80 vagy BMP-1/2 +10db harckocsi)
2.gépesített lövész zászlóalj(~40 db BTR-60/70/80 vagy BMP-1/2 +10db harckocsi)
3.gépesített lövész zászlóalj(~40 db BTR-60/70/80 vagy BMP-1/2 +10db harckocsi)
(tüzér, légvédelmi, műszaki, vegyvédelmi, stb. támogató alakulatok)

Tehát egy ezreden belül a harckocsi zászlóalj harckocsi állományát (századait) szétosztják a gépesített lövész zászlóaljak között. Harcban tehát 3 db manőverező zászlóalj van, ahol a BMP/BTR aránya a harckocsihoz kb. 3:1. A három zászlóaljból 2 db van a fronton, a maradék 1 db alkotja a manőverező tartalékot. Egy hadosztályban a BTR és BMP-vel felszerelt ezredek aránya 2:1, lásd korábbi szervezeti felépítést bemutató diagramon a csapatlégvédelmi fejezet elején.

A g.l. zászlóaljak állománya BMP/BTR szempontból homogén volt, hogy BTR vagy BMP járművet használtak-e, a zászlóaljak illetve az ezred fajtájától függött, nem volt olyan ezred, aminek egyik zászlóalja BMP-s, a többi BTR-es volt.

Minden ezred 1 db Osza osztályt (ütegek) kapott volna (4 db indító jármű) úgy elosztva, hogy a fronton lévő 2 db zászlóalj kap 1-1 pár Oszát, a harmadik pihenőben/tartalékban lévő zászlóalj nem kap légvédelmet. Tehát minden ezrednek van 1 db Osza osztálya (4 db), illetve a hadosztály felderítő zászlóalja is rendelkezik 1 db Osza osztállyal. A Tor-1-gyel felszerelt alakulatoknál is ez a struktúra maradt volna érvényben.

A következő elméleti megközelítésekkel került ábrázolásra egy hadseregcsoport légvédelme:

- Egy 2K11 Krug harci osztály (3 db üteg, 3 db célcsatorna) megsemmisítési zónája összevonva van ábrázolva. Egy osztály 3 db ütegének közötti maximális elméleti távolsága legfeljebb 5 km. Még maximális ütegek közötti távolság esetén is alig nagyobb a megsemmisítési zónája a három ütegnek együtt nézve, mint a 3 db ütegnek egy pontba koncentrált egy megsemmisítési zónája. A települési helyek találomra, pusztán józan ész alapján kerültek felvételre, a megfelelő célcsatorna sűrűséget és átfedést figyelembe véve. Mind hadsereg és mind hadseregcsoport szinten egy harci osztály nem tűzkész (áttelepül), tehát két harci osztály áll rendelkezésre.

- Minden 2K12 Kub osztály (üteg) külön került ábrázolásra, egy Kub osztály nem tűzkész (áttelepül), tehát 4 db osztály áll csak rendelkezésre.

- 9K33 Osza. A járművek a front mögött 1,5-3km-rel párosával haladnak, minden ezred 2 db járművel rendelkezik, a páron belül a távolság: max. 0,5 km, párok közötti távolság: max. 3 km. A járműpárok

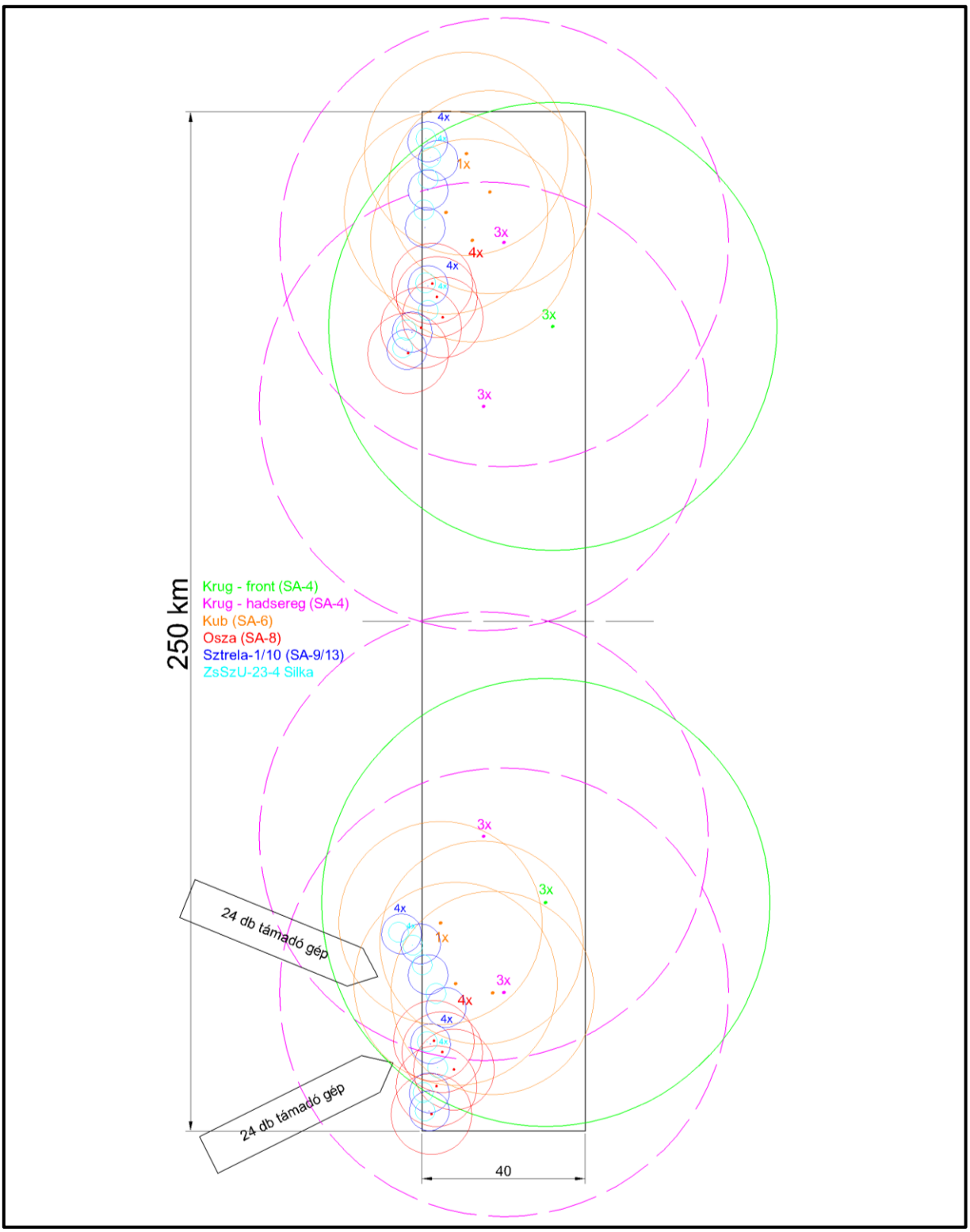
megsemmisítési távolsága együtt kerül ábrázolásra, mert még maximális párok közötti távolság esetén is alig nagyobb a megsemmisítési zónája két párnak, mint egy pontba koncentrált két párnak. Feltételezzük, hogy az összes tűzcsatorna rendelkezésre áll, menetből 10 másodperc nagyságrend alatt tűzkész a jármű. (Idealizált eset.)

- Sztrela-1/10. 4 db jármű a front mögött 0,4-0,6 km-re láncban, egymástól 0,5 km-re vagy 4 db jármű (két) párban, páron belül a távolság: max. 0,3 km párok közötti távolság: max. 1 km. Itt is összevonva vannak ábrázolva a járművek és célcsatornák a fent ismertettek miatt. Feltételezzük, hogy az összes tűzcsatorna rendelkezésre áll, menetből 10 másodperc nagyságrend alatt tűzkész a jármű. (Idealizált eset.)

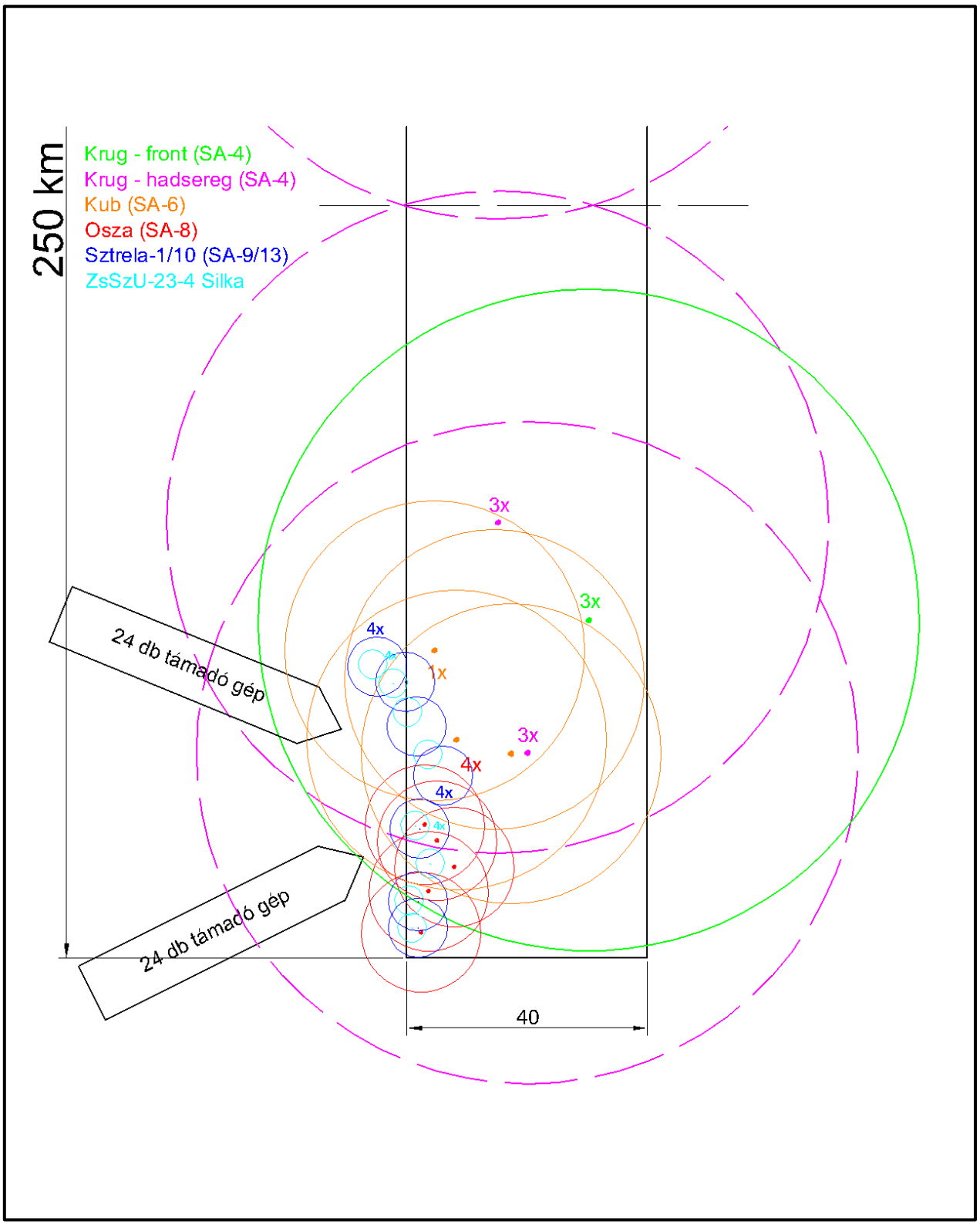
- ZsSzU-23 Silka.4 db jármű a front mögött 0,1-0,5 km-re csoportban, egymástól 0,15-0,25 km-re, vagy 4 db jármű (két) párban a front mögött 0,4-0,5 km-re, páron belül a távolság: 0,15-0,25 km párok közötti távolság: 0,8-1 km, vagy 4 db jármű a front mögött 0,4-0,5 km-re láncban, egymástól 0,15-0,25 km-re. Itt is összevonva vannak ábrázolva a járművek és célcsatornák a fent már ismertettek miatt. Feltételezzük, hogy az összes tűzcsatorna rendelkezésre áll, menetből 10 másodperc nagyságrend alatt tűzkész a jármű. (Idealizált eset.)

- Sztrela-2/3 vagy Igla/Igla-1 vállról indítható légvédelmi rakéták nem kerültek ábrázolásra, a front mentén ábrázolhatatlan eloszlásban és mennyiségben állnak rendelkezésre Ezeknél legkritikusabb nagy sebességű célok esetén az indítási zóna helyes megítélése és a célazonosítás, az összes fenti jármű ideális esetben rendelkezett AVR kapcsolattal a felkészüléshez és célkiosztáshoz.

A következő oldali ábrákon látható helyzet megítéléséhez még egy további kitétel szükséges. Amennyiben egy frontszakaszon a légvédelem dolgozik, akkor azon a területen ugyanazon oldalon vadász tevékenység nem valószínű, mert a célok hovatartozásának azonosítása onnantól fogva, hogy a gépek egymás közelébe értek gyakorlatilag lehetetlen, a saját gépek lelövésének esélye tolerálhatatlanul magassá válik, ahogy az a való életben számtalan esetben bebizonyosodott. Az IFF rendszerek olyan széles szögtartományban tudnak csak „lekérdezni”, hogy kérdéses irányból ellenséges és baráti „válasz” is érkezne a repülőgépek válaszjeladójától, ez azt jelenti, hogy értelmezhető saját/ellenég válaszjel.



A hadseregcsoport sematikus légvédelmi megsemmisítési zónája, mindkét hadseregnél csak 1-1 harckocsi és gépesített lövész hadosztállyal. Feltételezzük, hogy a támadó gépek ismerik a támadás súlypontjának helyét és a légvédelem is annak megfelelően helyezkedik el.



A frontszakasz légvédelmének rétegződése erősebb nagyításban.

Az ábrákon látható, hogy egy időben támadó gépek közepes és nagy magasságon repülve egészen közel tudnak kerülni nagy számban úgy, hogy még tökéletes célkiosztás esetén is – minden Krug és Kub célcsatorna más célra dolgozik– kb. 12 db célra tud rakétát indítani a HMZ szélén, amivel a támadó gépek fele lefogható. Ez a mennyiség csökkenthető úgy – amennyiben a domborzat lehetővé teszi –, hogy alacsonyan közelítik meg a célterületet, ekkor a Kub és Krug csak sokkal később kezdhetik meg a célok leküzdését. Nem csak így, de pl. elektronikai zavarással támogatva is lehet késleltetni vagy korlátozni a

légvédelmi rendszerek megsemmisítési zónáját, illetve radar elleni rakéta bevetésekor feltételezhető, hogy adott estben ezen osztályok némelyike önvédelemből kikapcsol.

Az ábrákon két támadó kötelék van ábrázolva. Ezt lehet úgy kezelni, hogy két eltérő irány esetén milyen helyzet állna elő, illetve két támadó kötelék egyidejű támadása is vizsgálható. A hidegháborús repülőgép mennyiséget figyelembe véve a 24-48 db támadó gép egyáltalán nem túlzó.

A Sztrela-1/10, Silka és vállról indítható légvédelmi eszközök megsemmisítési zónájából a fejlettebb és egyben potensebb fegyverzettel bíró gépek képesek voltak kívül maradni bizonyos kompromisszumokkal, vagy legalábbis nagyon lecsökkenteni azok megsemmisítési zónájában eltöltött időt, de csak jó földi rávezetéssel. Ez lényegében az AGM-65A/D irányított rakétával támadó A-10A vagy egyéb támadó gépeket jelenti. Indítás után a repülőgép kifordulhatott, a rakéta saját magát vezette célra. 2,5-3 km-es magasságban és 6-7 km-es távolságban már indítható volt, ezzel nagyon elméleti megközelítésben kívül lehetett maradni a Sztrela-1/10M illetve a vállról indítható légvédelmi rakéták megsemmisítési zónájából.

A fenti ábrán látható, hogy minden támadó repülőgép számára nagyon súlyossá a helyzet az Osza légvédelmi komplexumok megsemmisítési zónájának elérésekor kezdődik, ekkor drámaian megnő a célcsatornák száma. A ’80-as években a legkorszerűbb fegyverzettel sem volt lehetséges ezek megsemmisítési zónáján kívül operálni az AGM-88 radar elleni rakétát leszámítva.

A fenti ábra alapján a csapatlégvédelem képességei rendkívül erősnek tűnnek, amivel a NATO erőinek adott esetben szembe kellett volna szállnia egy nem nukleáris fegyverekkel vívott háború esetén.[545] Viszont ahogy már korábban említve volt, a fenti kép csalóka.

Először is, a fenti front egy teljesen felvázolt idealizált eset, ahol minden egység fel van fejlődve, a valóságban ezzel szemben előfordulhat, hogy az egész ezred úton halad a front felé, tehát a területi lefedettség és az abban a pillanatban rendelkezésre álló tűzcsatornák száma kevesebb. A legkomolyabb eltérést a VSz tagállamok által hadrendbe állított fegyverzet mennyisége és minősége jelentette, ami a fenti célcsatorna mennyiséget teljesen megbolygatja mind minőségileg, mind mennyiségileg.

[545] *Az én véleményem az, hogy atomháború esetén, még egyes légvédelmi rakéta-rendszerek ballisztikus rakéta elhárító képességét figyelembe véve is mindkét oldal pillanatok alatt elpusztította volna az ellenséges erők egy részét, vagy a repülőgépekről bevetett nukleáris fegyverrel, vagy harcászati-és hadászati ballisztikus rakétákkal. A szerencsés (?) túlélők meg úgy harcoltak volna tovább, ahogy tudnak. A fegyveres erők integritásából valószínűleg nem sok maradt volna, a nukleáris sivatagban való mozgás sem a hosszú túlélést biztosító tevékenységek közé tartozik.*
Még korlátozott atomháború esetén is olyan pusztításról beszélünk, amihez képes a II. világháború teljes 6 éves pusztítása Európában helyenként szerénynek lenne mondható. A különbség az, hogy ezt napok (vagy órák) alatt érték volna el. A legkisebb tűzerővel bíró harcászati atomfegyverek is 20-50 kt-ás hatóerő tartományban mozogtak, de a 100 kt sem számított ritkának.
A páncélos járművek ezt még viszonylag jól viselték volna, néhány száz méterről ilyen fegyverek bevetése is túlélhető, de a hadtáp elvesztésével nincs az fegyveres erő, ami képes lenne előre nyomulni. Márpedig a hadtáp „puhatestű”, azok elleni csapással középtávon nézve a csapatok harcképessége igen hamar nullára csökken, üzemanyag és egyéb hadianyag hiányában a harcértékük köddé válik.

6.2.4.3.2. Eltérések a szovjet mintájú légvédelemhez képest a VSz tagországokban

A Magyar Néphadseregben a szovjet mennyiséghez képest a következő eltérések voltak:

- Az ezred közvetlen légvédelme fele volt a szovjetnek mennyiségileg 1+1 db szakasz helyett csak 1 db szakasz. A 4 db + 4 db Silka + Sztrela-1/10 eredeti szovjet koncepció helyett a MN-ben található mennyiség a fele, vagy Silka vagy Sztrela volt csak.
    - Harckocsi ezred légvédelme 1 db szakasz, 4 db Silka (lánctalpas, mint harckocsi), nincs légvédelmi rakétás szakasz.
    - Gépesített lövészezred légvédelme 1 db rakétás szakasz, 4 db Sztrela-1M (kerekes, mint a PSzH járművek egy része) vagy 4 db Sztrela-10 (csak Szombathelyen, lánctalpas, mint a BMP-1), nincs önjáró légvédelmi gépágyús szakasz.
- Az zászlóaljak légvédelme is mennyiségileg csak fele volt a szovjetnek, csak 4 db Sztrela-2M vagy 4 db Igla-1 (Szombathelyen) + 1 parancsnoki indító volt hadrendben zászlóaljanként.
- Hadsereg szintű légvédelem a 2K11 Krug volt Magyarországon is, de csak 1981-től előtte 2K12 Kub osztályok szolgáltak erre, viszont addig hadosztályoknál egyáltalán nem volt hadosztály szintű rakétás légvédelem. Szovjet erőknél Krug légvédelmi ***dandár*** volt 3 db osztállyal, osztályonként 3 db üteggel, addig Magyarországon légvédelmi ***ezred volt***, 2 db osztállyal, osztályonként 3 db üteggel. Tehát a szovjetekhez képest 9 db helyett csak 6 db célcsatorna és arányosan kevesebb rakéta állt rendelkezésre, csak 2/3-a volt az ezred tűzereje a dandárral összevetve.
- A hadseregcsoport légvédelmét a szovjetek biztosították, Hpasp kiegészítése ehhez:

Az MN hadsereg szintű légvédelmét a keszthelyi ezred látta el 6 db Krug komplexummal

A szovjet Déli Hadseregcsoport hadsereg szintű légvédelmét a Móri dandár látta el 4db Buk osztállyal, Mór (2x), Pápa illetve Fertőszentmiklós települési helyeken a '80-as évek végén, előtte Krug volt.

A Délnyugati Frontszintű légvédelmet a Dunaföldvári dandár látta el 3 db Krug osztállyal, Dunaföldvár, Igal, illetve Sármellék települési helyeken.

- A korábban bemutatott MN szervezeti összefoglaló ábrán látható, hogy a 5. hadsereg 7. hadosztályánál nem ***légvédelmi rakétaezred***, hanem csak ***tüzérezred*** van. A tüzérezredek Sz-60 légvédelmi ágyút használó légvédelmi ezredeket jelentenek.

  Egy ezrednek 1 db törzsütege és 4 db tüzér ütege volt. A törzsütegnek 2 db P-15 (Flat Face) lokátora, a tüzér ütegekhez pedig 1db SzON-9 vagy RPK-1 radar, továbbá 6 db löveg tartozott. Egy légvédelmi tüzér ezred így: 2 db P-15 radar, 4 db SzON-9/RPK-1, és 4x6 = 24 db 57 mm-es légvédelmi ágyúval rendelkezett. A mellékletekben[546] táblázat 4 db Sz-60 a 4 db üteget jelenti, tehát a tüzérezredet, ahol 6 db Sz-60 van, ott 6 db üteges Sz-60 dandárról van szó. Sz-60 dandárokat használt az NDK tüzérezredek helyett a hidegháború végén.

  (Valószínűleg 2K12 Kub hadrendbe állítását követően a légvédelmi rakétát nem kapó hadosztályok Sz-60 légvédelmi tüzérezredeinek létszámát duzzasztották fel.)

- Magyarország soha nem vásárolt az 9K33 Osza (SA-8) rendszert, helyette végig megmaradt a 2K12 Kub (SA-6) mind a három hadosztálynál, ahol Kub rendszeresítése történt. Apró szépséghiba, hogy egyik Kub ezred sem volt soha teljes állományú, 4 -4 db, illetve 3 db osztállyal rendelkeztek a szovjet

[546] ***VSz-front-honi-hadsereg-hadosztály-légvédelme*** *Excel táblázat.*

5 darabos mennyiség helyett és nem is jutott minden hadosztálynak Kub, ahova nem jutott, ott Sz-60 tüzérezredek maradtak hadrendben.

A MN színvonala mind minőségi és mennyiségi téren alapvetően elmaradt a szovjettel összevetve a ’80-as években nem csak a légvédelem terén, de a szárazföldi erők többi technikájánál és ez korábban sem volt másként. Ezzel Magyarország a VSz-en belül nem volt kivételes helyzetben, a többi tagállamhoz képes valamiben Magyarország volt jobb (pl. Krug beszerzés, Románia nem vásárolt soha), valamiben a keletnémetek, csehek vagy a lengyelek (Osza beszerzés komoly mennyiségben.)

A Magyar Néphadseregnél említett elérések esetén az előző fejezetben bemutatott ábrán a következőket jelentik:

- A Krug mennyisége számottevően kevesebb amennyiben maradunk az 1-1 db osztályos áttelepülést feltételezve, mert 2 db helyett hadsereg szinten csak 1 db osztály marad aktív, 3 db-bal csökken a célcsatorna mennyiség.
- A Silka és a Sztrela-1/10 egységek fele volt csak meg, tehát gépesített lövész ezredeknél az ábrán nincs Silka, a páncélos ezredeknél nincs Sztrela-1/10, tehát ezredenként 4 db célcsatornával kevesebb van.
- Az Osza helyett Kub. A célcsatornák száma 20 db-ról 5 db-ra zuhan gépesített lövész hadosztályonként a lenti hadosztálynál, bár nagyobb HMZ-vel rendelkeznek. Pontosabban zuhanna, mert a Kub ezredeknél sem volt meg az előírt osztály mennyiség, a három hadosztály, ami rendelkezett Kub ezreddel csak 4, 4, illetve 3 db célcsatornával rendelkezett és csak 1981 után.
- A 6 db magyar hadosztályból csak háromnak volt Kub rakéta légvédelme, a maradék háromnak csak S-60 tüzérezrede volt. Ennek HMZ-je legfeljebb 6 km távolság és néhány km-es magasságig terjed alacsony megsemmisítési valószínűséggel nagy sebességű célok ellen és elméleti hatásossággal manőverező célokkal ekkora távolság esetén.

Az 1986-os felépítést nézve az 5. hadsereg 9 db harcoló ezredből (3 db harckocsizó, 6 db gépesített lövész) állt volna össze a 11., 8. és 9. hadosztályoknál, amikből kettő gépesített lövész, egy páncélos (11. Tata) hadosztály. Az 5. hadsereg 2 db szovjet hadosztállyal kiegészítve lett volna teljes hadsereg, tehát a fennmaradó két hadosztály ereje teljes.

A 9 db harcoló ezrednél 3x4 db Sztrela-1/10M és 6x4 db Silka célcsatornával van kevesebb, ebből a Sztrela-1/10 a súlyosabb elvileg. A két gépesített lövész hadosztálynál 2x20 db Osza célcsatorna helyett mindössze 3+4 db Kub célcsatorna van, a harckocsi hadosztálynál 4 db Kub van 5 db helyett. Összesen tehát a 24 db Silkával van kevesebb, de az igazán súlyos csapás az, hogy a rakétás célcsatornák száma (2x20)-(3)-(4) illetve (5)-(4), tehát 34 db rakétás célcsatornával volt kevesebb a szovjethez képest. Ezt még az sem képes ellensúlyozni, hogy az Kub HMZ-je nagyobb, mint az Osza rendszeré.

A 3. hadsereg két hadosztályánál ennél is súlyosabb hiányosságok voltak, hiszen Sz-60 tüzérezredek voltak, sem Kub sem Osza nem állt rendelkezésre. Az ezred szintű légvédelem sem volt valószínűleg meg. Az 5. hadsereg összesen 5 db harckocsi ezreddel bírt, Magyarország 22 db Silka járművet vásárolt, ami azt jelenti, hogy 5x4 db az ezredekhez került és 2 db a drégelypalánki lőtéren volt. Tehát a 3. hadseregnek ezred szintű légvédelme valószínűleg egyáltalán nem volt. A 4. és 15. hadosztály még egy másodvonalas szovjet alakulattal összemérve is nevetségesen alulfegyverzett volt. A 15. hadosztály nem is gépesített, hanem gépkocsizó volt, tehát páncélozott szállító járművekkel nem rendelkeztek, egyes támogató egységek teljesen hiányoztak.

Bár nem került rá sor a KGST és Szovjetunió megszűnése és azt követő gazdasági összeomlás miatt, de a '90-es évekre tervezett korszerűsítés során hadsereg szintű légvédelemnél 1 db Buk-M1 osztály ajánlottak megvételre 1 db Buk-M1 dandár helyett. A Krug esetén a dandár és ezred között 2/3-os arány állt fent (így spórolt a vezetés), ehhez képest egy Buk-M1 dandár negyedét (!) ajánlották ezredként fel a szovjetek. Szemléletes, hogy mennyire nem volt pénze már az országnak a katonai beszerzésekre, hogy a '80-as évek magyar szemmel erőltetett átfegyverzése is mennyire megviselte az országot.

A légierő is csak egy század MiG-23-ast állított hadrendbe és abból sem a legkorszerűbb, hanem csak az MF változatot az ML vagy MLD helyett, a hadseregnél is csak Tatán álltak hadrendbe a T-72M1 harckocsik és a T-55AM-hez nem történt meg a lövegcsőből indítható irányított páncéltörő rakéták beszerzése sem.

Finnország 1996-ban szerzett be 4 db Buk-M1 harci osztályt (3 db Helsinki, 1 db Tampere települési hellyel), akkori áron 240 millió dollárért úgy, hogy a dandár szintű vezetési eszközöket be sem szerezték, mert egyetlen ezred esetén ez értelmetlen. A finn vásárlás mai árfolyamon kb. 240 millió USD-s tételt képviselt. Tehát egy Buk dandár ára nagyságrendileg valahol 1 milliárd USD táján lehet. A fantasztikus képességeknek már akkor is megvolt a maga ára...

A Csehszlovák Néphadseregnél említett elérések a következők:

- 3 db hadosztályuknál (összesen 10 db hadosztályuk volt) Praga vz.53/59 járműből[547] társítottak 4 db-ot 4 db Sztrela-10M-hez ezredenként. Az összes többi hadosztálynak ***egyáltalán nem volt ezred szintű légvédelmi rakéta-rendszere***. A Praga légvédelmi gépágyú messze elmaradt a Silka pontosságától és tűzerejétől.

  A Szrela-10 1983 és 1988 került rendszeresítésre összesen 11 db üteg (44 db jármű). Sztrela-1-ből összesen egy üteg (4 db) 1978-ban.

- A 10 db hadosztályuknál a hadosztály szintű légvédelem 5 db hadosztálynál megvolt – 5x4 db Osza vagy 5 db Kub –, de csak 1986 után. A fennmaradó 5 db hadosztály egyikénél csak 4 db Kub volt és az összes többinél Sz-60 tüzérezred. Azonban 1980 körül – erre az időpontra készült az előző fejezetben az összesítés – a cseheknél is komoly hiányosságok voltak. Ekkor 3 db hadosztálynál volt meg az 5 db Kub hadosztály szinten, az Osza hadrendbe állítása ekkor még nem történt meg.

- A front szintű légvédelemnél a Krug beszerzése megtörtént már ekkor, de hadsereg szintű légvédelem a hidegháború végéig Kub ezredekkel történt Krug dandár helyett. Ez kevesebb célcsatornát (csak 5 db 9 db helyett), kisebb HMZ és ballisztikus rakéta elhárító képességet jelentett.

A fentiek alapján látható, hogy egyes területeken a cseheknél még a magyarnál nagyobb hiányosságok voltak, főleg az ezredszintű légvédelemnél. Ahol rendelkezésre állt, ott korszerű volt a '80-as évek végén a Sztrela-10M, de haderő 70%-nak egyáltalán nem volt ilyen légvédelme.

[547] https://en.wikipedia.org/wiki/M53/59_Praga

Az NDK haderejében az eltérések a következők:

- Magyarországhoz hasonlóan hadsereg szinten Krug (SA-4) dandár helyett 2/3-ad méretű Krug ezred volt, ezek 1978 és 1980-ben kerültek beszerzésre.

- Hadosztály szinten a két harckocsi hadosztály rendelkezett teljes 2K12 Kub (SA-6)ezreddel (5 db osztály hadosztályonként), viszont a gépesített lövész hadosztályoknál a kép igen vegyes. 2 db gépesített lövészhadosztály teljes Osza ezreddel rendelkezett, 3 db hadosztály Kub ezrede csak 4 db Kub osztállyal bírt és fennmaradó 4 db hadosztály csak S-60 tüzérezredekkel bírt, de azok a magyarnál nagyobbak voltak, 4 db üteg helyett 6 db üteggel rendelkeztek a ’80-as évek végén. (Valószínűleg, ahogy az első lépcsős alakulatok megkapták a korszerűbb technikát, a leadott Sz-60-asok a megmaradó alakulatokhoz kerültek és így „híztak” meg.)

- Ezred szinten a kép még inkább lesújtó. Nagyjából az ezredek negyede (!) rendelkezett a 4+4 db Szrela-10 + ZSzU-23-4 Silka járművekkel, a többinél Silka + Sztrela-1 volt vagy semmi.

- Zászlóalj szinten lényegében csak Sztrela-2M (SA-7) volt (kb. 1900 db-ot vásároltak), és csak 75 db Igla-1-et (SA-16) szereztek be.

A mellékeltek között Hpasp által készített táblázatokból a fenti, illetve többi VSz tagország és Jugoszlávia mennyiségi és minőségi eltérése kiolvasható front, hadsereg és hadosztály szinten az 1974-1990 közötti időszakot nézve. Az, hogy a harcoló ezredek szintjén levő közvetlen légvédelem szintjén mi volt meg – illetve mi nem volt meg a szovjet mennyiséghez képest –azt csak Csehszlovákia, Magyarország és úgy ahogy az NDK esetén áll rendelkezésre.[548]

A kontraszt még akkor is igen erős a szovjettel összemérve, ha csak hadsereg és hadosztály szinten vizsgálódik az ember, ezred szinten meg már aztán tényleg rendkívül foghíjas volt a VSz tagországok csapatlégvédelme a szovjettel összemérve.

Az már a csehszlovák és a magyar példákból is látszik, hogy az a fajta minőségi és mennyiségű tűzerő koncentráció, amit a táblázatok és a fenti elvi ábrák felvázolnak tisztelet parancsoló, ***csak éppen soha nem létezett, még a lehető legoptimálisabb időpontot nézve sem***. Háborúban a frontok és hadseregek szovjet + VSz hadosztályok együtteséből álltak volna össze, ez azt jelentette, hogy bőven voltak olyan hadseregek, aminek csapatlégvédelme a fenti ideálistól nemhogy kicsit volt rosszabb, hanem ***messze elmaradt minőségileg és mennyiségileg is*** attól, mintha csak szovjet hadosztályokból álló hadseregekkel számol bárki.

A VSz tagországok teljes haderejének legfeljebb a krémje kapta meg a legkorszerűbb fegyverzetet – sokszor még azok sem előírt mennyiségben – a többinek meg jutott a régi és elavult eszköz, vagy még az sem, lásd a magyar 1986-os szervezeti felépítést, ahol a 15. nyíregyházi gépesített lövész hadosztálynál nem volt sem páncéltörő tüzérosztály, sem tüzérezred.

A fenti idealizált, csak szovjet hadosztályokból álló haderő legfeljebb Kínával és Iránnal határos területen létezett, de mivel a Kínai Népi Felszabadító hadsereg még a VSz államoknál is elmaradottabb volt a ’80-as években azok állománya valószínűleg nem elsővonalas eszközökkel rendelkezett, tehát ott sem feltétlen igaz a fenti elvi megközelítés.

[548] *Ezeket az adatokat Hpasp-tól származnak.*

A legkorszerűbb szovjet rendszerekből (2K22M Tunguzka, 9K331 Tor-M1, 9K37 Buk-M1, Sz-300V) a hidegháború végén szinte csak mutatóban vagy inkább egyáltalán nem volt a szovjeteknek, a VSz tagországokban meg még a régebbi eszközökből sem volt meg az előírt mennyiség.

Egyetlen Sz-300V dandár volt csak Európában1989-ig, Buk-M1 dandárból is csak kettő volt. Meglepő módon a Krug-ról Buk-ra átfegyverzett kevés alakulat egyike pont Magyarországon volt 1987-től, annak ellenére, hogy ez másodlagos frontnak számított, a másik Buk-M1 dandár az NDK területén állomásozott. Tehát a fent bemutatott átfegyverzett elméleti hadseregcsoport rendkívül durván túl lő a valóságon.

Az átfegyverzés ütemének megítéléséhez tanulságos és érdemes végignézni, hogy mivel van felfegyverezve manapság (2017-ben) egy Moszkva melletti elit gárda harckocsi hadosztály. T-80UK, BMP-2, BTR-82A, BRM-1K, BM-21 Grad, 9K57 Uragan, 2Sz19M2 Mszta-Sz, 9K331M Tor-M2, BREM-1. Helyenként igen erős '80-as évek vége utánérzése támad az embernek végignézve az eszközparkon... Egyedül a BTR-82A és a Tor-M2 újabb eszközök, bár azok is ugyanabban a korszakban már meglévő rendszerek korszerűsített változatai. A fenti járművekből összeálló alakulat lett volna nagyjából az idealizált elit szovjet/VSz hadosztály a kilencvenes évek közepén vagy végén, de 2017-ben sem éri el ezt általánosan az orosz haderő. Mind a napig használnak például még Silkát és Sztrela-10M leszármazottat, a 2K22M Tunguzka és annak korszerűbb változatai még mindig nem szorították ki ezred szintű légvédelemnél, hadosztály szinten legalább már az 9K33 Osza (SA-8) kikopott.[549]

A fenti felső becslés a szárazföldi erőkre és a légierőre is igaz, nem csak a légvédelmi egységekre. A fórumokon sokszor vérre menő viták mennek, ahol lényegében csak a csúcs szovjet, amerikai és NATO rendszereket mérik össze, de több könyv is ebbe a hibába (?) esik.

Kicsit mélyebbre ásva az ember azt látja, hogy mind a VSz, mind a NATO kemény magját a két nehézfiú, az Szovjetunió és az USA adta. A többi tagországnak voltak komolyabb ütőerővel bíró alakulatai, de az illúzió, hogy csak ezek léteztek volna, valójában ezek voltak kisebbségben. A „masszában" mennyiségileg nagyon komoly aránnyal képviseltették magukat a másodvonalas technikát használó alakulatok.

Tehát nagyon szórakoztató lehet egyeseknek arról vitázni, hogy mit kezdett volna mondjuk egy nyugatnémet Leopard 2A1 harckocsi dandár mondjuk T-64BV harckocsikkal felszerelt páncélos szovjet ezreddel szemben, csak éppen a nyugatnémet páncélos „kemény magot" leszámítva az európai államok nagyrészt Leopard 1, Chieftain és Centurion – ez utóbbi második világháborús gyökerekkel bír – harckocsik különféle változatait használtak nagy számban, a teljesen elavultnak számító francia AMX-30-cal egyetemben.

A keleti oldalon a helyzet pontosan ugyanez. Szép és jó a kőkemény és félelmetes elsővonalas szovjet páncélos erő, csak ehhez képest a '80-as években is a VSz államok harckocsi erejének gerincét még mindig T-55/T-55AM különféle változatai adták. A T-72 korai és sokkal primitívebb export változata is (T-72M1) elenyésző mennyiségét képviselte a VSz országok teljes harckocsi erejének, illetve a szovjet T-72 csúcsmodelleknek (T-72B/B1) híre-hamva se volt. A T-64 és T-80 típusok exportja a hidegháború alatt fel sem merült, azokat mindig az elit szovjet alakulatok kapták meg, a hidegháború alatt nem is exportálták azokat. (T-80-ast a hidegháború után már igen, a T-64 addigra, mint platform már elavult, bár továbbra is hadrendben maradt Ukrajnában.)

[549] http://legiero.blog.hu/2017/08/29/akcioban_a_pvo

Tehát a VSz tagállamokban még a rendszeresített T-72 harckocsik is messze a szovjet szint alatt voltak, még az azokhoz való lőszer terén is félig impotensek voltak a VSz tagországok. A legnagyobb páncélátütéssel rendelkező gránátokból háború esetén a szovjet készletekből kaptak volna harckocsinként legfeljebb fél-egy tucatot. Bármely nem szovjet páncélos erőt úgy gázolta le volna egy amerikai M1A1-et, vagy egy német Leopard 2A1/2A4-gyel felszerelt alakulat, hogy az maga lett volna a mészárszék. A Magyar Néphadsereg által használt harckocsik '70-es évek végi, '80-as évek eleji korszerű irányított páncéltörő rakéták ellen (iTOW, TOW2, HOT I/II) gyakorlatilag védtelenek voltak, azonban a gyengébb olasz, osztrák és egyéb másodvonalas harckocsik ellen megfeleltek a célnak.

Légierő terén sem volt más a helyzet. Szépen csillog az amerikai F-15 és F-16, de emellett összesen ezres nagyságrenden repültek F-104 Starfighter, F-5 Tiger II sőt, szubszonikus, gyakorlatilag iskolagép teljesítményén alig túlmutató, Alpha Jet, Fiat G91 repülőgépek is a '70-es évek végén, de még a '80-as években is. Háború esetén ezeket is bevetették volna, mert a szükség és a VSz szárazföldi túlereje megkövetelte volna.

Magyarországon a '80-as években (időszaktól függően, a sármelléki MiG-23-asokat váltották le utoljára) legalább 2 db MiG-29 9.12 és/vagy 9.13 vadászgépet üzemeltető szovjet vadászezred állomásozott nagyságrendileg 60-90 db vadászgéppel. Ehhez képest a legkomolyabb magyar vadászgépből a MiG-23MF-ből összesen egy tucat állt hadrendbe (egy század), minden más alakulat MiG-21bisz és MiG-21MF vadászgépekkel repült. Nem túlzás azt mondani, hogy két szovjet MiG-29-cel felszerelt ezred nagyobb erőt képviselt, mint a Magyar Néphadsereg teljes vadászlégiereje.

Csapásmérő erő terén a helyzet ugyanez. Minimális mennyiségű, egy századnyi Szu-22M3 miközben a szovjet Déli Hadsereg Csoport repülő alakulatai Szu-24 és MiG-27-tel voltak felszerelve a '80-as években. Hatalmas a kontraszt a Szovjetunió és a VSz tagországok által használt repülőtechnika minőségi és mennyisége eloszlása között. (Na persze nem véletlenül volt a szovjet „életszínvonal" olyan, amilyen...)

Valójában két szuperhatalom mellett néhány kiemelt alakulatot leszámítva a VSz tagállamok részben erős túlzással sokszor csak segédcsapatok szintjét érték el, de ez a NATO oldalán sem volt másként.

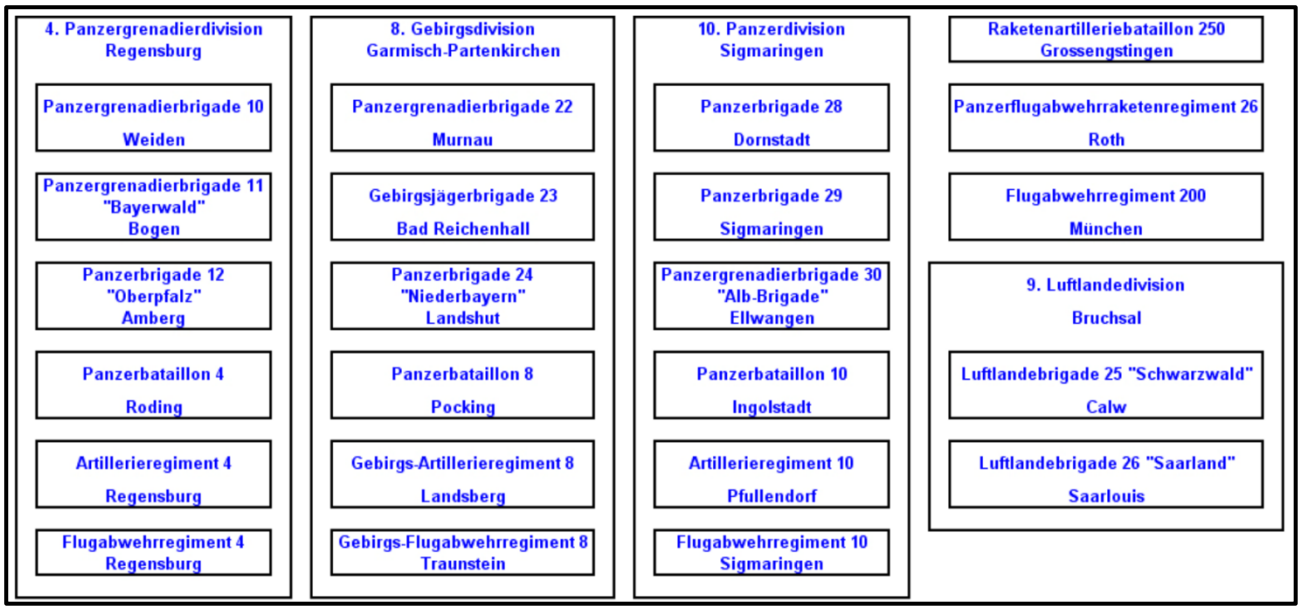
6.2.4.3.3. Egyéb országok csapatlégvédelme

A amerikai, a NATO vagy bármilyen más ország csapatlégvédelmet csak említés szintjén szerepel az összefoglalóban, ennek oka az, hogy erős túlzással a szovjet csapatlégvédelemhez képest nem léteznek, illetve a fegyveres erők szervezeti felépítése eltér a szovjettől, ezért abban a formában direktben nem is összehasonlíthatóak. A hidegháború alatt például a NSZK-ban levő HAWK és Patriot védelmi sáv szervezetileg nem volt olyan szimbiózisban a szárazföldi erők többi részével, mint a szovjet hadsereg és front szintű légvédelmi egységei, szovjet csapatlégvédelemmel ellentétben alapvetően statikus védelemre (a gépesített hadviselés keretein belül értelmezve ezt a statikusságot) készültek.

Az USA, a NATO tagállamok vagy bármely más nyugati ország szárazföldi haderejének légvédelmének képességeit a szovjet mintájúhoz érdemes mérni eszközpark, mennyiség és minőség terén kiemelve az alapvető különbségeket. A kiragadott példák esetén látható lesz, hogy a nyugati országok nem egységesített szemlélete gyökeresen eltérhet a szovjet mintától, számtalan érdekes „kilengés" előfordul a szovjet rendszerhez képest, hogy melyik haderőnem milyen eszközöket üzemeltet.

A mellékletek között elérhető ***1989 NATO Order of Battle mod8*** alapján és a Hpasp által összeállított másik hasonló dokumentumból (***1989-OOB-Hpasp***) néhány észrevétel megtételére szorítkozik mindössze ez

a rövid fejezet, érdemes összehasonlítani a két forrást, hogy mennyire fed át a tartalmuk. (A mod8 sokkal részletesebb.) Az összehasonlításhoz legszemléletesebb talán a Bundeshwehr II. hadtestének a vizsgálata Ulm parancsnoksággal (2nd German Corps - Ulm, FRG: assigned to CENTAG.) A lenti ábra nem teljes, csak a harcoló és főbb támogató alakulatok szerepelnek rajta, ami a mennyiségi és minőségi összehasonlításhoz szükséges a szovjet mintájú csapatlégvédelemmel összevetve.



A Bundeswehr II. hadtestének (nem teljes) szervezeti felépítése.

A fenti ábrán a 2. hadtestben látható négy hadosztály, a 4. páncélgránátos (Panzergrenadierdivision), 8. hegyivadász (Gebirgsdivision), 10. páncélos (Panzerdivision) és 9. légi szállítású hadosztály (Luftlandedivision), illetve az alájuk és mellékük besorolt harcoló, támogató dandárok és ezredek, illetve a hadtesthez tartozó hadest szintű támogató alakulatok.

A szovjethez leginkább hasonló hadosztályok a 4. páncélgránátos és a 10. páncélos hadosztályok, de ezek harcoló alakulatai nem ezredekből, hanem dandárokból állnak (ahogy a MN felépítése 1987 után). Ezen hadosztályok közvetlen légvédelmét a 4. és a 10. légvédelmi ezredek adták (Flugabwehrregiment). Ezek Gepard önjáró légvédelmi gépágyúkkal voltak felszerelve, egy ezredben összesen 36 darabbal – ez ZSzU-23-4 kategória, csak nem 4x23 mm, hanem 2x30 mm-es löveggel és kicsivel nagyobb megsemmisítési zónával – illetve vállról indítható légvédelmi rakétákkal, összesen 216 darabbal. Ez utóbbiak Redeye[550] típusúak voltak, csak a ’80-as évek végétől kezdték Stingerre cserélni.

Egy szovjet gépesített lövész hadosztály 4 darab 4x(4+4) darab légvédelmi gépágyúval és kis hatótávolságú légvédelmi rakétaindítóval rendelkezett. Tehát légvédelmi ágyúkkal igencsak jól el voltak látva a német hadosztályok, azonban légvédelmi rakéta téren igencsak harmatos volt a szovjettel összevetve, ahol számottevő és korszerűbb vállról indítható légvédelmi rakéta volt, továbbá a Sztrela-1/10 HMZ-je lényegesen nagyobb volt, repülőgépek ellen sokkal inkább használhatóak voltak a vállról indítható rakétákhoz képest, főleg ha AVR támogatással is rendelkeztek. A Gepardok nagy számuk ellenére is inkább csak helikopterek ellen hatásosak, nagy sebességű célok ellen kevésbé, főleg ha azok manővereztek is vagy nagyobb távolságból indítható irányított levegő-föld rakétafegyverzettel is bírtak.

[550] *Fligerfaust 1 típusjelzéssel németül. Ezek kb. a Sztrela-2 (SA-7) szintjén voltak, a ’80-as években a Sztrela-3 (SA-14), Igla-1 (SA-16), Igla (SA-18), FIM-92A Stinger vagy a francia Mistral rendszerrel összemérve teljesen elavultnak számított.*

Az egész hadtest védelmét a 200. légvédelmi rakéta ezred adta 36 db Roland légvédelmi rakéta-rendszerrel, ez nagyjából az 9K33 Osza (SA-8) kategória HMZ terén, illetve további 216 db Redeye rakétával. A légiszállítású hadosztályokat leszámítva, ha ezeket szétszórják, akkor is csak 12 db/hadosztály elméleti mennyiség adódik ki a Roland rendszerből. A szovjeteknél hadosztály szintű légvédelmet egy Osza ezred (20 db célcsatorna, ~10 km HMZ) vagy egy Kub ezred (5 db célcsatorna ~20 km HMZ) jelentette, ebből az Oszákat zászlóaljanként osztották el, tehát a támadó zászlóaljak védelme papíron felülmúlta a németekét.

Igaz, hogy számottevő mennyiségű Roland volt, de közvetlenül hadosztály szinten nem volt közepeses hatótávolságú légvédelmi rakéta-rendszere az NSZK-nak, de még hadseregcsoport szinten sem, ahol a legalább Kub, de a ’80-as években 2K11 Krug már a VSz tagállamoknál is rendelkezésre állt legalább a hadseregek egy részénél. A Roland nagyjából az Osza kategóriának megfelelő rendszer, a HMZ-je kb. azonos és egy célcsatornával bír egy jármű. Két rakéta volt indítható, utána a jármű testéből történt az utántöltés, az indító tubusokat ledobta és a rendszer gépesítve töltötte rá a rakétát az indító szerkezetre, egy Roland összesen 10 db rakétát szállított.[551]

Ezzel a Roland a tűzkész rakéták számát nézve alulmaradt az Osza AK/AKM változatokkal szemben (az AK AKM 6 db rakétával bírt), de az utántöltés folyamata lényegesen lassabb az Oszánál. Harcászati szempontból a Roland kiegyensúlyozottabb tűzerőt képviselt, mert rövid időn belül egymás után két célra vagy egy célra két db rakéta indításán túl kis HMZ esetén nincs reális esély. Az új célpontra dolgozás előtt az újratöltés néhány másodperce nem jelentős késedelem. A hatodik rakéta indítása után az Osza hosszú ideig harcképtelen marad a rakéta indítást követően, míg a Rolandnál ez csak a 10. rakéta indítása után következik be.

A fentiek alapján belátható, hogy a NSZK-ban volt csapatlégvédelemnek nevezhető erő, még ha nem is hívták annak, viszont nem csak hadsereg rendelkezett ilyennel. Az NSZK-ban a Roland légvédelmi rakéta-rendszerrel a Luftwaffe (légierő) is rendelkezett. A légierőben levők a repterek légvédelmét látták el, míg a szovjeteknél Osza ilyen feladatot soha nem látott volna el, a szovjet reptereket mindössze 1 db Sz-125M Nyeva osztály védte, tehát ebből a szempontból a német légvédelem az repterek pontvédelmét nézve erősebb volt, azonban azt nem a szárazföldi hadsereg, hanem a légierő látta el.

Az USA csapatlégvédelmi eszközei még a némethez képest is szegényesek, nemhogy a szovjethez mérve. Lényegében a Sztrela-10-zel egy kategóriájú M48 Chaparralra és az M163 VADS (Vulcan Air Defense System) és később PIVADS rendszerekre korlátozódott. Ez utóbbi kettő a csöves légvédelmi tüzérséget jelentette 20 mm-es M61 Vulcan gépágyúkkal M113 alvázon. Bár a Vulcan tűzgyorsasága nagy, a M163 VADS tűzvezetése finoman szólva primitív volt, semmiféle radarral nem rendelkezett, még a ’80-as évekbeli PIVADS is csak távolságmérő radarral bír, önálló célkeresési képességgel nem. Emiatt egy több elemből álló rendszert építettek ki, amelybe beletartozott a Chaparral rakétaindító jármű, a Vulcan önjáró légvédelmi gépágyú, mindkettő kézzel kezelt irányító és tűzvezető rendszerrel, illetve ezek mellé egy AN/MPQ-49 előrejelző radar tartozott, amelynek volt egy primitív adatkapcsolata, mely jelezte a Vulcan és Chaparral kezelők számára, hogy merről érkezik a veszélyforrás, vagyis mely irányból számítsanak a cél beérkezésére. A Vulcan a közeledő célpontra tüzelt, a Chaparral pedig a távoldóra.[552]

A ’80-as évekig a Strela-2-höz hasonló FIM-43 Redeye vállról indítható légvédelmi rakétákkal rendelkezett az USA (ahogy szinte az egész NATO és USA barát országok.). Vállról indítható és a SHORAD

[551] https://www.youtube.com/watch?v=bzXV6OoewDM, https://www.youtube.com/watch?v=BZTsf2tc6RM
[552] https://www.youtube.com/watch?v=-MUzHaHjixA

kategóriájú M48 felett nem létezett semmiféle szovjethez hasonló mobil csapatlégvédelmi eszköz, legfeljebb a HAWK, ha a US Army és a NSZK hadereje nem fix tüzelőállásokba telepítette volna azokat. (A USMC esetén feltételezhető a mobil használata, hiszen azokat telepíteni kellett a hadműveleti területen,[553] azonban valódi mobil alakulatként az alkalmazás körülményei miatt igazából soha nem volt rá szükség.

A ’80-as évek elején jelent meg a FIM-92 Stinger, amit a ’80-as évek végén a nagy mobilitással rendelkező AN/TWQ-1 Avenger rendszer a HMMWV járműre (terepjáróra) integráltak, azt szolgált indítóállásként.[554]. Szintén a 80-as évek végén jelent meg az M6 Linebacker, ami az M2 Bradley járműre telepítve rendelkezett Stinger rakétákkal, de ezeket a hidegháború végével hamar kivontak a hadrendből, pontosabban vissza alakították őket hagyományos M2 harci változatokká.[555] Nem mintha az USA nem próbálkozott volna fejlettebb járművek megalkotásával, de az M247 Sergeant York[556] kudarca után az addig sem túl komoly lelkesedés végleg alábbhagyott. Az amerikai koncepció csak kisegítő szerepet szánt a csapatlégvédelemnek, azzal az alapvető megközelítéssel éltek, hogy a USAF úgyis kivívja gyorsan a légi uralmat.

A VSz államok csórósága ellenére határozottan voltak olyan időszakok a két katonai tömb szembenállása során, amikor ennek gyors bekövetkezésére nem nukleáris háborúban nem fogadtam volna nagy összegben.

Összegezve röviden elmondható, hogy nyugaton a csapatlégvédelem szervezetileg nagyjából az SHORAD kategóriájú légvédelmi rendszereknél véget ér, ezen felül önjáró légvédelmi gépágyú és a MANPAD az, ami természetesen ott is megtalálható. 2K12 Kub (SA-6) szintű közép hatótávolságú mobil légvédelmi rendszernek is legfeljebb a HAWK tekinthető. Apró hiba, hogy a NATO fix tüzelőállásokban tervezte azokat használni a rendszer papíron nagyfokú mobilitása és az osztály megbonthatósága ellenére, ahogy a VSz államokban a Volhov és Nyeva osztályokat a honi légvédelem használta. (A HAWK ezen felül nem páncélozott, míg az összes szovjet-orosz csapatlégvédelmi eszköz legalább repeszvédelemmel rendelkezik.) 2K11 Krug, 9K37 Buk és 9K81 Sz-300V szintű nagy hatótávolságú és adott esetben ballisztikus rakéta elhárításra képes mobil légvédelmi rendszer még nyomokban sem létezett soha a hidegháború alatt. Mivel a korszerűbb PAC-3 változatú Patriot telepített légvédelmi rendszer, annak mobilitása meg sem közelíti a szovjet-orosz rendszerekét.

Hadosztály és hadsereg szinten használt közepes (Kub, Buk) vagy nagy hatótávolságú (Krug, Sz-300V) szovjet-orosz mobil csapatlégvédelmi eszközökhöz hasonlóval nem rendelkezett ***sem az USA sem a NATO egyetlen tagállama sem***. Mind a Patriot, mind a HAWK egységek bár képesek lettek volna mozogni, nem erre készültek, fix, kiépített tüzelő állásokba telepítették azokat. Még ha mozogtak is volna, ezek tűzkészültségi ideje köszönőviszonyban sincs még a ’60-se években tervezett Krug és az utána jövő Kub-hoz, amiknél ez 5-10 perc volt. Mind a Patriot, mind a HAWK rendszernél órás nagyságrendről beszélhetünk a megállástól a tűzkészültségig. A szárazföldi csapatok a telepített HAWK, a ’80-as évektől HAWK és Patriot egységek illetve a saját vadászerők védelme alatt tevékenykedtek volna egy háború esetén Németországban.

A ballisztikus rakéta-elhárítás képessége teljesen hiányzott a NATO-ban – a HAWK-kal az első kísérleteket M3.0 sebességű célok ellen a hidegháború végén vagy azt követően végezték – ehhez képest a

[553] http://6thbattalion56thartillery.com/LAAM_Bn_Patches__USMC_.html
[554] *Messze jobb megoldás, mint a hazai megoldás a Mistrallal a platós teherautón.*
[555] *Ami szerintem hatalmas hiba volt, csapatlégvédelemnek sokkal inkább megfelel a könnyű páncélozású platform, mint az Avenger esetén a HMMWV terepjáró.*
[556] https://www.youtube.com/watch?v=TanFPsRaeto

VSz erőknél számottevő mennyiségű célcsatorna állt rendelkezésre a Krug rendszerrel ilyen harcászati ballisztikus rakéták ellen (még ha nem is gyakorolták a ballisztikus rakétaelhárítást a VSz országok egységesen.) A fent említett nyugati eszközök rövid bemutatása és összehasonlítása az azonos kategóriájú szovjetekkel történik meg a következő fejezetben.

A keleti blokk országai közül Észak-Korea légvédelme érdemel figyelmet, létszámra az egyik legnagyobb méretű szovjet mintájú és szovjet (vagy azok kínai másolatai) eredetű fegyverzettel.

A szervezeti felépítések mellékletei között az Észak-Koreáról szóló anyag 114. nyomtatott oldalától (section 4) kezdve látható, hogy Észak-Korea csapatlégvédelme még a VSz országokénál is nagyobb hiányosságokkal küzdött. Bár az összeállított dokumentum 1997-es az abban foglaltakban gyökeres változás nem állt be az elmúlt 20 évben sem. A régebbi hidegháborús mobil csapatlégvédelmi eszközök a hidegháború vége után 25+ évvel kifutóban vannak már, azok beszerzésének nincs értelme és az ex. VSz országok közül politikai okokból erre nem is kerülhetne sor, továbbá a nemzetközi szankciók miatt bármiféle fegyvereladás Észak-Korea számára csakis illegális módon lehetséges.

Észak-Korea (és semmilyen szovjetbarát) ország számára a 2K11 Krug nem volt hozzáférhető, VSz-en kívül nem exportálták soha, tehát hadsereg szinten ezt legfeljebb a VSz-ben is alkalmazott módon lehetett volna helyettesíteni, 2K12 Kub rendszerrel, azonban ilyet Észak-Korea soha nem szerzett be, ahogy 9K33 Oszát sem.

Észak-Korea hadereje a csapatlégvédelem tehát emiatt mind a mai napig ősrégi csöves légvédelmi tüzérségi eszközökre (14,5-től 100 mm űrméretig bezárólag ZPU-2/4, Sz-60, KSz-12 KSz-19, Sz-60 gépágyúk) támaszkodnak elsősorban, illetve az önjáró ZsSZU-57-2 légvédelmi járműre továbbá vállról indítható légvédelmi rakétákra. Ezek hatalmas mennyiségben a ’80-as években a dél-koreai repülőgépek ellen megfeleltek volna, amik csak kis magasságból voltak képesek használni kellő pontossággal a csapásmérő fegyvereik döntő részét, nem irányított bombákat és rakétákat. Azonban a XXI. században, ahol közepes és nagy magasságból ezek HMZ-jén kívül operálhatnak a repülőgépek ezek harcértéke egy korszerű légierő ellen szinte/gyakorlatilag a 0-hoz közelít, mert elektronikai zavarás esetén azok igen valószínűleg optikai tűzvezetésre kellene, hogy támaszkodjanak.

Az észak-koreai hadosztályok légvédelmét helyi sajátosságok miatt – lényegében a demilitarizált zónát szükséges lefedni – a telepített honi légvédelmi rakétás osztályok, Volhov és Nyeva osztályok védték volna, illetve a ’80-as évek legvégén (1987, 1990) 2 db kétosztályos Sz-200 Vega beszerzése történt meg. A szovjet mintájú légvédelmi rakétás technika gyakorlatilag teljesen hiányzik, még a szovjetekhez képest spórolós VSz tagállamok légvédelme is sokkal korszerűbbnek számított a hidegháborúban a ’70-es évek közepétől és végétől.

6.2.4.3.4. További megjegyezések, magyar vonatkozások

Az, hogy az elméleti papíron levő egységek valós harcértéke mekkora lehet, a lenti két személyes beszámoló illusztrálja, hogy a Magyar Néphadsereg szintjén mi volt az elmélet és mi volt a valóság. Két résztvevő visszaemlékezése olvasható lent a Bazalt ’87 gyakorlatról. A két visszaemlékezés megértéséhez a mellékletben levő 1986 és 1987 szerinti szervezeti felépítési ábrák nagyon hasznosak.

Történt, hogy vala Magyarországnak 6 db szárazföldi hadosztálya 1960-1987-ig. (Zalaegerszeg, Kaposvár, Tata, Kiskunfélegyháza, Gyöngyös, Nyíregyháza.)

A 6 db hadosztályból 4 db az 5. (Székesfehérvári) szárazföldi hadseregbe volt szervezve, kettő a 3. Ceglédi hadtestbe. Ezeket a hadosztályokat jól-rosszul feltöltötték, általában úgy 30-80%-ra, technikával ellátták, úgy-ahogy. A technikai feltöltöttség általában elöl 95-105%-os volt, hátul 30-90%-os. (Ez az 1986-os állapot.)

A működőképesség az más dolog. Támadt valakinek egy ötlete, hogy az MN áttér a dandár szervezetre, ennek előnye és hátránya is van. Előnye, hogy a dandár általában négyes tagozódású, sokkal erősebb, mint egy felduzzasztott ezred. Ezt papíron le is játszotta az akkori szervezési csoportfőnökség. Volt ellenzés bőven, ezért három-négy évig tartott a valójában 6-8 hónapos munka.

Csökkent volna a vezetési szintek száma is, hisz kiesnek a hadosztályok, a hadosztályparancsnokságok, a hadosztály közvetlenek, stb. Egy igencsak ütős kis sereg jött volna létre, ha így marad. (Mármint az 1987-es állapot/terv.)

*Mivel a valós létszám kicsi volt, így a hadsereg parancsnok nyugodtan irányíthatta volna **közvetlenül** a dandárparancsnokokat, viszont emiatt mindenki (?) kíváncsi volt egy dandárra, hogyan is néz az ki.*

Ehhez tudni kell, hogy egy magyar ezredparancsnok egész ezredparancsnoki életében, általában nem lát ezredet, csak papíron harcászkodik velük. A hadosztály parancsnokaink között 1986-ra már nem volt egy se, aki aktív parancsnokként látott volna hadosztályt, mert az utolsó feltöltött hadosztály (1968 Zalaegerszeg) idejében, ők még csak főhadnagyok vagy századosok voltak.

Ezért aztán valakinek támadt egy ötlete, hogy a papíron létrehozott, és valóságban átdiszlokáltatott (átköltöztetett) dandárokból, melyek külön-külön személyi állománnyal úgy 30-60%-ra, technikával pedig 30-90%-ra voltak feltöltve, csinálni kellene egy „színpadi" (így is hívtuk) dandárt, egyetlen alkalomra, egyetlen előadásra. Így is lett.

A dolognak a „Bazalt '87" nevet adtuk. Ez egy gyakorlat volt, ill. annak nevezték, a valójában nem gyakorolt senki semmit, pénz se volt akkor már rá. Ez valójában inkább bemutató volt, egy héten át, három bemutatóval, mögötte zajlott egy „plakátháború", talán az utolsó.

Szóval összehoztunk Magyarországról egy igazi, valóban működőképes, korszerűen felszerelt, mind személyi állománnyal, mind technikával 100+3%-ra feltöltött, keménytökű, kajla bajszú, magyarosan, magyar gépesített dandárt. Azért, hogy ez összejöjjön, a békében meglévő gépesített dandárok nagy részétől elvették a technikát és az embereket.

Ezek után az egész bandát vonatra rakták és Veszprém előtt kivagonírozták, ott aztán „összekovácsolódtak", már ahogy. Most jut eszembe, kellett volna ennek az egy hétre össze és felállt dandárnak valamilyen nevet adnunk, bár még akkoriban nem volt divat, hogy minden krumplipucoló raj nevet választ magának.

Szóval összeálltak. Kicsit azért gyakoroltatták őket, például azt, hogy hogyan néz ki egy dandár menet, biztosítással. Az eredmény? Látnotok kellett volna az akkori tábornoki kar tagjait... Az arcaikat, a bemondásaikat, a nagyképűségüket, a szerénységüket (ilyen is volt) és a megdöbbenésüket.

Azok, akik (papíron) addig körülbelül 10 000 embernek parancsoltak, most észrevették, és józanabbja megdöbbent azon, hogy milyen más dolog a valóságban 4500, valóban előtted/mögötted állónak parancsolni.

Első élmény, összeomlott a híradás. Nem jutott el a parancsnoki akarat ahhoz, akihez akarták, ismeretlen zászlóalj parancsnokok jelentéseit hallgatva a dandár parancsnokot játszó ezredesek belesápadtak. Azok a vezérőrnagyok akik eddig a titkárságuk 5 főjének (segédtiszt + 2 titkárnő, + gépkocsi vezető + protokoll besegítő) parancsolgattak, most elképedve nézték miről is beszéltek ők, maguk eddig nagy hangon. Tehát a műsornak azért volt katonai hozadéka is.

Ezek után Grószt[557] lehívták, tokkal-vonóval, lejött a fél Központi Bizottság, majdnem a teljes Párt bizottság, és a fél kormány. Annyi kíber[558] jött velük, hogy be kellett rendeznünk egy külön ebédlősátrat nekik 120 főre.

Mindegyik fő-fő civil mellé állt egy-egy tábornok, akik felkészültségüktől és habitusuktól függően vagy kussoltak (az okosabbja) vagy nyalakodva hülyeségeket beszéltek. Azért mert a tábornokok nem vettek részt a felkészítésen, tehát nem igen tudhatták, hogy mi van előttük, miről kell beszélniük, mit kell mutatniuk a civil fő-főknek.

'Hál Isten a vezérkari főnők azért minden fő-fő civil + tábornok páros mellé adott egy hadműveleti tisztet, aki vagy elmagyarázta a civilnek, ha az ővele álló tábornok okosan kussolt, vagy hallgatta a tábornok mellébeszéléseit, és nem szólt bele, hagy hülyítse a pizsamás[559] a civilt.

És íme, eljőve a nagy pillanat, felsorakozott egy igazi, élő, feltöltött, felszerelt, magyar gépesített dandár. Jellemzően a legnagyobb gondot az okozta, hogyan helyezzék el úgy egy mezőn őket, hogy belátható legyen. Így is a balszélen álló dandárparancsnoktól a jobb szélén ülő hadtáp macskáig majdnem 1 km széles volt az arcvonal. A mélysége meg olyan nagy volt, hogy a dombhajlat miatt nem volt belátható.[560]

*Mindenkinél zászló, hosszú rúdon piciri 1x1 méteres háromszög zászló (mint régen az úttörő mókus őrs zászlók). Amikor a szpíker bemondta, hogy például: „2. gépesített zászlóalj", akkor a 2. gépesített zl. parancsnok felemelte az őrsi zászlóját, és így tovább. Grósz k*vára unta, de fegyelmezetten végig állta, utána értelmes kérdéseket tett fel. Az egészet kettő helikopter és kettő honvédelmi minisztériumos stáb vette fel (és persze jó szokás szerint) azonnal titkosították.*

1960-tól kezdve kevés magyar főtiszt vagy tábornok mondhatja magáról, hogy valaha is látta élőben azt az egységet egészében, aminek parancsnoka volt, ez egy ilyen kivételes alkalom volt. Egy igazi magyar dandár élt egy hétig.

*Sok tanulságot hozott.pl.: hány kiló szart sz*rik egy hét alatt egy dandár? Persze komolyabbat is.*

Azután persze a tábornoki kar megfúrta a dandár szervezetet, mert szerintük, a dandárok és a hadsereg közé kell még egy hadtest szervezet is (ahol ők parancsnokolnak a titkárnők hadának). Így létrejött három olyan szárazföldi hadtest, melynek nem voltak katonái, csak íróasztalai, titkárnői, sofőrjei, segédtisztjei és persze sok-sok főtisztje, tábornoka. De ez már egy másik történet...

---

[557] *Grósz Károlyról van szó, Magyar Szocialista Munkáspárt (MSZMP) Politikai Bizottságának tagja, később a Magyar Népköztársaság minisztertanácsának 12. elnöke 1987. június 25. – 1988. november 24. között.*

[558] *Testőr vagy kormányőr.*

[559] *A tábornokok nadrágján egy függőleges piros csík volt, ami az akkor megszokott csíkos pizsamákon volt.*

[560] https://goo.gl/EbrKeh *Valahogy így kell elképzelni.*

Egy másik visszaemlékezés is ismert a gyakorlatról.

1987-ben az akkor éppen befejeződő/elkezdődő (?) átszervezés, ezredről dandár szervezetre, hármasról négyes tagozódásra, alapjaiban forgatta meg a Magyar Néphadsereget. A politika no.1. embere kitalálta, hogy szeretne látni egy darab, élő dandárt. Rendben. Lett ám futkosás ezután...*

Mivel az éves gyakorlati terv már ki lett adva 1 évvel azelőtt, ezért az éppen futó, fantázia nevén Bazalt védelmi gyakorlatra tervezték rá a királyi = pártfőtitkári bemutatót. A MN legfelső vezetői az ország négy csücskéből (szó szerint) vagy tizensok alakulattól összeszedtek annyi technikai eszközt, kezelőt, kiszolgálót, autót, mindent, ami egy akkori, képzeletbeli gépesített lövész dandár állománytáblájában volt.

Az egész bandát + eszközeiket elszállították Litér község és Veszprém városa közé, majd ott egy síkon felsorakoztatták. Valóban. Igazian. Megmutatták főtitkár elvtársnak, a tábornoki kar tagjainak, ezredeseknek és a hazánkba akkreditált katonai attaséknak. Saját tábornokaink ezredeseink, ezred- és dandárparancsnokaink akkor láttak életükben először és utoljára élő dandárt.

A dandár természetesen nem volt hadrafogható, hisz eszközei egy része "M" zárolt állományból, beüzemelés nélkül sorakozott fel. A dandár személyi állománya sem volt hadrafogható, hisz csak darabszámra, főre stimmelt, egy részük nem értett ahhoz az eszközhöz amelyik előtt állt. De mindenki ott állt, minden eszköz megvolt kinézetre, ehhez az akkori Magyar Néphadsereget kicsi túlzással gatyára kellett vetkőztetni. Sok-sok alakulattól elvonták az eszközöket és embereket.

A dolgot még egyszer ismételték meg 199x(?)-ben Cegléden, amikor (Göncz) Árpi bácsinak hasonló módszerrel bemutatták a nem létező Területvédelmi Dandárt. Csak itt már megelégelték a sok embert és kb. 20%-ot kunyeráltak össze, a többire azt mondták Árpi bácsinak=Köztársasági Elnök=Magyar Honvédség Főparancsnoka, hogy azokat képzelje mellé.

A Bazalton felsorakozott dandár látványa frenetikus volt. Saját tábornokaink, ezredeseink elhűltek mikor élőben látták, hogy papíron ők minek is parancsolnak. Különösen a nem harcoló dandár (támogató) részek látványa volt számukra alig hihető.

**hármas rendszer vs. négyes rendszer.*

1./ Magyarországon sokáig kettes rendszerű volt a mindenkori állománytábla.
Kettő raj = 2x10 fő adott egy szakaszt,
Kettő szakasz = 2x20 fő adott egy századot,
Kettő század 2x60-70 fő = 140-160 fő adott egy zászlóaljat, stb.

2./ Az első világháború előtt tértünk át a hármas rendszerre.
(kivéve második VH időszaka amikor sok helyen visszatértek a kettes rendszerre)
Három raj = egy szakasz.
Három szakasz = egy század.
Három század = egy zászlóalj, stb. A hármas rendszer kb. 1905-től kb. 1990-ig tartott volna.
3./ Ezt írta felül az 1987-ben bevezetni tervezett négyes rendszer.
Négy raj adott volna egy szakaszt,
Négy szakasz egy századot,
Négy század egy zászlóaljat, stb. Ez már nem valósult meg. Elsöpörte a gengszter váltás.

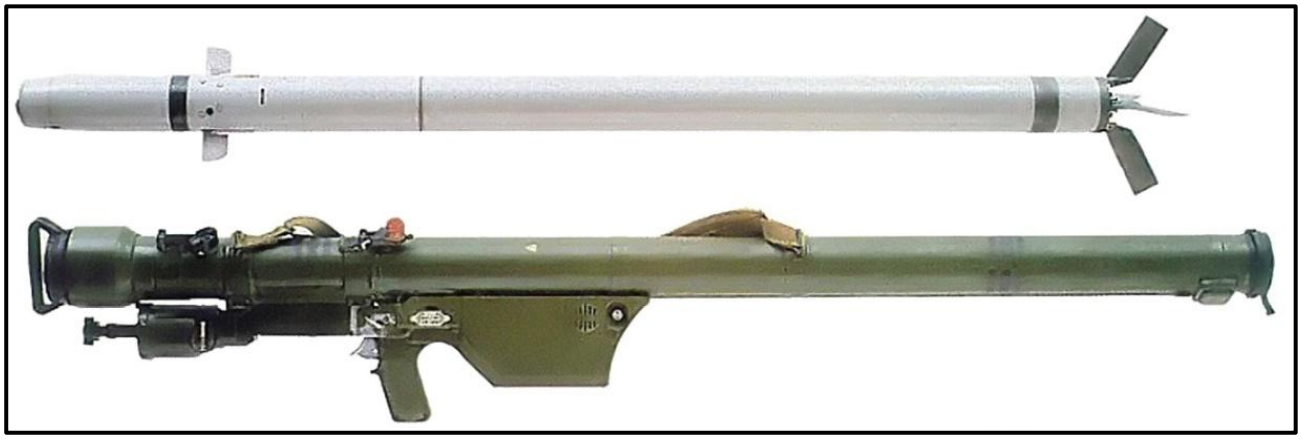
A fentiekkel nem a Magyar Néphadsereg képességeinek alázása a vagy annak igazolása a cél, inkább hogy a világ minden fegyveres erejére ez a jellemző (főleg egy átszervezés után), de azért felsejlik, hogy papíron levezethető csodás és fantasztikus tűzerő és képességek, illetve a valóság között azért sokszor durva eltérések vannak. Az „M zárolt" készletek kikonzerválhatóságával kapcsolatban kérdőjelek vannak[561] ahogy a tartalékos állomány harcértéke sem feltétlen csúcskategóriás.

A '80-as években papíron közepesnek mondható mennyiség és minőséghez mellett a fenti egy dandárt tudták viszonylag gyorsan összegereblyézni úgy, hogy valójában nem volt harcképes. Az, hogy a szép és elméleti levezethető mennyiséghez és azzal elképzelt harcértékhez képest valóság mit mutatott, főleg egy néveleges csúcskategóriás fegyverekkel felszerelt szovjet egységgel összevetve ennek fényében értelmezendő.

6.2.4.4. A csapatlégvédelem eszközei

A fentiekben a szervezeti felépítés, illetve az eszközök mennyiségi bemutatása során az egyes rendszerek képességeiről csak érintőlegesen vagy egyáltalán nem esett szó. Az következőken nagyon röviden az alábbiakban bemutatásra kerülnek a szovjet-orosz és néhány ahhoz hasonló nyugati eszközök és rendszerek. A rendszerek bemutatása alulról felfelé történik, tehát szovjet minta szerint zászlóalj szinttől felfelé egészen a hadseregcsoport szintig.

6.2.4.4.1. 9K32 Sztrela-2 (SA-7 Grail)



Első generációs kézi légvédelmi rakétakomplexum, a '60-as években került kifejlesztése a Szovjetunióban, 1969-ben állt hadrendbe.

A 9M32 rakéta stabilizátorai az indítás után nyílnak ki, a rakétatest végén a szintén kinyíló aerodinamikai kormányok az elején találhatóak. A rakétát repülés közben a hossztengely körül 15 fordulat/perc fordulattal stabilizálják.

A harci rész repesz romboló, de a rakéta közelségi gyújtóval nem rendelkezik, csak csapódó gyújtóval, tehát csak telitalálat esetén működik el a harci rész.

[561] *Ebben azért megoszlanak a tapasztalatok alapján a vélemények,attól függően, hogy kit kérdez az ember...*

A célbefogást hang jelzi – ahogy az amerikai vadászgépeken az AIM-9-nél is – azt követően indítható a rakéta. A rakétát egy indítótöltet veti ki az indító csőből kb. 30 m/s sebességgel, majd azután indul be a kb. 2 másodperces égésidejű menethajtómű, az önmegsemmisítő kb. 14 mp. után lép működésbe.

A rakéta PbS (ólom szulfid) anyagú érzékelővel, illetve amplitúdó-modulált vezérlési módszerrel rendelkezett A rakéta gyenge az infravörös kereső feje, csak nagyon erős hősugárzást érzékel, ezért csak a gázturbinával ellátott célok ellen használható, illetve és csak hátsó fél-légtérből volt indítható, ezért az esetek többségében csak „megtorló" fegyver volt, a támadást megakadályozni ezzel nem lehetett. ASztrela-2-nek az érzékelő képességei és hiányosságai miatt helikopterek elleni alkalmazhatósága is korlátozott volt.

Élesben több helyi háborúban is bevetették számottevő mennyisében, – Vietnám, Arab-Izraeli háborúk, Afganisztán zsákmányolt példányokat a szovjetek ellen a mudzsahedinek – változó sikerrel. Infracsapdára igen érzékeny, a hot brick jammer zavarás is hatásos ellene.

Az alap változat megsemmisítési zónája kb. 3,7 km maximális távolságig, illetve 1500 méter maximális magasságig terjed. A fejlesztett 9K32M változatnál a távolság 4,2 km, a célmagasság 2300 méterre nőtt. Távoldó célnál a két változat maximális célsebessége 220 és 260 m/s volt. Maximális célsebességnél a találat esélye igen elméleti, mert a cél annyira gyorsan távolodik, hogy kb. 5-6 másodperc alatt kell a célzást és az indítást végrehajtani, különben a célt a rakéta gyakorlatilag nem éri utol. Az égésvégi sebessége a rakétának kb. 420 m/s volt, az 'M' változatnál 500 m/s. Ezt az indítás után, kb. 2 másodperccel érte el, utána viszont a rakéta passzív szakasza következett, ahol a rakéta erőteljesen lassult.

Kisméretű hadihajókon (korvett vagy kisebb) a szovjet hadihajókon is rendszeresítésre került, nyugaton a haditengerészeti változat az SA-N-5 típusjelzést kapta.

A Magyar Néphadsereg 1977-től rendszeresítette elsőlépcsős gépesített lövész ezredei számára. Mind a 10 db lövészezred egyenként 12 db indítóval és 144 db rakétával volt felszerelve. Magyarország összesen 128 indítót, és 1540 rakétát vásárolt.

6.2.4.4.2. FIM-43 Redeye

A Sztrela-2 amerikai kortársa, azzal a különbséggel, hogy freon hűtésű volt az érzékelője (csak a „C" változatnak). rakéta vezérlése azonos elven történt. A rakéta manőverező képessége a Szrela-2-höz hasonlóan eléggé korlátozott volt, a Sztrela-2-vel egy időben állt szolgálatba.

A maximális célsebesség 225 m/s, a rakéta maximális sebessége 580 m/s volt, a hatásos megsemmisítési zónája 4,5 km távolságig és maximálisan 2700 m magasságig terjed. A rakéta csak csapódó gyújtóval rendelkezett. Egészen elképesztő mennyiséget, kb. 85 000 darabot gyártottak belőle, de ezzel nincs egyedül, a Sztrlea-2-ből is több tízezret gyártottak le a kínai másolatokat nem számítva.

6.2.4.4.3. 9K34 Sztrela-3 (SA-14 Gremlin)

Második generációs kézi légvédelmi rakéta 1974-től került szállításra. Az érzékelő továbbra is Pbs anyagú volt, de már hűtött volt, továbbá az amplitúdó-modulált vezérlés helyett már frekvencia-modulált megoldást használt. Az infracsapda továbbra is képes volt zavarni a vezérlést, de a hot brick jammer már csak korlátozottan.

A maximális célsebessége közeledő célok ellen 150 m/s, távolodó célok ellen 225 m/s volt, a rakéta maximális sebessége 410 m/s, a hatásos megsemmisítési zónája 4,1 km távolságig, illetve maximálisan 2700 m magasságig terjedt, a rakéta továbbra is csak csapódó gyújtóval rendelkezett.

Érdekessége a Sztrela-3-nak, hogy a Varsói Szerződésen belül csak a Szovjetunió rendszeresítette, Magyarország, Csehszlovákia, Lengyelország és az NDK a Sztrela-2-őt követően a 9K310 Igla-1 (SA-16) vállról indítható rakétát rendszeresítették. A Szovjetunión kívül használták a harmadik világbeli szovjetbarát országok is.

6.2.4.4.4. 9K310 Igla-1 (SA-16 Gimlet)

Harmadik generációs kézi légvédelmi rakéta 1981-től került gyártásba. Az rakéta érzékelője immáron InSb anyagú volt, nitrogén hűtéssel, ami a teljesen új vezérlési elveket felhasználva minden tekintetben felülmúlta az elődöket. Az Igla-1 ennek ellenére egy csökkentett képességű változat volt, az eredeti Igla fejlesztési nehézségei miatt alkották meg, hogy a hadrendbe állítása mielőbb megtörténhessen.

Az eltérő érzékelő illetve a mélyhűtés miatt már szemből is indíthatóvá vált, az infrafej már nem igényelte a forró turbinára történő rálátást, a szétterülő gázcsóva alapján is lehetséges volt a célravezetés. A vezérlése „linear reticle” módszer, lásd korábban a 4. fejezetben, ez is frekvencia-modulált vezérlés, de annak egy speciális, különleges formája, amit a digitális elektronika megjelenése tett lehetővé.

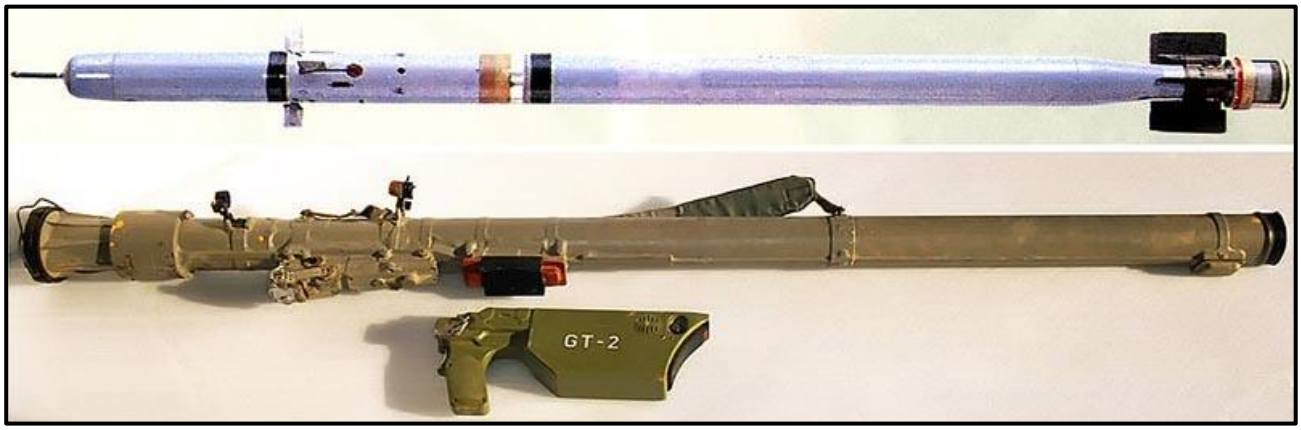
A rakéta infracsapdákkal továbbra is zavarható volt, de ehhez sokkal gyakrabban és nagy mennyiségben szükséges szórni azokat, hogy szerencsés esetben azok megzavarják az érzékelőt. A hot brick jammer zavarás ez ellen már nem működött.

A rakéta jellegzetessége az orrán található kúp, ami a szuperszonikus lökéshullám hatását csökkenti, ez által a légellenállása kisebb a rakétának. A nevét is erről kapta a rakéta, az Igla orosz szó jelentése „tű”.

A rakéta maximális sebessége 570 m/s, a hatásos megsemmisítési zónája 5,2 km távolságig, maximálisan 3500 m magasságig terjedt. A cél maximális sebessége közeledő célpont esetén 320 m/s, távolodó cél ellen 360 m/s. A rakéta továbbra is csak csapódó gyújtóval rendelkezett.

Magyarország 36 darab indítót és 432 darab rakétát szerzett be az első lépcsős alakulatok számára 1986-tól, a 14. és 33. (Zalaegerszeg), illetve a 15. (Tata) gépesített lövész ezredek kapták meg. Kelet-Németország 1988-ban kezdte meg a Sztrlea-2M cseréjét 270 darab indítóval és 550 darab rakétával. Csehszlovákia és Lengyelország nem vásárolt Igla-1-et.

6.2.4.4.5. 9K38 Igla (SA-18 Grouse)



Az eredeti elvárások szerinti Igla végül 1983 végétől került ki a csapatokoz. Ez is a linear reticle vezérlési módszert használta, azonban két darab érzékelőt használt (dual band), ami zavarvédelem terén egészen más dimenzióba helyzete az Igla-1-gyel összevetve. Az lökéshullám csökkentő elem itt is megtalálható a rakétán, de az alakja most már egyezett a nevével, valóban tű formája van. A megsemmisítési zónája lényegében azonos a Igla-1-gyel, a célsebessége változatlan az Igla-1-hez képest.

A Varsói Szerződésben ez már nem került rendszeresítésre, exportjára már csak a hidegháború vége és Szovjetunió széthullása után került sor, elsőnek Finnország vásárolt 912 darabot 1994-ben.

6.2.4.4.6. FIM-92 Stinger

A ’70-es évek végén kifejlesztett eszköz, a ’80-as évek legelején állt hadrendbe az USA-ban. A rakétát később többször korszerűsítették, így az eltérő változatok eltérő vezérléssel és képességekkel bírtak.

- FIM-92A frekvenciamodulált vezérlés, hűtött InSb érzékelő, lényegében a Sztrela-3-hoz hasonló vezérléssel, de jobb érzékenységgel bírt az eltérő detektor anyag miatt, már a legelső változat is oldalról és korlátozottan szemből is indítható volt repülőgépekre. Zavarvédelem szempontjából nagyjából a Sztrela-3 szintjét képviselte. 1981-től állították hadrendbe tízezres nagyságrendben gyártották.
- FIM-92B POST, rozetta scan vezérléssel, kettős érzékelős az Iglához hasonlóan, de InSb + CdS detektorral (infravörös és UV) tartományban. Zavarvédelem szempontjából még a Iglánál is jobb a pszeudó képalkotó módszer miatt. 1983 és 1987 között gyártották, de csak kis szériában, összesen 600 darab készült ebből a változatból.
- FIM-92C PRPM, rozetta scan vezérléssel. Azonos az érzékelő és vezérlés, mint a B változatnál, de a rakéta immáron programozható mikroprocesszorral volt ellátva, ami a fenyegetések és hadszíntérnek megfelelően programozhatóvá teszi a rendszert. 4 db processzorral bír egyenként 4 kB RAM memóriával. 1987-től 1992-ig készült, új gyártású illetve meglevő rakéták átalakításával is, kb. 30 ezer példány legyártása és átalakítása után fejeződött be ennek a változatnak a szállítása.
- FIM-92E Block I PRPM azonos vezérléssel, mint a C változatnál további szoftver változtatásokkal a kis IR keresztmetszetű célok (UAV, könnyű helikopterek vagy cirkálórakéták) ellen. Lézergyűrűs giroszkóp segítségével a rakéta képes hatékonyabb arányos megközelítést megvalósítani elkerülve a feleslegesen magasra repülést azzal, hogy ismeri a függőleges pozícióját a rakéta, nem csak relatív helyzetet tud mérni a célhoz képest a rakéta.

  Az összes Stinger változat rendelkezett közelségi gyújtóval, ezzel szemben az Igla családból csak az Igla-S (SA-24) rendelkezett elsőnek közelségi gyújtóval 2004-től.

6.2.4.4.7. Mistral

Franciaországban a ’80-as években kifejlesztett, az évtized végén hadrendbe állított rendszer. A Mistral már a klasszikus vállról indítható légvédelmi rakéták felett egy fél szinttel található, a rakéta túl nagy és nehéz ahhoz, hogy állvány nélkül használható legyen. A rakéta nem csak a jobb oldalon levő képen látható állvánnyal, de számtalan más egyéb járműre telepítve,[562] illetve kisebb hajók fedélzetén is használatos.

A rakéta kialakítása is sajátságos, a lehető legkisebb átmérő elérését célozták meg a minél nagyobb égésvégi sebesség eléréséhez, a rakéta gúla kialakítású orrésze is emiatt lett megalkotva.

[562] https://www.haborumuveszete.hu/minden-ami-lo/5844-mistral-a-kozellegvedelem-hatekony-eszkoze

A rakéta mérete és a fenti alapelvek miatt a vállról indítható légvédelmi rakétához képest jóval nagyobb, kb. 800 m/s[563] égésvégi sebességet érhet el a rakéta, ami azonos céltávolság esetén még kevesebb időt hagy az ellentevékenységre a vállról indítható rakétákhoz épest. A Mistral megsemmisítési zónája nem csak mérete, de nagyobb sebessége miatt is meghaladja a vállról indítható rakétákét, maximálisan 6 km távolságig hatásos. A rakéta már a kezdetektől rendelkezett közelségi gyújtóval, a harci része is kb. 2,5-3-szorosa a vállról indítható rakétákénak. A rakéta jó manőverező képességgel rendelkezik, nagy sebességnél akár 30G maximális túlterhelésű manőverre végrehajtására is képes.

A Mistral a Crossed linear array vezérlést használja, ami zavarvédelem terén az egyik legkorszerűbb nem képalkotós megoldásnak tekinthető, a Mistral már a digitális korszak terméke. Magyarország rendszeresítette az Igla vállról indítható rakéta mellé, ami meglehetősen furcsa döntésnek tűnik első látásra, de lényegében a Sztrela-1/10 kategória pótlása történt meg, még ha a hordozó platform közel sem annyira alkalmas arra, mint a korábbi szovjet-orosz rendszereké volt.[564] 1997-ben 100 millió dollár értékben 45 db ATLAS indítóállványt, és 9 db MCP felderítő lokátor beszerzése mellett döntött Magyarország. 2014-ben a rakéták életkora és a lövészeteken ellőtt mennyiség pótlására további rakéták beszerzése történt, immáron már a korszerűbb változatokból.[565]

6.2.4.4.8. RBS-70

A svéd fejlesztésű rendszer a Mistralhoz hasonló méretbeli korlátokkal rendelkezik, csak állványról használható. Amiben különlegesnek számít, az egyedi vezérlési megoldása, lézer-vezetősugaras, ami azt jelenti, hogy ez rávezető állomásos légvédelmi rakéta-rendszer rendkívüli kis mérte és tömege ellenére.

Az indító szerkezettel a kezelő személy folyamatosan nyomon követi a célpontot, a légiharc-rakétáknál használt rádiótechnikai vezetősugaras alapelvhez hasonló módon működik, csak a lézer alkalmazása lehetővé teszi sokkal kisebb és könnyebb szerkezet megalkotását úgy, hogy a lézernyaláb sokkal keskenyebb, mint rádiófrekvenciás megoldásé.[566]

A lézeres vezetősugaras megoldás előnye, hogy lényegében zavarhatatlan, hiszen a földi rávezető állomás manuálisan követi és világítja meg célpontot, az infracsapdára emiatt érzéketlen, viszont hátránya az, hogy célt folyamatosan követni kell, ezért nem „tüzelj és felejtsd el” működési elvű, mint az infravörös vezérlésű rakéták. Az RBS70 NG változat képes automatikus célkövetésre is befogást követően (valószínűleg kontrasztosság elvén optikai rendszerrel),[567] a ’70-es években használt alap változat vélhetőleg nem rendelkezett ezzel a képességgel.

[563] *A legkorszerűbb változatnál a gyártó marketing anyagában már 930 m/s szerepel.*
[564] https://www.youtube.com/watch?v=let4f1vZMVM
[565] https://mno.hu/belfold/megerkeztek-a-honvedseg-uj-mistral-raketai-1378884
[566] https://www.youtube.com/watch?v=Qb7V2qG_lDA
[567] https://www.youtube.com/watch?v=A98FhTbzsko *(1:10-től.)*, https://www.youtube.com/watch?v=uGqAcYyy4cM

Az angol Blowpipe vállról indítható légvédelmi rakéta is rávezető állomásos, érdekes módon rádió távirányítású, azonban a rakéta manuálisan vezérelt. A Blowpipe koncepciója azonban bebizonyította ennek a koncepciónak az életképtelenségét élesben.

A rakéta indítás után fél-automata módban az indítótól kapott adatok alapján annak célkeresztjének közepére manőverezte magát, majd 2-3 másodperc múlva manuális vezérlésre állt át a rendszer, a rakétát egy kis joystick segítségével vezette célra az operátor manuálisan. (MCLOS vezérlés.)

A vezérlési módszer miatt a rakétával gyakorlatilag képtelenség volt nagy sebességű keresztben repülő vagy távoldó célpontok támadása, illetve a kezdeti fázis miatt kismagasságban repülő helikopterek ellen is nehézkes volt az alkalmazása. (A rakéta indítás után a földnek csapódhatott.) A Falkland-szigetekért vívott konfliktus során mindkét oldal használta a Blowpipe-ot, lehangoló eredménnyel. A britek 95 db rakétát indítottak és összesen 1 db MB-339-es repülőgépet sikerült lelőni vele, argentinok szintén csak egy repülőgépet, egy Harriert lőttek le vele.

Mi köze a Blowpipe-nak az RBS-70-hez? Bár az RBS-70 ennél azért egy fél fokkal fejlettebb, de az első változatoknál – sőt, lehet, hogy a korszerűbbeknél is – az operátor ügyességén is múlik az, hogy rajta tudja-e taratani az optika rendszer célkeresztjét a célponton.

Az angoloknak számomra valami megmagyarázhatatlan vonzódása van/volt a manuális vagy fél-automata vezérlésű módszerek felé, még a korszerűbb Javelin[568] rakéta is ilyen módszert használ, de a '60-as években hadrendbe állított és még Falkland idején is használt Sea Cat haditengerészeti légvédelmi rakéta is ilyen vezérlésű volt. Egyik sem volt finoman szólva túl sikereses és hatásos rendszer...

6.2.4.4.9. Vállról indítható légvédelmi rakéták összesítő táblázata

Típus	Rendszer	Rakéta	Harci rész	Rakéta			Közelségi gyújtó
	Tömeg [kg]			Célsebesség közeledő/távolodó [m/s]	HMZ táv/magasság [km]/[m]	rakéta égésévi. sebesség. [m/s]	
FIM-43C Redeye	13,3	8,3	1	-/225	3,7/1500	580	Nincs
9K32 Sztrela-2 (SA-7A Grail)	14,5	9,15	1,17	-/220	4,2/2300	430	Nincs
9K32M Sztrela-2M (SA-7B Grail)	15	9,8	1,17	-/260	4,5/2500	500	Nincs
9K34 Sztrela-3 (SA-14 Gremlin)	16	10,3	1,17	150/225	4,1/2700	470	Nincs
FIM-92A Stinger (Basic)	15,7	10,1	1	?/?	4,8/?	?	Igen
9K310 Igla-1 (SA-16 Gimlet)	18,2	10,8	1,27	320/360	5,2/3700	560	Nincs
9K38 Igla (SA-18 Grouse)	18	10,6	1,27	320/360	5,2/3700	570	Nincs, csak 2004-től SA-24-nél
FIM-92C Stinger	15,7	10,1	1	?/?			Igen
Mistral	?	19,7	3	?/?	6 (7)/?	800 (930)	Igen
RBS-70		15	1,1	?/?	8/5000	660	Igen

[568] https://www.youtube.com/watch?v=M78gadYbQNs
Nem tévesztendő össze a szintén Javelin nevet viselő FGM-148 irányított páncéltörő rakétával.

6.2.4.4.10. 9K31 Sztrela-1 (SA-9 Gaskin)

A lenti linken található beszámoló viszonylag részletesen ismerteti az alapvető működését a rendszernek ezért az összefoglaló csak a minimumra szorítkozik, illetve linkelt bejegyzés kommentálására.[569]

A beszámolóban a legérdekesebb, hogy aszerint szembe támadásra nem volt alkalmas a Sztrela-1, holott az elektro-optikai vezérlés egyik előnye pontosan ez volt az infravörös megoldással szemben, ezért is rendszeresítették a Sztrela-1-et annak ellenére, hogy a Sztrela-2 fejlesztése is sikerrel zárult.

A jármű 4 db indítható rakétával bírt, a rendszert BRDM-2 jármű alvázára telepített rendszer úszóképes volt. A 9M31M rakétával a Sztrela-1 HMZ-je 4,2 km távolságig, illetve kb. 3500 méteres magasságig terjedt. A rakéta tömege 32 kg, a harci rész tömege viszonylag szerény 2,6 kg, de a vállról indítható légvédelmi rakétákkal ellentétben rendelkezett közelségi gyújtóval.

A Sztrela-1 széleskörűen elterjedt volt a Varsói Szerződés tagállamaiban illetve a szovjetbarát országokban is, eltűnése azonban szinte átmenet nélkül következett be. A rendszer rakéta hajtóművének tüzelőanyagában kristályosodás indult meg, ami üzemképtelenné és robbanásra veszélyessé tette azokat, ezért lényegében a hadrendbe állítás ütemével azonosan kivonták azokat a hadrendből kevesebb, mint 20 év szolgálatot követően. Bár a Sztrela-1 képességei szerénynek mondhatóak mai szemmel, de megágyazta a fejlődést az infravörös rakétával rendelkező kis hatótávolságú légvédelmi rendszer kategóriának, ami a mai napig tovább él a korszerűbb, de hasonló rendszerek képében.

A Magyar Néphadsereg 1976-tól rendszeresítette elsőlépcsős gépesített lövészezredei számára, mind a 10 db lövészezred egy-egy 4 db járműves üteget kapott, összesen 42 járművet szerzett be Magyarország.

6.2.4.4.11. 9K35 Sztrela-10 (SA-13 Gropher)

A Sztrela-1 utódja (1:1 mennyiségben váltotta le volna azt, ahol erre sor került), szintén úszóképes, de immáron lánctalpas MT-LB járművön. A rakéták a Sztrela-1-gyel ellentétben infravörös vezérléssel is bírtak az elektro-optikai (foto-kontrasztos) mellett, a rakéta indítása előtt kellett választani a kettő közül.

Az eredményesebb indításhoz a rendszer rádió távolságmérővel is fel van szerelve, hogy megállapítható legyen műszeresen az, hogy a célpont a rendszer hatásos megsemmisítési zónájában tartózkodik-e vagy sem. (Parabola antenna a rakéta konténerek között.) Érdekes módon a tűzkész rakéták számát nem növelték meg a Sztrela-1-hez képest annak ellenére, hogy az 9K33 Osza továbbfejlesztésnél kiemelt szempont volt az indításra kész rakéták számának növelése, viszont a jármű által hordozott tartalék rakéták számát megduplázták, a Sztrela-1-en 4 db rakéta volt készenlétben és 2 db tartalék rakéta járművön, a Sztrela-10-en 4db rakéta készenlétben és további 4 db tartalék rakéta járműben

[569] http://airbase.blog.hu/2016/09/28/a_loveszezred_oltalmazoi

A rendszer HMZ-je 5 km távolságig illetve kb. 3500 méteres magasságig tartott. A rakéta tömege 40 kg-ra nőtt a Sztrlea-1-hez képest, a harci rész tömege 2,6 kg-ról 3 kg, majd az 9M33M4 rakétával már 5 kg-ra nőtt, ez utóbbinál a rakéta tömege már 42 kg volt., közelgési gyújtóval rendelkezett. A maximális célsebesség szemből 415 m/s, utánlövésnél 310 m/s.

A 9M37(M) rakétáknál a két frekvencia sávban (IR/optikai) üzemelő elektor-optikai 9E47 Virázs keresőfejet használt, a 9M333 változatnál már három frekvencia sávban (IR/optikai/IRCCM) dolgozó 9E425 nitrogén hűtésű fejre cserélték, amelyik megegyezik az R-27T/ET (AA-10 Alamo család) rakétákban található fejjel, amivel a zavarás elleni védelmet nagymértékben növelték. Ez a változat lézeres közelségi gyújtóval van ellátva a kis radarkeresztmetszetű célok ellen.

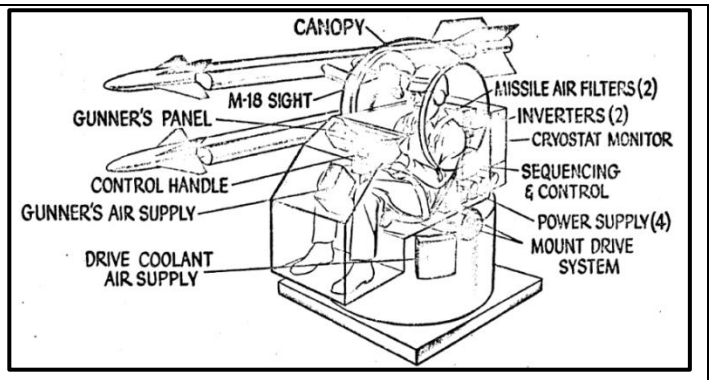
Akárcsak a Sztrela-1 utódja sem volt alkalmazható éjszaka (ahogy a vállról indítható rakéták sem), lévén a célpont vizuális észlelése volt szükség a célbefogáshoz. A legkorszerűbb M4-es változata estén már éjjellátóval illetve AVR digitális adatkapcsolaton keresztül kapott célkoordinátával képes a rendszer ennek segítségével éjszaka is követésbe venni célokat, de AVR támogatás nélkül nem. A optikai követéshez erősen nagyított kép szükséges, ami néhány fokos látószöget jelent, tehát önálló célkeresés során legfeljebb véletlenül sikerülhet célokat felderíteni éjjellátó használata esetén.

A Magyar Néphadsereg 1986-ban állította hadrendbe a Szombathelyi gépesített lövészezrednél, az ezred egy 4 db járműves üteget kapott, más alakulat nem rendelkezett a Sztrela-10-zel.

Éjszakai képessége semmilyen vállról indítható rakétának és infravörös vezérlésű rakétát használó SHORAD rendszernek nem volt a hidegháború alatt. A hidegháború utáni korszakban éjjellátóval ellátott járműveknek is csak akkor van komolyan vehető éjszakai képessége, amennyiben célkoordinátát kapnak AVR-en keresztül és az indító jármű tornya automatikusan a célpont irányába fordítható a kapott koordináták alapján. Ennek oka az, hogy vizuálisan szükséges észlelni és követni a célpontot, hogy az infrafejjel lehetséges legyen a célbefogás majd az indítás a rendelkezésre álló rövid idő alatt, a kis távolságú rendszer esetén nagysebességű célpont relatív sebessége akkora, hogy néhány másodperces késéssel kapott és manuális forgatás alapján a néhány fokos látószögű optikával csak véletlenül sikerülhet a célbefogás.

A Sztrela-1/10 rendszerekhez hasonló az amerikai M48 Chaparral,[570] de ahhoz már létező rakéták az AIM-9-et vették alapul, nem fejlesztettek ki új rakétát. Eredetileg csak átmeneti megoldásnak szánták az M48-at egy sokkal fejlettebb és automatizált légvédelmi rendszer kifejlesztéséig, azonban annak kudarca miatt (Mauler rendszer, lásd később az Oszánál) majdnem 30 évig hadrendben maradt, és annak ellenére, hogy finoman szóval nem mutattak nagy lelkesedést érte meglepő módon folyamatosan korszerűsítették.

[570] https://www.youtube.com/watch?v=lHmKDKpsLlk
https://goo.gl/CucnR8



Az első változata még az AIM-9D rakétán alapult, ami szemből indítást nem tett lehetővé és a korszakra jellemző primitív amplitúdó-modulált vezérléssel és InSb érzékelővel bír. A MIM-72G rakéta a '80-as években megkapta a C változatú Stinger rakétákon használt infrafejet, ami a korszak legkorszerűbb infravörös vezérlésével bír, miközben az USAF csúcs légiharc rakétája csak digitális technikával megtámogatott, de viszonylag egyszerű frekvencia modulált vezérléssel bírt.

A Sztrela-1-gyel ellentétben a rendszer torony része fejlettebb volt, nem izomerővel történt annak mozgatása, bár az operátorok szerint hosszútávon rendkívül kényelmetlen volt a szűk térben való tartózkodás. A rendszer megsemmisítési zónájára egyes források 9 km-et adnak, de ez költői túlzás lehet a rakéta méretét nézve. A rakéta kinematikai képességei – főleg AIM-9L/M előtt rakétákkal – legfeljebb 4 km lehetett, a Sztrela-1-hez hasonló, de még a legkorszerűbb AIM-9 rakétán alapuló változatnál is 5 km lehetett kb. 3 km-es célmagasságig.[571]

6.2.4.4.12. ZSzU-23-4 Silka

A hidegháború egyik legikonikusabb fegyvere, megjelenésétől fogva lényegében az egész korszakot végigharcolta, alig volt olyan fegyveres konfliktus, ahogy a keleti és nyugati tömb szembenállása során ne bukkant volna fel. Bemutatkozása 1973-ben a 4. arab-izraeli háborúban történt fényes sikerrel.

Hatékonyságát részben az akkori támadófegyverek korlátainak köszönhette, amik csak kis magasságból és távolságból voltak használhatóak, a nem irányított rakéták és bombák. Bár a 4 db 23 mm-es ágyú lőtávolsága kisebb volt – mindössze 2500 méter – mint az elődé ZsSzU-57 típusé, harcértéke mégis nagyban felülmúlta az elődét köszönhetően a radarvezérlésnek, a megnövelt tűzgyorsaságnak (négy csőnek elméleti összesített tűzgyorsasága 3400 lövés/perc). Ezen felül a zárt küzdőtérnek köszönhetően a vegyi-biológiai és atomtámadással szembeni beépített automatikus védelemmel is rendelkezett, a rendszer alváza a PT–76-os úszó harckocsi főelemeire épült, de ennek ellenére nem volt úszóképes a rendszer.

A tűzvezető radar 2 cm-es hullámhosszon üzemel, MiG-21 méretű célpontot kb. 13 km-es távolságból képes követésbe venni, a célkutatás maximális távolsága 20 km. A rendszer képes autonóm célkeresésre is (szektoros kutatással), azonban maximális hatékonyságát akkor éri el, ha a 9Sz482 BTR-60 PU-12 vezetési pont ellátja kellő időben célkoordinátákkal. (Ez a támogatás igaz a Sztrela-1/10-ra is.) A jármű maximális lőszerkapacitása 2000 lövedék, ezt képes egyetlen hosszú sorozattal is kilőni. A tűzvezető radar információi alapján a lőelemeket elektromechanikus tűzvezető számítógép dolgozza ki.

[571] https://htka.hu/2012/12/04/mcdonnell-douglas-f-15-eagle/ , *96. oldalon levő diagram alapján*

A ZSzU-23-4V1 Silka 6 db fő üzemmóddal rendelkezik:[572]

1. Fő üzemmód, automatikus célkövetési üzem, melyben a légicél szögkoordinátáit és távolságát az 1RL33 RPK-2 (Gun Dish) rádiólokátor méri, és az 1A7 SzRP elektromechanikus lőelemképző dolgozza ki a tüzelés paramétereit.
2. A légi cél szögkoordinátáit az optikai irányzó berendezés, távolságát az 1RL33 RPK-2 (Gun Dish) rádiólokátor méri. (szögkoordináta szerinti zavarás esetén használatos) A tüzelés paramétereit az 1A7 SzRP elektromechanikus lőelemképző dolgozza ki.
3. ZU (memorizált) üzemmód. Akkor használatos, ha a rádiólokátor elveszíti a célt, ebben az esetben a cél számított (prolongált) pályáját követi a rendszer.
4. Tüzelés légi célra, lövegtávcső segítségével. Tartalék üzemmód, amit az 1RL33 RPK-2 (Gun Dish) rádiólokátor, 1A7 SzRP elektromechanikus lőelemképző, vagy a GAG (giroszkóp) hibája esetén használható.
5. Tüzelés földi célra.
6. Vész üzemmód.

ZSzU-23-4 által leküzdhető légi célok maximális sebessége 450m/s, távolsága 2500m, és magassága 1500m. A Silka a Sztrela-1/10-zel ellentétben nem volt úszóképes. Afganisztánban módosított változatát a hegyi harcokban használták, a Silka tűzereje magas csőemelkedésével bevált a hegyvidéki környezetben is, ahol harckocsik és egyéb harcjárművek lövegeiket nem tudták használni.

A Magyar Néphadsereg 1969-től rendszeresítette harckocsi ezredei számára. Mind az 5 db harckocsi ezred egy-egy 4 járműves üteget kapott, összesen 22 járművet szerzett be Magyarország.

Hasonló kategóriás önjáró légvédelmi tüzérségi járművet nem csak a Szovjetunió és a VSz tagországok, de nyugati országok is alkalmaztak számottevő mennyiségben, mert ezek költsége viszonylag szerény volt főleg lőszer oldalról nézve. Ilyen például a 2 db 30 mm-es lövegcsővel rendelkező német Flakpanzer Gepard, az AMX-13 harckocsi alvázán kifejlesztett francia önjáró löveg az AMX-13 DCA 30,[573] illetve a már korábban említett amerikai M163 PIVADS, ami azonban kisebb űrméretű, csak 20 mm-es gépágyúval rendelkezett, a másik két rendszernél kisebb megsemmisítési zónával, de sokkal nagyobb tűzgyorsasággal a Gatling rendszerű Vulcan gépágyúnak köszönhetően. Érdekesség, hogy a dél-koreai K-30 BIHO úszóképes annak ellenére, hogy Silka/Gepard kategóriájú.

Balra fent a Flakpanzer Gepard, jobbra az AMX-13 DCA 30.

[572] *ZSzU-23-4V1 Silka Önjáró Légvédelmi Gépágyú Szimulátor leírása szerint.*

[573] http://www.tanks-encyclopedia.com/coldwar/France/AMX-13-DCA/

6.2.4.4.13. 2K22M Tunguszka (SA-15 Grison)

A ZSzU-23-4 Silka/Birjúza, illetve a 9K33 Sztrela-1 (SA-9) és 9K35 Sztrela-10 (SA-13) egy rendszerrel történő leváltására szánt komplexum fejlesztése 1970-ben kezdődött, kifejlesztése igen kacskaringós utat járt be.[574] A munka megkezdésekor a nagy hatótávolságú irányított páncéltörő rakéta- fegyverek még éppen csak kezdtek megjelenni és elterjedni, azok elterjedése nagyban befolyásolta a jármű végleges formáját és elvárt képességeit. A jármű új alvázra került, a kétéltű képessége már nem volt elvárás.

Az új rendszernek képesnek kellett lennie felvenni a harcot az A-10A Thunderbolt csatarepülővel (ami akár AGM-65 irányított páncéltörő rakétát is hordozhatott), továbbá az irányított páncéltörő rakétákkal felszerelt helikopterekkel. Ez jelentette a TOW rakétával felszerelt AH-1 harci helikoptereket, a könnyű európai helikoptereket HOT vagy TOW páncéltörő rakétával, illetve a ’80-as évek elejétől a fenyegetés csúcsát jelentő, 8 km-es hatótávolságú AGM-114 Hellfire rakétával felszerelt AH-64A Apache harci helikoptert, amely ráadásul éjszaka is bevethető volt. A Silka már a TOW rakéta 4 km körüli maximális indítási távolsága ellen is csak korlátozottan volt használható, nemhogy az AH-64 és AGM-114 Hellfire rakéta páros ellen.

A Tunguszka az ezredenkénti 4+4 db Silka és Sztrela-1/10 leváltására készült, emiatt a jármű rendelkezett nem csak légvédelmi lövegekkel, hanem irányított légvédelmi rakétával is, viszont ezredenként 8 db helyett 6 db mennyiség rendszeresítését tervezték.

A Silka 23mm-es 2A7-es gépágyújához képest a Tunguszka 30mm-es 2A38-asokat kapott, az űrméret növelésével a gépágyú hatásos lőtávolsága, illetve pusztító ereje is nőtt. A maximális célmagasság 3 km, távolság 4 km és a célpont maximális oldaltávolság paramétere 2 km lehetett, a célsebesség legfeljebb 500 m/s.

A rendszer elsődleges fegyverzetét a 8 db 9M311 rakéta jelenti. A rakéták rádió-parancsvezéreltek hasonlóan az ősrégi Volhov rendszerhez, azonban a rakéta manőverező képessége messze felülmúlja a hatalmas és nagyobb hatótávolságú honi légvédelmi rakétáét. Szintén hasonlóan a Volhovhoz a célpont követése történhet radarral, de optikai célkövetés is lehetséges. Minden jármű rendelkezik saját körkörös felderítő radarral (ez a jármű hátsó részén található, maximális felderítési távolság 18 km), de ennél is igaz, hogy a jármű elsősorban az AVR-en keresztül kapott céladatokra támaszkodik, ekkor minimalizálható a radarkisugárzása a rendszernek. A rendszer maximális célmagassága 3,5 km, a céltávolság 10 km,[575] maximális oldaltávolság paramétere 4 km, a célsebessége legfeljebb 600 m/s.

A rakéta kis mérete ellenére érdekes módon kétlépcsős, de a második lépcsőnek nincs hajtóanyaga. Az első lépcső gyorsító hajtóműve kb. 2 másodpercig üzemel, majd azt követően leválik és a 2. lépcső meghajtás nélkül repül tovább a célpont felé, 8 km távolságon a rakéta égésvégi sebessége 900 m/s, tömege mindössze 57 kg, ebből a harci rész 9 kg.

[574] *Mellékletek között elérhető erről egy kb. 40 oldalas angol nyelvű írás.*
[575] https://youtu.be/KUc8iJ0QvEs?t=1m31s

A 9M311 rakéta.

Bár az új típusú fenyegetések a hadrendbe állítását sürgetővé tették volna, azonban a hidegháború végéig csak egy maroknyi Tunguszka készült el és még az is inkább csak az elő szériának tekinthető változatból, nem a 2K22M variánsból. A rendszer mai napig korszerűnek számít, de 2017-is sem váltotta le teljesen Silka rendszer és Sztrela-10M korszerűbb változatait.

Bár a jármű önjáró, menet közbeni tűzkiváltásra nem képes (ahogy elődei sem voltak erre képesek), azonban megállásból perces nagyságrendű idő alatt a rendszer tűzkézzé tehető. Menet közben a kereső radar, a gépágyú illetve a rakéták is tárolási helyzetben vannak.

A Tunguzka illetve a még hadrendben levő Sztrela-10M3 egyik lehetséges utódja a Szoszna rendszer lehet.[576]*A Szoszna működési eleve teljesen eltér mind a Tunguzkáétól, mind a Sztrela-10M-től, annak ellenére, hogy a Tunguzkához hasonlóan rávezető állomásos megoldást használ. A Szoszna azonban a svéd RBS-70-hez hasonlóan lézer vezetősugaras vezérlést használ, miközben a Tunguzka rádió-parancsközlő, a Sztrela-10M infravörös/foto-kontrasztos önvezérlő rakétával rendelkezik.*

A honi légvédelemnél említésre került a 96K6 Pancír (SA-22 Greyhound) légvédelmi rakéta-rendszer, de annak képességeinek bemutatására nem került sor. Bár a Pancír nem csapatlégvédelmi egység annak platformja miatt – nem rendelkezik ABV védelemmel – azért kerül a csapatlégvédelemnél vázlatosan bemutatásra, mert lényegében a Tunguszka felskálázott és módosított változatának tekinthető.

A Pancír Sz1 változat (balra fent) feladata a honi légvédelmi Sz-300/400 osztályok védelme, mivel azok tűzíve 105 fokra korlátozódik, ami támadhatóvá és túlterhelhetővé teszi azokat több irányból támadva. Az Sz-300/400 osztályok és rakétáinak ára miatt illetve területvédelem megteremtéséhez nem minden esetben lehetséges az, hogy az Sz-300/400 osztályok képesek legyenek magukat (költséghatékonyan) megvédeni, ha magát az osztályt támadják meg. Magát az Sz-300/400 osztályt támadó rakéták, robotrepülőgépek vagy siklóbombák lelövését viszont nem feltétlen szükséges hatalmas távolságban végrehajtani, arra kisebb HMZ-vel rendelkező rendszer is megfelel, ha kellő számú célcsatornával rendelkezik. Ennek a koncepciónak a gyermeke lett a Pancír.

[576] https://www.youtube.com/watch?v=fQ4enjehMB8

Az Sz-400 harci (rakétás) osztályokat védik ezekkel, 6 db jármű véd 1 db Sz-400 osztályt, természetesen AVR-en keresztül összehangolva azokkal.

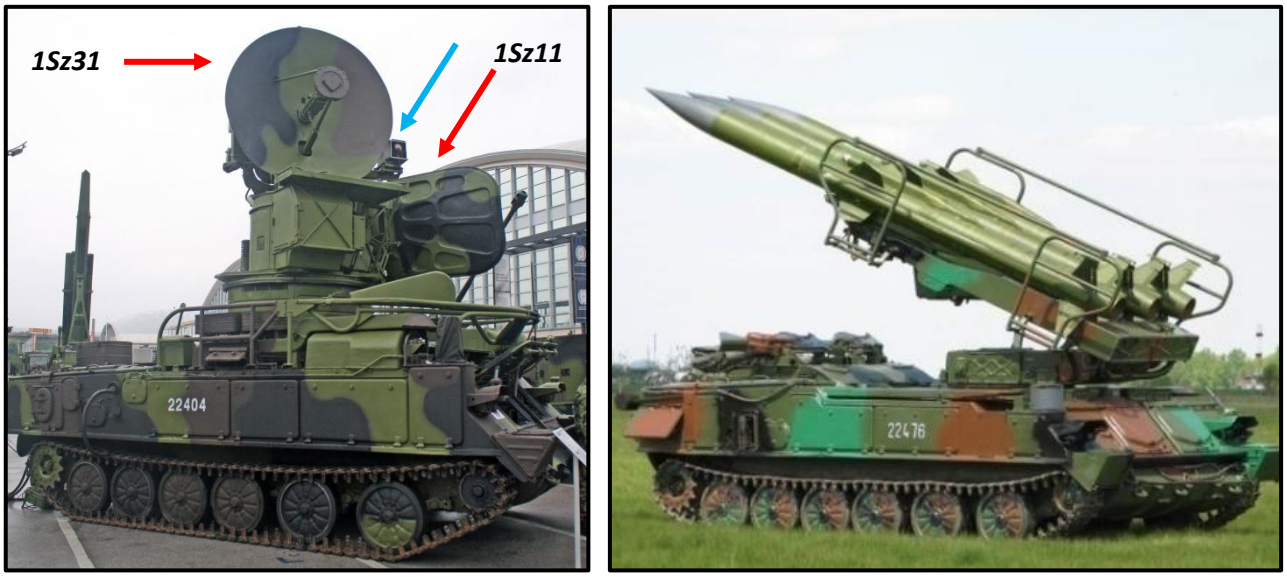
A rendszernek létezik önjáró lánctalpas alvázra telepített változata is a csapatlégvédelem számára (előző oldalon jobbra fent), de amennyire lehet tudni, vevő egyelőre nem jelentkezett be, exportja egyelőre sikertelen és Oroszország sem állította hadrendbe. A kerekes platformon levő Pancír az alap változat.

A rendszer 57E6 rakétái rádió-parancsvezéreltek, azonban a Tunguszkával ellentétben a Pancír nem egy célcsatornás. A Tor-M1-hez hasonlóan fázisvezérelt radarral, illetve a már megszokott módon optikai módon lehetséges a célpontok követése. A Pancír viszont nem csak a célpontot, hanem az Sz-300-hoz hasonlóan a rakétát is nyomon követi, ezzel inkább a Sz-300-hoz hasonló a vezérlése. A radarral 3 db célpontra 3 db rakéta, illetve az optikai csatornával 1 db további célra lehetséges a rakéta rávezetése. A rakéta a Tunguszka felskálázott változata, tömege 74 kg-ra nőtt, a rakéta égésvégi sebessége 1300 m/s. Ezzel a rendszer maximális megsemmisítési távolsága 20 km-re nőtt, a célmagasság 5-15000 méter közötti lehet. A 2K22M-hez képesti további eltérés, hogy az indítható rakéták mennyiségét 12 darabra növelték.

A felül a teljes rakéta, alul a második lépcső (fokozat) látható.

1 – közelségi gyújtó, 2 – csapódó gyújtó, 3 –harci rész, repeszképző köpeny 4 – robbanóanyag, 5 – kormányvezérlő rendszer, 6 – elektronikai berendezések, 7 – giroszkóp vezérlés, 8 – elektromos generátor, 9 – rádió-válaszjeladó, 10 – optikai válaszjeladó

6.2.4.4.14. 2K12 Kub (SA-6 Gainful)[577]



Kub (SA-6) mobil rendszer önjáró elemei, 1Sz91 radarállomás és 2P25 önjáró rakétaindító jármű.

A szovjet minta szerint páncélos hadosztályok hadosztály szintű légvédelmi rendszere volt, azonban több VSz országban is hadsereg szintű légvédelmi alakulatok használták, ahol nem történt meg a 2K12 Krug beszerzése. Ahol Krug rendszert hadrendbe állították ott a továbbiakban hadosztály szinten használták, például Magyarországon, de mind Csehszlovákia, mind Lengyelország még a hidegháború legvégén is Kub ezredeket rendelt hozzá a hadseregeikhez annak ellenére, hogy front szinten teljes értékű Krug dandárral rendelkeztek.

A Kub a hidegháború egyik ikonikus légvédelmi rendszere, zajos és sikeres debütálása a Silkához hasonlóan az 1973-as 4.arab-izraeli háborúban történt meg. (1982-ben fordult a kocka az 5. arab-izraeli háborúban.) A Kub a világ első igazán hatékony közepes hatótávolságú mobil légvédelmi rakéta rendszere volt. Az osztályok minden főbb eleme önjáró, lánctalpas alvázon került telepítésre, a rakétás osztály menetből képes volt 5 perc alatt elérni a tűzkészültséget.

A Kub rendszer felépítése részben hasonlít a honi légvédelmi osztályok felépítéséhez, azonban a fejlettebb és mobilabb megoldások miatt attól kismértékben eltér. Egy Kub ezred 1 db vezetési, illetve 5 db rakétás harci osztállyal rendelkezik. A rakétás osztályok számára ugyanúgy biztosítva van az önálló körkörös célkeresés képessége ahogy a honi légvédelmi rendszereknél, azonban a nagyobb hatótávolságú kereső, illetve a magasságmérő radarral csak az ezred vezetési osztálya rendelkezett.

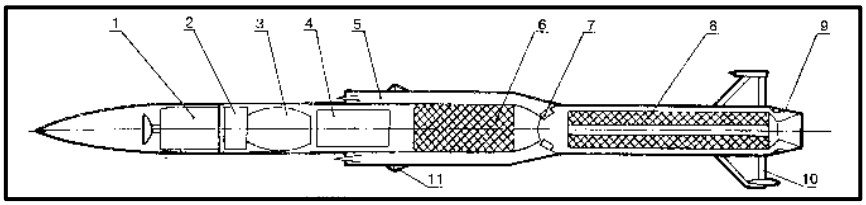
A vezetési osztályhoz tartozott a P-40 körkörös felderítő radar, PRV-16 magasságmérő radar, az AVR 9Sz416 KBU tűzvezetési kabinja, ami a harci osztályok felé továbbította a P-40 (vagy adott esetben P-15/18/19) radarokkal gyűjtött célkoordinátákat.

A harci osztály 1Sz91 radarállomása (SzURN) két antenna-rendszerrel rendelkezik. A egyik 1Sz11 felderítő radar, ami a rakétás osztály önálló körkörös célkeresési képességét biztosítja, továbbá az 1Sz31 antenna-rendszerrel, ami a félaktív rávezetéshez szükséges célkövetést majd folyamatos célmegvilágítást teszi lehetővé. A körkörös felderítő radar felderítési távolsága MiG-21 vadászgép méretű célok ellen kb. 70 km, a célmegvilágító radaré kb. 45 km.

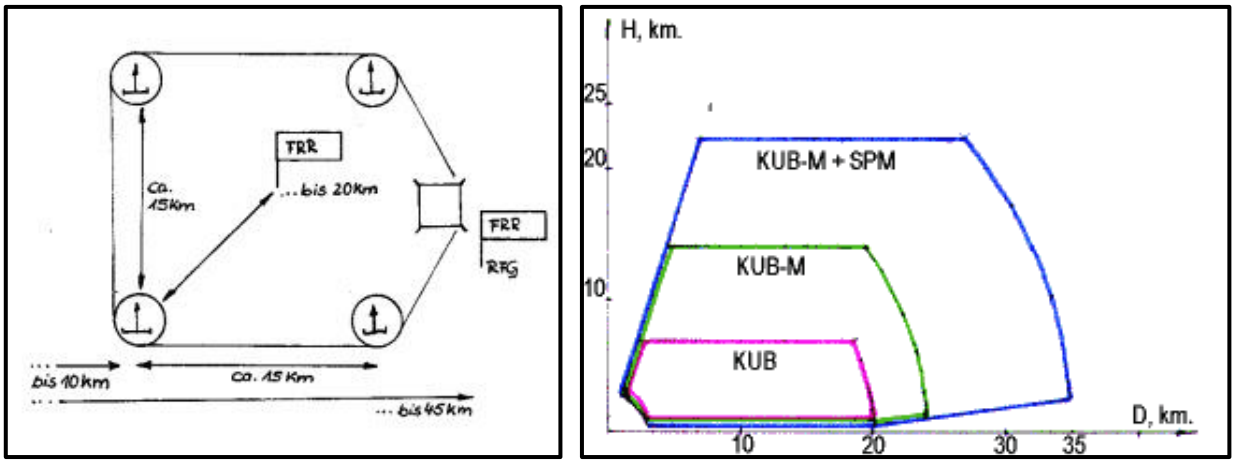
[577] http://www.flak11.de/2K12-Start.htm

A rakéta félaktív vezérlésű, de a Dvinán és Volhov rendszereknél alkalmazott optikai célkövetés lehetősége is rendelkezésre áll, ám ennek jelentősége csak 3M9M3 rakéta változattól volt lévén nem rádió-parancsvezérelt volt a rakéta vezérlése, lásd később. Az előző oldali képen a kék színű nyíl mutatja a radarállomáson a kamerát. Egy harci osztályhoz 4 db 2P25 rakéta indító (indítóként 3 db rakétával), továbbá 1 db 1Sz91 radarállomás (SzURN) tartozik, a rendszer egy célcsatornás, de egy célpontra tetszőleges számú rakéta indítható, ahogy az Sz-200 Vega esetén is a félaktív vezérlésnek köszönhetően. A félaktív megoldás a MiG-23-as típuson alkalmazotthoz hasonló volt. A célpontot a felderítő radar alapján impulzus üzemű radar követésbe vette, majd a folyamatos célkövetéstől kezdve lehetséges volt a folyamatos hullámú alávilágítás.

A Kub HMZ-je számottevően kisebb volt a korszakban rendszeresített Volhovhoz képest, a maximális célmagasság tekintetében a Nyevához képest elmaradt, de a harcászati célok ellen lényegében azonosnak tekinthető volt a két rendszer maximális megsemmisítési távolsága. Összességében az akkori honi légvédelmi rendszerekhez képest harcászati repülőgépek és a környezethez sokkal inkább megfelelő volt a Kub. A rakéta manőverező képessége lényegesen felülmúlta azokét, a rakéta aktív szakaszában, ameddig a hajtómű működött kb. 15G maximális túlterhelésű manőverre volt képes, ami már bőségesen elég volt ahhoz, hogy a bombákkal leterhelten repülő csapásmérő gépeknek komoly problémát jelentsen. A rakéta nem csak manőverképesebb volt, de könnyebben is kezelhető volt, mint akár a Volhov akár a Nyeva rakétái.



A rakéta induló tömege 600 kg (a Nyeva VP-601P 5V27 rakétánál ez 952 kg volt), amiből a hajtóanyag tömege mindössze 172 + 67 kg (míg a Nyevánál ez 280 és 151 kg) volt. A hajtóanyag tömegének kétfelé bontásának az oka a rakéta hajtómű felépítéséből adódik. Amíg Nyeva kétfokozatú, leváló első fokozattal rendelkezett, addig a 3M9M rakéta összes változata kombinált hajtású, de leváló gyorsító fokozat nélküli volt. A rakétát szilárd tüzelőanyagú gyorsító „fokozat” (nem válik le, a tüzelőanyag tér van szeparálva, 8 jelű a gyorsító rész) 3-6 másodpercig üzemel, ezalatt kb. 470 m/s-ra (M1,5) gyorsítja a rakétát. Ezután indul az utazó fokozat, ami szintén szilárd tüzelőanyagú, de torlósugár hajtású, ami nem tartalmaz oxidálószert, a levegő oxigénjét használja erre. Ezzel elérhető volt az, hogy mindössze 67 kg tömegű tüzelőanyaggal (6 jelű) kb. 20 másodpercig üzemelt a hajtómű, ezzel a rakéta kb. 900 m/s (M2,8) maximális sebességet ért el. A harci rész tömege 57 kg. A célpont maximális sebessége 600 m/s lehet.



Balra fent az NDK-ban alkalmazott egy lehetséges települési forma, négy darab harci osztállyal. (Az NDK ezredek többsége csak 4 db harci osztállyal rendelkezett.) Jobbra fent a rendszer hatásos megsemmisítési zónája 0 km oldaltávolság paraméterrel. A Kub-M változatának HMZ-je tekinthető mérvadónak.

Ennek a megoldásnak a hátránya az, hogy a magassággal csökken a légkör oxigéntartalma (adott térfogatban a csökkenő nyomás miatt kisebb tömegű a levegő, tehát kevesebb oxigén van), tehát csökken a hajtómű tolóereje is. Valószínűleg emiatt kisebb a rakéta maximális hatómagassága. Elsőre ez hátránynak tűnhet, de valójában semmi jelentősége nem volt, mert az akkori támadófegyverek maximális hatásos távolsága néhány km volt és a bombázás legfeljebb kis magasságból volt pontos. A Kub jelenléte nem irányított rakéta blokkokkal és buta bombákkal támadó repülőgépek ellen területvédelmi képességet jelentett az ezred összesített tűzerejét nézve úgy, hogy ez folyamatosan fenntartató volt egy teljes ezredet nézve. Még ha az ezred 5 db osztályából 1-2 éppen áttelepült akkor is tisztességes méretű terület védelmére volt képes a Kub, még ha a célcsatornák száma korlátozott volt is egy teljes Osza ezredhez képest.

Az induló rakétán látható, hogy kis fehér kupakok lezárják a levegő beömlőket, azok csak az utazó fokozat indulásakor válnak szabaddá. (Torlónyomás segítségével távolítják el azokat.)

A 3M9M3 rakéta változattól a Kub képessé vált a célpont megvilágítása nélkül is rakétát indítani, az AVR-en keresztül kapott vagy az optikai rendszerrel nyert adatokkal egy számolt / becsült találkozási pont felé. Csak a rakéta végfázisában volt szükséges a folyamatos hullámú célmegvilágítás, ezzel nagyban csökkenthető volt a fenyegetésre adható reakció a célpont részéről, főleg ha a rakéta indítása szabad szemmel nem érzékelhető, mert pl. zárt felhőalap van a repülőgép és a rakétaosztály között. Valószínűleg ilyen körülmények között lőtték le Scott O'Grady-t F-16-ást is 1995-ben a szerbek.

Zavarvédettség szempontjából is hatalmas előrelépés volt a Nyevához és Volhvohoz képest a folyamatos hullámú célmegvilágítás és monopulzus antenna miatt. Izrael 1973-ban az USA-tól kapott ALQ-119 zavaró konténerrel meg sem próbálta zavarni attól való félelemben, hogy a zavarás csak segítené a szögben nem zavarható radarrendszert. A keresőradart –akár az 1Sz91-ét, akár a vezetési osztályét – ettől még persze lehetett zavarni és rontani a kapott légi helyzetkép minőségét, de nem lehetett olyan szinten kiiktatni a Kub-ot elektronikai zavarás vagy csalik által, ahogy az lehetséges volt a Nyeva és Volhov rendszereknél. Erre

a Kub ellen lényegében a hidegháború utánig várni kellett az ALE-50 vontatott csali képében, amit sikeresen használtak az Allied Force hadművelet alatt.[578]

Az 1973-as 4. arab-izraeli háborúban rendkívül sikeresen szerepelt, azonban a későbbiekben már nem mondható el, de az inkább alkalmazás módja miatt volt, mintsem a rendszer képességei miatt, kivéve az 1999-es Allied Force hadműveletet leszámítva.

A rendszer magyar vonatkozása érdekes, a korszerűsítéseknek köszönhetően a Kub vezetési osztály integrálhatóvá vált a NATO-ban elterjedt Patriot, HAWK és egyéb vezetési rendszerbe mint osztály. Ezzel nyugati felderítő radaroktól illetve légvédelmi osztályoktól is kaphat adatkapcsolaton keresztül légi helyzetképet illetve célkoordinátákat, továbbá a rendszer optikai célkövető rendszerét is korszerűbbre cserélték, éjjellátóval éjszakai célkövetés is lehetséges. Ezen felsorolt fejlesztésekkel a magyar Kubok valószínűleg a világ legkorszerűbb Kub változatai, ahol a 3M9M3 rakéta és a minél későbbi végfázis megvilágítás ideális esetben a végsőkig kitolható.

A Kub mára már négy évtizedet meghaladó múlttal bír, ennek ellenére még ma is viszonylag elterjedtek számít, több ország is korszerűsítette, de napjai több országban is – köztük Magyarországon is – meg vannak számlálva, annak ellenére, hogy kivonásuk nem mindenhol indokolt. A harmadik világba exportált változatok nem Kub, hanem Kvadrát nevet kapták, ezek valószínűleg némileg butított változatok a szokásoknak megfelelően.

A Magyar Néphadsereg 1975-től állította hadrendbe eleinte hadsereg szintű légvédelemként a keszthelyi ezredben, majd 1981-ben a 2K11 Krug-gal való lecserélését követően, az elsőlépcsős hadosztályok légvédelmi ezredeinél. Összesen 5 db Kub-M1, és 6 db Kub-M2 osztály állt hadrendbe. A ’80-as évek elején a komplexumok Kub-M3 változatra lettek korszerűsítve. A HM Arzenál és lengyel partner által elvégzett modernizálása a tűzvezetést, és infravörös kamera beépítése által a jelenleg valószínűleg legkorszerűbb Kub változatot eredményezte a világon.

A Magyarországon állomásozó szovjet Dél Hadseregcsoport mindkét gépesített-harckocsi hadosztályának légvédelmi ezrede Kub komplexumokkal volt felfegyverezve, Szentkirályszabadja és Komárom településeken.

http://www.ausairpower.net/APA-2K12-Kvadrat.html
https://www.youtube.com/watch?v=Dmgn3RWXQUk
https://www.youtube.com/watch?v=y1qCOfQjAQU
https://www.youtube.com/watch?v=OdDAtHumZeg

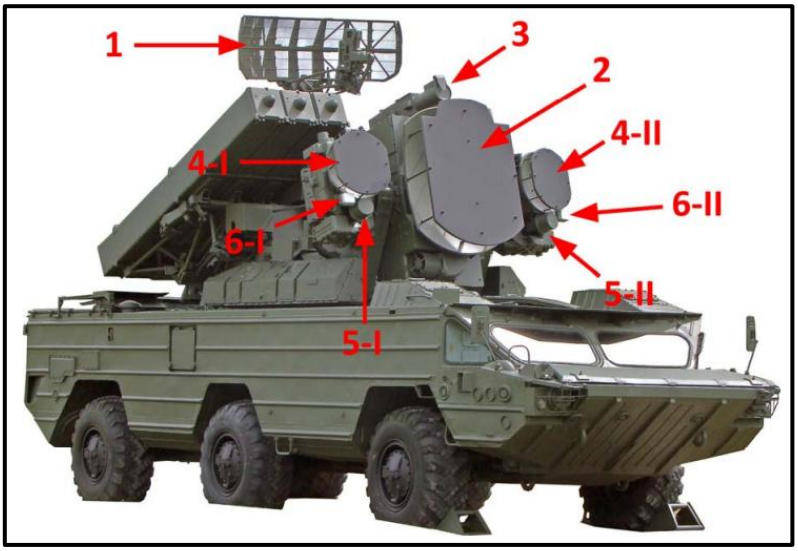
Komolyabb korszerűsítési csomag nyugati technikával

https://www.youtube.com/watch?v=5kLBEhXHU24

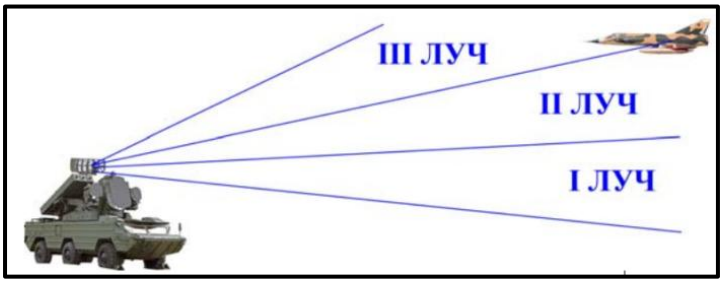
[578] *Az arab-izraeli háborúk és a Sivatagi Vihar alatt lehetséges, hogy VGPO zavarást már használtak ellenük, de erről forrást nem találtam .A lent linkelt videó alapján nem dönthető el, hogy a VGPO zavarás miatt fordulózik az F-16 vadászgéppel a pilóta vagy egyszerűen csak kimanőverezi az indított rakétákat. Az mindenesetre figyelemreméltó, hogy a 1973-ban használt F-4 Phantom típusnál lényegesen nagyobb repülési teljesítményű F-16 is csak komoly magasság- és sebességvesztéssel volt képes túlélni a helyzetet.* https://www.youtube.com/watch?v=2uh4yMAx2UA

6.2.4.4.15. 9K33 Osza (SA-8 Gecko)

A 9K33 Osza minden idők egyik, ha nem a legbonyolultabb mechanikus legyezésű antenna-rendszerével rendelkező légvédelmi rakéta-rendszere. Az Osza a 2K11 Krughoz hasonló antenna és vezérlési módszert kapta meg, azonban még annál is bonyolultabb lett. (Bár a Krug az időben korábbi rendszer, az Osza bemutatása korábban történik meg, lévén hadosztály és nem hadsereg szintű légvédelemi rendszer.) A később bemutatásra kerülő Krug 1 db cél- és 1 db rakétacsatornával bírt, ezzel szemben az Osza 1 db célra 2 db rakétát is képes volt rávezetni egy időben, ennek köszönhető a megkettőzött antenna mennyiség egyes feladatok számára. Az Osza a lenti ábrán látható antennákkal rendelkezett.[579]



1. СОЦ, (SzOC) – Felderítő- és célmegjelölő rádiólokátor, 4 cm-es hullámhosszal
2. ССЦ, (SzSzC) – Keskeny sugarú monoimpulzus cél / rakétakövető antenna
3. ТОВ, (TOV) – célkövető kamera
4. Közepes sugarú monoimpulzus rakétakövető antenna az I/II csatorna számára
5. Körkörös letapogatású, széles sugarú rakétakövető antenna az I/II csatorna számára
6. Széles sugarú rádió-parancsközlő antenna az I/II csatorna számára



A jármű felderítő lokátorának segítségével autonóm módon is képes célt keresni maximálisan 45 km távolságig. (Kisebb méretű célpontok esetén a távolság is csökken.) A keresőradar korlátozottan képes magasságot is mérni (becsülni) azáltal, hogy három sugárnyalábot képes formálni, tehát képes meghatározni, hogy melyik nyalábban tartózkodik a célpont, ezzel gyorsan megtalálható a célpont helyszög szerinti pásztázással, ahogy ez már megszokott volt a Nyeva é Volhov rendszereknél is. (A Kub rávezető állomásának 1Sz11 radarja is képes volt hasonló, de nem teljesen ilyen módon működő becslésre, de csak két sávval.)

Az Osza a Krughoz, a Volhovhoz és Nyevához hasonlatosan rádió-parancsvezérelt rakétát használt, de azoktól mégis eltérő módon működött. Egyik fő különbség az, hogy az antennák már a fejlettebb monoimpulzus technikát használták, illetve célkövetésre a Volhov rendszerhez képest széles- és

[579] https://www.youtube.com/watch?v=DnsIy4Pselo *A videó elején látszik, ahogy a rendszer rááll a célpontra illetve a hárompont rávezetés következménye, hogy a rakéta végfázisban manőverezik akkor is, amikor a célpont nem.*

keskenysugarú antennákat is használt, ami nagymértékben befolyásolta a sikeres ellentevékenységet a rendszer ellen, ami egészen az AGM-88 HARM megjelenéséig szinte lehetetlen volt, lásd később.

Amikor csak lehetséges optikailag követik nyomon a célpontot, a célpont megtalálását lehetőleg az AVR rendszeren keresztül kapott adatokkal hajtják végre még a keresőradar felkapcsolása nélkül. Az optikai rendszerrel egészen a rakétaindítás pillanatáig lehetséges kisugárzás nélkül tevékenykedni.

- Rakétaindítás után a széles sugarú antenna (6 jelű)[580] sugároz ki kódolt rakéta rávezetőparancsokat, hogy a rakéta biztosan fogja a jeleket, ez kis teljesítményű, csak kis távolságból érzékelhető.
- Ezek után az 5 jelű antenna veszi az indított rakéta válaszadó jeleit és 6-os jelű antenna követésbe veszi a rakéta válaszjeleit.
- A közepes sugarú (4 jelű) antenna veszi át a feladatot a rakéta kezdeti fázisában (ez már nagyobb hatótávolságú) és vezeti be a keskeny sugarú monoimpulzus cél / rakétakövető antenna (2) látószögébe a rakétát, ezek után a rakétát és a célpontot ugyanaz az antenna követi. A 4, 5, és 6 jelű antennák kettőzve vannak és egymástól függetlenül mozgathatóak, tehát a rendszer két rakétacsatornás, de mivel a célkövető antennából (2 jelű) csak 1 db van, ezért csak egy célcsatornás.

Az Osza csak hárompont rakéta rávezetési módra képes, ami kinematikailag manőverező célpont ellen a legrosszabb megoldás, azonban sikerül olyan kisméretű és jó manőverező képességű rakétát megalkotni, ahol ez az egyszerűsítés elfogadható kompromisszum volt. A rakéta az aktív szakaszán, 25G maximális túlterhelésű fordulóra is képes, ami azt jelenti, hogy a 4. generációs vadászgépek ellen is kellő manőverező képességgel rendelkezik, nemhogy a bombákkal leterhelt korábbi vadászbombázók ellen. Két rakéta egymás utáni indításával számolva a rakéták kimanőverezése rendkívül nehéz feladat (elvileg) minden más légvédelmi rendszerrel összevetve.

Az Osza 9M33M2 rakétája kettős tolóerő fokozattal rendelkezett, az amerikai AIM-7F légiharc rakétához hasonlóan, ami a rakéta méretéhez képest meglepően jó kinematikai hatótávolságot biztosított. A rendszer maximális megsemmisítési távolsága a lőszabályzat szerint 10,3 km, maximum 5 km célmagasságig, azonban a görögországi lőtéri tapasztalatok adatai alapján ez igen pesszimista becslés. A rakéta kinematikailag ezen a távolságon túl rendelkezik megfelelő sebességtartalékkal a manőverezéshez. A hajtómű üzemideje külső hőmérséklettől függően 13-19 másodperc égésvégi sebessége kb. 640 m/s, ez alatt kb. 8-9 km-et tesz meg, tehát a rakéta lassulása miatti sebességvesztés 10,3 km-nél még nem számottevő. A rakéta teljes tömege 126 kg, a harci rész 14,3 kg, a rakéta 15 másodperc alatt tűzkésszé tehető, ennyi idő szükséges a giroszkópok felpörgetéséhez.

A 9M33M2 rakétával a célparaméterek a következő határok között mozoghattak:

- Célsebesség 300m/s (Mach 1,0) 25-5000 m hatómagasság, 10,3 km hatótáv
- Célsebesség 500m/s (Mach1.6) 100-5000 m hatómagasság, 10,3 km hatótáv

A 9M33M3rakétával a célparaméterek a következő határok között mozoghattak:

- Célsebesség 100m/s (360km/h) 10-25 m hatómagasság, 6,5 km hatótáv
- Célsebesség 300m/s (Mach 1,0) 25-5000 m hatómagasság, 10,3km hatótáv
- Célsebesség 500m/s (Mach 1,6) 100-5000 m hatómagasság, 10,3 km hatótáv

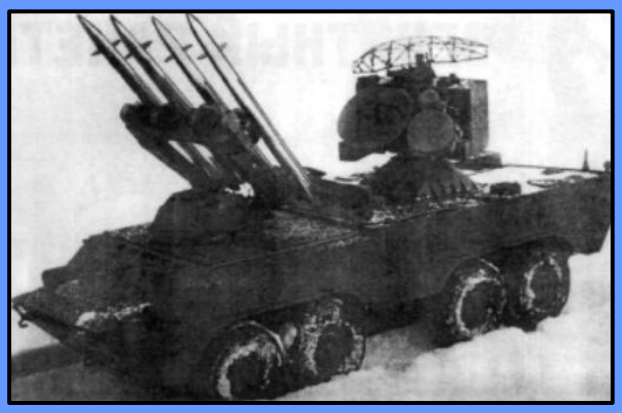
[580] *A vontatott csaliknál bemutatott nyalábszámítási összefüggést felhasználva egyértelmű, ha egy antenna kisméretű, akkor széles nyalábbal sugároz, ha az antenna nagy, akkor keskeny nyalábban.*

A 9M33M3 rakétával állócél leküzdése is lehetséges volt, elvileg 0 méteres magasságig is, helikopterek ellen is használható volt az Osza fegyverzete, a rendszer megsemmisítési távolsága felülmúlta a TOW páncéltörő rakéta maximális távolságát sőt, még az egy évtizeddel később érkező AH-64 Apache helikopterre is reális veszélyt jelentett, ami a maximálisan 8 km-es indítási távolsággal bíró AGM-114 Hellfire rakétákat használt.

Az Osza első változata még csak 4 db rakéta hordozására volt képes (balra a képen), és azokat nem konténerekben tárolták, hanem az akkori honi légvédelmi rendszerek és Kubhoz hasonlóan csak állványon. A későbbi AK és AKM változatok során kerültek a rakéták konténerbe, illetve növelték meg az indítható mennyiséget 6 db rakétára. (Az antennákat bemutató ábrán az AKM változat látható.)

Az Osza a Sztrela-1/10-hez hasonlóan úszóképes volt, azonban használni a fegyverzetét csak szárazföldön, álló helyzetben volt képes. Megállástól számítva akár fél percen belül tűzkész lehetett a rendszer. A torony ±330°-ban forgatható vízszintesen, tehát teljes körbeforgásra ez sem képes, de balra jobbra fordítva a teljes légteret lefedi a rendszer, a járművel nem szükséges manőverezni.

Az Osza megalkotása nem volt egyszerű történet, a hosszan elhúzódó fejlesztés miatt ez lett a szovjet légvédelmi rakéta-rendszerek fekete báránya. Mikorra elérhetővé vált a Varsói Szerződés és más baráti országok számára, addigra azok már kénytelenek voltak rendszeresíteni a drága 2K12 Kub ezredeket gépesített hadosztályaik védelmére, ami komolyan megterhelte a VSz országok nemzetgazdaságát



Az Osza elődjének, az Ellipszis rendszer fejlesztését még 1959-ben kezdték meg, aminek képesnek kellett lennie szuperszonikus (Mach 1) célok megsemmisítésére, 8 km távolságig és 50-5000 méter magasság között, menetből illetve hajó fedélzetéről is. A munka a NII-20 tervezőirodában kezdődött, M.M. Koszicskin vezetésével, aki már komoly tapasztalattal rendelkezett kisméretű, önjáró tüzérségi rádiólokátorok fejlesztésében. 1967 júliusában az Ellipszis rendszert az állami bizottság visszautasította, mert képtelen volt 360 fokos tüzelésre, hatékonyan, 100 m alatti célok leküzdésére, nem volt lehetséges hirtelen felbukkanó célokra reagálni, továbbá a jármű úszóképessége sem volt kielégítő, akadt amelyik tesztelés közben nemes egyszerűséggel elsüllyedt.

A sikertelen próbák után M.M. Koszicskin helyére V.P. Jefremov-ot nevezték ki az NII-20 vezetésére. Jefremov javasolta, hogy a menetből tüzelés követelményét töröljék, meghagyva a célfelderítés képességét, cserébe felajánlotta egy második rakétacsatorna beépítését.

Heves viták, és többek tiltakozása ellenére, P.N. Kulesov a Tüzérség marsallja beleegyezett a követelmények megváltoztatásába. Az eredeti járművet (Objekt 1040) a BAZ-5937-el váltották fel, az úszóképesség növelése érdekében. Hogy csökkentsék a tömeget, és növeljék a vízszintes lefedettséget, a különálló indítóállványt és antennatornyot egyesítették.

A változtatások után megszületett Osza-A változatot már hadrendbe állításra érdemesnek ítélték 1971-ben, de azonnal megkezdték továbbfejlesztését, mert Egyiptom és Izrael közötti háborúk egyik fontos tanulsága volt, hogy a légvédelmi rakéta-rendszerek indításra kész rakétáinak számát sürgősen növelni kell.

A főtervező tiltakozott, hogy ehhez a BAZ alváz teherbírása és úszóképessége túl kicsi, de Usztyinov védelmi miniszter szűkszavúan közölte, hogy a feladat adott, a végrehajtását jelenteni tessék. A probléma részletes elemzése után, Jefremov visszahívta a minisztert és közölte, hogy nyolc rakéta telepítése lehetetlen, de hat rakétát lehetséges konténerekbe helyezve növelni a mennyiséget. A védelmi miniszter elgondolkodott egy pillanatra, majd ezt mondta:

„A fekete bárány is fehér gyapjúról álmodik”.

1973 októberében, a két párhuzamos modernizálási programot (OSzA-A és OSzA-K), egyesítették az új 9K33M2 OSzA-AK rendszer létrehozásával. A fenti elhúzódó fejlesztés és továbbfejlesztési program miatt a VSz tagországok számára csak 1980-ban indult meg az export.

Személyes véleményem szerint az Osza AKM papíron meglevő paraméterei szerint az egyik, ha nem a legveszélyesebb csapatlégvédelmi rendszer volt. Viszonylag sok rakétája volt, azok minden szóba jöhető célpont ellen megfelelő manőverező képességgel rendelkeztek. A teljes gl. hadosztályt nézve a Kub ezredhez mérve nagyon sok célcsatorna állt rendelkezésre, hadosztályonként 20 db. A hidegháború alatt a 10,3 km-es maximális távolság és 5 km célmagasság minden harcászati fegyver hatásos alkalmazhatósági távolságát felülmúlta, még az AGM-65D-2 változatét is, ami a hidegháború csúcskategóriás páncéltörő rakétájának tekinthető.

A radar romboló rakéták elleni védelme is kiváló volt, az AGM-45-tel lényegégben szinte támadhatatlan volt a rendszer, mert keskenysugarú megvilágítás esetén csak az AGM-45-öt hordozó gép indíthatott rakétát, a célmegvilágító igen keskeny (szűk) nyalábja miatt. Azonban arra is csak rendkívül rövid idő állt rendelkezésre, mert a rávezetési idő kisugárzással együtt nagyságrendileg legfeljebb 25 másodperc volt maximális céltávolság esetén is.

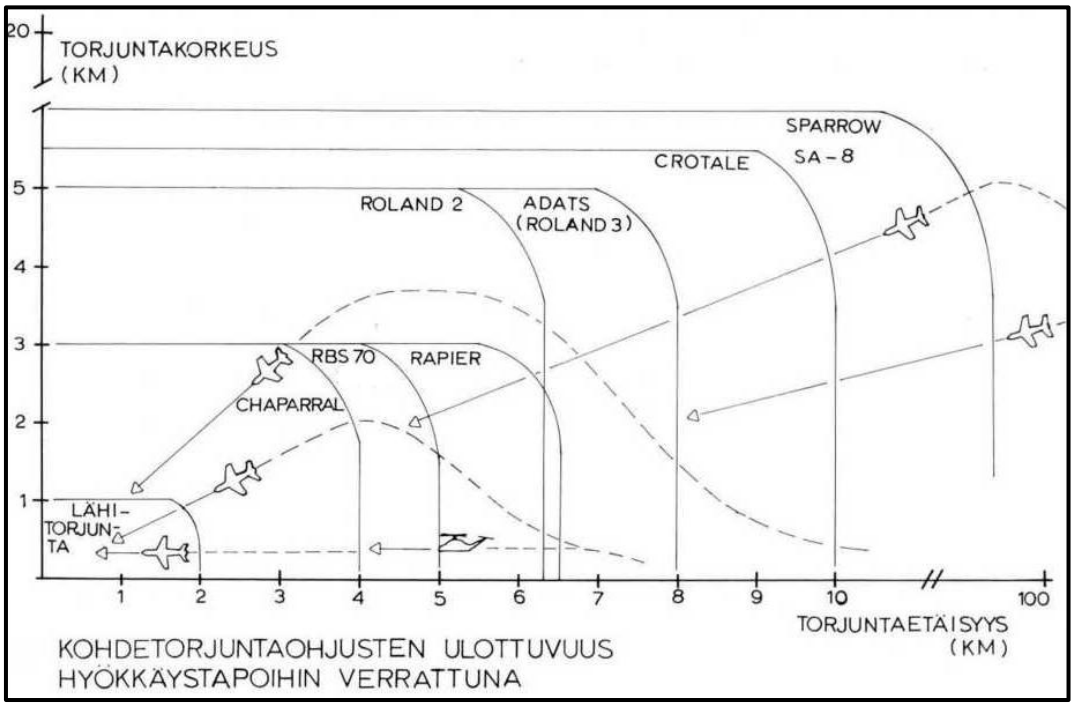
Csak az AGM-88 HARM megjelenésével vált a rendszer támadhatóbbá, azzal lehetséges volt az oldalszirmokon keresztül is támadni az Oszát, de még ott is nagyon komoly korlát a rövid kisugárzási ideje a rendszernek. Megfelelő AVR támogatás és optikai célkövetési képességét kihasználva papíron messze a legkomolyabb fenyegetések egyike volt, amivel a NATO gépeinek szembe kellett volna néznie. Ehhez képest élesben meglepően gyengén szerepelt, a Sivatagi Vihar alatt egyáltalán nem „aratott” az Osza.

Végezetül néhány videó és képgyűjtemény rendszerről:

https://www.youtube.com/watch?v=QdeLa42kz_I
https://www.youtube.com/watch?v=14IhEMmItYk
http://www.ausairpower.net/APA-9K33-Osa.html

Az Osza rendszerhez hasonló önjáró légvédelmi tüzérségi (SHORAD kategória) nem csak a Szovjetunió és a VSz tagországok, de nyugati országok is alkalmaztak, de azok az Osza rendszer HMZ kiterjedésétől jellemzően „fél léptékkel" elmaradtak. Ezek 6-8 km körüli megsemmisítési távolsággal, 3-5 km maximális célmagassággal rendelkeztek, és bár a klasszikus infravörös SHORAD rendszereket felülmúlták, de az Oszától mégis elmaradtak, ez a különbség a rakéták induló tömegén is látszik.

Ilyen légvédelmi rendszer volt például a közös német-francia fejlesztésű Roland, az angol Rapier,[581] a francia Crotale[582] és Crotale NG, vagy a nem túl ismert ADATS, illetve a hadrendbe soha nem állított amerikai Mauler.[583] Ezek jellemzően rádió- parancsközlő vezérléssel rendelkeztek, az eltérés többnyire a célkövetés és/vagy rakéta követés módjában van/volt.



A Crotale R440 rakétája esetén rádiótechnikai megoldás helyett pl. infravörös rakétakövetéssel vezették be a rakétát a cél- és rakéta követő radar nyalábba, ami után ugyanúgy hárompont rávezetési módszer használt (valószínűleg), mint a 9K33. A fenti HMZ diagram is más értelmezésben van, mint az Osza. Bár 10 km-ig tart azonban a rakéta kinematikai jellemzői messze elmaradnak az Oszáétól, sokkal hamarabb lelassul. 5, 6, 10 és 13 km távolságban 27, 18, 8 illetve már csak 3G túlterhelésre képes, ami hárompont rávezetés mellett azt jelenti, hogy oroszos megközelítéssel azonos követelmények szerint a Crotale HMZ-je 8 km táján véget ér, legalábbis manőverező célok ellen.

A Crotale abban is eltér, hogy az Oszával ellentétben az indító járművek nem rendelkeznek kereső radarral, azok külön járművön kaptak helyet. Az Osza abban is egyedi, hogy ebben a légvédelmi rendszer kategóriában a világon egyedül úszóképes a jármű.

[581] https://sg.hu/forum/uzenet/1074537255/80413
A mellékletek között egy 326 oldalas anyag megtalálható a rendszerről.
[582] http://www.ausairpower.net/APA-HQ-7-Crotale.html, https://sg.hu/forum/uzenet/1074537255/83663, https://sg.hu/forum/uzenet/1074537255/83661,
[583] http://www.designation-systems.net/dusrm/m-146.html

Balra fent a német-francia fejlesztésű Roland a Marder lövészpáncélos alvázán, jobbra az ős Crotale rendszer.

Amiben nagy szórás van az Osza rendszerhez képest, az az egy járműben elhelyezett és indításra kész rakéták mennyisége. Bár az Osza 6 darabos készlete nagy átlagban felülmúlja a fent felsorolt rendszerekét, azonban a koncepciója a járműnek más. A Roland esetében két darab rakéta indítása egymás után lehetséges, aztán a jármű belsejéből az automatikus újratöltés 10 másodperc alatt végrehajtható[584], a Roland maximum 10 db rakétát hordozhat. Tehát az első 6 db rakétáig az Osza tűzgyorsasága felülmúlja a Roland rendszerét, de 6 db rakéta után hosszadalmas utántöltés szükséges, míg a Roland egészen 10 db rakéta ellövéséig harcképes marad. Néhány nyugati SHORAD rendszer látható a lenti videón.

https://www.youtube.com/watch?v=YYtop83C6yU

https://www.youtube.com/watch?v=USh97KrOMjY

A SHORAD kategóriájú csapatlégvédelmi rendszerek érdekessége, hogy az USA a '60-as évek óta számtalan programban vett részt – többek között a francia-német programmá redukálódott Rolandban, megalkotta a Mauler rendszert is, az M247 Seregant York[585] csúfos kudarc volt – , de lényegében a Chaparral -t leszámítva egyetlenegyet sem állított hadrendbe. Sőt, a '90-es évek közepe óta lényegében semmi nincs az Avenger és a Patriot között a Chaparral és a HAWK kivonása óta. Annak ellenére, hogy a NASAMS amerikai rakétát használ, az USA a NASAMS rendszert jelenleg is csak Washingtonban telepítette a Fehér Ház és a Pentagon védelmére esetleges légi eszközzel végrehajtott terrorcselekmények ellen.

6.2.4.4.16. 9K331 Tor-M1, 9K332 Tor-M2 (SA-15 Gauntlet)

Az 9K33 Osza és 2K12 Kub váltótípusa. (Az első változat GRAU kódja 9K330, de mivel csak kis mennyiségben gyártották, ezért a valódi alap változat, ami a későbbi továbbfejlesztések alapját képezte az M1 volt.) Az első Tor változat lényegében egy fejlettebb technikai szinten tisztességesebben összerakott Osza változat, erre utal a 9K330 GRAU kód jelzés, ami a 9K33 Osza egy nullával bővítése. (Hasonló odaszúrás ez a nevezéktannal, mint volt az Osza elnevezéssel, lásd első fejezetben.)

Az Osza történeténél elhangzott, hogy a 6 db rakétára növelt mennyiséget is kevesellte a felső vezetés, ezért a Tor rendszernél ennek a mennyiségnek a biztosítása kiemelt szempont volt. További markáns változást a használt antennák és vezérlő rendszer jelentették. Szintén a legfelsőbb szintről érkező ukáz volt

[584] https://www.youtube.com/watch?v=BZTsf2tc6RM
[585] https://www.youtube.com/watch?v=ogDgLOJOKJs , https://www.youtube.com/watch?v=TanFPsRaeto

az, hogy az Osza rendszeren alkalmazott antennaerő egyetlen célcsatorna és két rakétacsatorna mennyiségért egész egyszerűen elfogadhatatlan, ezzel a módszerrel minőségi előrelépés nem lehetséges, tessék más megoldást keresni az utód rendszer számára.

A ’70-es években az Sz-300 honi légvédelmi rendszernél megjelent a fázisvezérelt antenna gyakorlati alkalmazásban, aminek előnyei miatt kézenfekvő volt alkalmazása az új rendszeren. A lenti képen látható, hogy az Oszánál tapasztalt antenna mennyiségnek nyoma sincs, mindösszesen 3 db antenna maradt meg. Az Tor-M1-en található antennák és a rakéták elhelyezési helyei a következőek:

1. СОЦ, (SzOC), Felderítő- és célmegjelölő rádiólokátor, cm-es hullámhosszal
2. Széles sugarú rakéta irányító antenna
3. Keskeny sugarú monoimpulzus cél / rakétakövető antenna és RPK antenna
4. Optikai célkövető rendszer
5. Rakéta konténer (mindkét oldalon)

9K331 Tor-M1.

A fent látható antennamennyiség töredéke lett az Oszán tapasztalthoz, a digitális számítógépek megjelenése és a félvezető elektronika fejlődése tette lehetővé ezt az egyszerűsítést. Indítást követően a 2-es jelű szélessávú antennával vezetik a rakétát a 3-as jelű antenna látószögébe, ami egyaránt követi a célpontot és a rakétát. Ez az antenna ráadásul többfunkciós, ezzel történik a rádió-parancsközlő jelek továbbítása is a rakéta felé. A fázisvezérelt antenna tűnyalábokkal követi a rakétát és világítja meg a célpontot másodpercenként akár több tucatszor is. A 9K330 elő széria még 1 célcsatornás volt, azonban a nagyobb mennyiségben hadrendbe állított 9K331 Tor-M1 változatnál már 2 db célpontra volt rávezethető 2-2 db rakéta, ami hatalmas minőségi előrelépés volt a Oszához képest, nemhogy a Kub ezred célcsatorna ennyiségéhez és rakéta mennyiségéhez képest.

Az Oszával azonos módon a Tor-M1 is rendelkezik az autonóm célfelderítés képességével, de ugyanúgy az AVR kapcsolat tekinthető az optimálisabb módnak a céladatok megkapásának és rejtve működés

szempontjából. Indítás után a 9M331 rakétát függőlegesen katapultálják ki,[586] majd a rakéta orr részén található oldaliránya néző kis manőverhajtóművek forgatják a célpont irányába, ami után beindul a rakéta menethajtóműve.

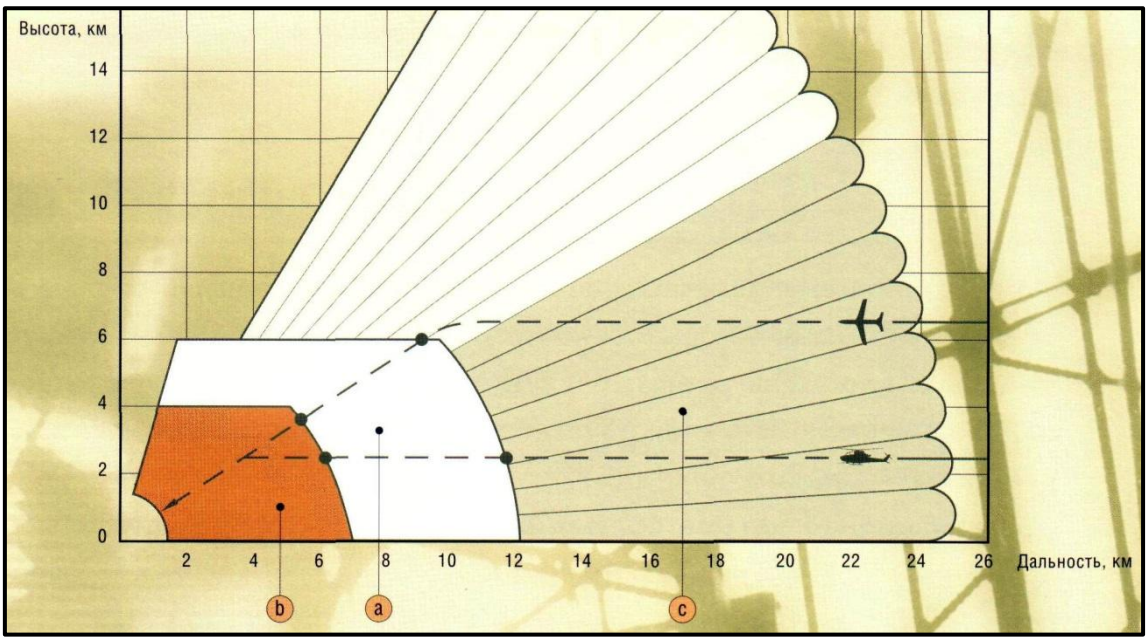
Ahhoz, hogy a járművön elférjen a 8 db rakéta a rendelkezésre álló kis helyen szükségessé tette ezt a gázdinamikai kormányzási megoldást, hogy a közeli célpontok ellen is alkalmazható legyen a rakéta, ezzel elkerülhető, hogy nem a már a gyorsuló rakéta forduljon rá a célra függőleges pozícióból. A szinte egyhelyben álló rakéta cél felé forgatásához rendkívül kis tolóerő (teljesítmény) szükséges csak az indítás után ahhoz képest, amit a több száz m/s sebességgel haladó rakéta áldozna fel manőverezéssel a maximális megsemmisítési távolságból, illetve a közeli célok esetén nem is lenne képes kellően szűken fordulni azok elfogásához.

9M331 rakéta indítása. A képen látszik még az indítás utáni forgató hajtóművek lángja a rakéta orrán, de már beindult a menethajtómű is.

Az Oszához képest további komoly változás a jármű, amire az egész rendszert telepítették. Az úszóképesség már nem volt elvárás, ennek már korábban sem lett volna sok értelme, mert a Silka sem volt úszóképes, ahogy az utódnak szánt 2K22M Tunguszka sem. A Tor-M1 nem csak a rakéta mennyiség és az alkalmazott antennák terén hozott újítást, de a rendszer automatizáltsága jócskán meghaladta a Oszáét, a legkorszerűbb M2 változata teljesen automatikus üzemre is képes.[587]

[586] *Az Sz-300PMU-nál egy tányéron áll a rakéta, mellette a tubusban két hosszú csőben dugattyú van. Lőporos gázképzés miatt a dugattyúk felvágódnak, a hozzájuk rögzített tányérral, amin a rakéta áll, és feldobják a 2 tonnás rakétát kb. 20-25m magasra. A Tor is valószínűleg hasonló elven működik. (Hpasp kiegészítése.)*

[587] https://www.youtube.com/watch?v=y8f6l-UN_9M



A Tor-M1 maximális megsemmisítési zónája, maximum 6 km magasságig, 12 km távolságig repülőgépek ellen.

A rakéta manőverező képessége az Oszához képest kismértékben nőtt (max. 30G), égésvégi sebessége szintén nagyobb, 700-800 m/s között van a rakéta pályájától függően. A rendszer minimális megsemmisítési távolsága 1,5 km, a maximális 12 km, a rendszer minimális célmagassága 10 méter, a maximális 6 km, a maximális oldaltávolsága (paraméter) 6 km lehet. A Tor képes kisméretű rakéták lelövésére is, ezzel képes magát megvédeni radar elleni rakétákkal szemben is.

Balra fent önjáró kerekes változat, jobbra fent lánctalpas vontatott sarkvidéki környezethez tervezve.

A klasszikus önjáró megoldások mellett a 2010-es években egyéb platformok is megjelentek az önjáró lánctalpas alváz mellett, gumikerekes illetve vontatott lánctalpas járművön is speciális igényeknek megfelelően hazai illetve export piacot megcélozva.

A MAKSZ 2007 kiállításon mutatták be a rendszer újabb generációját a 9K332 Tor-M2 változatot, ami 2012-től kezdve állt hadrendbe. Az M2 változat kinézetre szinte teljesen azonos az M1-gyel, a fő eltérést a körkörös keresőradar antennája illetve a plusz egy széles sugarú rakéta irányító antenna megjelenése jelentik. Az M2 változat emiatt immáron 4 db célcsatornás lett. További változtatás, hogy újfajta rakéta típus jelent meg a 9M331 mellett a kisebb méretű 9M338 típusú rakétából egy cellába 4 db helyett már 8 db tárazható be, valószínűleg vegyesen is lehetséges a 9M331-gyel. Ezzel 4+4 db 9M331 vagy 4 db 9M331 +8 db 9M338 vagy 16 db 9M338 rakétával rendelkezik egy jármű. A rendszer megsemmisítési zónája a nagyobb rakétával magasságban már eléri a 10 km-et, távolságban 15 km-et.[588] A Tor-M2 már menetből is

[588] https://goo.gl/mZVQje

képes tüzelni kis sebesség és jó minőségű szilárd útburkolat esetén. Minden korábbi csapatlégvédelmi jármű esetén tüzeléshez és rakéta rávezetéshez a járművel meg kell állni.

Balra fent egyiptomi Tor-M2, jól látható a plusz széles sugarú antenna, jobbra fent orosz Tor-M2.

A Tor-M1 már csak a hidegháborút követően készült el és az Sz-300PMU1-val egyetemben igen hamar megjelent az exportpiacon, de viszonylag szerény mennyiséget sikerült exportálni belőle, bár meglepő módon a NATO tagállam Görögország is vásárolt belőle, (elődjéből az Oszából is, illetve Sz-300PMU1-ből is.) A szerény exportsiker annak fényében meglepő, hogy hasonló kategóriájú és képességű önjáró mobil légvédelmi rendszer nem létezik a világon, már a Tor-M1 képességei is rendkívüliek és egyediek voltak, nemhogy a M2 változaté.

Végezetül a szokásoknak megfelelően képgyűjtemény és néhány videó a rendszerről.

https://www.youtube.com/watch?v=9MZtnqJLf4c
https://www.youtube.com/watch?v=N7vvvgodLU8
https://www.youtube.com/watch?v=8YI72CSiexQ
http://www.ausairpower.net/APA-9K331-Tor.html

6.2.4.4.17. 2K11 Krug (SA-4)[589]

A 2K11 Krug volt az első önjáró, mobil légvédelmi rakéta-rendszer, amit V.P. Jefremov vezetésével fejlesztettek ki a NII-20 tervezőirodában. A Krug több téren is forradalmian új sőt, egyedi rendszer maradt – papíron ballisztikus rakéta elhárításra is alkalmas volt – évtizedeken keresztül, valószínűleg ez az oka annak, hogy a Varsói Szerződés tagországain kívül sehova nem exportálták.

A Krug volt az első szovjet légvédelmi rakétarendszer ami monoimpulzus antennával valósította meg célkövetést illetve analóg számítógépet alkalmazott. A rendszer harcoló elemei teljes atom, vegyi illetve biológiai (ABV) védelemmel rendelkeztek (a kor szellemének megfelelően), menetből 5 perc alatt képes volt elérni a rakétaosztály a tűzkész állapotot.

A Szovjetunió 1964-ben rendszeresítette első változatát, de egészen a ’70-es évek közepéig korszerűsített változatokat dolgoztak ki és a ’80-as évek legelejéig gyártásban maradt, amikor a VSz tagállamok közül több is hadrendbe állította. A folyamatos modernizációk a következő alváltozatokat eredményezték: Krug-A, Krug-M, illetve a Krug-M1.

[589] *http://infowsparcie.net/wria/o_autorze/pzr_krug.html*

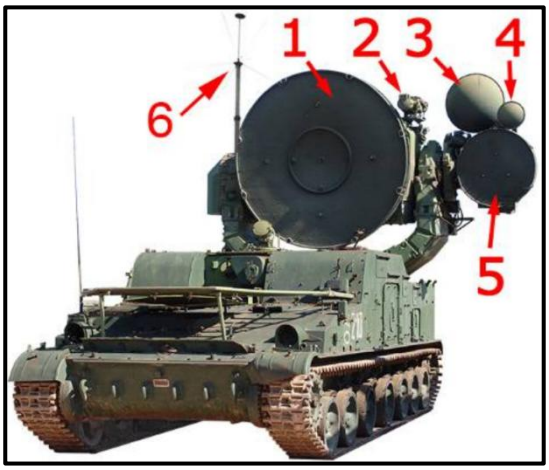
A Krug-M1 ezred vagy dandár két fő egysége az üteg és az osztály, egy ezred 2 db osztályból, egy dandár 3 db osztályból állt. Az osztály főbb elemei a következőek:

- 1Sz12M1 SzOC (Long Track) körkörös nagy hatótávolságú felderítő radar (célfelderítő állomás), osztályonként 1 db[590]
- 1Sz32M2 SzNR (Pat Hand) rakéta rávezető állomás, ütegenként 1 db
- 2P24M1 SzPU önjáró rakétaindító állvány, ütegenként 3 db, állványonként 2 db 3M8(M3) rakétával

Balra fent 1Sz12M1 SzOC felderítő radar, jobbra fent az indítóállvány és rakéta indítás után, még üzemelnek a gyorsító fokozatok hajtóművei.

Az 1Sz32M2 SzNR rávezető állomás a következő antennákkal rendelkezett:

1. AVSz-I monoimpulzus célcsatorna antenna. (RPC)
2. TOV kamera. (optikai csatorna)
3. SzPK rádió-parancsközlő antenna a rakéta távirányítására. (RPK)
4. AVSz-II rakétacsatorna széles sugarú antenna. (csak vétel)
5. AVSz-II rakétacsatorna keskeny sugarú antenna. (csak vétel)
6. 1Sz62, és 1Sz63 telekód rendszerek antennája

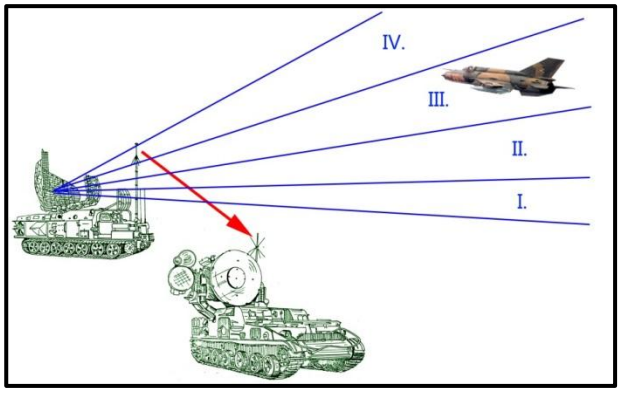


Látható, hogy a későbbi Osza magán viselte a Krug örökségét, a két rendszer hasonló felépítésű. A Krug rendszernél a Dvina és Volhovhoz képest radikális újítást a vezérlésben és rávezetésben a függetlenített cél (AVSz-I), és rakéta (AVSz-II) követőantenna rendszer jelentette, a célpontot és rakéták követő antennák egymástól függetlenül képesek mozogni, míg a Volhovnál a vételi antennák szűk vételi tartományán belül kellett lennie, mind a rakétának, mind a követett célpontnak. Az egymástól függetlenített mechanikus antennáknak köszönhetően a Krug nagyobb előretartási szöggel tudja a rakétát a célra vezetni a korábbi rendszerekhez képest, emiatt képes (elvileg) ballisztikus rakéták leküzdésére is.

A célpontot az 1 jelű antenna követte, a 3-as jelű antennával sugározták a rakéta felé parancsközlő jeleket, a rakéta válaszjeleit a 4 és 5 jelű antennák fogadták. Ahogy már az Osza rendszernél láttuk az

[590] http://kameraaltal.blog.hu/2013/11/21/1sz12m1_celmegjelolo_radiolokator_allomas
Nem összekeverendő a P-40-nel bár tény, hogy kinézetre rendkívül hasonlóak, de más szervezeti szinten találhatóak. A P-40 radarral a Krug ezred/dandár és Kub ezred rendelkezett 1 darabbal, az 1Sz12 SzOC radarból minden Krug üteghez tartozott 1 db. A P-40 ezen felül a magasságmérő PRV-16 radarral együtt alkotott egy egységet, az Krug ütegeknél nem volt magasságmérő radar.

indítást követően kis távolságon a széles sugarú, nagyobb távolságon a keskeny sugarú antenna fogadta a jeleket. Kisméretű célok (MiG-21, F-104, F-5) az SzNR felderítési távolsága kb. 70-80 km a maximálisan kijelzett céltávolság 110 km, ennél nagyobb távolságú célkövetés nem valósítható meg. Az SzNR antennatornya a harcjármű hossztengelyéhez képes ± 320 fokban elforgatható. (Tehát majdnem körbe tud fordulni, de teljes körbeforgásra képtelen a torony.)



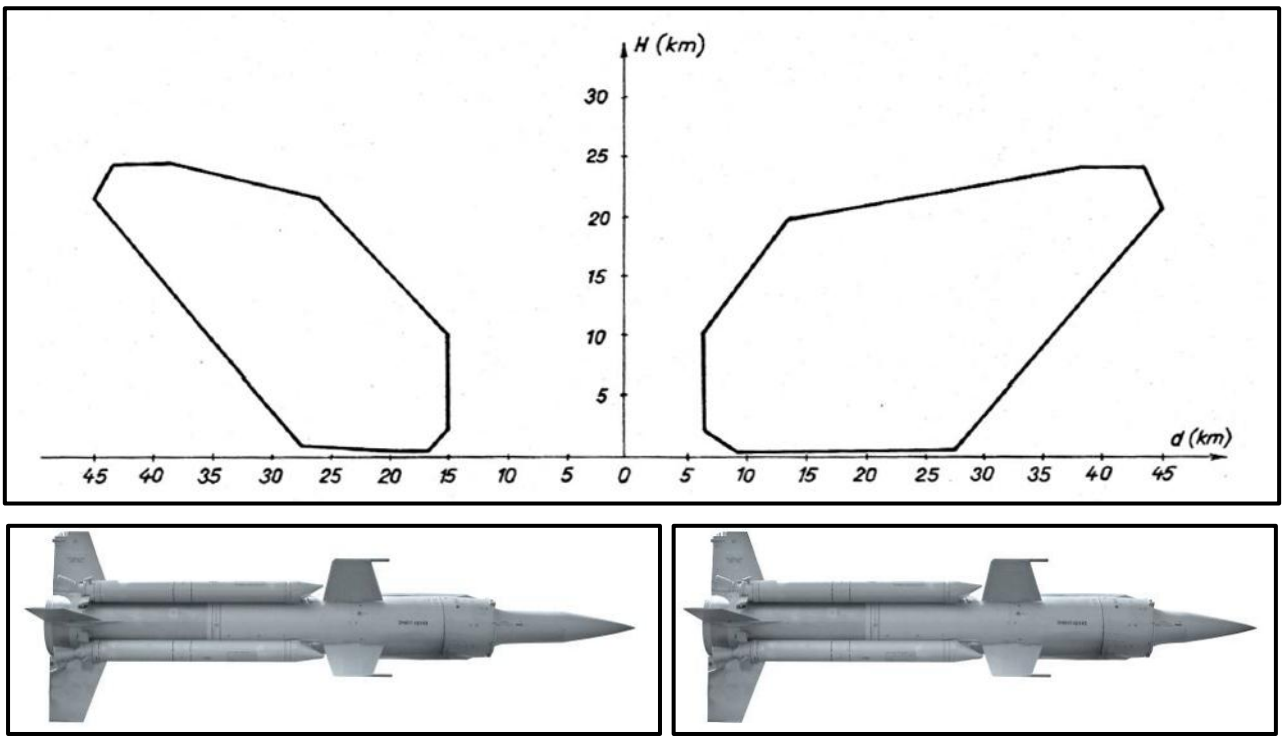
Az osztály 3 db ütege számára a célfelderítésre elsődlegesen az 1Sz12M1 SzOC felderítő radar szolgált, de szükség esetén a manuális célkeresés is lehetséges volt az 1Sz32M2 SzNR rakéta rávezető állomással is. Az önjáró, UHF sávú lokátor vadászgépeket kb. 220 km távolságból képes felderíteni. A radar a rávezető állomáshoz 1Sz62 telekód csatornával, vagy P-274 tábori telefonvezetékkel csatlakoztatható. A radar korlátozottan képes magasság mérésére is , mert négy magassági zónát tapogat le az radar. (Az Osza is innen örökölte ezt a képességet.)

A rávezető állomás automatikusan dolgozza fel a SzOC-ról érkezett célmegjelölést, az adott körzetben végzett célkutatás után automatikusan követi a célt. Az állomás további tevékenységét az analóg számítógép (SzRP) vezérli, amely a cél koordinátái alapján kiszámítja az indítási zóna paramétereit, meghatározza a rakétacsatorna antennáinak előzetes szögértékeit, továbbá a rakétaindításhoz szükséges paramétereket számít ki az önjáró indítóállványok(SzPU) részére. Ezeket a belső adattovábbító rendszere segítségével az SzPU-ra átküldi, ezt követően a rakétákat az elfogási pont felé fordítják.

Mikor a cél paraméterei a számított indítási zónába lépnek a rakéta indítható. Az állomásparancsnok a felkészített rakéták közül kiválaszt egyet és kiadja az indítási parancsot. A rakéta az állvány segítségével elvégzi a felkészítés utolsó lépéseit, és a rakéta startol. A felgyorsuló rakéta beérkezik a várókapuk zónájának nevezett körzetbe, itt a fedélzeti válaszadó segítségével a rakéta automatikus követése elkezdődik. A mért adatok alapján a rakétát bevezetik a keskenysávú antenna hatáskörzetébe. A rakéta követőcsatorna átkapcsol erre az antennára, és az így pontosabb adatok alapján az SzRP meghatározza a további vezérlési parancsokat.

A vett parancsjelek alapján a rakéta folyamatosan korrigálja a pályáját, majd meghatározott pillanatban élesítik a rádiógyújtót és a robbanófejet. A cél körzetében rádióparancs engedély után a rádiógyújtó parancsjelére felrobban a repeszromboló töltet.

A komplexum 1 célcsatornás, de csak 1 db rakétacsatornás, ebben visszalépés a Volhov és Nyeva rendszerekhez képest. Rakéta rávezetés maximum 800 m/s célsebességig, 50 km távolságig, és 24,5 km magasságig lehetséges. A rendszer 0 km oldaltávolság paraméterre vonatkozó HMZ ábrája lent látható közeledő (jobb oldalon) illetve távolodó célpont ellen.



Balra fent 3M8 rakéta, jobbra fent 3M8M3 változat.

A Krug rakétája részben még a honi légvédelmi rendszereknél használatos koncepcióhoz hasonlít. A rakéta továbbra is kétfokozatú, szilárd hajtóanyagú startrakéták szükségesek a menetsebességre gyorsításhoz, azonban a rakéta utazó hajtóműve folyékony hajtóanyagú. A csapatlégvédelem számára azonban a Volhov és Vega rakétáknál használt rendkívül mérgező és veszélyes hajtóanyag használat nem volt elfogadható – mobil légvédelmi rendszernél mozgás közbeni baleset illetve sérülés esélye számottevően nagyobb – ezért a rakéta üzemanyaga kerozin.

Az indító fokozat üzemideje 4 másodperc, utazó fokozat üzemideje változattól függően 65-72 másodperc, a rakéta csúcssebessége kb. 800 m/s, ez magasságtól függően kismértékben eltérhet. Az utazó fokozat torlósugár hajtóművel rendelkezett, azonban ennek kedvezőtlen kihatása volt a rakéta manőverező képességére. A rakéta orrán levő orrkúp nagy állásszögű manővereket nem tett lehetővé a kialakuló áramlási viszonyok miatt, ami korlátozta az elérhető maximális túlterhelést annak ellenére, hogy a rakéta nagy sebességgel haladt. A 3M8 típus esetén a maximális túlterhelés 4G volt, de még a rövidebb orrkúppal készült 3M8M3 változat esetén is mindössze 6G volt a maximum.

A rakéta indulótömege a különféle változatok esetén szinte azonos, kb. 2450 kg, amivel a Volhov rendszer rakétájával van egy léptékben. Érdemes összevetni, hogy Kub rakéta HMZ-je nagyjából fele a Krug rendszerének, ezzel szemben a rakéta tömege a negyede. Az RPK vezérlés távolsággal növekvő pontatlanságának köszönhetően ez a rakéta is hatalmas, 150 kg tömegű robbanófejjel rendelkezett.

A Krug rendszer egyik különlegessége, hogy a harcászati ballisztikus rakéták (pl. MGM-52 Lance vagy a francia Pluton típusok) ellen is használható volt elvi szinten, azok végfázis sebessége a Krug rendszer maximális célsebességen belül maradt, az előretartás lehetséges volt a szétválasztott rakéta és célkövető antennákkal. (A magyar alakulatok ezt nem gyakorolták.)

A másik és sokkal inkább realizálható harcászati előnye a Krugnak az, ahogyan az SzOC és az SzNR együtt dolgoztak, ami a korszak „analóg LPI" légvédelmi rendszerévé tette azt.[591] A "ПНС" (PNSz) „Program Szerinti

[591] *2K11M1 Krug-M1 Közepes Hatótávolságú Önjáró Légvédelmi Rakétarendszer Szimulátor Leírása*

Rávezetés” üzemmódban az SzNR nem sugároz ki, így az nem bemérhető, nem lehetséges radar elleni rakéta indítása vagy rávezetése, ha már korábban indították. Ebben az üzemmódban SzNR némán nagyfrekvenciás kisugárzás nélkül „követi” a cél számított pályáját, az SzRP (analóg számítógép) prolongációja alapján, és összehasonlítja azt a cél valós pályájával, amit a SzOC (keresőradar) mér. Ha a cél prolongált pályája, és a valós pálya között több mint 7 km a különbség, akkor az SzNR rövid ideig megvilágítja a célt, hogy felfrissítse annak valós pályáját és korrigálja a pályát, de a Nyeva és Volhov rendszerekhez képest, ha a célpont nem végez kitérő manővert, akkor nem szükséges folyamatos célmegvilágítás.

“ПИ” (PI) „Szakaszos Kisugárzás” üzemmódban az SzNR rakéta rávezető állomás felváltva, az SzRP analóg számítógép által kiszámolt ideig néma, majd a monoimpulzus célkövetés által megkívánt, lehető legrövidebb ideig megvilágítja célt kb. 1 másodpercig. Amikor az SzNR néma, akkor az biztonságban van az ellenséges radar elleni rakétáktól, még a ’80-as évek legkorszerűbb AGM-88 HARM ellen is. Hiába támadhatta az oldalszirmokon is akár a Krugot, ha egyszerűen a rövid és szakaszos kisugárzás miatt csak nagyon rövid ideig és ritkán lehetséges mérni a célpont helyzetét. Az 1999-es Allied Force hadművelet idején látható volt, hogy a hidegháborús AGM-88 hiába „jegyezte meg” a célpont számolt helyzetét az utolsó mérés alapján, ez legfeljebb kis távolságon használható, az esetek nagy részében ilyenkor nem találja el a rakéta a célpontot.

A Krug rendszer igen érdekes kettősséget mutat képességek terén. A ’60-as, ’70-es években – de talán még a ’80-as években is – a besugárzásjelző rendszerekkel a Krug rakéta indítás érzékelése problémás lehetett. A rendszer ilyen szempontból még akkor is egyedinek sőt, talán még mindig korszerűnek számított.

Ha a közeledő rakétát nem sikerült vizuálisan észlelni a pilótának – a rakéta erősen füstölt, de támpont hiányában az egész légtér szemmel tartása fizikailag lehetetlen – akkor a Krug hatalmas veszélyt jelentett a repülőgépek számára annak ellenére, hogy rakéta manőverező képessége nagyon gyenge volt. A rakéta 6G maximális túlterhelése a korai Dvina rendszer rakétához hasonló, viszont a kései Volhovhoz rendelkezésre álló rakéták és a Nyeva is felülmúltál (~10G 10 km magasság alatt), nemhogy a Kub (15G).

Amennyiben a besugárzásjelző mégis képes volt észlelni a SzNR rövid kisugárzásait és sikerült a rakétát szabad szemmel észrevenni, akkor a rakéta elől manőverezéssel kitérni semmilyen harcászati repülőgépnek nem jelenthetett problémát.

Az analóg „LPI” üzem hatásossága részben ott kérdőjeleződik meg, hogy a SzOC folyamatos üzeme szükséges hozzá. Viszont ahol SzOC van, akkor biztosra vehető, hogy SzNR is van a közelben, mert azok nem települhetnek túl messzire a SzoC-tól, legfeljebb 5 km-re. Ez azt jelenti, hogy 50-60 km távolságból a rakéta kb. 10 fokos szögtartományból érkezhet.

Bár a rakéta rávezetés tényéhez érzékelni kell az SzNR üzemét, azonban a SzOC irányába figyelés segíthet a rakéta vizuális észlelésben, bár ez azért sovány információ ahhoz képest, ha az RWR megbízhatóan mutatná a rakétaindítás tényét. A SzoC deciméteres hullámsávban üzemel, amit nem feltétlenül érzékelnek megbízhatóan a vadászgépek besugárzásjelzői – hiszen azok számra a tűvezető radarok centiméteres hullámhossza kiemelten fontos –, inkább a korszak elektronikai felderítői és zavaró gépei, amik rendelkezésre állása bevetési övezetben esetleges, erre építeni nem mindig lehet.

A fentiek alapján valószínűsíthető, hogy ha még a rendszer elől kitérni képesek lettek volna a harcászati gépek, nagy távolságból AGM-45 radar elleni rakétával kiiktatni szinte lehetetlen lett volna az SzNR-t. A SzOC azonban folyamatosan működött és a szakaszos LPI üzem követelményei miatt, hogy a pálya összehasonlítás lehetséges legyen nem méteres hullámhossz tartományban üzemelt, mint a P-12/18, hanem deciméteresben. Ez viszont már AGM-45-tel is támadhatóvá tette SzOC-ot, az AGM-45 moduláris volt, a felfegyverzéskor a várható fenyegetések tükrében cm-es vagy dm-es radarok elleni érzékelő is felszerelhető volt, [592] *bár azt hozzá kell tenni, hogy az AGM-45 HMZ-je messze kisebb volt, mint a Krug rendszeré. A SzOC kiiktatása után az SzNR-rel való célkeresés lett volna szükséges, ami nem hatékony, ahogy a honi légvédelmi rendszerek tűzvezető radarjainál sem volt az.*

A '80-as éveken a helyzet még inkább megváltozott az AGM-88 megjelenésével, ami képes volt, mind a cm-es, mind a dm-es radarok támadására ugyanazzal az szenzorcsomaggal, ráadásul az oldalszirmokon keresztül is. Ezzel a SzOC igen könnyen kiiktathatóvá vált, ami az osztályokat könnyen megfosztotta volna a körkörös helyzetkép alkotó képességtől és az LPI üzemtől is. Bár azt azért hozzá kell tenni, hogy a HARM elterjedtsége a hidegháború alatt kizárólag az amerikai haderőre korlátozódott, a NATO tagállamokban csak a hidegháború után állt hadrendbe számottevő mennyiségben, még USA is használta a Sivatagi Vihar alatt az AGM-45-öt.

A Magyar Néphadsereg a Varsói Szerződésben utolsóként, 1981-ben rendszeresítette a Krug rendszert, ahol a (könnyebben kezelhető) 2K12 Kub rendszert váltotta le. Érdekesség, hogy itthon emiatt nem szerették, a csehek viszont kifejezetten kedvelték a Krugot. Összesen két szovjet Krug dandár és egy magyar Krug ezred települt a Dunántúlon. A Magyar Néphadsereg 7. légvédelmi rakétaezrede 2 db osztállyal Keszthelyen, a szovjet Dél Hadsereg Csoport 2 db háromosztályos dandárral, Dunaföldvár, Igal, Mór, Fertőd, Pápa és Sármellék állomáshellyel rendelkeztek.

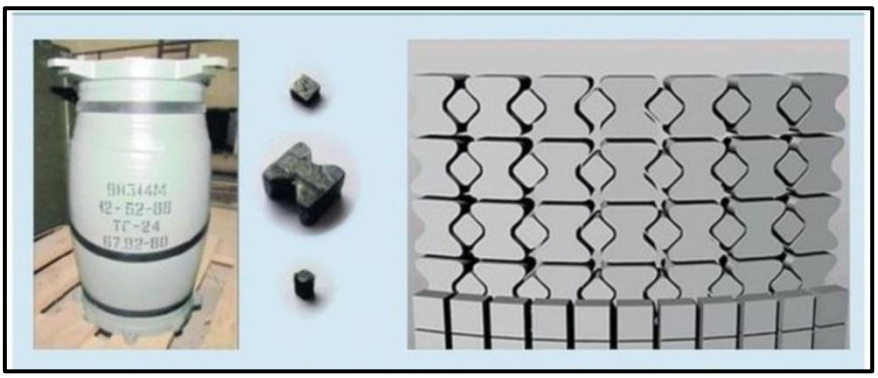
Végezetül néhány videó a rendszerről.

https://www.youtube.com/watch?v=My0Xr-ITrW8
https://www.youtube.com/watch?v=5rseSkU8yD8

6.2.4.5. 9K37M1 Buk-M1, 9K37M1-2 Buk-M1-2, 9K317 Buk-M2 (SA-11 Gadfly, SA-17 Grizzly)

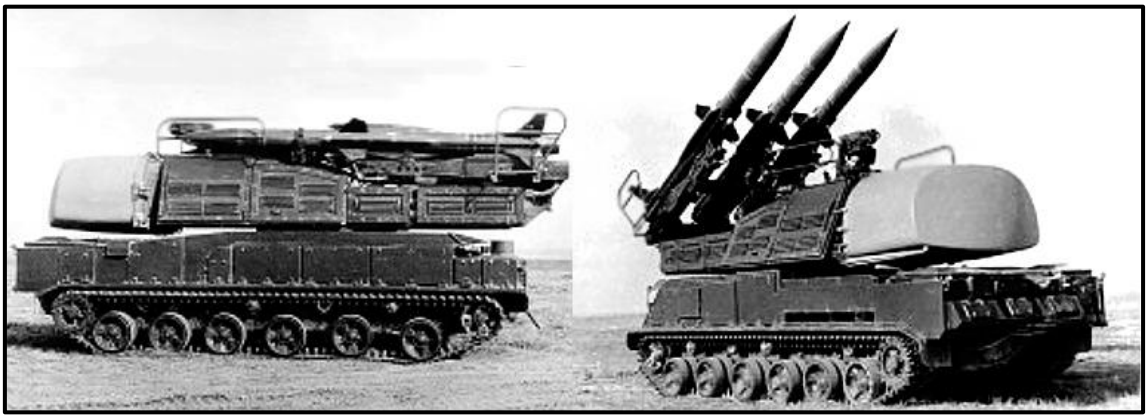
A Buk volt az első szovjet légvédelmi rakéta-rendszer, ahol már kezdet kezdetén előírták, hogy a rendszernek hajófedélzeti üzemre és szárazföldi üzemre is alkalmasnak kell lennie, annak ellenére, hogy a hadsereg vezetése nem látta szívesen a rendszert, csak politikai nyomásra voltak hajlandók elfogadni annak hadrendbe állítását. A haditengerészet elsősorban a tömegesen érkező AGM-84 Harpoon rakéták[593] ellen tervezte hadrendbe állítani, addig a hadsereg számára a sokkal keményebb, részben páncélozott A-10 Thunderbolt II repülőgép miatt nagyobb rombolóerejű repeszeket kellett képezni a harci résznek, ez eredményezte a pillangó alakú előképzett repesz formát.

[592] http://www.designation-systems.net/dusrm/m-45.html
[593] *Nem klasszikus rakéta, gázturbinás hajtóműve van, mint a repülőgépeknek.*



A Buk-M1-nél később látható lesz, hogy minimális magasságnak 15 métert adnak meg a megsemmisítési magasságra, de ennél számításba kell venni a közelségi gyújtót is, aminek maximális érzékenysége 20 méter. Tehát a Buk képes a 10-15 méter magasságban közeledő AGM-84 Harpoon rakéták megsemmisítésre úgy, hogy azok felett repül kicsivel, így a közelségi gyújtó számára a vízfelszín nem jelent problémát.

Már az Sz-75M Volhov idején is cél volt a rádiógyújtó érzékenységének a tompítása a célpont repülési magasságának függvényében, de annak ellenére a Volhov rendszer 100 méter alatt repülő célpontokkal nem tudott mit kezdeni.



Kub-M4 rakéta indító állványa rávezető radarral együtt.

A Kub fejlesztését megelőzően a koncepció részben testet öltött a hadrendbe soha nem állított Kub-M4 képében 1978-ban, ami megtartotta a Kub rendszer önjáró alvázát és a rakétáit, de az önjáró alvázból rávezető állomást hoztak létre az 9Sz35 (Fire Dome) antenna-rendszer hozzáadásával. Ezzel képessé vált használni nem csak 3M9 sorozathoz tartozó Kub rakéta változatokat, de az fejlesztés alatt álló Buk rendszer 9M38 változatú rakétáit is, tehát felfelé kompatibilitást képzeltek el.

A 2K12 Kub-M4 soha nem áll hadrendbe, ahogy 9K37-1 Buk-1 változat korai csapatpróbái során használt és kipróbált felépítés sem terjedt el, a később teljes harcképességet elérő 9K37M1 Buk-M1 dandárok nem üzemeltek vegyesen a Kub osztályokkal. A korai Buk-1 változatnál a 9A38 rávezető és rakétaindító jármű (TELAR) egy Kub rakéta osztályba volt besorolva, így az megnövelte a célcsatornák számát 1 db-ról 2 db-ra (1 db 1Sz91 SzURN + 1 db 9A38), illetve 4 db-bal az indításra kész rakéták mennyiségét. A 9K37 Buk-1 esetén számításba vették azt, hogy a Kub rakétáit is képes legyen használni az új 9A38 rávezető és rakétaindító járművekről is, a koncepció tehát a lefelé kompatibilitás volt.

A fentiektől eltérő 9K37M1 Buk-M1 koncepciót 1983-ban fogadták el, az első teljes dandár 1986/87-ben állt hadrendbe. Ezen dandárok felépítése a már korábban bemutatottak felelt meg, a rendszer minden eleme új volt, a Kub osztályoktól független szervezeti egységként üzemeltek a Buk-M1 rakétás osztályok.

Balra fent a 9A310M1 SzOU (TELAR) rávezető és rakétaindító jármű, jobbra fent a 9A39M1 PZU (TEL) rakétaindító és utántöltő jármű

A Buk-1, Buk-M1 rakéták félaktív vezérlést használnak, a Kub rakétáihoz hasonlóan folyamatos hullámú célmegvilágítást igényelnek, illetve valószínűleg képesek arra, amire a Kub 3M9M3 rakétával, mivel a TELAR-on ugyanúgy megtalálható az optikai célkövetésre szolgáló kamera, mint a Kub radarállomásán. Az optikai célkövetéshez szükséges adatokat az osztályhoz tartozó 9Sz18M1 Kupol-M1 körkörös felderítő radar biztosítja, a radar maximális felderítési távolsága vadászgép méretű célpontok kb. 140 km. Az osztály vezetési pontja a 9Sz470M1.

Balra fent a 9Sz470M1, a rakétás osztály vezetési pontja, jobba az osztály keresőradarja az 9z18M1 Kupol-M1 (SzOC). Mindkét járművön jellegzetes az adatkapcsolathoz használt antenna, amivel tartják a kapcsolatot a 9Sz52 Poljana-D4 dandár szintű vezetési ponttal.

A Buk-M1 osztályok vezetési pontjai a 9Sz52 Poljana-D4 dandár szintű vezetési ponton keresztül tartották a kapcsolatot a dandár többi osztályával, de az a vezetési pont ennél lényesen többre volt képes. A Poljana-D4 front szintű AVR nagyjából a VSz-11 Vozduh rendszernek megfelelő, de attól eltérően teljesen mobil AVR eszköz, nemcsak a Buk osztályok, hanem az Sz-300V és a Buk-M1 dandár üzemét hangolja össze sőt, még az A-50 légtérellenőrző repülőgép által felderített célpontok koordinátáinak fogadására is képes.

Háború esetén a Buk-M1 osztályok valószínűleg viszonylag széttelepülve védték volna csapatokat, de átlapolva az Sz-300V osztályok megsemmisítési zónájával, emiatt szükséges volt koordinálni azokkal azok működését sőt, a Poljana-D4 lehetővé tette a Front Légierővel történő együttműködést is, ami egészen új szintre emelte a csapatlégvédelem képességeit.

A Buk rakétai külsőleg igen hasonlóak az amerikai Standard rakéta kialakításához, ami nem meglepő annak fényében, hogy a haditengerészeti változat azonos célra készült azonos korszakban. A Buk-M1 maximális célsebessége a 9M38M1 rakétával 800 m/s, minimális célmagassága 15 méter, a maximális 22 km. A minimális megsemmisítési távolság 3 km, a maximális 35 km. Figyelemreméltó, hogy a rakéta 685 kg-os tömege szinte azonos a Kub 3M9M3 rakétáéval, megsemmisítési zónája mégis kb. 60%-kal nagyobb úgy, harci rész tömege 70 kg a Kub rakétájának 57 kilogrammjával szemben. Ezt úgy érte el, hogy a rakéta az amerikai AIM-7F légiharc és az Osza rendszer rakétáin alkalmazott kettős tolóerő-profillal rendelkező hajtóművet kapott, ami nagymértékben optimalizálja a rakéta energia felhasználását a pályáján. A rakéta átlagsebessége kb. 850 m/s (a maximális sebessége eléri az 1000 m/s-ot), a rávezető állomás 1 db célcsatornával rendelkezik, de a Kubhoz hasonlóan a félaktív rávezetésnek köszönhetően egy célra tetszőleges számú rakéta indítható növelve a találat esélyét.

A Buk-M1 a Tor-M1-hez hasonlóan képes lelőni a radar elleni rakétákat, bár ezek ellen számottevően kisebb a megsemmisítési valószínűség, mint repülőgépek ellen (1 db rakétával 0,9 repülőgépek ellen 0,5 rakéták ellen.) A Buk-M2 korlátozottan használható ballisztikus rakéták elleni védelemre, de ezt nagyban korlátozza a maximális célsebessége.[594]

A Krug rendszerrel összevetve a dandár képességei számottevően nőttek annak ellenére, hogy a rendszer hatásos megsemmisítési zónája egy osztálynak kisebb volt, összességében nagyjából azonos terület volt védhető, de jóval több célcsatornával és „radargyilkos” rakéta elleni önvédelmi képességgel.

Dandár célcsatorna mennyisége:

- 2K11 Krug: 3 db osztály * 3 db üteg * 1 db SzNR (1 db) 9 db
- 9K37M1 Buk-M1 4 db osztály * 3 db üteg * 2 db SzOU (1 db) 24 db

Dandár indításra kész rakéta mennyisége:

- 2K11 Krug: 3 db osztály * 3 db üteg * 3 db SzPU * (2 db) 54 db
- 9K37M1 Buk-M1 4 db osztály * 3 db üteg * (2 db SzOU * (4 db) + 1 db PZU * (8 db)) 192 db

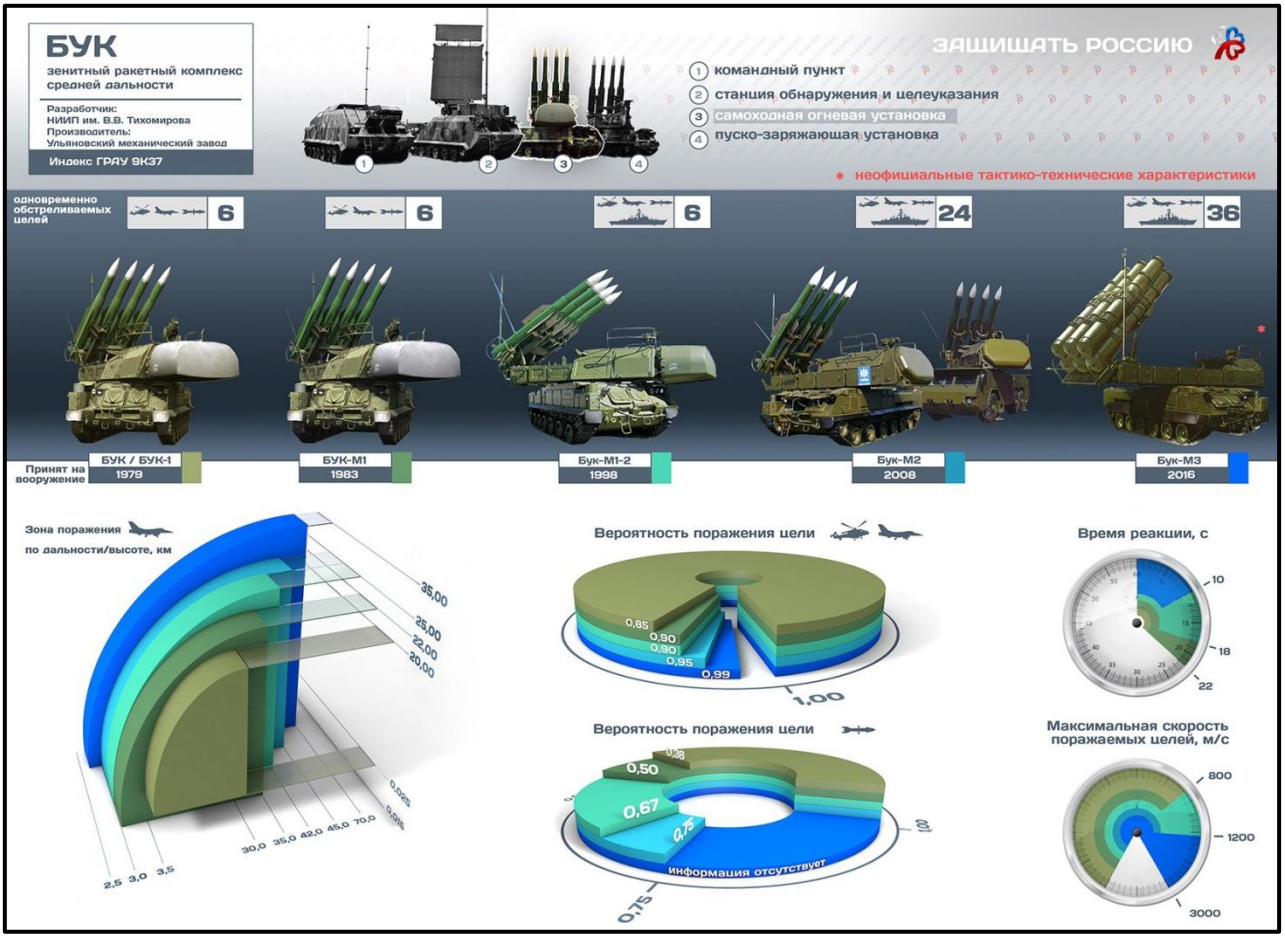
Buk változatok alapvető paraméterei. Érdekessége a képnek, hogy itt a Buk-M3 osztály ezen még csak 24 db célcsatornás, a későbbi ábrán már 36 db-os. Vagy elírás vagy arról lehet szó, hogy ekkor még nem tervezték az aktív radaros végfázis vezérlést, ezért azonos a célcsatorna mennyisége az M2 változatéval.

[594] *A finnek a rendszer átvételi vizsga/tesztlövészetén elsőre sikeresen lelőtték a harcászati ballisztikus rakétát szimuláló célpontot.*

A Buk rendszer sem kerülhette el a továbbfejlesztést, azonban a szokásokkal ellentétben ezek jóval komolyabb „reszelgetések” voltak, mint a korábbi légvédelmi rakéta-rendszereknél, még a vezérlés módját is megváltoztatták, továbbá teljesen új radarokat és rakétákat kaphattak a későbbi változatok (bár ezek egy része opcionális, a modul rendszerű felépítés miatt).

A Buk-M1-2 változattól fogva elérhető vált a 9M317 rakéta, aminek tömege kismértékben nagyobb lett (720 kg), a maximális célsebesség 1200 m/s-ra nőtt. A hatásos megsemmisítési zóna minimuma változatlan maradt, azonban a maximális távolság 35-ről 45 km-re, a maximális magasság 22-ről 25 km-re nőtt, a magasabb célsebesség a ballisztikus rakéták elleni védelmi képességét is javította. Ballisztikus rakéták ellen az eddigiekben bemutatottak szerint a HMZ itt is kisebb, legfeljebb 20 km-es távolságig hatásos, a maximális célmagasság ekkor legfeljebb 16 km. Mivel a HMZ itt rendkívül kicsi, ezért ilyen célok elfogásához több rakéta indítás szükséges a 90% feletti sikeresség biztosításához.

A komolyabb fejődési lépcsőt az 9K317 Buk-M2 illetve a 9K317M Buk-M3 változat jelentette. Az M2 változatnál a folyamatos célmegvilágításra használt folyamatos hullámú rendszert lecserélték – a TELAR műanyag dudora alatt parabola antenna volt – helyette immár fázisvezérelt síkantennát kaptak a rávezető állomások. Valószínűleg a Tor-M1/M2-nél használt megoldással, tűnyalábokkal kombinált rádió-parancsközlő távirányítással, illetve végfázis félaktív vezérléssel egyetlen TELAR 4 db célcsatornával bír, ennek köszönhetően az osztályonkénti célcsatorna mennyiség négyszeresére nőtt, 24 darabra, a teljes Buk-M2 dandár ezzel 96 db célcsatornával.



A Buk család fejlődése és képességei.

Egészen elképesztő fejlődés, a rendszer célokkal való túlterhelése ezzel a hidegháborús fegyverzettel operáló repülőgépek esetén nagyjából a reménytelen kategóriába esik, radar elleni rakétából harcászatilag reálisan elképzelhető forgatókönyveket vizsgálva egyszerűen képtelenség annyit indítani, amivel a rendszer

kapacitása kimeríthető lenne miközben jut elég rakéta és célcsatorna a repülőeszközök támadása, ezt csak az GBU-39 SDB (Small Diameter Bomb) tömeges megjelenése (2006 után) változtatta meg, de ezek lelövése teljes mennyiségben (elvileg) nem feladata a Buk-M2-nek, mert gazdaságtalan, kisebb HMZ-vel bíró pontvédelmi rendszerek, a 2K12 Tunguszka, 9K332 Tor-M2 feladata a kisebb és olcsóbb rakétákkal illetve gépágyúval. Egészen elképesztően rétegzett légvédelem hozható létre az orosz csapatlégvédelmi rendszerekkel teljes feltöltöttségű alakulatokat nézve.

A rendszer felderítő radarja a 9Sz18M1-3E (export változat típusjelzése) felderítési távolsága kismértékben nőtt, 150 km-re, a parancsnoki jármű is a korszerűbb 9Sz510 típus.

A 9K317M Buk-M3 esetén a változások még radikálisabbak, a 9A317M rávezető állomásnál (TELAR) az állványonkénti rakéta mennyiséget 6 darabra növelték, a 9A316M utántöltő és indító járműnél 2x6 darabra. A Buk-M3-nál rakétája teljesen új, amit a haditengerészeti Stihl-1 rendszerrel közösen használnak – a 9M317M rakéta aktív radarvezérléssel bír, továbbá sokkal kompaktabb kialakításának köszönhetően az átmérője is csökkent, így sikerült növelni az egy állványon levő rakéták mennyiségét sőt, a rakéták konténerekbe kerülhettek, ezzel lényegében nincs ma már olyan orosz légvédelmi rakéta-rendszer, aminek legkorszerűbb változata ne konténerben lenne tárolva.

A kedvezőbb hossz/átmérő arányú, illetve kisebb keresztmetszetű rakétákkal a rendszer maximális megsemmisítési távolsága 70 km-re, a maximális célmagasság 35 km-re nőtt, a célsebesség maximuma eléri a 3000 m/s-ot, amivel a rendszer képessé vált hadászati ballisztikus rakéták lelövésére is. A célcsatorna mennyiség a végfázisban az aktív önrávezetésnek köszönhetően 36 darabra nőtt osztályonként, ami azt jelenti, hogy az osztály rávezető állomása az összes TELAR-on levő indításra kész rakéta egyidejű rávezetésre képes.

A Buk-M3 változat aktív rakétás kialakítása az 1999-es Allied Force hadművelet tapasztalataiból következett, ahol az AGM-88 HARM tömeges alkalmazásával sikerült – igaz, hogy a koros – de a szerb légvédelmet nagyrészt elnyomni s komoly károkat okozni. Az aktív végfázis vezérléssel csökkenthető volt a a TELAR-ok kisugárzásának ideje sőt, megfelelő AVR kapcsolat esetén talán mellőzhető is, ezzel részben a NASAMS-hoz hasonló képességek birtokában van a BuK-M3 csak lényegesen nagyobb HMZ-vel.

A különféle változatok során az automatizálás szintje nőtt, a Buk-M3 ballisztikus rakéta elhárító képessége feltételezi azt, hogy lényegében a Vityazhoz és Patriothoz hasonlóan teljes automatikus üzemre is képes, ahogy már a Tor-M2 is rendelkezik ezzel a lehetőséggel. A korábbi változatokhoz képest a rendszer reakcióideje is csökkent az M1 változat 15-18 másodperces idejéről 8-10 másodpercre.

A 9K317M új járművei és rakétái, balra fent a 9A316M önjáró indítójármű, jobbra fent a 9A317M rávezető állomás és indító jármű.

A Buk-M2 és M3 másik érdekes fejlődési iránya az, hogy a honi légvédelem Sz-300P családjához hasonlóan állványra szerelhető kismagasságú kereső radart kapott az 9Sz36 (Chair Back) képében, ami ráadásul többfunkciós, adott esetben célmegvilágításra is használható. A képek alapján a radarantenna nem forog, csak adott irányba beállítható a torony elforgathatásával, tehát csak szektoros keresése alkalmas. Az Sz-300P család NVO radarjával ellentétben telepítési ideje töredéke annak, mert nem szükséges daruzni felállításához, az állvány hidraulikus munkahengereivel lehet felállítani a 21 méter magas antenna oszlopot és kitolni az antennát véghelyzetbe. A Buk-M3 sikeres lövészete 2015-ben zajlottak le, hadrendbe állítása a következő években várható, de annak üteme kérdéses a a jelenlegi (2017) orosz gazdasági helyzet miatt

A 9Sz36 (Chair Back) radar felállítás közben.

A Buk változatainál a célcsatornák és indításra kész rakéták fejlődése tehát a következő:

típus	rakéta	tömeg	hatótáv	magasság	célsebesség	rakéta túlterhelés	célcsatorna SzOU/TELAR
-	-	kg	km	km	m/s	G	db
9K37M Buk-M1 (SA-11)	9M38M	690	3-35	0,015-22	800	19	1
9K37M Buk-M1-2 (SA-11)	9M317	720	3-42	0,015-25	1200	30	1
9K317 Buk-M2 (SA-17)	9M317M	720	3-50	0,015-25	1200	30	4
9K37M Buk-M3 (SA-17)	9M317MA	581	3-70	0,015-70	3000	30 (?)	6

Kis magyarázat a különféle Buk változatok rakétáihoz. A lábjegyzetben[595] található linken a különféle 9M317 rakéták vannak felsorolva. Alapvetően van két fajta fejrész kerülhet a rakéta orr részére. A 9E420 félaktív vezérléshez szükséges, a 9V1103 (oroszban a V = B) aktív vezérlést használó fej változat. Amelyik rakéta az aktív radaros fejrészt kapta, annak "A" karakter szerepel a típusjelében. Az "E" jelöli exportváltozatot, az „F” a haditengerészeti változatot, az „M” jelöli a konténerből való indíthatóságot, ezek a jelölések halmozódhatnak is.

A következő típusok léteznek a forrás szerint: 9M317, 9M317E, 9M317A, 9M317F, 9M317M, 9M317ME, 9M317MA, 9M317MAE, 9M317MF, 9M317MFE. Így jön ki, hogy Buk-M3 konténerből indítható aktív radarvezérlésű rakéta típusjelzése 9M317MA orosz, export változat esetén 9M317MAE.

A 9M317 rakéta család érdekessége, hogy az ős Krug változatnál kitalált pillangó alakú repeszekkel szakított és már pálcikás harci résszel rendelkezik. (Hpasp észrevételei szerkesztve.)

Buk dandár célcsatorna mennyisége:

- 9K37M1 Buk-M1 4 db osztály * 3 db üteg * 2 db SzOU (1 db) 24 db
- 9K317 Buk-M2 4 db osztály * 3 db üteg * 2 db SzOU (4 db) 94 db
- 9K317M Buk-M3 4 db osztály * 3 db üteg * 2 db SzOU 144 db

Buk dandár indításra kész rakéta mennyisége:

- 9K37M1 Buk-M1 4 db osztály * 3 db üteg * (2 db SzOU * (4 db) + 1 db PZU * (8 db)) 192 db
- 9K317 Buk-M2 4 db osztály * 3 db üteg * (2 db SzOU * (4 db) + 1 db PZU * (8 db)) 192 db
- 9K317M Buk-M3 4 db osztály * 3 db üteg * (2 db SzOU * (6 db) + 1 db PZU * (12 db)) 288 db

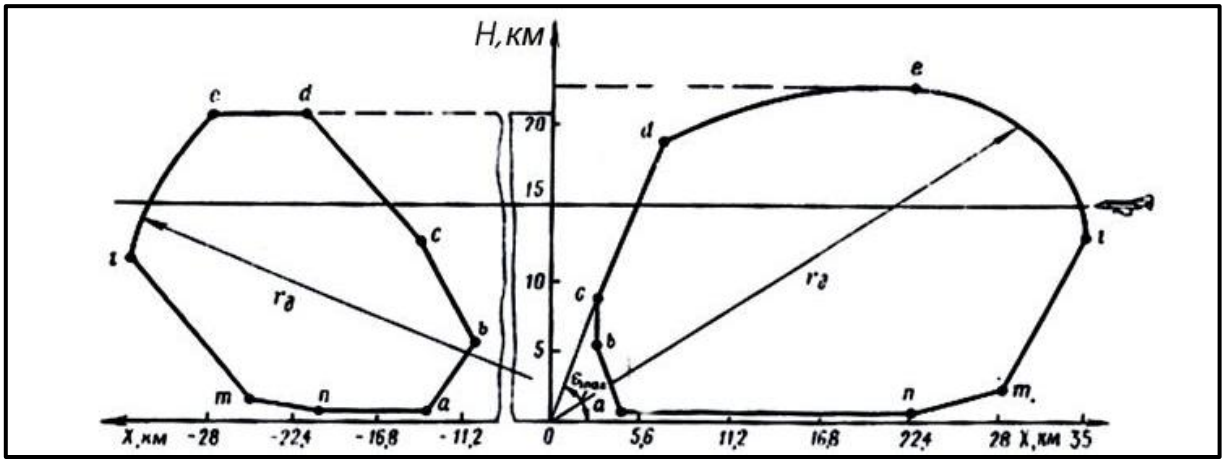
A fentiek alapján látható, hogy a Buk rendszer az adott korszakban teljes dandár település esetén egészen elképesztő mennyiségű rakétával és célcsatornával rendelkezett, de ez a rendszer árán is meglátszott, képességei ellenére komoly mennyiségben lényegében sehová nem tudták exportálni. Finnország részben adósság leírásért cserébe vásárolt belőle, de mára lecserélték a NASAMS rendszerre. Komolyabb mennyiség egyedül Szíriába került az M1 és/vagy M2 változatokból, illetve Belorusszia örökölt/vásárolt néhány osztályt.

Viszonyításképpen azonos korszakba tartozó szovjet légvédelmi rendszerek árai. A finneknek nem csak a Buk-M1-et, de Sz-300V-t illetve Sz-300PMU-t is felajánlották az oroszok. A 3 db osztályos Buk-M1 ezred 200 millió eurót kóstált nagyjából mai áron (1995-ben 850 millió finn márkát szovjet adósságként leírtak illetve tovább 150 millió márka értékű termék szállításával kompenzáltak.)

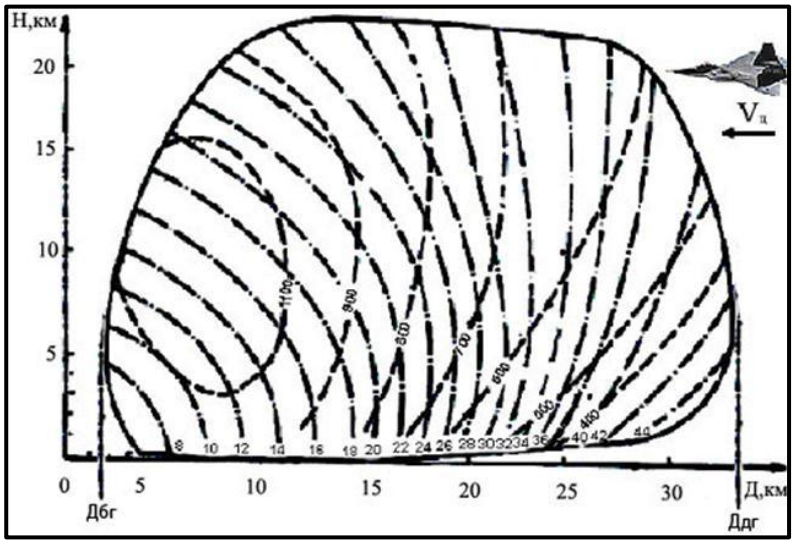
[595] https://vpk.name/library/f/9m317.html

Ehhez képest 1 dbSz-300PMU osztályt 700 millió márkáért ajánlottak, illetve 3 millió márkát kértek rakétánként. Meglepő árkülönbség annak fényében, hogy 1 db Sz-300PMU osztálynak csak 3 db radarja van – igaz, mindhárom eltérő feladatú – de a rakéták mennyiségében nincs nagy eltérés. Ellenben a 3 db Buk osztály is legalább egy nagy hatótávolságú felderítő radarral bír, illetve további 18 db rávezető állomással.

A finnek véleménye alapján a Buk-M1 rávezető állomása lényegben a Kub-on használt technika erőteljesebb és továbbfejlesztett változata volt, beszerzésük idején a korszakban korszerűnek számítottak, zavarvédelmét is jónak tartották.

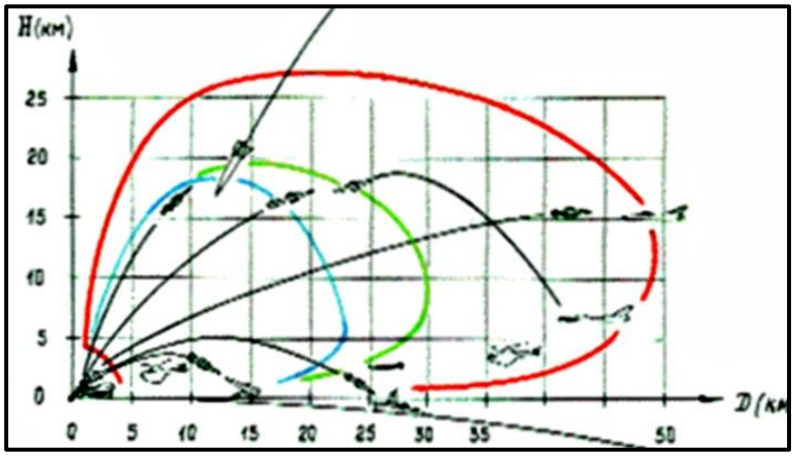


Buk-M1 változat HMZ diagramja 0 km-es oldaltávolság paraméterrel közeledő és távolodó szubszonikus célok ellen.



Buk-M1 változat HMZ diagramja 0 km-es oldaltávolság paraméterrel.

A paraméterezett görbék a rakéta repülési idejét és maximális célsebességet mutatják.



A Buk-M2 változat HMZ-je különféle célok ellen 0 km-es oldaltávolság paraméterrel.

Kék színnel ballisztikus rakéták, zöld színnel radar elleni rakéták, piros színnel szubszonikus célpontok ellen.

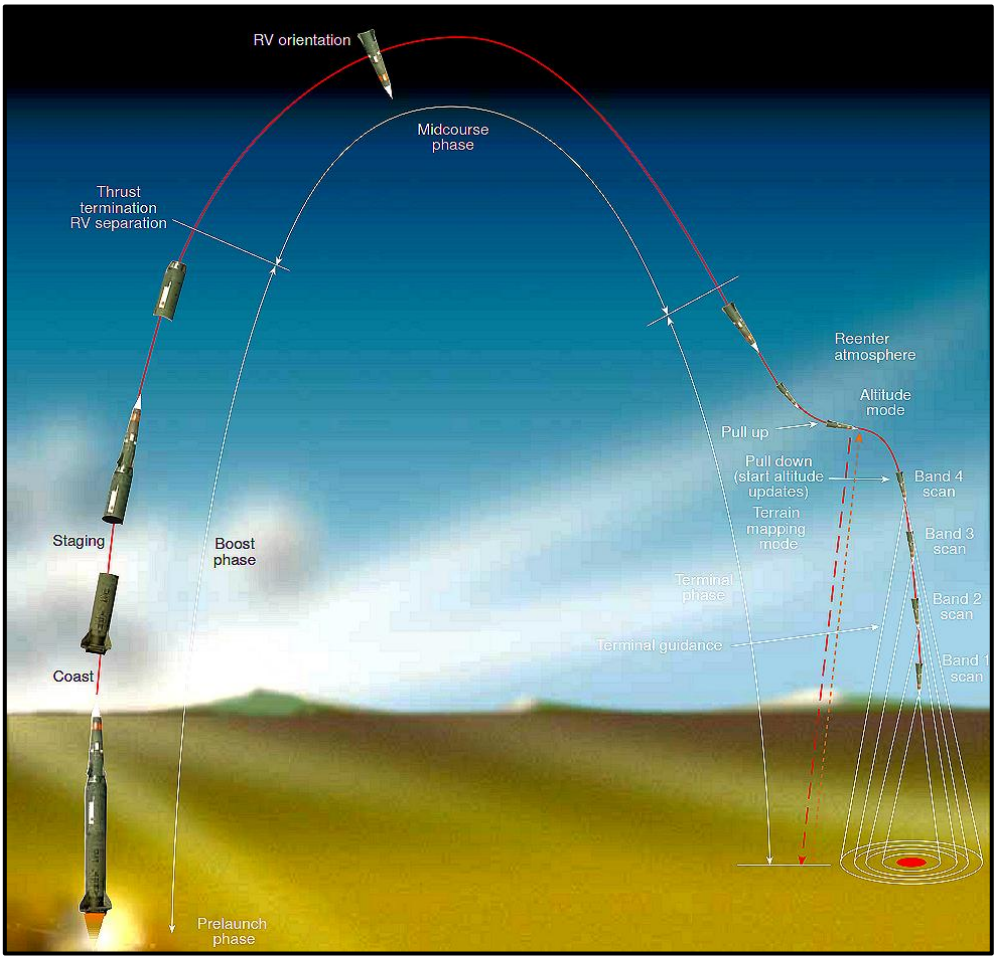
Érdemes összevetni a Buk-M1 változat paraméterezett célsebesség görbéi által meghatározott zónákkal.

A Magyarországon állomásozó Dél Hadseregcsoport hadsereg szintű légvédelmi dandár alakulata a Dunántúl Balatontól északra eső területét védte, Fertőd Pápa és Mór településeken. Végezetül a szokásos kép és videó gyűjtemény:

http://www.ausairpower.net/APA-9K37-Buk.html
https://www.youtube.com/watch?v=LSXMhaFntrU
https://www.youtube.com/watch?v=t1LQWFul2UE
https://www.youtube.com/watch?v=-ZCEXS_ZrzM&feature=youtu.be&t=1m23s
http://nevskii-bastion.ru/buk-m3/

6.2.4.5.1. 9K81-1 Sz-300V1, 9K81 Sz-300V, 9K81M Sz-300VM (SA-12A/B Gladiator, SA-23 Giant)

Az Sz-300V a csapatlégvédelmi rendszerek koronázatlan királynőjének tekinthető. Már a Buk-M1 is a maga korában egészen páratlan képességekkel rendelkezett – még ma sem számít végletesen korszerűtlennek középhatalmi szemmel nézve –, de az Sz-300V ehhez képest még nagyobbra emelte a tétet. Tervezésekor kiemelt szempont volt a hadászati és hadműveleti ballisztikus rakéták elleni védelem megteremtése, az akkor hadrendben álló Pershing 1a, illetve a fejlesztés alatt álló Pershing II[596] elleni elhárítási képességekkel is rendelkeznie kellett. A Mach 6-8 sebességgel érkező célpontok elképesztően nehéz feladat elé állították a tervezőket, főleg hogy mobil rendszerről beszélünk és Pershing II-es változat nem tisztán ballisztikus pályán érkezett volna, végfázis manőverezésre képes volt a szovjet OTR-23 Oka ballisztikus rakétához hasonlóan.



A Pershing II ballisztikus rakéta támadási profilja és célkeresési képessége.

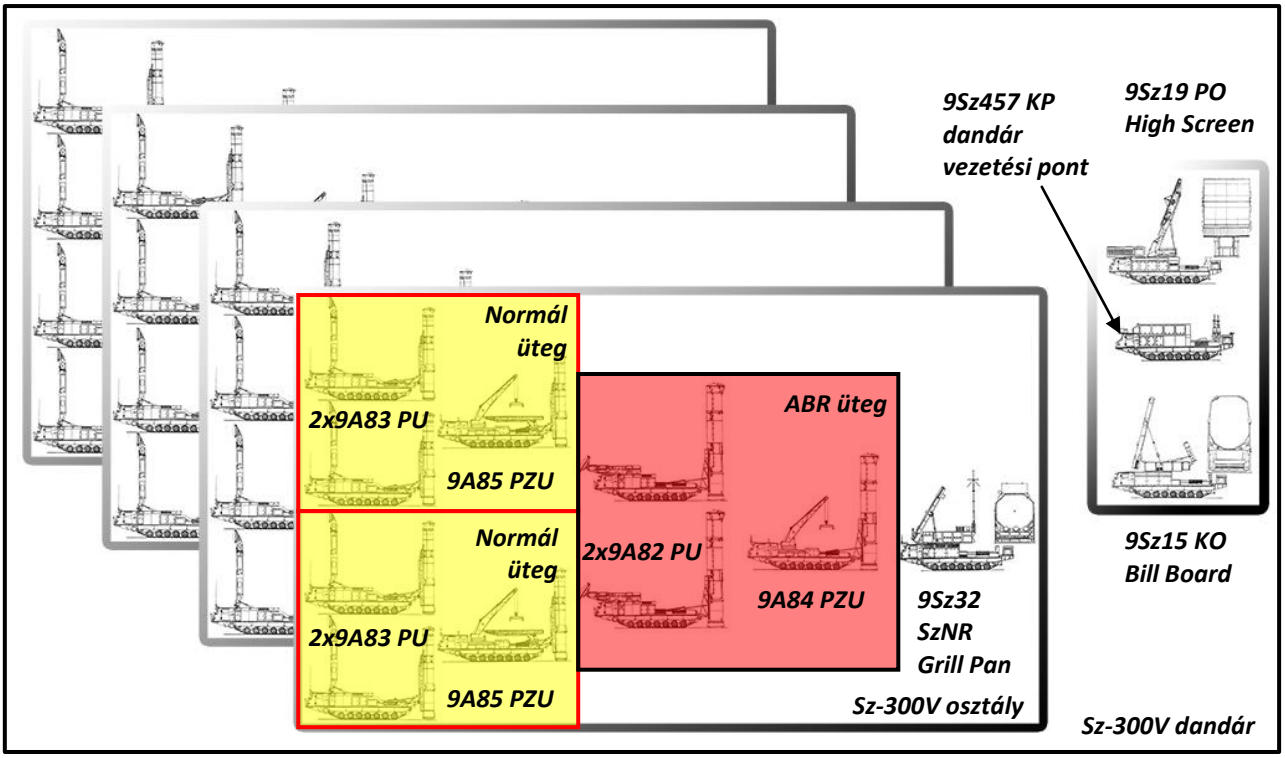
[596] https://en.wikipedia.org/wiki/MGM-31_Pershing , https://en.wikipedia.org/wiki/Pershing_II

Érdekes módon egyes orosz technika iránti kritikátlan rajongók képesek olyan túlzásokba esni, hogy az aerodinamikai manőverezésre képes 9K720 Iszkander vagy a korábbi OTR-23 Oka „gyakorlatilag lelőhetetlenek", de az a világnézetükkel összeegyeztethetetlen az, hogy a szovjet-orosz Sz-300V pontosan ilyen manőverező célpont ellen készült a mai ballisztikus rakéta elhárító rendszerek előtt 20+ évvel. Nem csak manőverezésre képes, a de Pershing II aktív radaros önvezérlése valószínűleg még felül is múlta a kortárs OTR-23 képességeit.

Az Sz-300V rendszer fejlesztése és hadrendbe állítási folyamatának elhúzódása jelezte, hogy a Szovjetunió forrásai egyre korlátozottabbak. A 9K37 Buk-hoz hasonlóan a két elő-szériának a típusjelzése is ezt mutatta, a két előszéria változat csak csökkentett képességekkel állt hadrendbe és csak minimális mennyiségben.

Az Sz-300V1 változat a ballisztikus rakéta-elhárításra szánt üteg nélkül, az Sz-300V hatásos megsemmisítési zónája is csak 75-100 km-re korlátozódott annak ellenére, hogy a rakéta égésvégi sebessége ennél sokkal nagyobb megsemmisítési zónát tett volna lehetővé. (A helyzet pontosan ugyanaz, mint az Sz-300P család fejlődésénél.) A hidegháború végéig is csak az Sz-300V változat hadrendbe állítása történt meg, lényegesen nagyobb megsemmisítési zónával rendelkező VM (V4) csak az orosz gazdasági fellendülésnek és az olajár szárnyalásának köszönhetően kerülhetett hadrendbe a hidegháború vége után nagyjából 20 évvel.

A típusjelzés hasonlósága ellenére az Sz-300V/VM-nek semmi köze nincs a honi légvédelemnél bemutatott Sz-300P családhoz, a rendszer néhány eleme mutat külső hasonlóságot a hasonló fizikai alapelvek miatt a radaroknál, de a rendszer járműve és rakéták, illetve a vezérlés teljesen eltér az Sz-300P változatokhoz képest.



Egy Sz-300V légvédelmi rakéta dandár felépítése, támogató/kiszolgáló járművek nélkül. 2 db repülőgépek elleni (sárga) és egy ballisztikus rakéták elleni (ABR) üteg (piros).

Alant kerülnek bemutatásra az Sz-300V rendszer főbb elemei, a vezetési osztály három fő járműve a következő:

1db ***9Sz457 KP vezetési pont*** (командный пункт). Feladata a vezetési osztály radarjai által felderített célok követése, osztályozás, rangsorolása veszélyesség szerint és a célpontok kiosztása az osztályoknak, illetve azok ütegeinek. A vezetési pont tartja a kapcsolatot a Buk-M1 osztállyal a Poljana-D4 vezetési ponton keresztül.

A vezetési pont 200 db cél követésére képes, 70 db zavaró célpont kiháromszögelésére,[597] ballisztikus rakéták esetén a célosztás ideje 3 másodperc. A vezetési pont mindössze 3 fős kezelőszemélyzettel látja el feladatát, amiből sejthető, hogy a Patriot szerű magas szintű automatizáltság felé mozdultak el, amiből az akkori szovjet számítástechnikai színvonalat figyelembe véve érthető, hogy miért csúszott a rendszer fejlesztése.

1db ***9Sz15 KO Obzor-3*** körkörös célfelderítő radar (Bill Board), (РЛС кругового обзора). Feladata az egész Sz-300V dandár számára biztosítani a körkörös légi helyzetképet. A radar 10 centiméteres hullámhosszon üzemel, oldalszögben mechanikus legyezésű (forog az antenna), helyszögben 1,5x1,5 fokos tűnyalábbal legyez, kezelőszemélyzete 4 fő. A radar főbb üzemmódjai a következőek:

1. Helyszögben 0-45 fokban elektronikus legyezés, oldalszögben mechanikusan forog az antenna, 12 másodperc a teljes körbeforgás ideje. Maximális felderítési távolság: 330 km, vadász méretű cél felderítése kb. 240 km-ről lehetséges.

2. Helyszögben 0-20 fokban elektronikus legyezés, oldalszögben mechanikusan forog az antenna 6 másodperc a teljes körbeforgás ideje. (Fele akkora pásztázott terület, a frissítési idő így a felére csökken.) A maximális felderítési távolság ekkor 150 km, vadász méretű cél felderítése kb. 150 km, SCUD méretű ballisztikus rakéta felderítése: 115 km, kisebb Lance méretű harcászati rakéta felderítése 95 km-ről lehetséges.

3. Szektoros keresés.[598] Ekkor helyszögben 0-55 fok elektronikus legyezés, fix beállított oldalszög irányhoz képest ± 60 fokos zóna letapogatása 9 másodperc alatt. A felderítési távolságok a 2. pont szerintiek.

---

[597] *Erre valószínűleg az Sz-300V osztályok tűzvezető radarjaival illetve a Buk-M1 dandárral létesített adatkapcsolat segítségével képes. Az, hogy vezetési osztály két radarját erre használja nem tűnik valószínűnek, mert azok egymáshoz túl közel vannak. A másik ok, hogy a ballisztikus rakéták elleni felderítő radar rövid kiesése is kritikus lehet amennyiben ballisztikus rakéta fenyegetés áll fent. Ha csak fél percig nem üzemel kereső üzemmódban a radar azalatt egy Mach 8 sebességű célpont kb. 75 km-t tesz meg.*

[598] *A szektoros keresés valószínűleg csak vész/tartalék üzemmód a ballisztikus rakéták elleni keresőradar meghibásodása esetén, mert ezen üzemmód esetén a dandár önálló körkörös helyzetkép alkotó képessége megszűnik és az AVR-en kapott céladatokra támaszkodhat a szektoros keresés területén kívül.*

1db ***9Sz19 PO Imbir*** ballisztikus rakéta felderítő radar (High Screen), (РЛС программного обзора). 3D-s felderítő radar 3 centiméteres hullámhosszon üzemel, 0,5x0,5 fokos tűnyalábbal legyez mind oldal-, mind helyszögben, a radar csak szektoros keresésre képes. A radar kezelőszemélyzete 4 fő.

Ennek oka érthető, hiszen ballisztikus rakéta fenyegetés a hidegháború alatt igen jól behatárolható irányokból létezett, de még azon kívül is nehéz olyan harcászati helyzetet elképzelni, ahol több irányba lenne szükséges figyelni. A radar főbb üzemmódjai a következőek, a legyezési idő 12,5-14 másodperc üzemmódtól függően:

1. Pershing rakéta fenyegetéskor elektronikus legyezés helyszögben 26-75 fokban, oldalszögben ± 45 fok. Maximális felderítési távolság 175 km.

2. AGM-69 SRAM fenyegetéskor elektronikus legyezés helyszögben 9-50 fokban, oldalszögben ± 30 fok. Maximális felderítési távolság 175 km.

3. Manőverező robotrepülőgép – elektronikus zavarógép ellen (SOJ) elektronikus legyezés helyszögben 0-50 fokban, oldalszögben ± 30 fok. Maximális felderítési távolság 175 km.

A harci osztályok főbb elemi a következőek:

1db ***9Sz32 SzNR tűzvezető lokátor*** (Grill Pan), (многоканальную станцию наведения ракет). Feladata a célpontok követése és megvilágítása, ameddig a folyamatos célmegvilágítást biztosító radarok át nem veszik a végfázisban a rakéták rávezetésének feladatát.

A radar 3 centiméteres hullámhosszon üzemel, 6 cél- és 12 db rakétacsatornával rendelkezik, ezzel hasonló az Sz-300P család RPN (Flap Lid) radarjához, kezelőszemélyzete 6 fő. A radar főbb üzemmódjai a következőek:

1. CU (ЦУ), ekkor a célkoordináta a dandár parancsnoki járművétől érkezik, csak célelfogás a feladat. A kapott koordináták alapján a célpontot helyszögben 6 fokban, oldalszögben 5 fokban legyezi körbe a rendszer, tehát a célpont ± 3 illetve ± 2,5 fokos körzetében ezzel biztosítva a folyamatos nyomon követést illetve figyelve az esetlegesen indított radar elleni rakétákra.

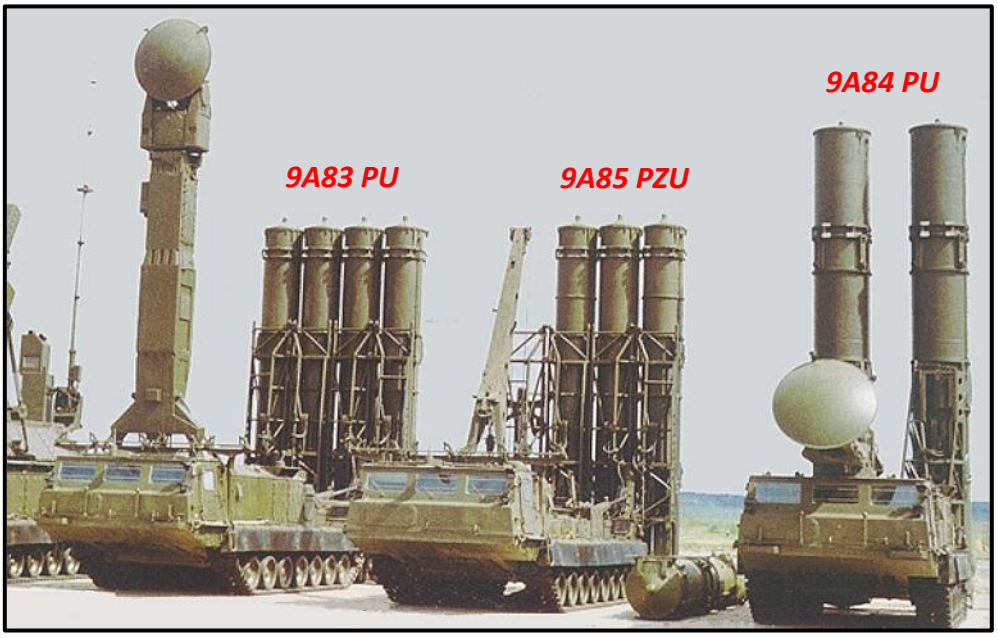
2. Rakéta követése 1x1 fok tűnyalábbal, rakéta rávezetéshez az és 1. és 2. üzem egyaránt szükséges.

3. AR (автономная работа) autonóm célkutatás, szektoros célkeresés. Elektronikus legyezés helyszögben 0-18 fokban, oldalszögben ± 30 fokban, szektoros kutatás.[599] A maximális felderítési vadász méretű célra kb. 150 km, Pershing ballisztikus rakéta ellen 140 km, SCUD méretű ballisztikus rakéta felderítése: 90 km, kisebb Lance méretű harcászati rakéta felderítése 60 km-ről lehetséges.

A kétfajta üteg 2-2db hasonló járművel rendelkezik repülőgépek és ballisztikus rakéták ellen.

A repülőgépek elleni indító és rávezető állomás a 9A83 PU (пусковая установка) 4 db 9M83 rakétával, célpontot alávilágító antennával, kezelőszemélyzete 3 fő, ütegenként 2 db ilyen jármű áll rendelkezésre. A rávezető állomás folyamatos hullámú célmegvilágítást használ, ami azt jelenti, hogy 1 db PU jármű 1 db célt képes csak megvilágítani az 1 db antennájával. Egy üteg tehát 2 db célcsatornás, mert 2 db PU található abban. A 9A85 PZU (пускозаряжающие установки) jármű a Buk rendszerhez hasonlóan csak indítóállvány illetve utántöltő funkciót lát el, a 4 db rakéta utántöltésének ideje kb. 60 perc.

A ballisztikus rakéták elleni üteg felépítése azonos a repülőgépek ellenivel, csak más járműveket és rakétát használ, de ettől függetlenül az is 2 db célcsatornás. Az indító és rávezető állomás a 9A82 PU 2 db 9M82 rakétával, célpontot alávilágító antennával, kezelőszemélyzete 3 fő, ballisztikus rakéta elleni ütegenként 2 db ilyen jármű áll rendelkezésre. A 9A85 PZU jármű itt is csak indítóállvány illetve utántöltő funkciót lát el. A járművek a következő oldalon láthatóak.



Balra a 9A83 PU rávezető állomás és rakétaindító, középen a 9A85 PZU rakéta szállító és indító jármű, jobbra a 9A82 PU rávezető állomás, ez csak két darab rakétával bír. A 9A84 PZU nem szerepel a képen de jellegre ugyanúgy néz ki, mint a 9A85 PZU, de csak két rakéta tubussal bír, ahogy a 9A84 PU rávezető állomás.

Az Sz-300V esetében az osztály tekinthető alapegységnek, ami jellegében kismértékben a Buk elrendezésre hasonlít, de attól mégis eltér. A Buk-nál az 9A310M1 SzOU (TELAR) rávezető és rakétaindító jármű önmagában jelentette a rávezető állomást és legszélsőségesebb esetben akár az osztály körkörös felderítő radarja nélkül is harcképes, bár csak rendkívül korlátozottan, azonban minden osztály rendelkezett körkörös kereső radarral (9Sz18M1 Kupol-M1).

[599] *Valószínűleg ez is csak tartalék üzemmód végszükség esetére, ha nincs AVR kapcsolat a dandár vezetési pontjával vagy bármilyen más egységgel. Nem világos számomra, hogy az Sz-300V osztályai képesek-e AVR kapcsolatra osztály szinten a Buk-M1 dandárral a Poljana-D4-en keresztül vagy ahhoz szükséges-e mindenképpen a dandár 9Sz457 KP járműve.*

Az Sz-300V osztálynál ezzel szemben a 9Sz32 SzNR (Grill Pan) radar az Sz-300P honi légvédelmi osztályokhoz hasonlóan tűzevezetéshez szükséges, ugyanúgy tűnyalábokkal világítja meg a célpontot, azonban a rendszer rakétái kombinált vezérlésűek, a végfázisban folyamatos hullámú célvilágítást (alávilágítás) követelnek meg, amit a 9A83 PU illetve a 9A82 PU járművek biztosítanak. Ez azt jelenti, hogy mind az SzNR, mind a PU járművek szükségesek a sikeres rávezetéshez, bármelyik hiánya esetén az osztály harcképessége nullára csökken. Hiába üzemképes a 9Sz32 SzNR, ha az adott üteg elveszti PU járműveit, akkor az üteg harcképtelen, illetve ha az osztály elveszti a SzNR-t akkor a teljes osztály harcképtelen attól függetlenül, hogy a PU járművek sértetlenek és rakétával is rendelkezik még az osztály.

A rádió-parancsközlő jeleket az SzNR (Grill Pan) adja, mivel egyedül az ismeri a célpont és a rakéta térbeli helyzetét a ballisztikus szakaszon. Amikor a rakéta átvált ballisztikus pályán való repülésről (amit az SzNR pontosít parancsközléssel), félaktív megközelítésre és a PU alávilágítja a célt a rakéta számára, attól még az SzNR továbbra is követi mind a célt, mint a rakétát, hogy megállapíthassa a találat/hibázás tényét.

Az SzNR (Grill Pan) maximum 6 db célt és 12 db rakétát tud követni. Összesen 6 db PU (4 db repülőgépek, 2 db ballisztikus rakéta elleni) egy osztályban, vagyis 6 db célt lehetséges megvilágítani végfázisban, de a félaktív végfázis vezérlésnek köszönhetően akár több rakétának is. A Patriothoz képest kevesebb rakéta lehet úton a célpontok felé, 6 db célnál nem lehetséges több célra rávezetni, a döntési szabadság annyi, hogy 1 db vagy 2 db rakétával támadja a célpontot a rendszer annak fontosságától függően.

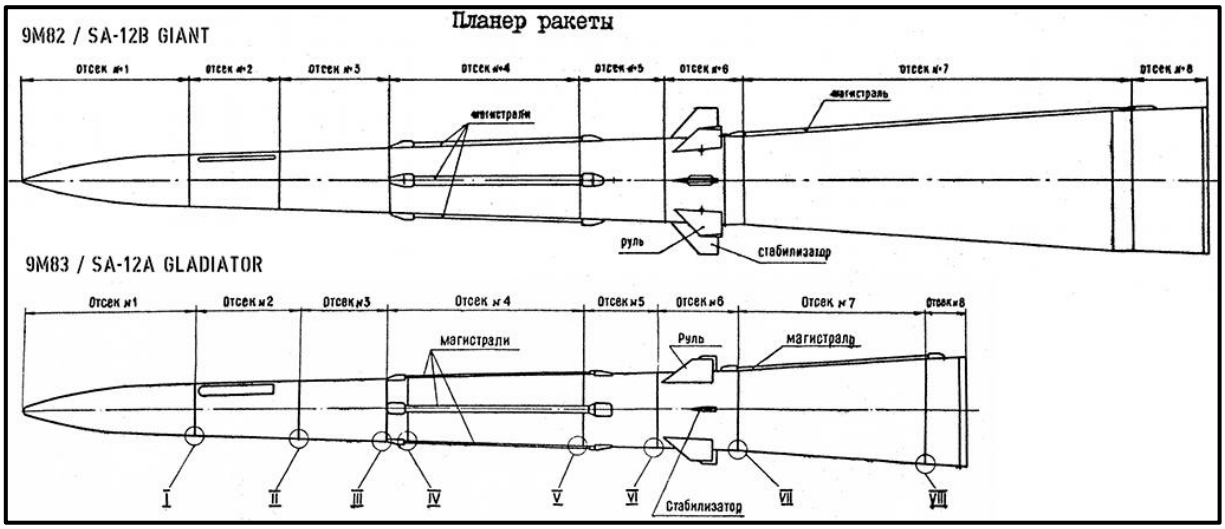
Az Sz-300V kialakításában a valójában az amerikai AEGIS haditengerészeti légvédelmi rendszerre hasonlít, ahol szintén folyamatos hullámú antennák világítják meg a célpontokat a végfázisban, de azt megelőzően is RPK vezérléssel közelítik meg a célpontot a rakéták.

Az Sz-300V két eltérő méretű rakétával rendelkezik, a nagyobb és nehezebb a 9M82-vel, illetve a kisebb és könnyebb a 9M83 típussal. Az Sz-300P család rakétával ellentétben az Sz-300V rakétái kétlépcsősek (kétfokozatú), az Sz-300V két rakéta variánsa alapvetően csak gyorsító fokozatában tér el, ezáltal végsebességében és hatótávolságban is. A 9M83 rakéta első lépcsője 5, a második lépcső hajtóműve 14 másodpercig üzemel, a 9M83 esetén ezek az értékek hasonlóak, tized másodperces eltérések tapasztalhatóak, de tolóerő nagyobb, ezért nagyobb égésvégi illetve átlagsebességet ér el a nehezebb rakéta A rakéták a pálya elején az Sz-300P és Patriothoz hasonlóan rádió-parancsközlő vezérléssel ballisztikus pályán haladnak, a végfázisban arányos megközelítést alkalmaznak a PU rávezető állomások CW sugárzójával megvilágított célpontra, a találkozás előtt 3-10 másodperccel (zavaró cél esetén a kisebb érték) történik meg a vezérlések közötti váltás. A rakéták paraméterei a következőek:

típus	*rakéta*	*tömeg*	*hatótáv*	*magasság*	*célsebesség*	*rakéta túlterhelés*	*Égésvégi sebesség*
-	-	*kg*	*km*	*km*	*m/s*	*G*	*Mach*
9K81 Sz-300V (V2) (SA-12A/B)	9M83 9M82	2290 4685	75 100	0,025-30 0,025-30	1700 3000	20	3,62 5,4
9K81M Sz-300VM (V4) (SA-23)	9M83M 9M82M 9M82MD	2290 (?) 4685 (?) ?	120-130 200-250 350	0,025-30 0,025-30	1700 3000 4500	30	5,14 7,85

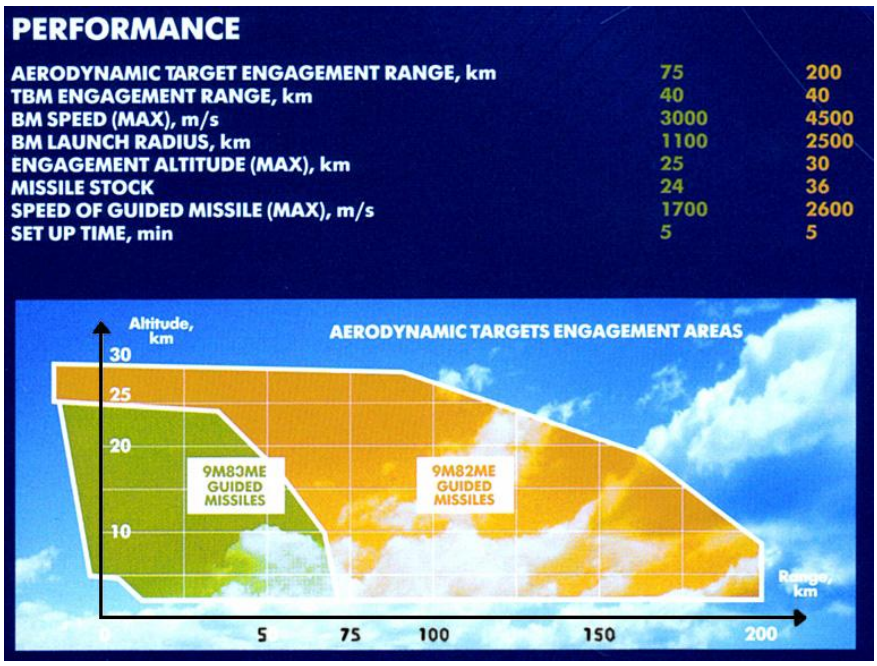
A fenti HMZ értékek repülőgépek ellen vonatkoznak, de a maximális célsebességen látható, hogy változattól függően 300 km (1700 m/s), 1100 km (3000 m/s) majd 2500 km (4500 m/s) hatótávolságú ballisztikus rakéták megsemmisítésére is képessé vált az Sz-300V. Ezeket a képességeket a V1, V2 (ez volt a sima V változat) majd a V3 változatok érték el sorrendben.

A feni paraméterek során feltűnhet a figyelmes olvasónak, hogy az Sz-300V rakétáinak tömege jelentősen meghaladja a honi légvédelem Sz-300P család rakétáit. Ehhez képest az Sz-300VM változat esetén is, a majdnem 5 tonnás rakétával is kisebb a HMZ, mint az Sz-400 48N6DM (250 km) vagy a 40N6 (380 km) rakéták esetén holott azok induló tömege csak 1,9 tonna. A kulcs az Sz-300V rakétáinak eltérő égésvégi és átlagsebességében van, ami az Sz-300V/VM ballisztikus rakéták elleni területvédelmi képességét biztosítja. Ahhoz, hogy az osztálytól számottevő távolságban becsapódó Mach 8 sebességű Pershing rakéták elfogására képes legyen, hatalmas rakéta égésvégi illetve átlagsebesség szükséges, hogy még az célok beérkezése előtt lelője azokat az Sz-300V. Még a fenti hatalmas rakéta sebességekkel is csak viszonylag szerény méretű területet képes lefedni egyetlen osztály ballisztikus rakéták ellen a repülőgépek elleni HMZ-hez képest.



A nagyobb 9M82 és 9M83 rakéta közötti különbség, a gyorsító fokozatok különbözőek.

A 9M82 rakéta, méretét szemléletesen mutatja a mellette álló ember, 9,9 méter hosszú, 1,2 méterátmérőjű.



Sz-300VM hatásos megsemmisítési zónája.

Az fent látható HMZ ábra kismértékben pontatlan, mert még az Sz-300V1/V2 által elérhető repülőgépek elleni HMZ-t mutatja a zöld tartományban, a sárga tartomány a V3/V4 változatok korszerűbb rakétával elérhető HMZ-t, de csak a nagyobb 9M82 rakéta típussal, holott az 9M83M HMZ-je kb. 120-130 km.. A ballisztikus rakéták elleni ütegek szükség estén repülőgépek ellen is használhatóak, ezért határozzák meg azok repülőgépek ellen maximális HMZ-jét a lenti táblázatokban. A fentiek alapján az Sz-300V osztályok és dandárok a V2 változattól a következő rakéta és célcsatorna mennyiséggel rendelkeznek:

Az Sz-300V osztály:

- 6 db 9M82 ABR rakétával és 2 db ballisztikus rakéta elleni célcsatornával,
- 24 db 9M83 normál légi célok elleni rakétával és 4 db célcsatornával rendelkezik.

Az Sz-300V dandár:

- 24 db 9M82 ABR rakétával és 8 db ballisztikus rakéta elleni célcsatornával,
- 96 db 9M83 normál légi célok elleni rakétával és 16 db célcsatornával rendelkezik.

	Sz-300V1 (SA-12A)	*Sz-300V2 (V) (SA-12B)*	*Sz-300VM (V3) (SA-23)*	*Sz-300VMD (V4) (SA-23)*
rendszeresítés éve	*1983*	*1988*	*2013*	*2015 (?)*
max. hatótáv	*75 km*	*100 km*	*200 km*	*350 km*
max. célsebesség	*1700 m/s*	*3000 m/s*	*4500 m/s*	*4800 m/s*
maximális hatótáv harcászati/közepes hatótávolságú ballisztikus rakéták ellen	*40/- km*	*30/40 km*	*30/40 km*	*30/40 km*
ballisztikus rakéta hatótávolsága	*300 km*	*1100 km*	*2500 km*	*2500 km*

A hidegháború után ezt a rendszert is rendkívül hamar felkínálták exportra, de a honi légvédelmi változattal szemben rendkívül szerény exportsikert értek el csak vele, Venezuelán és Egyiptomon kívül csak a gyártó országban van hadrendben. Finnországnak is felajánlották a ’90-es évek elején, akik ámultak rajta, különösen mobilitásán. Menetből néhány perc alatt tűzkésszé tehető volt a rendszer úgy, hogy közben senkinek nem kellett elhagyni a sugárvédett járműveket, de borzasztóan drágának találták, ballisztikus

rakéta elleni képességét meg feleslegesnek, emiatt a Buk-M1 beszerzése mellett döntöttek. Oroszországban a korábban gyártott változatok korszerűsítése V4-re lezárult. Végezetül a szokásos videó és képgyűjtemény:

http://www.ausairpower.net/APA-Giant-Gladiator.html
https://www.youtube.com/watch?v=AOz7f182Pc4
https://www.youtube.com/watch?v=IAUXkIWOuR4

6.2.4.6. „Double digit" SAM rendszerek

Az angolszász források, fórum kommentek között gyakran találkozhat a „dobule digit" légvédelmi rakéta-rendszer megnevezéssel. Ez a szovjet-orosz fegyverrendszerek NATO típusjelzéséből adódik, ezzel különböztetik meg a klasszikus hidegháborús (SA-1/2/3/4/5/6/8) radarvezérlésű légvédelmi rakéta-rendszereket a sokkal korszerűbbektől (SA-10/11/12/15/17/19/20/21/23). Ezeknél jelent meg a több célcsatorna és szimultán célleküzdés képessége, digitális jelfeldolgozás, PESA antennák, korszerűbb rakéta rávezetési módszerek, beépített digitális számítógép.

A probléma a „dobule digit" kifejezés használatával önmagában, hogy erősen félrevezető, hiszen beleesik ebbe a kategóriába az SA-14/16, amik vállról indítható légvédelmi rakétakomplexumok, illetve az SA-13, ami továbbra sem infravörös keresőfeje, hanem a foto-kontrasztos rakéta miatt volt (elvileg) szemből indítható. Az SA-9 és SA-10 közötti egyetlen értéknyi ugrás sem fejez ki, hogy azok teljesen más kategóriájú eszközök. Tehát az időbeli megjelenése és kategória illetve alkalmazási területük – honi légvédelem (PVO) / csapatlégvédelem – szempontjából a SA-xx kódolás nem túl szemléletes. Alant látható növekvő számsorrendben a NATO kód és amerikai elnevezése a légvédelmi rakéta-rendszereknek (családoknak). A PVO rendszerek radarvezérlésűek (RAD), a csapatlégvédelmieknél infravörös (IR), és/vagy foto-kontrasztos (EO).

SA-1 Guild	Sz-25 Berkut	(PVO)	
SA-2 Guideline	SzA-75/Sz-75/Sz-75M Dvina/Gyeszna/Volhov	(PVO)	
SA-3 Goa	Sz-125 Nyeva	(PVO)	
SA-4 Ganef	2K11 Krug		(RAD)
SA-5 Gammon	Sz-200A/V/D Angara/Vega/Dubna	(PVO)	
SA-6 Gainful	2K12 Kub		(RAD)
SA-7 Grail	9K32 Sztrela-2		(IR)
SA-8 Gecko	9K33 Osa		(RAD)
SA-9 Gaskin	9K31 Sztrela-1		(EO)
SA-10 Grumble	Sz-300PT/PSz/PMU Volhov-M6	(PVO)	
SA-11 Gadfly	9K37 Buk		(RAD)
SA-12 Gladiator/Giant	Sz-300V Antey-300		(RAD)
SA-13 Gopher	9K35 Sztrela-10		(IR/EO)
SA-14 Gremlin	9K34 Sztrela-3		(IR)
SA-15 Gauntlet	9K331 Tor-M1		(RAD)
SA-16 Gimlet	9K310 Igla-1		(IR)
SA-17 Grizzly	9K37M2 Buk-M2		(RAD)
SA-18 Grouse	9K38 Igla		(IR)
SA-19 Grison	2K22M Tunguska		(RAD)
SA-20 Gargoyle	Sz-300PM/PMU-1/PMU-2 Volhov-M6M/Favorit	(PVO)	
SA-21 Growler	Sz-400 Triumf	(PVO)	
SA-22 Greyhound	96K6 Pantsir-S1	(PVO)	
SA-23 GladiatorGiant	Sz-300VM Antey-2500		(RAD)
SA-24 Grinch	9K338 Igla-S		(IR)

6.2.4.7. Csapatlégvédelmi AVR-ek

Ahogy már a honi légvédelmi rakéta osztályoknál, úgy a csapatlégvédelemnél is szükséges a légvédelmi rakéta osztályok és ütegek tüzének koordinálása ráadásul úgy, hogy a honi légvédelemhez képest jóval dinamikusabb harcászati környezetről van szó. Ez a koordináció nem csak a közepes és nagy hatótávolságú rakéta-rendszereket érinti és érintette, hanem egészen a SHORAD kategóriájú egységekig, sőt ma már a vállról indítható légvédelmi rakéták kezelőszemélyzete is része lehet ennek a rendszernek. A hidegháború végéig az ezred szintű Silka, Sztrela-10M, Tunguzka, illetve a hadosztály szintű Osza és Tor rendszerek számára volt biztosítható az AVR-en keresztüli adatkapcsolat.

A csapatlégvédelmi AVR-ek téren is eltérés mutatkozott a VSz illetve a szovjet erők között. A VSz országoknál minden ezred[600] rendelkezett 1 db 9Sz482 BTR-60 PU-12[601] mobil vezetési ponttal, ami lehetővé teszi 25-30 km belül digitális telekód csatornán történő adtok fogadását a hadosztály vagy hadsereg szintű felderítő radaroktól, tehát a Kub és a Krug osztályok radarjai által felderített célokat.

A 9Sz482 Mobil Légvédelmi Vezetési Pontot a BTR-60 PSzH alvázára építették. A tornyot felváltotta egy teleszkópos antenna (16 m magasságú) aminek adás/vételi távolsága kb. 25-30km, a jármű küzdőterében alakították ki a légvédelmi parancsnoki központot.

A cél koordinátái digitális telekód csatornán keresztül a 9Sz482 BTR-60 PU-12 tervtábláján kerülnek megjelenítésre. A cél paramétereit rádión keresztül, szóban továbbítják a ZSzU-23-4V1 Silka, 9K33 Osza (SA-8 Gecko), 9K31 Sztrela-1 (SA-9 Gaskin), vagy a 9K35 Sztrela-10 (SA-13 Gopher) ütegek részére, akik ezzel időben felkészülhetnek a célok leküzdésére, illetve csökkenthető a saját radar használatának ideje, ami SEAD tevékenység esetén növeli a túlélés esélyeit. A PU-12 a P-15, P-18, P-19, P-40 radaroktól volt képes adatokat fogadni.[602] Krug és Kub osztályok radarjaitól valószínűleg csak rádión kaphattak céladatokat. A szóban történő célosztás meglehetősen lassú, itt is elvárásként fogalmazódott meg, hogy az automatizálás fokát növelni szükséges.

A'80-as években ugyanezt a célt szolgálta a szovjet erőknél a PPRU-1 SzOC üteg vezetési pont, de jóval magasabb színvonalon és képességekkel. Az PPRU-1 az 9Sz80 Ovod-M-SzV (Dog Ear) X sávban üzemelő rádiólokátor állomással biztosította az ezredek légvédelme számára a körkörös célfelderítést, nem volt ráutalva a magasabb szervezeti szinten levő radarok adataira, bár fogadhatott azoktól érkező célkoordinátákat is. A radar felderítési hatótávolsága: 80 km. A vezetési pont 3 db üteget képes kiszolgálni, ami azt jelenti, hogy egy ezred 1+1 db Sztrela-1/10 és ZSzU-23-4 Silka ütegét (4+4 db jármű), illetve a hadosztály szintű 2+2 db Osza járművét volt képes céladatokkal ellátni, de immáron digitális célkoordináta átadásával.

---

[600] http://www.wikiwand.com/de/PU-12

[601] http://www.rwd-mb3.de/pages/pu12a.htm , http://www.flak11.de/Pu12-3.htm

[602] *A figyelmes olvasónak feltűnhet, hogy ezek honi légvédelmi radarok. Azonban mind a hadsereg, mind a hadosztályok rendelkeztek önálló rádiótechnikai alakulatokkal (RT). A szervezeti felépítésnél nem került említésre az, hogy mind a Krug dandár/ezred rendelkezett 1 db P-40 radarral, ami PRV-16 magasságmérő radarral együtt mozgott és dolgozott, ahogy a Kub ezred is.*

Magyarországon a szovjet erőknél a PPRU-1 hadrendben volt, de a VSz egyetlen tagországában sem, azok csak a 9Sz482 BTR-60 PU12 mobil vezetési ponttal rendelkeztek. Korszerűbb M1-2 változata[603] már a VNIIRT 9S80M1-2 X sávú radart használja. A PPRU-1 utódja a 9Sz32 Barnaul-T[604] rendszer. Érdekes módon az oroszok továbbra is életben tartják a PU-12 evolúciós vonalát is, annak legkorszerűbb változata az PU-12M7.[605]

PPRU-1 M1-2 vezetési pont a 2007-es MAKSZ kiállításon balra, jobbra a hidegháborús változat még az analóg radarral.

A 9Sz737 Ranzsir-M[606] 4 db Tor-M1 illetve 6 db Sztrela-10M2/M3 vagy Tunguszka-M1-nek volt képes digitális céljelet továbbítani, tehát elsődlegesen itt sem rádióval, előszóban történt a célpontok kiosztása. Szintén egy ezred kiszolgálása volt a feladat, de a klasszikus 4+4+4 helyett már csak 4+6 darab járművel a 2K22M Tunguszka miatt, ami leváltotta a Silka + Szrela-10 párost. A kommandírozható egységek mennyiségénél jól látszik, hogy ez már hidegháború utáni rendszer, mert fel sem készítették a nagyobb mennyiségű jármű vezénylésére, amire a Tunguszka előtti időkben szükség lett volna, továbbá egyszerűbb és olcsóbb, mint a PPRU-1/Barnaul vonal, mert a jármű saját radarral nem rendelkezik, a magasabb szervezeti szinten levő radarokra van utalva.

Balra fent a 9Sz933, jobbra fent a 9Sz935)

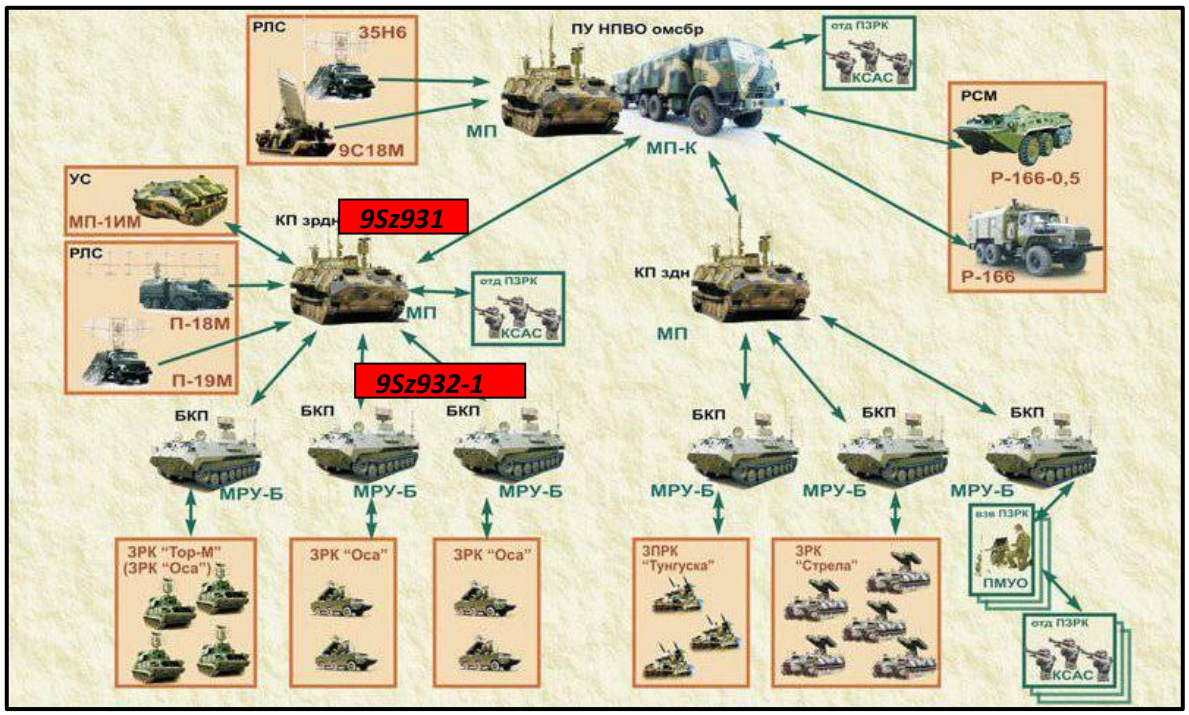
Ma már a vállról indítható légvédelmi rakéták számára is biztosítható az AVR kapcsolat mobil kisméretű kijelzőkön (9Sz933), illetve éjszakai használathoz szükséges optikával is felszerelhetőek (9Sz935), amik az

[603] http://www.almaz-antey.ru/en/catalogue/millitary_catalogue/1220/1327
[604] http://roe.ru/eng/catalog/air-defence-systems/barnaul-t/
http://www.npp-rubin.ru/index.php?itsfltinside=1&fulnro=38&thisissx=zuzzzla&lang=en
[605] http://roe.ru/eng/catalog/air-defence-systems/pu-12m7/
[606] http://roe.ru/eng/catalog/air-defence-systems/ranzhir-m1/
http://pvo.guns.ru/asu/ranzhir.htm ,http://pvo.guns.ru/asu/ranzhir-m.htm

AVR-en kapott adatok segítségével jelzik a rakétát kezelő személyzetnek, hogy a célpont merről közeledik, éjjellátóval lehetséges az éjszakai célkövetés is indítás előtt.[607]

Hidegháború végi 9Sz737 változat és belső tere.

Teherautón a 9Sz737M, a belső tér immáron a XXI. századi normáknak megfelelő. Lánctalpas alvázas változata továbbra is létezik a vezetési pontnak.

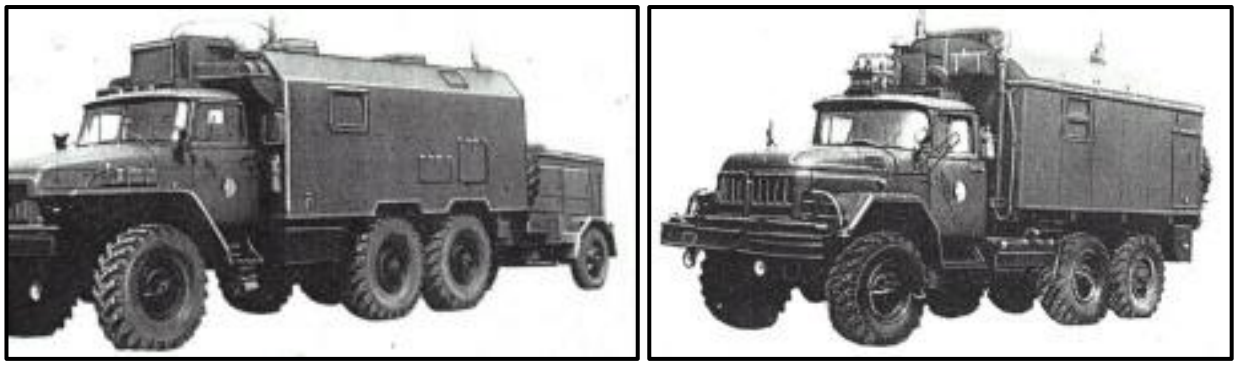


Csapatlégvédelmi AVR rendszer elemei. A Barnaul—T esetén a légvédelmi járművek mennyiségi jelölése nem pontos, a rendszer logikai felépítése szempontjából fontos az ábra. A 9Sz932-1 Barnaul-T helyett A 9Sz737 Ranzsir-M is használatos lehet.

[607] http://www.npp-rubin.ru/index.php?itsfltinside=1&fulnro=45&thisissx=zuzzzla&lang=en
http://www.npp-rubin.ru/index.php?itsfltinside=1&fulnro=50&thisissx=zuzzzla&lang=en

Nem csak a 9K33 Osza, de a 2K12 Kub is rendelkezett AVR kapcsolattal annak ellenére, hogy a SzURN biztosította a körkörös felderítési képességet. Harcászatilag viszont nem előnyös, ha egy Kub osztály keresőradarja folyamatosan működik, mert amennyiben radar elleni rakétával támadják, akkor az egy járművön való elhelyezés nem csak a felderítő radart, de tűzvezető radart is elpusztítja.

A Kub ezredhez tartozó AVR a 9Sz44 K-1 Krab rendszer volt, korábban az Sz-60 tüzérezredek és Sz-75 Volhov osztályai használták.[608]. Két fő eleme a 9S416 KBU (tűzvezetési kabin) illetve a 9Sz417 KPZ (célmegjelölést fogadó kabin). 5 db osztály tüzének vezetésre volt alkalmas, 10 db céljel továbbítása volt lehetséges, ezzel kielégítette a teljes Kub ezred igényeit. A Krab a P-10/12/15/18/19/40 radaroktól kaphatott adatokat és a Kubnak, Krugnak és a SzON-9-nek továbbíthatott céljeleket.



Balra fent a 9zS416 KBU (tűzvezetési kabin), jobbra a 9zS417 KPZ (célmegjelölést fogadó kabin)

A 9Sz52 Poljana-D4[609] vezetési pontról röviden már esett szó a 9K37 Buk-M1 bemutatásnál.[610] Ez a vezetési pont lényegében nem csak a Buk-M1 osztályok vezetésére szolgál, hanem a Buk-M1/2/3 és Sz-300V/VM dandárok tevékenységét fogja össze, sőt az első vezetési pont, ami képes volt kapcsolatot teremteni a honi légvédelmi AVR-ekkel, tehát azok radarjaival és akár az A-50 légtérellenőrző repülőgéppel is.

Bár a Buk-M1-nél került bemutatásra valójában magának a Buk ezrednek nincs közvetlen vezetési pontja, ami az Sz-300V-nél a 9Sz457 KP pont, hanem a Poljana-D4 egyben ellátja ezt a funkciót amellett, hogy egyéb alakulatok számára is biztosítja a célelosztást alsóbb szintek felé.

A Buk-M1 Kupol radarja nem túl jó ballisztikus rakéták észlelésében és követésében, ezért a Buk-M1 is lényegében az Sz-300V ilyen célú radarjára támaszkodik. (Egyes források szerint a Buk-M1 változatnak nincs ballisztikus rakéta elhárító képessége, de a finnek lőtéren gyakoroltak ilyen célra vizsga feladatként és elsőre sikeresen el is találták a célpontot.)

[608] http://www.flak11.de/AFLK%20K1.htm
[609] http://pvo.guns.ru/asu/polyana_d4.htm
[610] http://roe.ru/eng/catalog/air-defence-systems/polyana-d4m1/

Háború esetén a Buk-M1 dandár 4 db osztályát valószínűleg akkora távolságban széttelepítették volna, hogy nem volt értelme a közös vezetésüknek, ezért inkább egyenesen a dandár fölötti front AVR látja el célokkal. Emiatt van az, hogy a Buk dandárnak (mind a mai napig) nincs igazi önálló vezetési pontja, mivel dandár szinten nincs önálló felderítő lokátora sem ilyen feladatra.

Hadrendbe csak 1987-től kezdve állt ezért a hidegháború végén is csak 3 db Sz-300V dandár létezett (tudtommal, Hpasp kiegészítése) a nyugati irányban (Kalinyingrád, Ukrajna, Moszkva), és csak 2 db Buk-M1 dandár (1 db Magyarországon, 1 db az NDK-ban). Így a fenti megcélzott képességcsomag csak jóval 1990 után nyer értelmet figyelembe véve a korábban említett első szériás A-50 légtérellenőrző korlátait a gyakorlati üzemeltetés terén. A Poljana-D4 gyakorlatilag a Front szintű AVR. (Gyakorlatilag megfelel az amerikai TADIL-J adatkapcsolatának és kiterjedtségének, amit a Poljana-D4 használ.)

Az, hogy az A-50 milyen funkciót töltött be a vadászgépek rávezetésben az nem egészen világos. Az biztos, hogy az A-50 képes lesugározni a céladatokat az AVR-nek (akár a honi-, akár a csapatlégvédelem számára), azt viszont hogy melyik reptéren milyen vadászgép áll készenlétben vagy melyik honi légvédelmi osztály áll készenlétben azt valószínűleg csak a földi AVR tudhatja. Az információáramlás valószínű útja tehát A-50 --> AVR --> vadászgépek. Ezek közül a Szu-27Sz gépek egymás közt is képesek osztani a célpontokat, de a régebbi gépek csak az AVR felől kaphatnak adatokat.

Képgyűjtemény a szovjet-orosz vezetési pontokról és rendszerekről:

http://www.ausairpower.net/APA-Rus-ADCP-CP.html

6.2.4.8. Csapatlégvédelem, a jövő útjain, a drónok fenyegető árnyéka

Ez a fejezet Cifka Miklós és Hpasp észrevételei, illetve a velük folytatott levelezés szerkesztett és átemelt változata. Ez a fejezet komoly részben személyes véleményeket fogalmaz meg, ennek fő oka az útkeresés maga.

Az elmúlt években az számítástechnika, a digitális vezérlés illetve az egyre könnyebb és jobb képességű digitális kamerák megjelenésével a harctereken egyre nagyobb fontosságot kaptak felderítés szempontjából a rendkívül kisméretű drónok illetve quadcopterek. Ezek felderítése már önmagában nem egyszerű azok kis mérete miatt, illetve adott esetben teljesen autonóm módon is képesek repülni, külső rádiókommunikáció nélkül programozott útvonalon.

Kis méretük – bőven 1 méternél kisebbek is léteznek már, amit egy ember képes magával vinni és bárhonnan útjára bocsátani – , a felhasznált szerkezeti anyagok és a villanymotorral üzemelő kis drónok felderítése, vizuálisan, radarral vagy infravörös érzékelőkkel sem egyszerű. A kevés fém alkatrészt tartalmazó drónok radarkeresztmetszete minimális, a villanymotorral üzemelők forró égésgázokat nem bocsátanak ki ráadásul még csendesek is. A villanymotor külső felülete bár lehet meleg, de a belső égésű motorok vagy gázturbinákból kiáramló forró gázokhoz képest a felülete lényegében elhanyagolható és a hőmérséklete is lényegesen alacsonyabb, bőven 100 Celsius fok alatti az égésgázok több száz fokos hőmérsékletével szemben.

Balra kisméretű quadcopter, jobbra MQ-9 Reaper UACV. Az MQ-9 kategóriájú drónok nem jelentenek megoldhatatlan fenyegetést a jelenleg is szolgálatban álló csapatlégvédelmi rendszereknek. Az MQ-9 kellően nagy célpont a radarvezérlésű rendszereknek (pl. Tor-M1), viszont repülési magassága lehetővé teszi a légvédelmi tüzérség hatásos megsemmisítési zónáján kívül maradást. A vállról indítható légvédelmi rakéták ellen is viszonylag védett repülési magassága illetve kis infravörös képe miatt. Az egyre nagyobb problémát a rendkívül kis méretű és egyre többet tudó drónok jelentik.

Ezen fizikai jellemzőik nagymértékben behatárolják az ellenük való védekezés lehetőségeit a jelenleg hadrendben álló eszközökkel. A hagyományos légvédelmi gépágyúkat helikopterek és repülőgépek ellen tervezték, amik legalább egy nagyságrenddel nagyobb felületű célpontok a kisméretű drónokhoz képest, de még így is százas nagyságrendben szükséges nagy tűzgyorsaságú gépágyúval pontosan célzott „lövedékfelhőt” indítani a célpontok felé, hogy a kilőtt lövedékek közül csak néhány eltalálja a célpontot. A 2K22 Tunguszka, német Flakpanzer Gepard és hasonló légvédelmi gépágyúkkal még az egyhelyben lebegő 1 méternél kisebb quadcopter elleni sikeres tevékenység esélye nagyjából a nulla fellé tendál, mert akkora a lövegek szórásképe. Már, ha feltesszük, hogy ezeket egyáltalán képesek érzékelni és követni a tűzvezető radarral vagy bármilyen más módón. Amennyiben ezek mozognak, akkor végképp nincs miről beszélni...

Bár a kisméretű quadcopterek csak rövid ideig maradhatnak levegőben és korlátozott a hatótávolságuk (legfeljebb fél-egy óra, ~0,5-5 km távolság wifi 2,4 GHz-es távvezérléssel, a lerepülhető távolság ennél számottevően nagyobb, akár 30-50 km is lehet autonóm módban). Harcászatilag elképesztően fontos és valós idejű adatokat képesek adni akár éjszakai is úgy, hogy a harctéren csak néhány száz méter magasan lebegve „istene szeme” módon közvetítik az eseményeket és átláthatóvá teszik a taktikai helyzetet.

Már csak pusztán emiatt is zavaró ezek jelenléte az ellenfél számára és fontos leküzdésük, de már felsejlik az a korszak, amikor kisméretű öngyilkos drónok felhőben koordinálva[611] képesek lesznek csapást mérni gyengén vagy nem páncélozott járművekre. Ha ezek kellően olcsók lesznek, akkor eljöhet az a sci-fikben látott sötét jövőkép, hogy egyes (legalábbis fontos) emberekre is drónok vadásznak majd. (Vagy akár minden katonára 1 db drón...)

A linkelt videó alapján elképzelhető kisméretű drónokból álló felhő olyanféle alkalmazása is, hogy a célkörzetbe adott esetben szubszonikus manőverező robotrepülőgép juttatja el azokat radarhorizont alatt repülve, majd a céltól 30-40 km távolságra engedi útjára azokat akkora tömegben, hogy a jelenleg hadrendben álló méregdrága nagy hatótávolságú légvédelmi rakéta-rendszerek azok ellen tehetetlenek, túlságosan kicsik a célok és túl sok van belőlük. Még, ha fizikailag lehetséges is lenne leküzdeni őket, akkor sem oldható meg költséghatékonyan. (Ráadásul itt is felmerül az észlelésük nehézségének a problémája.)

[611] https://www.youtube.com/watch?v=DjUdVxJH6yI

Egy konkrét gondolatkísérleten keresztül. Balra a képen látható Taurus KEPD 350 méretű robotrepülőgépbe nagyságrendileg belezsúfolható kb. tucatnyi drón a fegyver hatótávolságának csökkentésével és áttervezésével. 3-4 db repülőgép eltérő irányból indítva ezeket Sz-300/400 és Patriot szintű robosztus és méregdrága légvédelmi rendszerek ellen 40-45 km távolságban kiszórja a drónokat, majd azok felhőben repülnek a légvédelmi osztályok felé.

Azok közelkörzeti / pontvédelmi légvédelmi rendszerei – már ha vannak egyáltalán – képtelenek ekkora mennyiségű céllal megbirkózni. Persze a rendkívül kisméretű drónok számára szükséges valamiféle szenzorrendszer az autonóm célkereséshez és némi „intelligencia” is, továbbá korlátozott méretük miatt legfeljebb 1 kg vagy annál kisebb harci résszel rendelkezhetnek, amivel semmiféle komolyabb jármű elpusztítása nem lehetséges, azonban ez bőven elég ahhoz, hogy a Patriot vagy Sz-300/400 bármiféle redundancia nélküli tűzvezető radarját tönkretegyék, ami nélkül az osztályok harcértéke pontosan 0 lesz. (Akár a SHORAD kategóriájú Tor-M1 vagy Pancír is kiiktatható ezekkel.) Ezek megbénítása után érkezhetnek a harcászati vadászgépek és helikopterek, amik büntetlenül garázdálkodhatnak, miután kiiktatták a légvédelmi rendszerek nagyját. (A MANPAD veszéllyel nincs mit tenni, de azért a fenti forgatókönyv egyáltalán nem annyira sci-fi, mint volt 20-30 éve.)

A fenti gondolatkísérlet akkor bicsaklik meg, amikor a legkomolyabb légvédelmi rakéta-rendszerek képesek leszek a radarhorizont alá is rakétát indítani, amire más most is képes néhány vagy képessé tehető lesz adott rakétával és fejlesztésekkel. Akkor a radarhorizont alatti lopakodós "trükk" repül a kukába és a drón felhő közelbe juttatása problémássá válik, mert több száz kilométeres hatótávolságú és olcsó drón felhő azok egymást ütő fogalmak....

Tehát a drónok a közeljövőben arra lehetnek képesek, hogy az igen drága, de igen sebezhető kulcselemek megbénításával költséghatékonyan nyissanak utat az ember vezette, de sokkal komolyabb tűzerővel bíró repülőgépek előtt. Szó nincs arról, hogy minden célpontot ezekkel küzdjenek le. Ez már pusztán a hatótávolságukból és sebességükből is következik. Olyan kicsik és lassúak a quadcopterek, hogy még harci helikopterek vagy akár nagy sebességgel mozgó szárazföldi járművek vagy motorcsónakok ellen sem lehetne használni ezeket.

A feladat tehát adott, ezeket az egyre nagyobb problémát okozó kis drónokat nem csak felderíteni lenne szükséges, hanem költséghatékonyan megsemmisíteni azokat. Az nem opció, hogy több százezer vagy millió dollárba kerülő rakétákkal lövöldözzenek néhány ezer vagy tízezer dolláros harci drónokra. Azért az IR kamera vagy miniatűr radar nincs ingyen, de egy mezei civil kamerás drón tényleg fillérekbe kerül bármiféle rakétához képest. Persze azok kommunikációja egyáltalán nem zavarvédett.

A célkörzetben önállóan tevékenykedő kvázi-drónok (loiter capacity smart ammunitions) már az 1990-es évek óta a tervezőasztalon voltak, az US Army FCS programjában az NLOS-NS (Netfire, Loiter Attack Munition (LAM), stb.) néven. A probléma kettős volt, egyfelől a fejlesztés ára, aztán a mini-robotrepülőgépek ára, ami sokkal magasabb volt, mint tervezték. Az igény tehát már több évtizedes a drónok, drón rajok használatára, csak eddig nem volt olcsó és hatékony hordozóeszköz.

Itt alapvetően a kereskedelmi drónok merülnek fel alternatívaként, csakhogy azok katonai alkalmazása sok kompromisszumot igényel a legfeljebb 20 perces repülési idejükkel (a LAM-tól 72km-es hatótávot és ezen távon belül 30 perces készenléti körözést vártak el, ez elektromos meghajtással nem valósítható meg). Jelenleg a katonai képességekkel bíró drón-rajok még fejlesztés alatt vannak. Alapvető probléma, hogy az egymással való kommunikációjuk (elvben) könnyen zavarható, akkor pedig szétesik a drón raj.

A civil drónok alkalmazása jelenleg azért veszélyes, mert egyfelől olcsón elérhetőek a piacon, másfelől (még) nincsenek rendesen felkészülve rájuk a hadseregek, tehát ideális gerilla vagy alacsony-intenzitású hadviselő eszközök.

A hadseregek is alapvetően azért alkalmazzák sokszor, mert könnyen hozzáférhetőek, és az általuk nyújtott információ sokszor azonos, mint a sokkal drágább, és nem mindig kéznél lévő katonai felderítő drónok által szolgáltatottak.

Egy RQ-11 Raven (balra) kézből indítható drón ára 20 000 dollár feletti, a kamerái 2015 előtti verzióknak csak előre néznek, és mivel repülőgép-elven működik, így kevésbé használható, mint egy quad vagy octa-kopter, amely csak tizedannyiba kerül. Az RQ-11-nek vannak újabb verziói, már forgatható kamera-toronnyal, de azok még drágábbak.

Jelenleg ezek ellen az elektronikai zavarással operálnak főleg, de ahogy egyre intelligensebbé válnak és képesek lesznek saját erőből felismerni és követni célpontokat, akkor önállóan repülve egyszerűen nem lesz mit zavarni, lévén autonóm módon tevékenykedhetnek, az egyedüli megoldás még a GPS zavarása lenne, akkor a drónok nem képesek autonóm módon repülni, de ez nem egyszerű feladat, ezenfelül a saját erőket is megfoszthatja a GPS alapú navigációtól.

A nagyobb hatótávolságú rádióelektronikai zavaráshoz relatíve nehéz zavarórendszer szükséges, a kisebb, kézi egységek viszont csak legfeljebb néhányszor tíz méteren belül hatásosak. A másik gond, hogy fel lehet készülni arra, hogy a 2,4 GHz-en kommunikáló drónok jeleit bemérje és zavarja az ember. Rendben, felszereled az ehhez szükséges, több (tízezer) dolláros rendszerrel a katonai egységeket... majd megjelenik egy új kereskedelmi drón, amely mondjuk az 5 GHz frekvencia tartományt használja.

Ez volt ugye a probléma az iraki és afganisztáni mobiltelefon gyújtású improvizált robbanó eszközökkel (IED), az azok ellen rendszeresített zavarókkal is. Maga a mobiltelefon és a gyújtószerkezet kis túlzással fillérekből, viszonylag „amatőr” technikai tudással is megvalósítható, nem „rakétatudomány”. Az ellene való védekezéshez viszont több ezer vagy tízezer dolláros zavarórendszert kell telepíteni minden potenciálisan veszélyeztetett járműre, és még ha a működik is, akkor a katonák/baráti egységek se tudják a mobiltelefonjaikat használni, plusz értelemszerűen amerre járnak, kellemetlenségeket okoznak a civil lakosságnak.[612]

Az elektronikai zavarás csak megbénítani, illetve korlátozni képes a drónok munkáját, jobb lenne inkább megsemmisíteni azokat. A probléma az, hogy jelenleg nincs ellenük hatásos lőfegyver-megoldás, egy mini-

[612] *Ráadásul a zavarás csak egyetlen IED fajta ellen véd, hiszen a walkie-talkie vagy drót-robbantású IED-ektől nem véd. Bár ezek nem drónok...*

Phalanx vagyis Mini-CIWS kellene (lásd később a haditengerészeti légvédelem bemutatásánál, nagy tűzgyorsaságú légvédelmi tüzérség), amely radar vagy optikai módon automatikusan képes felderíteni és leküzdeni a drónokat és csöves lőfegyverekkel leküzdeni. Ilyen rendszer nincs jelenleg, kifejlesztése tervben sincs nagyon.

Potenciálisan elvárható, hogy előbb-utóbb a távirányított fegyver tornyok (RWS, remote weapon station) megkapják ezt a képességet, tehát lesz egy 360 fokos lefedésű optikai rendszer, amely folyamatosan figyeli a belátható égteret, és ha gyanúsat lát, akkor a fő kamerát és fegyvert abba az irányba fordítja, azonosítja a célt, és amennyiben ellenségesként kategorizálja, akkor tüzet nyit rá. A gond ezzel jelenleg, hogy egy sima RWS kétcsatornás EO optikával, fegyver nélkül ma is 100 000 dollár körül mozog, és akkor még nem beszéltünk a mögé szükséges számítógép és szoftverekről, amit napra készen is kell tartani, ahogy újabb és újabb drónok jelennek meg. (alakfelismerés, stb.)

Luftvärnskanonvagn *(*lvkv*)* 9040, CV90 lövészpáncélos speciális változata

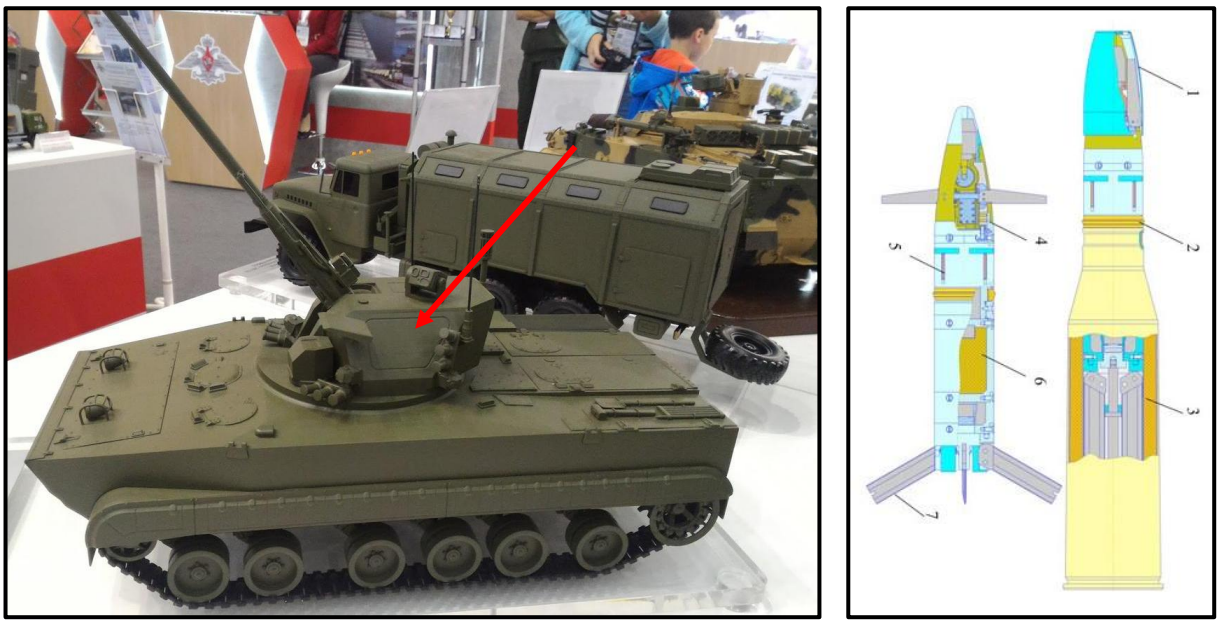
Amiben sokan bíznak még, az szilárdtest-lézer alapú védekezés, ez ugye elvben „csak” villamos energiát igényel, tehát nem fogy a lőszer (buzzword: deep magazine). Apró gond, hogy jelenleg az erre alkalmas kb. 30 kW teljesítményű lézerek nem kicsik, nem is olcsóak, és ismét kell mögéjük egy automata felderítő és célleküzdő algoritmus, ami szintén hiányzik jelenleg.[613]

Légvédelmi tüzérségnél a drónok kis mérete miatt intelligens, manőverező lőszerre van szükség, de minimum időzítő gyújtós lövedékre, ami egyszerűbb és olcsóbb a közelségi gyújtós megoldásnál. Ezek csak nagyobb kaliberű lőszerrel kivitelezhetőek az „intelligencia” helyigénye miatt, 40 mm feletti űrméretnél lehet elgondolkozni erről igazán.

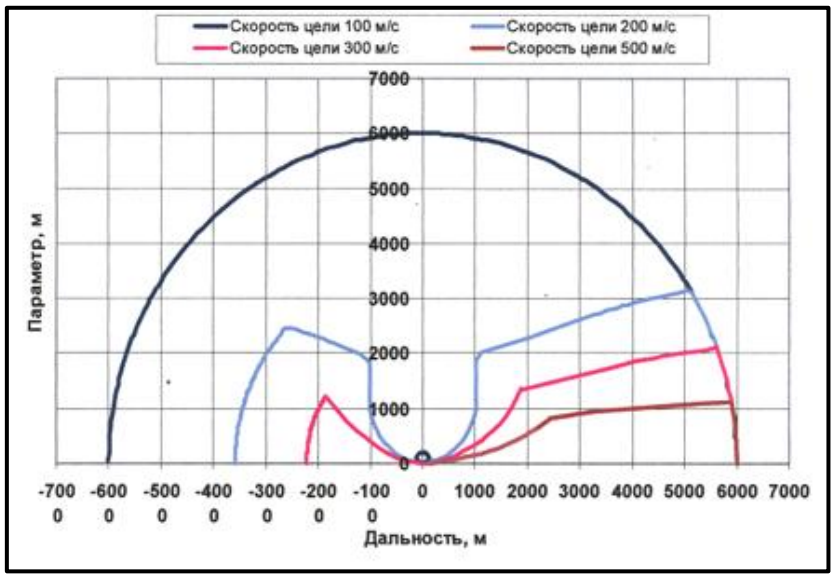
Érdekes módon lassan évtizedek óta vannak készen hasonló eszközök (igaz, irányított lövedék nélkül), de senkinek nem kellettek eddig. A svédek nagyjából 20 éve megalkották a CV90 lövészpáncélos alvázra épített 40 mm-es Bofors löveget, amihez 10+ éve kínálnak 3P programozható lőszert, mégsem rendelt belőle senki.[614]

Hasonló, de fejlettebb koncepció a BMP-3 alvázára telepített 57 mm-es löveg,[615] rádiógyújtós, lézer nyaláb irányítású (beam rider) lövedékkel, ami egyelőre csak ötletelés szintjén mozog. Maga az alapkoncepció egyáltalán nem rossz ötlet, mert a nehéz nyugati lövészpáncélosok, mint a CV90 vagy a PUMA jelenlegi verziói már a 30 mm-es gépágyúlövedékek ellen szemből védettek, tehát szemből elvben ugyanúgy csak irányított páncéltörő rakétával tudja egy orosz lövészpáncélos leküzdeni őket, mint a harckocsikat. Tehát ez a fajta koncepció még multifunkciós is lehetne, mert ha drónt képes követni, akkor szárazföldi célpont ellen is megfelelne.

[613] https://www.raytheon.com/news/feature/laser_dune_buggy.html *A jármű nem zárt, nem páncélozott, nem igazán felel meg a követelményeknek, cserébe viszont légiszállítható*
[614] https://www.youtube.com/watch?v=Nj0q-sxKrvg
[615] https://goo.gl/H8QhAQ



Felvázolt új BMP-3 változat 57 mm-es löveggel, az intelligens lőszerrel és a célkövető optikával.



A rendszer felvázolt hatásos megsemmisítési zónája

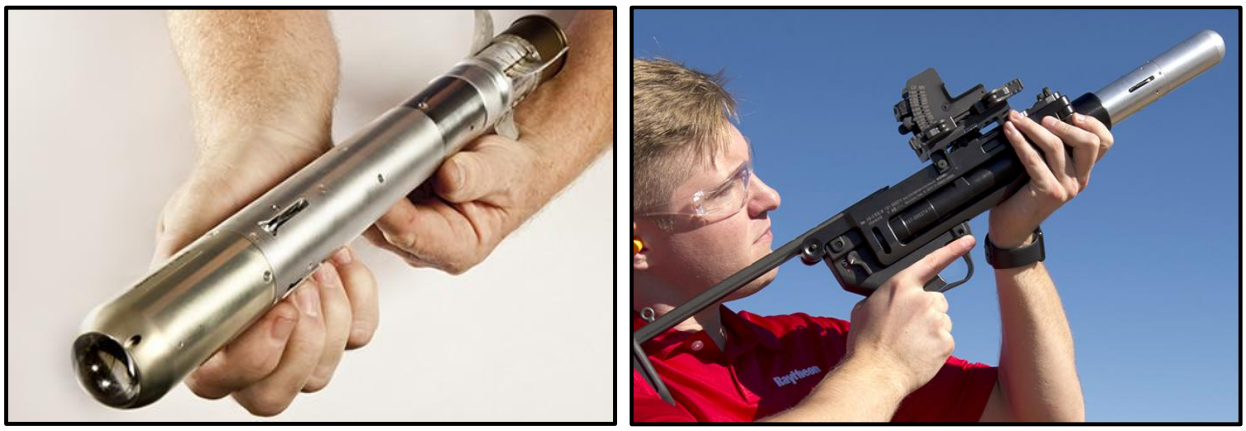
Drónok ellen önmagában ez még mindig nagyon drága – főleg a civil drónok ellen – de többfunkcióssága miatt összességében első látásra nem tűnik elvetendő gondolatnak. A kisméretű quacopterek és RQ-11 szerű eszközök ellen ez megfelelő, azonban az MQ-9 szintű drónok ellen már nem, de ez orosz szemmel nem probléma, azok ellen ugyanis a csapatlégvédelem eszközei megfelelőek. (Tor-M1/M2, akár még a Tungszuka is)

A másik megoldás az, hogy sárkány ellen sárkányfű, tehát mini drónok ellen mini rakéta kell. Ennek a koncepciónak a gyermeke Raytheon által tervezett Pike.[616] Amennyire lehet tudni kis mennyiségben különleges egységek már vásároltak belőle.

A rakéta gránátvetőből indítható, a fegyverre szerelhető lézer célmegjelölő modulokkal lehet összehangolni a vezérlését, félaktív lézeres rávezetésű, tehát az fegyver használójának folyamatosan célon kell tartani a lézersugarat. Nem csak a rakétát indító, bárki megvilágíthatja a célpontot. Légvédelemre ilyen módon nem a legideálisabb, de végül is e célra is használható. A Pike-ot a Raytheon a kis méretű drónokra

[616] https://www.raytheon.com/capabilities/products/pike/

(is) szánja, a rakéta tömege 0,77 kg önmagában (indítócső nélkül), a robbanófeje 0,27 kg, hatótávolsága legfeljebb kb. 2,5 km a gyártó oldala szerint.[617]



A Pike rakéta és lehetséges indítási módja.

Jelenleg nincs arra vonatkozóan terv, hogy máshova is szánnák pedig potenciálisan használható lenne harcjárműveknél is harckocsin vagy lövészpáncéloson. Ezek teherbírása megfelelő 1-4 darab különálló torony telepítéséhez, egy ilyen torony 2-4 db ilyen kis rakétával lehetne felfegyverezve, tornyonként egy-egy célrávezető lézerrel, és automatizált célfelderítő / célazonosító rendszer (lehet radar, IR, EO alapú).

A harckocsi parancsnoki elektro-optikai/infravörös célkereső tornya mellé szükségesek ezek a kiegészítések, mert alapvetően senki nem tudja megjósolni, hogy éppen merre nézne a parancsok, amikor az önvédelmi rendszer hirtelen a cél felé fordítja az elektro-optikai/infravörös tornyot. Adott esetben lehet, hogy a harckocsin levő egyéb berendezésekről le kellene mondani – pl. távvezérelt torony géppuskáról, de egy harckocsi vagy lövészpáncélos szakaszban vagy században egy drón elleni képességekkel felvértezett harckocsi elfogadható áldozatnak tűnik ezért.

Összefoglalva a jelenlegi helyzetet és problémákat:

- A civil drónok sok fejfájást okoznak gerilla/kis intenzitású harcokban, de harcászati értékük valódi nagy volumenű konfliktusokban egyelőre kérdőjeles, bár kategorikusan nem zárhatóak ki.

- Az ellenük való védekezésre valóban hatásos megoldás még nincs, ami van vagy lesz azzal túl drága lenne minden egységet ellátni.

- Középtávon a lézer fegyverek nyújthatnak megoldást, de ezek hatásossága is gyorsan változhat. Amíg balsafa drónokat kell lövöldözgetni megfelelőek, de amint a repülőgép-iparban használt aluötvözettel kerülnek szembe a lézerek a helyzet drasztikusan meg változik. A legáltalánosabban felmerülő infravörös tartományban működő lézerek energiájának 98-99%-át visszaveri az alumínium, így máris nem csak 3-5, hanem akár 10-15 másodpercig kell besugározni a célt ahhoz, hogy komoly károkat lehessen tenni azokban.[618]

- -A nagy űrméretű, dedikált gépágyúk nem feltétlenül hoznak megoldást a problémára, viszont részben már most léteznek azok az eszközök, ami részben megoldást jelenthetnek a problémára.

[617] *Ez legfeljebb a rakéta kinematikára igaz, a célmegjelölés korlátai miatt a valós használható távolság szerintem ennél lényegesen kisebb. Ezzel legfeljebb függeszkedésben levő, egyhelyben álló quadcopter jellegű célpont küzdhető le.*

[618] *Cifka Miklós kiegészítése, amit én megtámadnék azon a vonalon, hogy ma már kompozitok használata az uralkodó, azoknál is szükséges megvizsgálni ezt a visszaverődés problémát.*

- Az Orosz reakció a jelenlegi kihívásokra kimerül ugyanabban amit Usztyinov megfogalmazott uszkve 40 évvel ezelőtt az Osza és más légvédelmi rakéta-rendszer esetén, „még több harcra-kész rakéta”. Figyelembe véve, hogy a rakéták ára a drónok árához kezd közelíteni, olykor már meg is előzi azt, ez eléggé kontra produktív megoldás. Az igazán problémás kis drónok esetén minden rakéta drágább, mint a drón, még a legolcsóbb MANPAD is, ami semmit nem tud tenni a villanymotoros drónok ellen. Ez alól a BMP-3 alvázra épített önjáró légvédelmi gépágyú új koncepciója (illetve a svéd 3P lőszert használó CV90 változat) az első kivétel.

6.3. Haditengerészeti légvédelmi rendszerek

A fejezetet Cifka Miklós készítette, a navigációs fejezethez hasonlóan csak minimális stilisztikai változtatásokat történtek a szövegben.

6.3.1. Légvédelem a II. világháborúban

A haditengerészei légvédelem fejlődésének bemutatását szintén a II. világháború végén levő helyzettel érdemes kezdeni.

A II. világháború alapvető változásokat hozott a haditengerészetekben. A világháború kirobbanásakor a légvédelem még a csatahajókon is zömmel csak pár nagyobb kaliberű kettős célú, tehát felszíni és légi célok ellen is használható, közepes kaliberű (76-tól 203 mm-ig) lövegből valamint néhány géppuskából (20 mm alatti kaliberű automata fegyver) és gépágyúból (20-tól 57 mm-ig tartó kaliberű automata vagy gyorstüzelő löveg) állt.

A repülőgépek azonban rövid úton bebizonyították, hogy mekkora veszélyt jelenthetnek a hadihajókra, 1942-től kezdve a hadihajók légvédelmének tervezésekor vagy utólagos átépítések során már kezdtek átesni a ló túloldalára. A felszíni hadihajók fedélzetén elkezdtek minden lehetséges területre légvédelmi lövegeket szerelni, sőt, dedikált légvédelmi rombolók és cirkálók jelentek meg, amelyeknél az ellenséges hajókkal vívott tűzpárbaj már nem is igazán volt tényező, inkább azon voltak, hogy minél több és hatásosabb csöves légvédelmi fegyvert szereljenek fel. Erre jó példa a Richelieu csatahajó, amelyet 1943-ban az Egyesült Államokban fejeztek be, és többek között 56 db 40 mm-es Bofors és 48 db 20mm-es Oerlikon gépágyú került a fedélzetére.

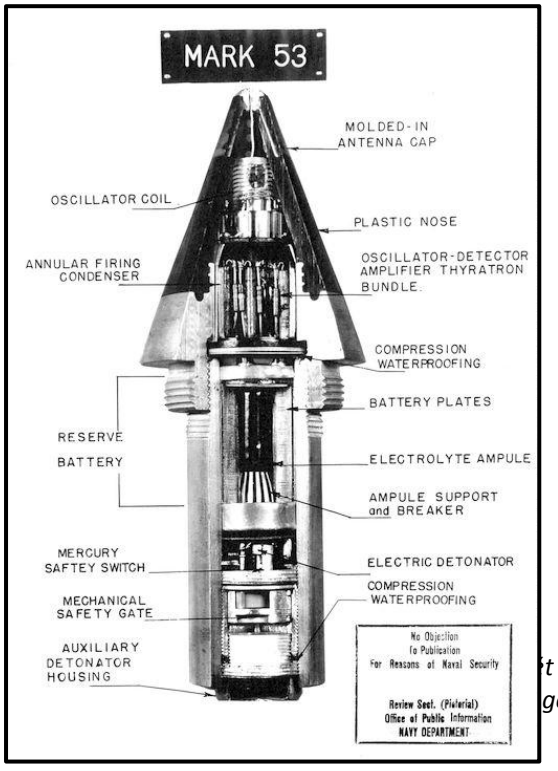
20mm-es Oerlikon gépágyúk a Richelieu csatahajó tatján. Figyelemreméltó, hogy teljesen védtelen kezelőszemélyzet. Egyetlen géppuskázó vadászgép vagy bombatalálat lényegében megsemmisíti azokat.

Mivel a Szabad Francia Haditengerészet a saját (felújításon átesett) illetve brit és amerikai rombolókat kapott a szövetségesektől, alapvetően az amerikai légvédelmi doktrínához idomultak, az amerikai gyártású fegyverekkel együtt.[619]

Ebben az időben a légvédelemnek alapvetően két (illetve három) fő veszélyforrással kellett szembenéznie, a nagy magasságban repülő bombázógépek akár több km-es magasságból is bombákat dobhattak alá, illetve a tengerfelszín felett, alacsonyan közeledve torpedóbombázók indíthattak torpedókat a hajóra. A plusz veszélyforrás a kamikaze, vagyis a robbanóanyaggal teli gépével a hajóba csapódni szándékozó öngyilkos pilóták voltak, de ez csak a csendes-óceáni fronton volt tényező és csak a háború lezáró szakaszában.

A II. Világháború csendes-óceáni tapasztalatai azt hozták ki, hogy a kézzel irányzott, kisebb kaliberű (nagyjából 30 mm alatti) gyorstüzelő fegyvereknek igazából sok értelme nincs, ezért a háború vége felé tervezett légvédelmi cirkálókon és rombolókon dedikáltan kétfelé osztották a fegyverzetet. Az egyik fele a jellemzően 40-57 mm-es gépágyúk (amely később pl. az amerikai hadihajókon 76,2 mm-esre lettek cserélve, mivel ezeket is elégtelennek vélték), amelyek a kis magasságban közeledő célpontok leküzdésére szolgáltak, illetve a közepes kaliberű (tehát 203 mm-ig terjedő) kettős célú lövegek, amelyek a nagy magasságban haladó bombázógépek lelövését kapták elsődleges feladatnak.

Érdemes még megemlíteni, hogy a 57 mm-es kaliberig a gránátok általában hagyományos gyújtót kaptak, amelyek csak becsapódáskor léptek működésbe, vagyis a célt el telibe kellett találniuk. Annyi „turpisság” volt bennük, hogy több országban önmegsemmisítőt szereltek a gyújtóba, amely kb. 10 másodperccel a kilövés után (ami hozzávetőleg 4-4,5 km-es megtett távot jelentett) felrobbantotta a gránátot. Erre elsősorban azért volt szükség, hogy a környéken lévő többi baráti hajót ne veszélyeztessék a szerteszét repülő lövedékek. Általában 76 mm űrmérettől felfele már (mechanikus) időzítővel voltak ellátva légvédelmi célra a gránátok, amit a betöltés előtt kellett beállítani. A céltávolság megállapítására először még optikai távmérőt, aztán egyre inkább radart használtak, ezekkel meghatározták a célpont távolságát, és megfelelő előre tartással programozták be azokat, remélve, hogy akkor fognak felrobbanni, és a környéket repeszekkel beteríteni, amikor a célpont közelében tartózkodnak.



A II. világháború egyik legnagyobb szövetséges titka (természetesen az Enigma, a Manhattan-projekt mellett) a közelségi gyújtó volt, amely gyakorlatilag egy rádió-távolságmérő volt a lövedék orrában.

Amennyiben kellő közelségbe került egy nagyobb testtel (10-15 méter egy repülőgép, 3-5 méter egy rakéta esetében), a gyújtó aktivizálta magát, és a felrobbanó gránát repeszfelhőt generálva megrongálta a célpontot.

A titoktartás miatt VT jelzést (Variable-Timed, változó-időzítésű) kapott jelölésű gyújtó a Haditengerészetnél a 127 és 152 mm-es légvédelmi gránátok orrába kerültek, majd később a tüzérségi gránátokba és a légibombákba, amelyek a talaj felett robbanva nagyobb pusztítást

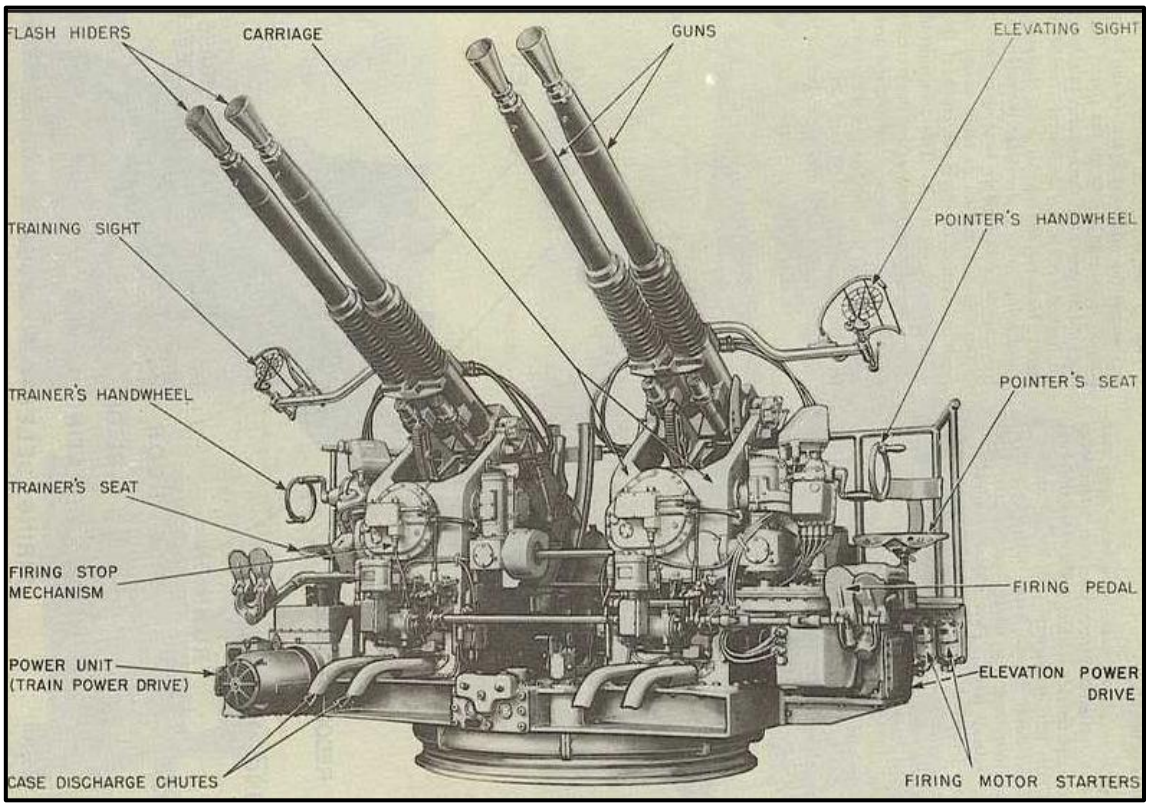
t ország semleges volt, de annak adták el a fegyvereik licencét, aki gépágyúja például az amerikai, brit, (szabad) francia és a német

végezhettek, mintha a földbe csalódtak volna, végül a világháború után megjelentek persze mindenhol.

A fentiek alapján sejthető az olvasó számára, hogy a légvédelmi lövegek effektív hatótávolsága elég szerény volt.

A 20 mm-es Oerlikon elvben kb. 400-500 méteres, a 40 mm-es Bofors 2-3 km, az 57 mm-es Bofors lövegek is mindössze legfeljebb 3-5 km-re lévő célok ellen voltak hatékonyak. A 127-152 mm-es lövegek már 6-8 km-re lévő célok ellen is veszélyt jelenthettek, de csak VT gyújtókkal.

Persze a lövegek hatásfokát alapvetően meghatározta a tűzvezetés, a kisebb kaliberű gépágyúkhoz ez leginkább csak az adott lőállásokat összefogó lokális parancs volt, és ezzel a hatásfok is szerény volt. A nagyobb kaliberű gépágyúknál, gyorstüzelő ágyúknál már központosított tűzvezetés volt, amelyhez az elején saját optikai, később radar távolságmérő tartozott. Ezek száma határozta meg, hogy egyszerre hány célpont ellen vezethettek tüzet. A kisebb egységeknél ez jellemzően 2 db, a nagyobb egységeknél 4-6 db, esetleg 8 db célpontot jelentett.

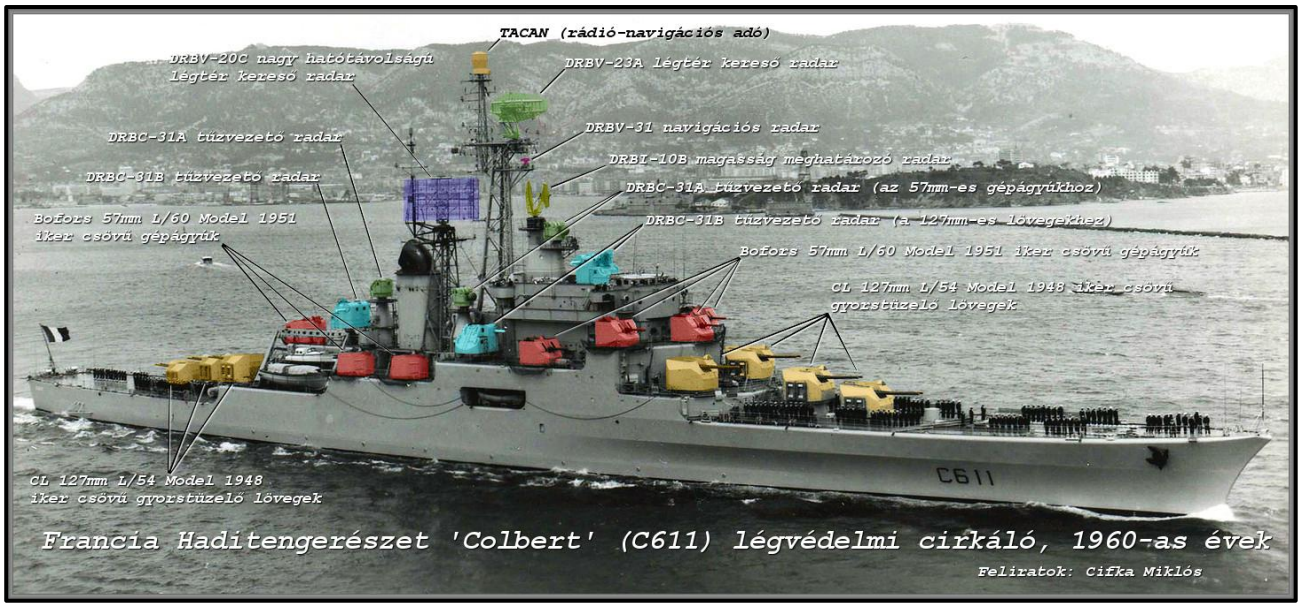


40 mm-es, 4 csövű Mark 4 típusú légvédelmi gépágyú. Érdemes megfigyelni, hogy külön ember felel a cső emelkedési szögéért, és külön az oldalirányú mozgásért.

6.3.2. Légvédelem a II. világháborúi után, új szelek

A II. világháború utáni légvédelmi cirkálók utolsó fejlődési fázisának tekinthető egységek egyike a francia Colbert légvédelmi cirkáló tekinthető, amely 1959-ben állt hadrendbe, eredetileg a francia hordozók légvédelmét kellett (volna) ellátnia. A méretes, 11 100 tonna vízkiszorítású hadihajó a II. világháborús tapasztalatoknak megfelelően tekintélyes mennyiségű légvédelmi ágyúval bírt, 8 db ikercsövű 127 mm-es, illetve 10 db ikercsövű 57 mm-es légvédelmi ágyú alkotta a fegyverzetét. Természetesen mindezeket 4-4 db különálló tűzvezető radar vezérelte, vagyis maximum 8 darab cél ellen vezethetett egyszerre tüzet. A méretes hajótestre a méretes fegyverek még méretesebb lőszerigénye miatt is szükség volt. A 127 mm-es lövegekhez 4800 db gránát, az 57 mm-esekhez pedig mintegy 30 000 db gránát volt a javadalmazás.

Noha központosított tűzvezetésről beszélünk, a fegyverek irányzása továbbra is kézzel történt, vagyis a tűzvezetés csak azt mondta meg, hogy X irányban és Y szögben tüzeljenek, és ezt a kijelzőkről leolvasva kézzel hajtotta végre a parancsokat a kezelőszemélyzet, ami akkor már finoman szólva sem számított korszerűnek.



A Colbert légvédelmi cirkáló a hadrendbe állásakor meglévő konfigurációban. Ágyú ágyú hátán...

A Colbert valójában az események mögött kullogott, ekkor már gőzerővel folyt a rakéta-légvédelmi rendszerek fejlesztése a világ nagyhatalmainál, sőt, az amerikaiaknál már 1956-ban már hadrendbe is állt a RIM-2 Terrier, 1961-ben a briteknél a SeaSlug, a szovjeteknél pedig 1962-ben az M-1 Volna. A franciáknak persze saját kellett, ezt a rendszert a Masucra névre keresztelték, ami egyébként már 1948 óta fejlesztés alatt állt, ám rengeteg nehézség, és a költségvetés elszabadulása miatt csak az 1960-as évek közepére készült el.[620]

Mikor a Colbert hadrendbe állt 1959-ben, elsősorban még repülőgépekkel szemben kellett volna helyt állnia, ám már a sugárhajtású repülőgépek korszakában, ahol még gyorsabban és még magasabban repülhettek a bombázók és a vadászbombázók. Ez nem könnyítette meg a hagyományos légvédelmi lövegek helyzetét, ezért ekkoriban általános volt a vélekedés, hogy a vadászgépek nyújthatnak megfelelő védelmet a hadiflottáknak illetve a konvojoknak az ellenséges repülőgépekkel szemben. Ennek a gondolatmenetnek a rabja lett szinte minden haditengerészet, így a világháború után nem csak a nagyobb nemzetek, de a Kanadai, Ausztrál, Brazil, Argentin és Holland haditengerészet is repülőgép-hordozók köré építette a flottáját.

Ez a meglátás véleményem szerint helyes volt. Még a legnagyobb kaliberű légvédelmi ágyúkkal is több, mint problémás lett volna a szovjetek haditengerészeti bombázóit lelőni, amik 5-10 km magasságból is kényelmesen lenullázták volna a harcértékét bármilyen flottának több száz kt-ás hatóerejű bombákkal atomháborút feltételezve, amit akkor minden közép és nagyhatalom természetesnek vett. Tu-16 és Il-28 bombázók ellen véleményem szerint a vadászgépek jelentették a védelmet, a légvédelmi ágyúk csak a nem nukleáris fegyverekkel operáló harcászai vadászgépek ellen lettek volna használhatóak.

[620] *Véleményem szerint már értelmetlen volt hadrendbe állítani, de politikailag valószínűleg vállalhatatlan lett volna a program törlése egy ponton túl.*

Hagyományos fegyverek használata esetén azonban tényleg már más a leányzó fekvése, a bombák pontos célzásához bőven le kellett volna jönni a légvédelmi lövegek megsemmisítési zónájába miután (feltételezve, hogy a hordozókról felszálló vadászgépek teszik a dolgukat) átverekedték magukat a bombázók a vadászgépeken.

Azonban már a II. világháború alatt elkezdődött azon kategóriájú fegyverzetek fejlesztése, ami lényegben a fenti légvédelmi koncepciót gyakorlatilag teljesen eltörölte. A légvédelmi lövegek a ’60-as évekre akkori formájukban teljesen elavulttá váltak nem csak a nukleáris bombákkal támadó bombázógépek, hanem az irányított levegő-föld rakétafegyverzet megjelenése miatt is.

6.3.3. Haditengerészeti légvédelem kihívásai az 1960-as évektől

Már a II. világháború alatt megjelentek az irányított bomba- és rakétafegyverek, ilyen volt a Fritz-X[621] irányított siklóbomba illetve a Henschel Hs 293 hajó elleni robotrepülőgép (lásd a 7.2. fejezetben). Ezek az új fegyverek lehetővé tették, hogy a támadó repülőgépek a légvédelmi ágyúk lőtávolságán kívül indíthassák azokat.

Az Egyesült Államok a fenyegetésre reagálva nekiállt egy légvédelmi rakéta-rendszer kifejlesztésének (Operation Bumblebee), amely az ilyen helyzetekre megoldást nyújt, mivel a veszélyforrásokat jó messziről, 10-30 km-ről, vagy akár még messzebbről megsemmisítheti. Az első irányított amerikai légvédelmi rakéta-rendszer fejlesztése, ami a „Lark” névre hallgatott, meglehetősen nyögvenyelősen indult. A hangsebesség alatti rakétára épülő megbízhatatlan rendszer sose került hadrendbe. Mielőtt rátérnénk a konkrét légvédelmi rakéta rendszerek bemutatására, érdemes megvizsgálni a fenyegetések másik mozgatórugóját, a már fent említett irányított támadó fegyverek utódait.

1958-ban hadrendbe állt az SS-N-1 (szovjet jelöléssel P-1) hajó elleni robotrepülőgép a szovjet Kildin- és Kanyin-osztályú szovjet rombolókon, ezen felül (forrásoktól függően 1955-től vagy már 1952-től) hadrendbe állt a KSz-1 robotrepülőgép, amelyet Tu-4K és később Tu-16KSz bombázók szárnyai alól lehetett indítani, illetve partvédelmi célra mobil indítóállásokra is telepítették Sz-2 Szopka néven. Mindkét fegyver kb. 40-80 km-es indítási távolsággal bírt. A repülés első fázisában távirányítással a cél közelébe vezették azokat, majd a végső fázisban a robotrepülőgépek orrában lévő kisméretű radarral maguk derítették fel a célpontot és vezették rá magukat. Ezekben a fegyverekben benne volt a potenciál, hogy alapvetően megváltoztathatják a tengeri hadviselést, ám a jelentőségüket elsőre még nem ismerték fel.

1956-tól már a nagyobb teljesítményű, kb. 80 km-es indítási távolságú SS-N-2 (P-15) is hadrendbe állt, 500 kg-os harci résszel. Ezek először a Projekt 185 (Komar), aztán a Projekt 205 (Osza) osztályú rakétás gyorsnaszád, majd a Tarantul- és Nanucska-osztályú korvet, illetve a Koni- és Kotor-osztályú fregattokon tűntek fel, illetve később megjelent a korábban említett Kidlin- és Kanin-osztályú rombolókon. Ezen hajóosztályok jó része szovjetbarát haditengerészeteknél is megtalálható volt, különösen a Projekt 205 volt elterjedt típus.

[621] https://www.youtube.com/watch?v=kyHZw92TbNU

Balra fent egy Komar osztályú hajó, jobbra fent a KSz-1 / S-2 alapvetően egy lekicsinyített MiG-15-ösre emlékeztet.

Egy-egy rakétás gyorsnaszádon jellemzően 2 db (Projekt 185) vagy 4 db (Projekt 205) robotrepülőgép konténer kapott helyett. Elég masszív tűzerő képe sejlik fel, ha csak néhány ilyen naszád mindegyik robotrepülőgépét elindítja olyan célpontok ellen, amik csak légvédelmi tüzérséggel rendelkeznek.

Az INS Eilat izraeli romboló eredetileg Nagy-Britanniában 1944-ben, HMS Zealous néven megépült Z-osztályú romboló volt. A hajót 1955-ben adták el Izraelnek, de ami miatt híres lett, az a vele 1967-ben megtörténtek eset miatt van.

Port Szaíd kikötőjéből egy Komar (vagyis Projekt 187) rakétás gyorsnaszád indított ellene P-15 hajó elleni robotrepülőgépeket. Az első hullámban érkező két robotrepülőgépet későn vették észre, igaz a romboló II. világháborús brit Type 293 radarja nem volt igazán modernnek tekinthető, ráadásul a mindösszesen 4 db 40 mm-es és 2 db 20 mm-es gépágyúval rendelkezett, ráadásul kézi irányzással bármiféle központosított tűzvezetés nélkül. A hajó gyakorlatilag esélytelen volt...

Az első P-15-ös a hajó közepén talált be, és megsemmisítette a hajó első kazánját. A második két perccel később nem sokkal hátrébb csapódott be, újabb károkat okozva a gépteremben, végleg mozgásképtelenné téve a hajót. Mintegy másfél órával később két újabb P-15-öst indítottak az egyiptomiak, és bár az első nem sokkal az indítás után meghibásodás miatt a tengerbe csapódott, a másik megtalálta a már erősen megdőlt rombolót, és a tatnál csapódott be (de a robbanófeje nem robbant fel). A tűz miatt viszont nem sokkal később berobbant a hátsó lőszertároló, a tenger fenekére küldve az ekkor már a személyzete által elhagyott hajót.

Az INS Eilat romboló, gyakorlatilag a II. Világháború színvonala....

Az Eliat lett az első áldozata a modern hajó elleni rakétáknak, az eset pedig megkongatta a vészharangot a haditengerészet légvédelmi tisztjeinél. A 20-80 méter magasan repülő, viszonylag kis méretű célok leküzdése komoly kihívást jelentett, noha nem sokban különbözött a bő két évtizeddel korábbi kamikaze-

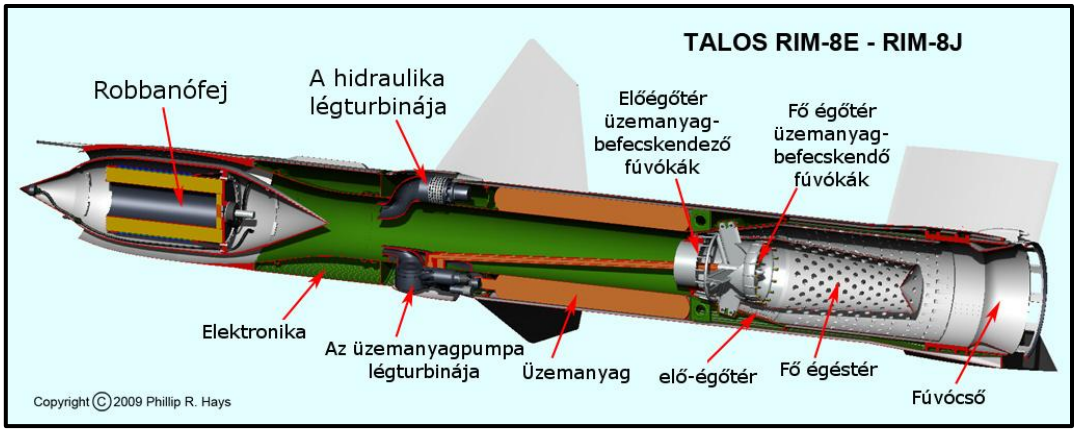
támadásoktól, csak éppen sokkal gyorsabban mozgó és kisebb célpontokról volt szó, amelyeket immár nem emberek irányítottak.

Az 1960-as évek vége, 70-es évek eleje arról szólt, hogy ezt az új megváltozott helyzetet hogyan kellene a haditengerészeteknek kezelni, az egyre újabb és gyorsabb rakéta fegyverek ellen, amik immáron ráadásul már nukleáris harci résszel is rendelkezhettek, tehát a bombázókkal ellentétben még közel sem kellett repülni a célponthoz azok indításához. A hagyományos légvédelmi tüzérségnek ezzel végérvényesen bealkonyult.

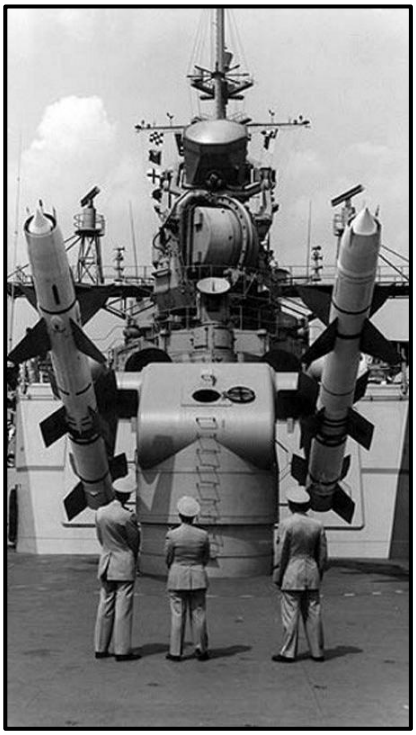
6.3.4. Az Egyesült Államok haditengerészeti légvédelmi rendszerei

6.3.4.1. A „három T”, Talos, Terrier, Tartar

A RIM-8 Talos nagy hatótávolságú légvédelmi rakéta-rendszernek készült, a rakéta meghajtását torló-sugárhajtóművel tervezték megoldani, ami azt jelentette, hogy a rakéta kétlépcsős kellett hogy legyen. A leváló első lépcső gyorsította fel olyan sebességre rakétát, ahol a menethajtómű már üzemelhetett.



A TALOS felépítése, érdemes megfigyelni, hogy a vezérsíkok működtetésére hidraulikát használtak, mint repülőgépek esetében.



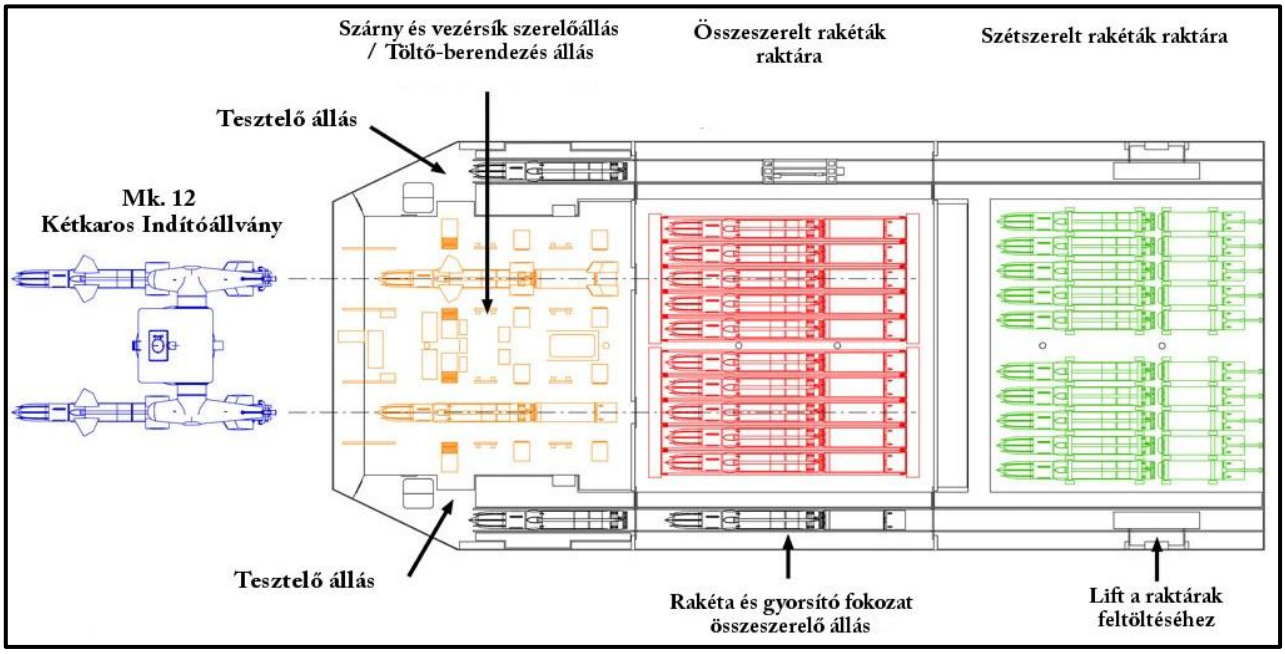
A Talos vezérlése szintét kétlépcsős volt. Az első fázisban vezetősugaras, a végfázisban pedig félaktív vezérléssel rendelkezett. Utóbbihoz a hajtómű beömlőnyílásánál négy előrenyúló antenna helyezkedik el, az ezek által érzékelt jeleket használja a rakéta vezérlőegysége, hogy megállapítsa a célpont helyzetét, és térítette ki a vezérsíkokat a vezérlő rendszer, aszerint, hogy melyik antenna fogja erősebben a célról visszaverődő jeleket.

A rendszer eredendően hatalmas és bonyolult lett, a komplett rendszer elemei voltak a rakétatár, a rakétákat onnan az indítóállványra juttató töltő-berendezés, a különálló vezérlősugaras rávezető- valamint célmegvilágító radar is. (Egyazon állványszerkezeten volt a vezérlősugaras és a célmegvilágító radar is.) Ezekből 2-2 db volt, tehát így 2 db célpontra tudott végfázisban rakétát rávezetni, másik kettőt pedig a középső fázisban a céljuk felé irányítani. A rakéták indulótömege kb. 3,5 tonna volt, ebből 2 tonnát a gyorsító rakéták tettek ki. A hatalmas rakéta következménye az volt, hogy csak a legnagyobb méretű hajókon lehetett alkalmazni.

A Talos az első változata is 92 km-es, későbbi változatai pedig akár 240 km-es megsemmisítési zónával bírtak. Ekkora távolságban természetesen már csak nagy magasságban repülő, nagy méretű célok elfogására volt lehetőség a radarhorizont miatt, azonban a termonukleáris bombákkal támadó Tu-16-os bombázok ilyenek célpontok voltak.

A Talos rakéták méreteinek szemléltetéséhez jó támpontot nyújt a fenti kép.

A RIM-8 Talos rendszer volt az, amely (papíron) visszaadta a hadihajók „függetlenségét" a légvédelmük terén, végre nem csak a repülőgép hordozókról felszálló vadászrepülőgépek voltak képesek nagy távolságban megsemmisíteni a támadókat. Mivel azonban a kisebb hajókon is szükség volt a modern légvédelmi rendszerekre így rövid úton két további rendszer fejlesztése is leágazott belőle, a RIM-2 Terrier és a RIM-24 Tartar. Mielőtt ezekre rátérnénk érdemes kicsit részletsebben megismerni a Talos rendszert, majd azon keresztül érintve az abból leszármazó többit is.



A Talos rendszer egyik érdekessége az, ahogyan a rakétákat kezelte. Érdemes lesz a későbbiekben látni, hogy ehhez képest a bonyolult rendszerhez képest a mai konténeres függőleges indítási mód cellákból (konténerekből) mennyire távol áll már az első pepecselős módszertől.

A rakéták a raktárban voltak szétszerelt állapotban (hajtómű, gyorsító fokozat, vezérsíkok). Két oldalt volt egy-egy mozgatósín-rendszer, amely a raktár és az összeszerelt rakétákat tároló rakétatár, valamint az elől lévő ellenőrző állás között tudta mozgatni a rakétákat. A rakétatár mellett szerelték össze a gyorsító fokozatot és a rakétatestet, de a rakétatárban még szárnyak nélkül voltak tárolva. Az indítóállás mögött volt a végszerelő állás, ide kerültek a rakéták a rakétatárból, majd itt rászerelték a szárnyakat, és innen mehettek tovább az indítóállványra.

Alapvetően ilyen elven működött a TALOS, a brit Sea Slug és a francia MASUCRA is Az első Terrier is ehhez hasonló volt, majd elkezdték egyszerűsíteni a dolgot, ahogy rájöttek arra, hogy ez a szerelgetősdi finoman szólva nem életképes dolog főleg, ahogy a bejövő rakéták (célpontok) száma egyre több lett és a tűzgyorsaságot fent kellett tartani.

Később már olyan Terrier indítóállások is voltak, amelyek függőlegesen tárolták a rakétákat összeszerelve és szárnyakkal ellátva, forgódob-szerűen, ahogy a Tartar Mk.13 és Mk.26-osa

indítórendszere. Majd jött a Standard Missile, amely a Tartar és Terrier megoldását vitte tovább. A Talos túl nagy és bonyolult volt, ráadásul a hatótávolsága sem volt annyival nagyobb, hogy megérje vele vesződni.

A Talos vezérlése az Sz-200 Vega rendszerrel összevetve érdekes, ahhoz hasonló megsemmisítési zónával rendelkezik. A Vega esetén végig félaktív rávezetést alkalmaztak, aminek következménye, hogy már állványon be kellett fogni a rakétával célpontot hatalmas távolságról. A Talos ezt a problémát átugrotta azzal, hogy közelebb vitte a rakétát RPK vezérléssel és csak a végfázisban váltott át félaktív vezérlésre. Az Angara, Vega és Dubna „erőből" oldotta meg a feladatot, a Talos kicsit intelligensebben. A Vega 7 tonnás rakétával érte el a 250 km-es HMZ-t, a Talos 3,5 tonnából megoldotta, bár ennek komoly szerepe inkább a torló-sugár hajtóműnek van, noha a Talos átmérője 20%-kal kisebb, ami kb. 45%-kal kisebb áramlási keresztmetszete jelent.

Terrier rakétaindítás a USS Boston nehézcirkálóról. A még mindig elég méretes rakéták, radarok és indítóállványok a hajó egész hátsó fedélzetét és felépítményét elfoglalták

A Talos vezetősugaras vezérlő-rendszerét egy kétfokozatú, szilárd rakéta-hajtóanyagú rakétahajtóművel felszerelt rakétán sikeresen tesztelték 1948 és 51 között. Mivel pedig a Talos torló-sugárhajtóműve, illetve a komplett rendszere még láthatóan hosszú évekig tartó fejlesztés előtt állt, úgy döntöttek, hogy egy közepes méretű légvédelmi rakétarendszert építenek a tesztrakétára, ez lett a RIM-2 Terrier.

A rakéta még így is több mint egy tonnát nyomott, ráadásul az első változatának a csúcssebessége nem érte el a hangsebesség kétszeresét sem (később ezt a hangsebesség háromszorosára növelték), ráadásul a hatótávolsága is csak 19 km volt, (ezt később fokozatosan 75 km-re emelték). Ehhez jött még hozzá, hogy kis magasságban repülő célok ellen nem volt igazán hatékony a vezetősugaras vezérlés miatt, ám a rendszer összességében bevethető volt ezért 1956-ban hadrendbe is állt, mint az első amerikai haditengerészeti légvédelmi rakétarendszer. Az igény és a fenyegetések felülírták azt, hogy a rendszer távol volt a teljes elérhető potenciáljától.

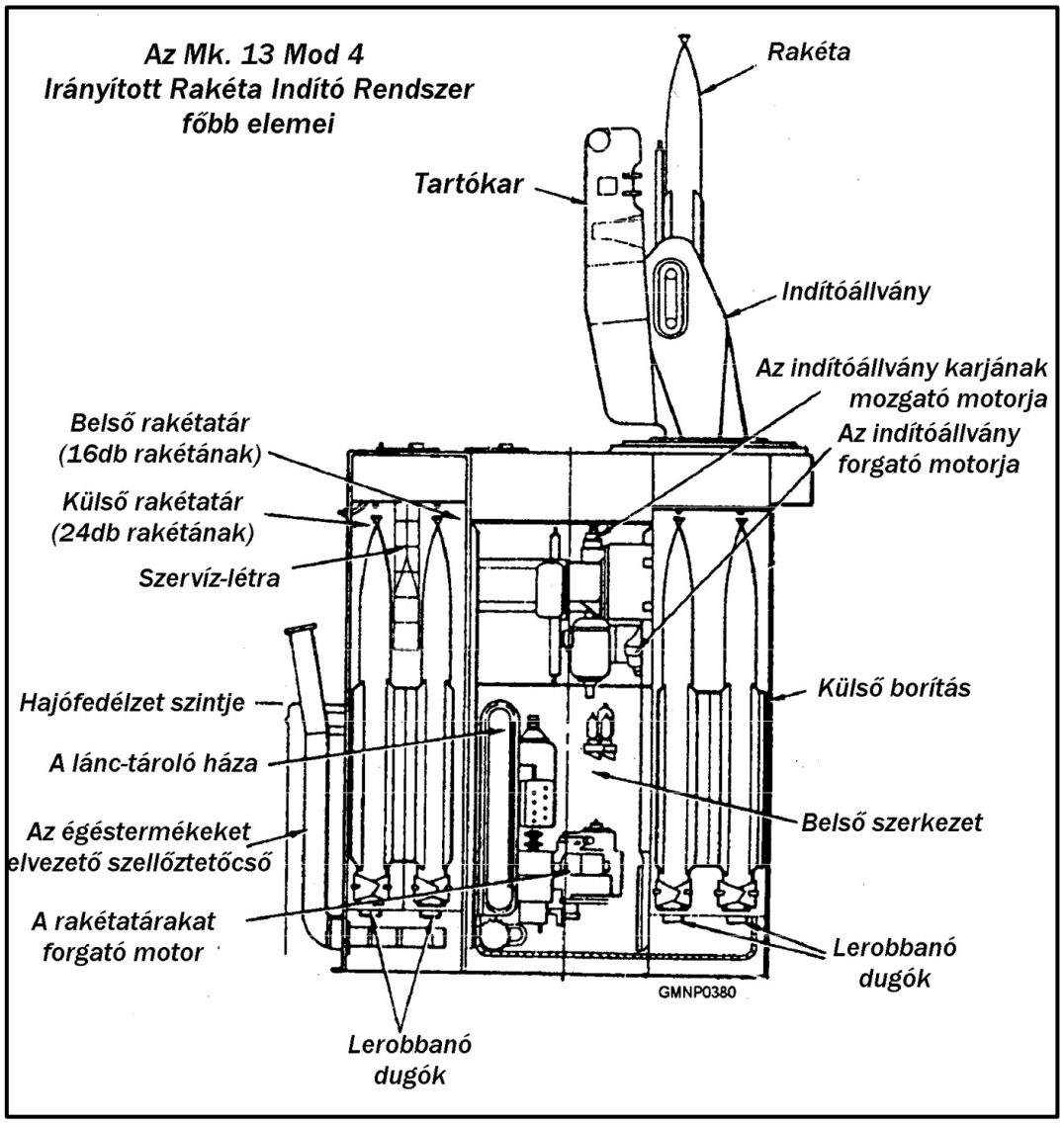
A Tartar méret és tömegcsökkentése részben úgy valósult meg, hogy a Talos-sal és a Terrier-rel szemben egykaros indítóállványt készítettek hozzá.

A menet közben a kevésbé pontos vezérlősugaras irányítás helyett a Terrier is félaktív rávezetésűre tért át, de a Talosnál használt botantennáktól eltérő módon immár jobb hatásfokú (érzékenyebb) reflektor-antennával felszerelve.

A Terrier viszont még mindig túl nagy volt a 2-4 ezer tonnás hadihajóknak (fregatt kategória), ezért tovább faragták a rendszert, elhagyták a gyorsító-rakétafokozatot, és kisebb, könnyebb indítóállványokat terveztek hozzá. Az immár csak 580 kg tömegű rakétát használó 1962-ben hadrendbe álló rendszer elnevezése RIM-24 Tartar lett. Ez a nagyobb hadihajókon kiegészítette a Talos-t, amely a közeli célok ellen nem volt használható, míg a kisebb hajókon az önvédelmi feladatkört így a Tartar látta el.

A RIM-24 Tartar alapjában véve egy jól sikerült rendszer, tervezésénél okultak azokból a hibákból, amelyek a korai Talos és Terrier rendszereknél felmerültek. Érdekesség, hogy noha légvédelmi rendszernek tervezték, képessé tették másodlagosan hajók elleni bevetését, igaz mivel az irányításhoz végig látni kellett a hajónak a célt, így ez esetben a cél távolsága kb. 18 km-nél nem lehetett nagyobb.

A legelterjedtebb Mk.13 (és kisebb változata, az Mk.22) indítórendszer egy kompakt modulban tartalmazta a rakétatárat, amely egy 16 db és 24 db rakétát függőlegesen, gyűrű formációban elhelyezett rakétatárat fogadott be, ennek a tetején foglalt helyet az egykarú indítóállvány. (Az Mk.22 csak a belső gyűrűvel rendelkezett, a kevesebb befogatható rakéta miatt.)



Az MK.13 rakétaindító rendszer főbb elemei.

A rakéták készre szerelve voltak tárolva, de jól hozzáférhetőek voltak az esetleges karbantartásokhoz. Az összesen 40 db (16+24) tárolóhelyen általában 39 db rakéta mellett egy darab (kék színű) gyakorló / teszt makett foglalt helyett. A rendszer további eleme volt egy keresőradar (általában egy SPS-39 típusú) és két

AN/SPG-51 célkövető (rávezető radar), amelyek a célok besugárzását végezték, tehát a rendszer két célcsatornás volt.

A RIM-24 Tartar rendszer elemei egy francia T-47-es rombolón

Az egész lelke persze a számítástechnika akkori csúcsát képviselő számítógépek voltak. A Tartar rendszer esetében két nagy szekrényben foglaltak helyet a jel-adat konverterek, amelyek az analóg radarjelekből digitális adatokat készítettek, illetve a számítógép által kiszámolt digitális adatokat újra analóg jellé alakították, hogy a kezelőkonzolok katódsugárcsöves képernyőin megjelenjenek. A számítógépek az 1960-as évek közepén népszerű, tranzisztorokra épülő Univac 418-II-esek katonai,[622] strapabíróbbra épített változatai voltak. Univac 1219 és Mk.152 tűzvezető számítógépként is ismerték őket A 18 bites számítógépeknek 128 ezer 18 bites szót tárolni képes memóriája volt, az I/O felületéhez (a korábban említett jel-adat konverterektől eltekintve) pedig három mágnesszalagos adattároló, illetve lyukkártya olvasó és lyukasztó segítségével lehetett hozzáférni, illetve egy kezelőpanel állt rendelkezésre.

A számítógép képes volt a beérkező radarjelekből meghatározni, hogy az adott célpont milyen irányban, magasságban, milyen sebességgel repül, és hogy az ellene indított (vagy indítani szándékozott) rakétának mekkora előretartásra van szüksége, hogy a kiszámolt találkozási ponton elkaphassa a célpontot.

A két SPG-51 radarnak saját számítógépe volt, és a rendszer, miután meghatározták a célpontot, majd elindították a rakétát, már teljesen automatikusan végezte a feladatát, nem volt szükséges emberi beavatkozásra.

A modern kor vívmánya letaglózó volt a korábbi rendszerek képességeihez viszonyítva, nem véletlen, hogy a Tartar (és leszármazottjai) a NATO és baráti haditengerészetek első számú légvédelmi rendszerei lettek.

6.3.4.2. RIM-7 Sea Sparrow, RIM-162 ESSM (Evolved Sea Sparrow Missile)

Még az 1960-as években, válaszul a hajó elleni rakétákra, komoly igény fogalmazódott meg egy rövid hatótávolságú önvédelmi rakétarendszerre az US Navy berkeiben. Az első válaszuk az US Army Mauler légvédelmi rendszerének tengerészeti változata, a RIM-46A Sea Mauler lett volna. Csakhogy az ambiciózus programot annak a lassú és technikai kihívásokkal küszködő fejlesztését látva a hadsereg feladta, a haditengerészet pedig egymaga nem akarta folytatni.

[622] http://mccworkshop.com/computers/univac/1219_brochure.pdf

Mivel veszély fokával tisztában voltak, így a minél gyorsabb hadrendbe állításhoz már kéznél lévő megoldásokra építkeztek, minimalista megközelítést alkalmazva. Ez gyakorlatilag azt jelentette, hogy 2x4 darab rakéta befogadására alkalmas konténert helyeztek el egy forgatható állványon, amelyekbe AIM-7E rakétákat helyeztek el. A célravezetést pedig a Mark 115 kézzel (!) irányított radar-célmegjelölővel oldották meg, amelynek radarját a kezelő a közeledő célra irányított, majd elindította a rakétát. A félaktív vezérlés és folyamatos hullámú (CW) megvilágításból adódóan nem kellett pontosan a célra néznie (a nyalábszélesség miatt), a beérkező rakétáról visszaverődő radarjel elegendő volt a Sparrow érzékelőjének a rávezetéshez.

A rendszer távol állt a tökéletestől, például éjszaka vagy rossz látási körülmények között szinte esélytelen volt a beérkező rakétát azonosítani és manuális módon követni. A Sparrow is kényszerpálya volt, hiszen eredetileg repülőgépről való indításra szánták, és nem volt optimális a tengerszint felett, kis magasságban való alkalmazásra. A rendszer HMZ-je 8-10 km körül volt maximum, tovább az első verzió még sok gyermekbetegségtől szenvedett. Ám mivel nem volt jobb megoldásuk, mégis elkezdték felszerelni a hajókra 1971-től kezdve RIM-7A jelöléssel, Sea Sparrow elnevezéssel (megj.: mivel az AIM-7E-n alapult, ezért sokszor RIM-7E jelöléssel is illették a rakétákat).

A Mark 115 célmegjelölő

Mivel a többi NATO haditengerészet is hasonló problémával nézett szembe, javasolták, hogy a Sparrow rakétára építkező rendszert közösen fejlesszék tovább, és integrálják a különféle európai radarokhoz és fedélzeti rendszerekhez. Ez lett a NATO Sea Sparrow Project Office (NSPO) megalakításának alapja az Egyesült Államokon kívül Olaszország, Dánia és Norvégia részvételével. A projekt a RIM-7A-n alapult, de automata célrávezetéssel és a Sparrow első vezérsíkjainak behajthatóvá tételével, amely így már jóval kisebb konténerből volt indítható, amelyek 2x4-es elrendezésben Mk.29 jelöléssel kerültek rendszerbe. A RIM-7H jelöléssel bíró rendszer 1973-ban jelent meg.

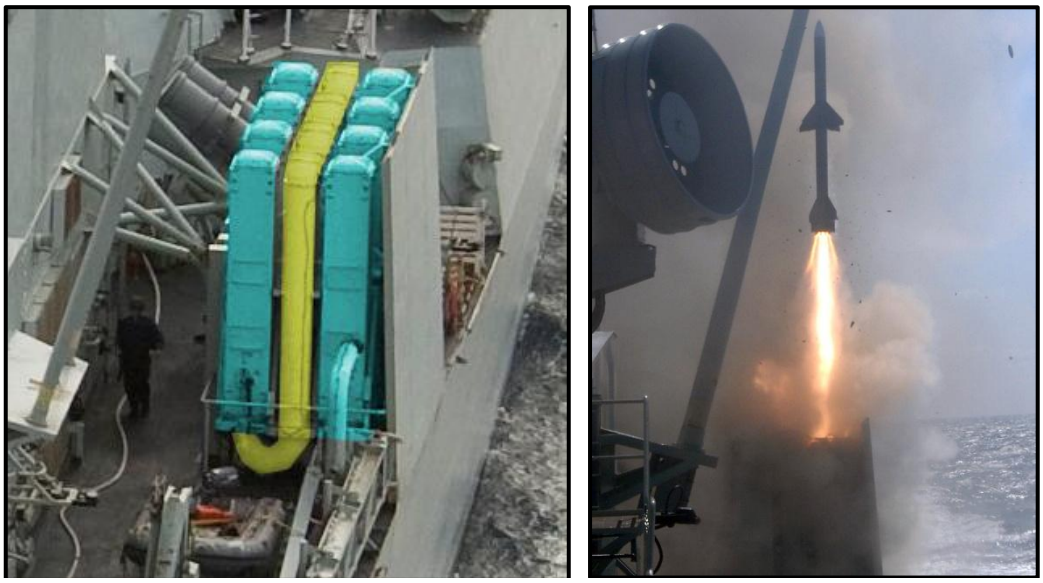
Balra egy RIM-7A indítás Mk.25 indítóból, jobbra egy RIM-7P indítása az újabb Mk.29 indítóból, utóbbinál jól látható a még behajtott szárnyak helyezte.

A Sea Sparrow fejlesztését furcsa több lábon állóság jellemezte innentől, például megjelent az AIM-7F-en alapuló RIM-7F, kettős tolóerejű rakétahajtóművel, de az NSPO ettől független fejlesztéseket folytatott. Miközben a fejlesztések alapvetően a kis magasságban a talajról (tengerről) visszaverődő radarjelek zavaró hatásának csökkentésén, illetve az egyszerre több célpont elleni tűzvezetés lehetőségét, vagyis az eltérő

modulust használó érzékelőkre terjedt ki, megjelent az AIM-7M, amely ezeket alapból tudta, és így a RIM-7M alapja lett az 1980-as években. A ’80-as évek végén a RIM-7P ugyanígy következett az AIM-7P alapján.

Viszont olyan változtatások is megjelentek menet közben, amelyek a légi indításúaktól eltérő volt, ide tartozott az eltérő gyújtó, amely a RIM-7A/H esetében még minimálisan 30 méteren haladó célpont elleni bevetést tett lehetővé, de a RIM-7F-től kezdve már 15 méterre csökkent ez a magasság, majd a RIM-7M esetében 8 méterre.

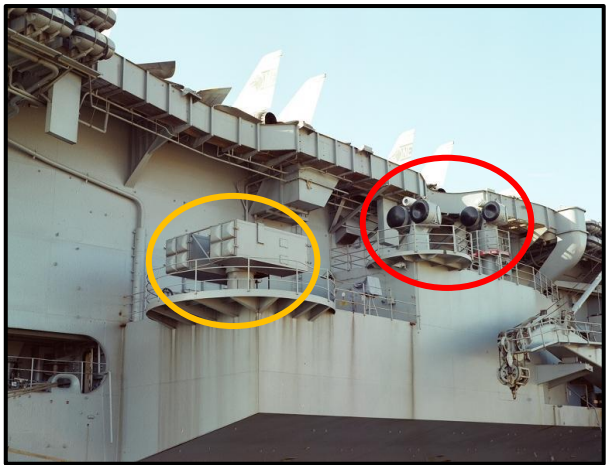
Az NSPO fejlesztései közé tartozott a függőleges indítókonténerekből (Vertical Launch System – VLS) való alkalmazhatóság, amihez a rakéta végére egy toldalék került, a JVC (Jet Vane Control), amely egy apró töltettel kilöki a rakétát a vetőcsőből és utána négy, a hajtómű sugarát eltéríteni képes vezérsíkkal tolóerő-vektor kormányzást biztosít a menethajtómű beindulása után, hogy a rakétát már ennél a kis sebességnél a megfelelő irányba fordíthassa a tovább haladáshoz. (Hasonló a 9K331 Tor-M1-hez a módszer, de nem apró manőverező hajtóműveket építettek be a rakétába, hanem a nagyméretű hajtómű energiájának egy részét áldozták fel cserébe a sokkal egyszerűbb rakéta kialakításért.) Ezt először a RIM-7M-hez integrálták. A VLS megoldás alapvető változásokat hozott már ilyen kezdetleges formában is. Gyakorlatilag mindegyik indítókonténerben lévő rakéta tűzkész állapotban van, és bármelyik irányban lévő veszélyforrás felé indítható, nem szükséges a konténerek forgatása állványon. A hagyományos karos vagy konténeres indítóknál ugyan a rakéta ideálisabb szögből indulhat, de például a hátsó fedélzeten lévő indítóból így nem lehetett a szemből beérkező cél ellen indítani. Tehát a célcsatornák számát és azok lefedését növelték meg változatlan rakéta mennyiség mellett.

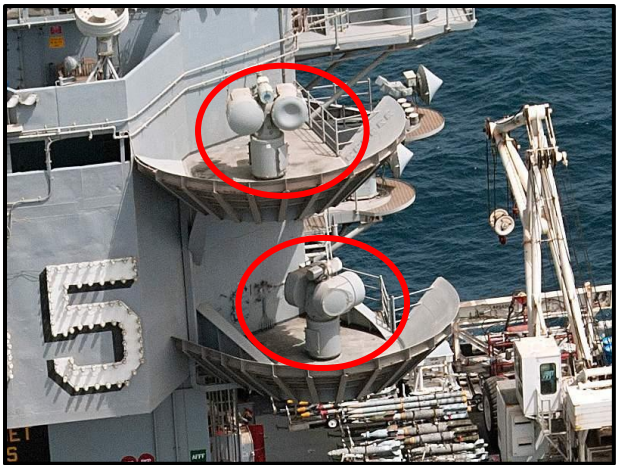


Balra egy kanadai Halifax-osztályú fregatt fedélzetén 2x4db Sea Sparrow VLS konténer (világoskék) és az égéstermékek elvezetéséhez szükséges csővezetékek (sárga), jobbra egy Sea Sparrow VLS indítása

A Sea Sparrow fejlesztésének az utolsó lépcsője, a RIM-7P volt az első Sea Sparrow, ami megkapta a menet közbeni adatkapcsolatot, így végre az irányításnál a célról visszaverődő radarjelek már csak a végfázisban voltak szükségesek. Ez azért volt szükségszerű, mert a hatékony működést már a tűzvezető radarok száma korlátozta, illetve az, hogy végig a célra kellett tartaniuk, az adatkapcsolat lehetőséget nyújtott arra, hogy egyszerre több rakéta legyen úton. (Ezzel lényegében a TVM hasonló módon lehetséges a célcsatornák ütemezése a közeledő célpontok számított elfogási pontja és ideje szerint, de magának a vezérlésnek semmi köze a TVM módszernek. Hívhatjuk ezt kvázi-szimultán célleküzdésnek.)

Menet közben az US NAVY az Mk.115 alapján a távirányított és automata Mk.95 célrávezető radarra tért át, ezt az Mk.91 tűzvezető rendszerbe integrálták, amely a keresőradar adatai alapján rangsorolta és jelölte ki a célokat, és a hajótól függően egy vagy két Mk.95-ösével a célra vezethette az indított rakétákat. A rendszer az 1970-es években helyet talált az amerikai repülőgép-hordozók rövid távú légvédelmében, két Mk.91 tűzvezető rendszer egy-egy Mk.29 indítóállvánnyal, és két-két Mk.95 radarral kapott ebben helyet. Természetesen a rendszer a szárazföldi légvédelmi rakéta-rendszerekhez hasonlóan csak akkor hatékony, ha kereső radar adatai alapján történik a célok kiosztása, a CW sugárzók csak a célmegvilágításért felelnek. A célkeresést a hajók árbocán található kereső radarral oldják meg. (E kapcsán viszont megjegyzendő, hogy kis túlzással ahány hajó, annyi eltérő típusú radar szolgált erre.)





Balra fent a rakétaindító-állvány konténerekkel (2x4 db rakéta) és a Mk.95 célmegvilágító radar CVN-70 (USS Carl Vinson) repülőgép hordozón, jobbra fent két megvilágító a CVN-65 (USS Enterprise) hordozón, a torony túloldalán további két hasonló biztosította a 360°-os lefedettséget.

A rendszer legnagyobb hátránya, hogy bár sikeres légiharc rakétán alapul (az F és M változat az E változathoz képest nagy előrelépés volt), de még a kettős tolóerő fokozattal bíró AIM-7F rakétával is a HMZ legfeljebb 15-20 km között volt a célpont repülési magasságától és oldaltávolságától függően, vagyis lényegében alig volt több egy pontvédelmi rendszernél.

A klasszikus hidegháborús változathoz képest a Sea Sparrow rendszer is jelentős ráncfelvarráson esett át. Eredetileg az AIM-7R/RIM-7R program tűnt a befutónak, amely egy dupla infravörös/radar érzékelőt kapott volna, de 1996-ban ezt a programot a magas költségek miatt leállították. A haditengerészetek nem bánkódta túlságosan, ők ugyanis az 1988-ban indult Evolved Sea Sparrow Missile (ESSM) programban bíztak igazán.

Az ESSM rakétája. A rakétatestnél keskenyebb orr rész, ami a régi Sea Sparrow hagyatéka. de minden más téren teljesen új a rakéta.

Az ESSM már nemigen emlékeztet az eredeti Sea Sparrowra. A régi 8 col (20 cm) átmérőjű helyett egy nagyobb, 10 colos (25,4cm-es) rakétatestet kapott új hajtóművel, a rakétatest hátsó két harmadán végig futó kis húrhosszúságú szárnnyal, valamint rakéta végén aerodinamikai vezérsíkot és egyben tolóerő-vektor kormányzást. A rakéta orra a Sea Sparrowról származott, plusz a már meglévő indítóeszközöket és célrávezető eszközöket örökölte.

Az ESSM a változtatásoknak hála akár 50G-s manővereket is végrehajthatott, és a HMZ-je a Sea Sparrow legalább kétszerese lett, mintegy 40 km. Az már csak hab a tortán, hogy S- és X-sávban is képes a középső fázisban pályakorrekciós adatokat fogadni, ami a rugalmasságát növeli.

Viszont azt is szükséges megjegyezni, hogy az ESSM Block 1 hadrendbe állásakor már 2004-et írtunk, tehát elég nagyot léptünk előre az időben. Alapvetően az ESSM lett a NATO haditengerészetek egységes rövid/közepes hatótávolságú önvédelmi rakétája. Alkalmazásának egyik fő tere immár az eredetileg a Standard Missile-2-höz szánt Mk.41 VLS indító lett, amely egy konténerbe 4 db rakéta elhelyezését teszi lehetővé.

ESSM Block 1 indítása Mk.41 VLS-ből, a 2x4 VLS kazetta között látható a felnyitott ajtón át kiáramló égéstermékek, amelyek erre távoznak a rakéta indításakor.

Az ESSM következő nagy ugrása a Block 2 rakétánál az AIM-120 AMRAAM aktív önirányító fejének integrálása lesz, méghozzá 20 cm-es orrátmérőhöz igazított, nagyobb méretű antennával. Valójában egy kicsit még „bolondítottak” egy kicsit a koncepció, mert a rakéta vezérlése megőrizte a Block 1 félaktív üzemmódját is. A Block 2 viszont várhatóan 2020-ra jelenhet csak meg a hadihajók fegyverzetében

6.3.4.3. Út az AEGIS-hez – A Typhoon, a SCANFAR és a Standard Missile megjelenése

Az US Navy gyakorlatilag még a „3T” rendszerek (Talos, Terrier és Tartar) fejlesztése közben szembesült egy alapvető korláttal, nevezetesen a szovjetek az amerikai flottacsoportok légvédelmi képességét úgy szándékozták túlterhelni, hogy tömegesen tervezték indítani a hajó elleni robotrepülőgépet illetve rakétákat. Így a beérkező veszélyforrások száma meghaladja a kezelhető veszélyforrások számát, tehát a védelmi vonalon kellően nagyszámú támadófegyver esetén át fog csúszni néhány. A fő limit tehát a célrávezető radarok száma volt (célcsatorna mennyiség), ám nem lehetett egy hajóra tucatnyi radart csak emiatt felszerelni, tehát más megoldást kellett keresni.

Az első megközelítés az 1950-es évek végén indult Typhoon rendszer, amely a gömb alakú, fázisvezérelt AN/SPG-59-re épült. Ez a radar egyaránt volt felderítő és rávezető radar is, a fázisvezérlést a Lünenberg-lencsékkel valósította meg. Ebből eredetileg három, majd két különböző méretű változatot terveztek. A kisebbik, rombolókra szánt verzió 3400 db antennából, 900 db jelerősítőből és 3600 db jelforrásból épült volna fel, miközben 120 db célt tudott volna követni egyszerre.

A nagyobb, cirkálókra és repülőgép-hordozókra szánt változatnál ezek a mennyiségek 10 200 db (!), 2700 db , 10400 db és 400 db lettek volna. A rakétákból a korábbi háromféle típus helyett csak kettő lett volna, a Tartar méretű Typhoon MR (medium range, közepes hatótávolságú) rakétahajtóművel, a Terrier méretű Typhoon LR (long range, nagy hatótávolságú) pedig szilárd gyorsítórakéta első fokozatot és torlósugárhajtóművet kapott volna. A két rakéta harci része és vezérlő/irányító rendszere azonos lett volna, tehát mindkét rakétát az AN/SPG-59 vezette volna rá a célpontokra.

A USS Norton Sound 1965-ben, kékkel jelölve az AN/SPG-59 radar, a taton pirossal pedig az Mk.5 kétkaros indító

A számítási teljesítmény alapján 100 db rakéta vezérlőcsatorna állt rendelkezésre a célrávezetéshez, a végső fázisban (19 tengeri mérföldön belül a célhoz) 10 db csatorna kellett a rávezetéshez/rakéta, a középső fázisban pedig egy-egy csatorna minden rakétához. Vagyis a rendszer legalább 10 db célcsatornával bírt, valójában viszont elosztva a csatornákat és a célokat reálisan 20-30 db rakétát tudott volna egyszerre irányítani. (Ez még mai szemmel is tiszteletet parancsoló célcsatorna mennyiség, nemhogy akkori szemmel nézve.)

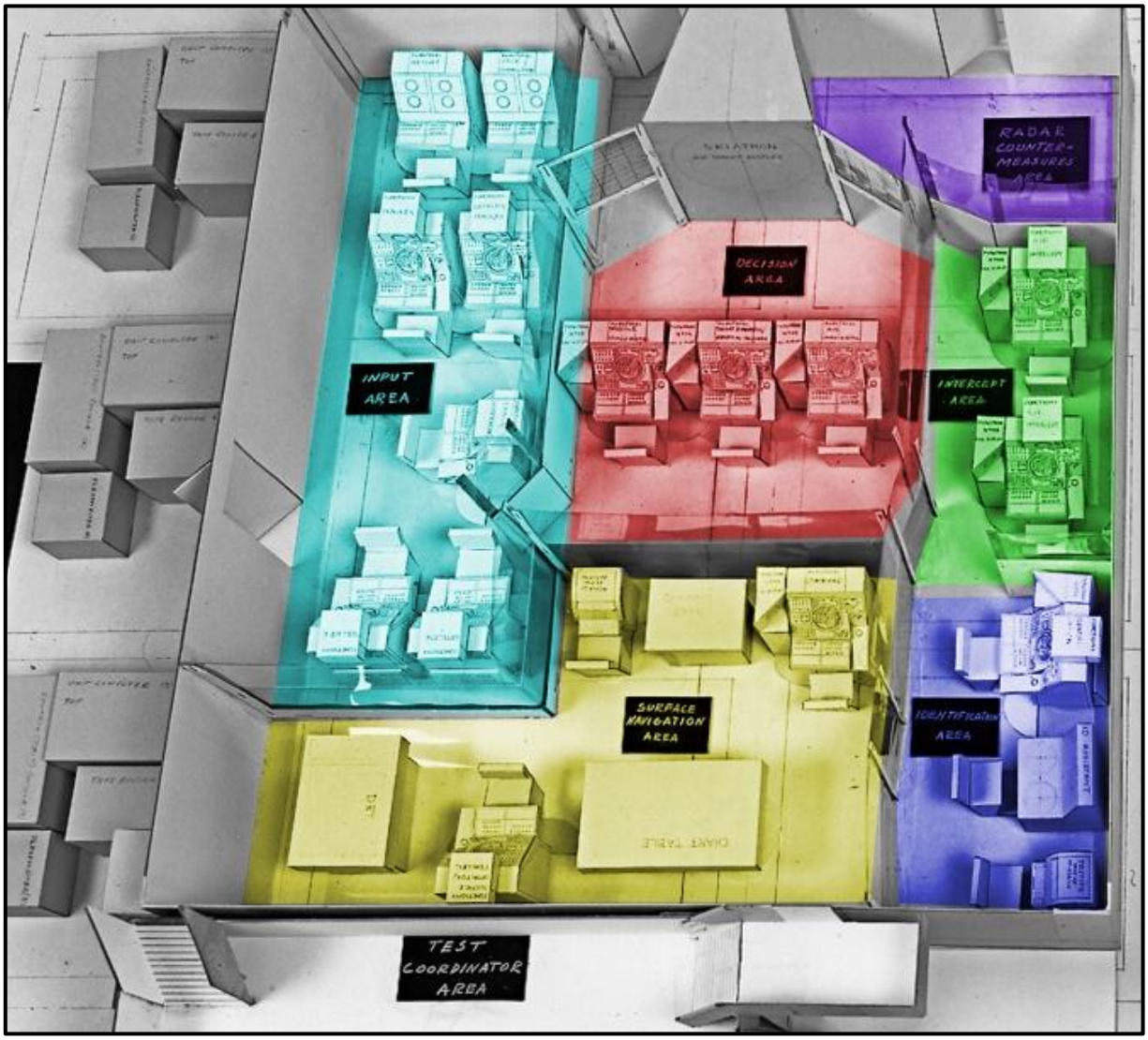
Az AN/SPG-59 teszt verziója az *USS Norton Sound* felépítményére fel lett szerelve, de amire elkészültek vele, a Typhoon program McNamara védelmi miniszterségének kaszája alá került és törölték a fejlesztési programot. A rendszer papíron nagyon látványosan nézett ki, de sok problémától szenvedett. A vákuumcsövekre építkező elektronika megbízhatatlan volt, ráadásul a nagyobbik radar energiaigénye 7,5 MW-t is elérte, így csak a nukleáris meghajtású hajók számára volt realitás.[623]

A második nekifutás a SCANFAR radarok megjelenése volt, ahol feladták azt a gondolatot, hogy egyetlen radarnak kell az összes feladatot ellátnia. A SCANFAR valójában két különálló radar együttes alkalmazását takarta, ez az AN/SPS-32 2D-s keresőradart, illetve az AN/SPS-33 3D-s célkövető radarokat takarta. Előbbi tisztán fázisvezérelt, utóbbi függőleges pásztázásnál frekvencia-vezérelt, vízszintes pásztázás terén pedig fázisvezérelt elvet használt.

A SCANFAR radarjait a felépítmény négy oldalára helyezték el (mind a négy irányban 1-1 db AN/SPS-32 és AN/SPS-33), így biztosítva a 360 fokos lefedettséget, viszont azon az áron, hogy alacsonyabbra kerültek így, mintha az árboc tetejére kerültek volna, ahova normális esetben igyekeznek a radarokat telepíteni. A

[623] http://www.alternatewars.com/BBOW/Radar/SPG-59.htm

rendszerhez a Talos és Tartar rakétákat szándékozták párosítani, azok célra vezető radarjait felhasználva. Csakhogy az AN/SPS-32 egyenként 48 tonnát, az AN/SPS-33 pedig 120 tonnát nyomott, ezek továbbra is vákuumcsöves elektronikával épültek volna meg. Az US Navy mindössze két építés alatt álló hajóval bírt, amelyeknek a felépítményébe ekkora tömegű radart el lehet helyezni: az *USS Enterprise* nukleáris meghajtású repülőgép-hordozó és a szintén nukleáris meghajtású *USS Long Beach* cirkáló. Döntés született, hogy mindkettő kapja meg az új radarokat, illetve a mögéjük szánt Naval Tactical Data System-et (NTDS)[624].



Az NTDS tesztelésére szánt rendszer papírból kivágott alaprajza 1957-ből, a sárga a navigáció, a világoskék a beérkező adatok feldolgozó, sötétkék a célazonosító, zöld az elfogó, lila az elektronikai hadviselési, piros pedig a döntéshozó szekció

Az NTDS legalább akkora lépés volt, mint maguk a radarok. Ahogy egyre bonyolultabbá váltak az elektromos rendszerek, nyilvánvalóvá vált, hogy valamilyen koncepció mentén szükséges rendszerezni a feladatokat, és amennyire lehet, automatizálni azokat, hogy az embernek csak ott kelljen beavatkozni, ahol döntést kell hozni. Az NTDS erre vállalkozott, hogy egy moduláris rendszerre építkezve az adott hajóosztályhoz megfelelő harci információs központot (Combat Information Center – CIC) lehessen összelegózni a kezelőkonzolokból és számítógépekből.

Az NTDS külső eleme volt egy digitális adatkapcsolat (TADIL-A, később Link-11) is, amellyel a hajók megoszthatták egymással a fontosabb információkat, így az adott flottacsoporton belül láthatták a

[624] https://goo.gl/QjcK1t

főtisztek, hogy hajóik milyen célpontokat derítettek fel, illetve milyen veszélyforrások ellen indítottak rakétát. Az információ ilyen szintű megosztása drasztikusan javította a környezetről alkotott képet és a döntéshozási folyamatot is nagyban segítette. (Lényegében hajók közötti AVR kapcsolat volt a szovjet terminológia szerint.)

1964-ben Föld körüli útra indult az USS Enterprise, az USS Long Beach és az USS Bainbridge – a Haditengerészet első három nukleáris meghajtású felszíni hadihajója. Az útra az NTDS gyermekbetegségeit is sikerült legalább valamennyire elfogadható szintre csökkenteni, a korábban órákra, napokra kieső számítógépek és konzolok ekkor már legfeljebb pár percen belül újra működésbe hozhatók lettek, ami persze még mindig nem megnyugtató egy katonai harci rendszertől.

1965-ben a SCANFAR radarok, majd pár év múlva az NTDS vákuumcsöves elektronikáját sikerült leváltani tranzisztoros számítógépekre, ami drasztikus javulást hozott a megbízhatóság és üzembiztonság terén, ám ezzel együtt is a SCANFAR egyértelműen kudarcnak lett minősítve.

A USS Bainbridge fregatt, a USS Long Beach cirkáló és a USS Enterprise repülőgép-hordozó 1964-es körútjukon, jól látható utóbbi kettőn a lapos SCANFAR radarantennák által meghatározott felépítményük, a két eltérő méretű téglalap alakú

Ezen pedig nem segített, hogy a Long Beach még mindig a Talos (egy ikerindító és összesen 52 db rakéta, 2 db AN/SPG-49 tűzvezető radar) és a Tartar rakétákra (két ikerindító és 2x 60 db rakéta, 2x2 db AN/SPG-55 tűzvezető radar) helyezett légvédelmi rendszerrel állt hadrendbe. Ez kvázi 2 db célcsatornát jelentett távoli célpontok ellen, és 4 db célcsatornát a közeli célpontok ellen. Ez akkoriban nem volt kevés, de a Typhoon rendszer által ígérthez képest igencsak elmaradt...

SM-1MR indítása egy Oliver Hazard Perry osztályú fregattról.

A következő lépés tehát a „3T” rakétacsalád leváltása volt egy lehetőleg minél több téren egyező rakétacsaláddal, vagyis a Typhoon rendszer rakétájának továbbvitele, tökéletesíte lebegett a tervezők szeme előtt. Már 1963-ban megindultak az erre vonatkozó fejlesztések, rögtön a Typhoon program törlését követően.

A Standard Missile (SM, később SM-1) program kiindulási alapja a Tartar rakéta volt, az elektronika félvezető-alapúra lett teljesen lecserélve, illetve a hidraulikus vezérsík-mozgató rendszert elektromosan működtetettre cserélték. Ezeket leszámítva a különbségek csak „kozmetikaiak” voltak, ráadásul a Tartar tűzvezető rendszerét használta, tehát problémamentesen lehetett integrálni. Ez volt a RIM-66A jelölésű SM-1 MR (Medium Range), amelynek első változata 32 km-es HMZ-vel bírt. Amennyiben kapott egy szilárd hajtóanyagú gyorsítórakétát, akkor a Terrier indítóállására lehetett helyezni és annak tűzvezető rendszerét használva megkapták a 65 km-es HMZ-vel bíró RIM-67A jelölésű SM-1 ER rakétát (Extended Range, megnövelt hatótávolságú). Az SM-1 MR család lett a NATO szabványosított légvédelmi rakétája, a nagyobb ER változat viszont csak a Terrier indítókkal szerelt amerikai hajókra került csak fel.

Ugyanakkor az SM-1 egyes téren megörökölte elődeinek korlátait, ide tartozott, hogy a rakéta végig félaktív-radar vezérlést használt, tehát nem rendelkezett MCG szakasszal, nem volt optimalizálható a végfázisban és köztes fázisban levő rakéták száma. Csak akkor volt újabb célpontra való indítás, ha az korábban indított rakéták már célba csapódtak, mellé mentek vagy felhagytak azok rávezetésével. Az SM-1 menet közben jobb kettős tolóerejű főhajtóművet, fejlesztett zavarvédelmet és javított felszíni célok elleni képességet kapott (ez utóbbi a Talos óta része a a US Navy légvédelmi rakétáinak), ennek eredménye lett a a RIM-66B (SM-1MR Block V), ami ezzel már 45 km-re növelte a HMZ-t.

6.3.4.4. Az AEGIS rendszer

Az Haditengerészet vezetése tisztában volt vele, hogy a SCANFAR nem teszi lehetővé a kisebb hajókon való alkalmazást, de az NTDS koncepciója rendkívül vonzó volt, tehát úgy döntöttek, hogy új alapokra helyezik a Typhoon program által megfogalmazott elvárásokat. A cél továbbra is az, hogy valahogy kezelni tudják a háborúban (várhatóan) hatalmas mennyiségben beérkező szovjet hajó elleni robotrepülőgépeket, az erre indított program volt az Advanced Surface Missile System (ASMS), amelynek a nevét 1969-ben AEGIS-re változtatták, utalva a görög mitológiai Zeus pajzsára, így jelezve a rendszer elsődleges feladatát.

A koncepció pár téren tovább finomodott, a háttért biztosító számítástechnikai rendszereknél különválasztották a hardver és szoftverfejlesztést, nagy hangsúlyt fektetve arra, hogy folyamatosan lehessen fejleszteni a rendszert, de eközben megőrizzék a különféle rendszerek közötti együttműködés képességét. A hardverelemeknél kiemelt fontosságot kapott a megbízhatóság, akár a teljesítmény kárára is, ami szintén szembement a korábbi programok logikájával, ahol az előre meghatározott elvárásokat akarták teljesíteni bármi áron. A cél pedig az volt, hogy a fejlett számítástechnikai háttér és megbízható (és zavarvédett) adatkapcsolat segedelmével átfogó és teljes képet kapjon a flottacsoport mindegyik hajója a légtérben zajló eseményekről és közben a célok leküzdését megfelelő munkamegosztását is megoldják vele.

Az AEGIS másik fontos eleme az AN/SPY-1 PESA radar, amelynek a SCANFAR-al szemben egyetlen antennából kellene állnia, és a végső tűzvezetés feladatát leszámítva mindent (felderítés, célkövetés, illetve a rakéták számára a pályamódosító parancsok továbbítása) egyedül kell biztosítania.

Az AEGIS megszületése ugyanakkor a technikai nehézségek és költségvetési megszorítások között lassan haladt. Az AN/SPY-1 prototípusát 1974-ben építették be az USS Norton Sound felépítményébe, és az 1970-es évek második felében folyamatos tesztelésnek vetették alá, amelyek tapasztalatait a program tökéletesítésére használták fel. 1977-ben hajtották végre az első két célpont elleni szimultán célleküzdést, ahol két SM-2 rakétával két célgépet sikerült egyszerre megsemmisíteni.

A USS Norton Sound az 1970-es évek végén, látható a felépítmény tetején a két AN/SPY-1 radarantenna (sárga nyilak), felettük az egy szem AN/SPG-62 tűzvezető radar, illetve a taton az újabb Mk.26 kétkaros indító (piros nyíl).

Eközben éles viták zajlottak arról, hogy milyen hajóba építsék be az AEGIS-t, és milyen elgondolás mentén építsék fel a rá épülő légvédelmi koncepciót. Voltak tervek, melyek szerint szinte minden hadihajót az AEGIS valamilyen változatával kellene ellátni. A másik véglet szerint viszont először 32 db, majd „csak" 16 db hatalmas, 17 000 tonnás CSGN jelölésű nukleáris meghajtású cirkáló kapta volna meg, amelyek négyesével vagy párosával lettek volna betagolva a tervezett nyolc teljesen nukleáris hordozócsoportba.

Aztán 20 db, valamivel kisebb, de még mindig nukleáris meghajtású CGN-42 jelölésű (az Arizona-osztály folyománya AEGIS rendszerrel), majd utolsó előttiként 8-12 db CGN-42 cirkáló mellett 28 db, a Spruance-osztályú rombolók hajótestére építkező DDG-47 Ticonderoga-osztályú légvédelmi romboló szolgált volna. Csakhogy a méregdrága CGN-42 programot törölték, így az egyetlen AEGIS hajótípus a Ticonderoga-osztály maradt a '70-es években.

Egy korai CSGN fantáziarajz, a négy AN/SPY-1 antenna a felépítménybe integrálva, a tűzvezető radarok a felépítmény tetején, két Mk.26-os iker karos indító, a felépítmény előtt 6x4 db indítókonténer Tomahawk vagy Harpoon rakéták számára, és egy 127mm-es löveg az orrfedélzeten.

A Ticonderoga-osztályt menet közben folyamatosan fejlesztve cirkálónak minősítették át, és „megnyerte” a légvédelmi irányítás feladatát is (sőt, a flottacsoport vezénylő hajóét is), holott eredetileg inkább a beosztott szerepét szánták neki.

A haditengerészet a folyamatosan visszavágott programok miatt ráadásul kénytelen volt olyan feladatokat is a hajóosztályra „aggatni”, amelyek eredetileg nem rá lettek osztva, például a tengeralattjáró-elhárítás a Spruance-osztályú rombolók feladata lett volna eredetileg, így az első két Ticonderoga-osztályú egység nem rendelkezett vontatott szonárral, és kisebb hangárral bírtak, mint a Spruance osztály. Menet közben ezeket felfejlesztették az elkövetkező alváltozatoknál, amelyekből összesen 5 db (egyre több képességgel bíró) volt az építés alatt. A fejlesztések a helikopter-hangárokat, a vontatott szonárt is érintették, de például az első két egység AN/SPY-1A, az utána következők AN/SPY-1B, míg az utolsó kilenc AN/SPY-1D radarral lettek felszerelve.

A Ticonderoga osztály hajói egy AN/SPS-49 légi felderítő radart is kaptak, amely egyfelől tehermentesítheti az AN/SPY-1-et a célfelderítés terén, így az AN/SPY-1 dedikáltan csak a célkövetéssel foglalkozhat. Másfelől ebből fakadóan csökkentheti az üzemanyag-fogyasztást a hajó. Ez talán mókásan hangozhat elsőre, de az AN/SPY-1-nek akkora az energiaigénye, hogy az alaphelyzetben mintegy 6000 tengeri mérföldes hatótávolságú hajó cirka harmadával kisebb távolságot tehet meg, ha az AN/SPY-1 radarok teljes teljesítménnyel üzemelnek végig.[625]

Repülőgép-hordozó csoport védelme esetén ez nem akkora probléma, az esetek többségében elégséges, ha egyes hajók csak egyes irányokat, vagy a hajók időarányosan megosztják a radarok használatát, nem kell minden hajónak folyamatosan üzemeltetni a legnagyobb teljesítményű radart.

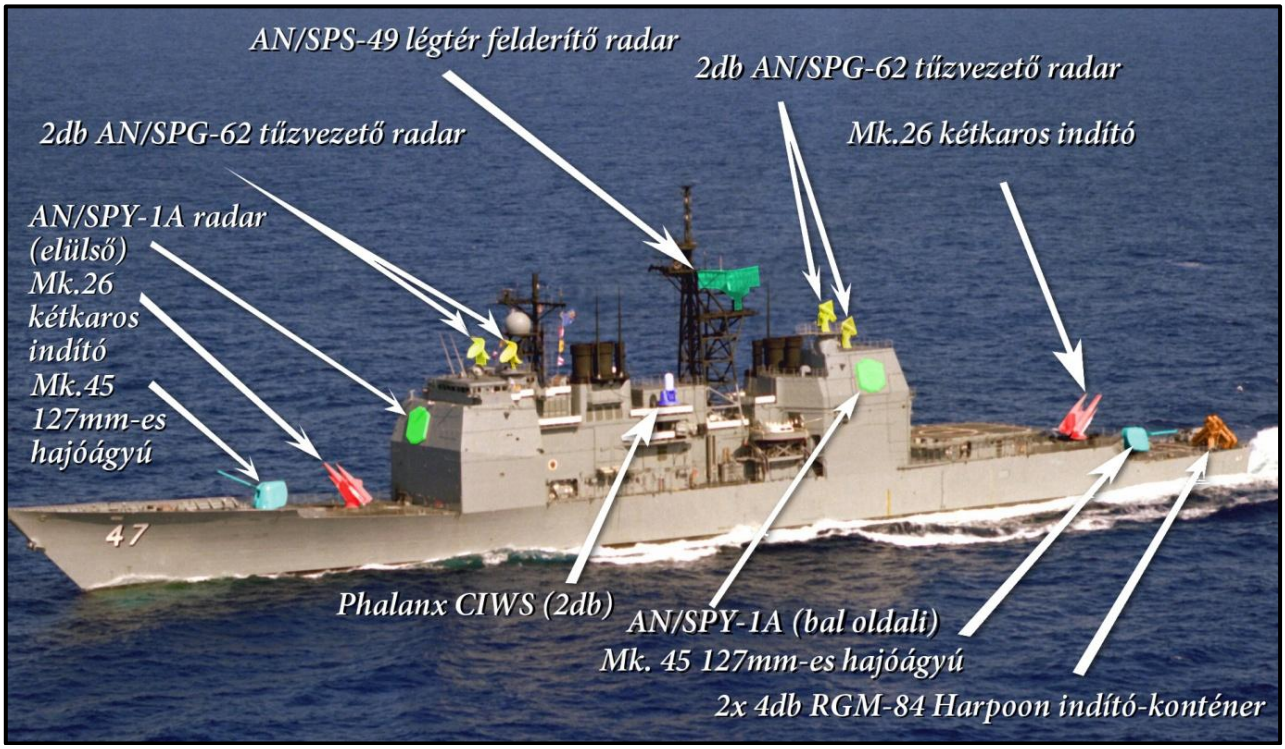
A probléma a későbbi Arleigh Bruke-osztályú rombolónál jelentkezett, amely takarékossági okokból nem kapott AN/SPS-49-et, tehát a légtér felderítéséhez csak az AN/SPY-1D-re támaszkodhat...

Egy korai Ticonderoga-osztályú hajó CIC helysége, a cél a döntéshozóknak a lehető legátláthatóbb és folyamatosan a legfrissebb kép biztosítása a környező légi, tengeri és tenger alatti helyzetről

[625] http://www.harpoonhq.com/waypoint/articles/Article_044.pdf

A legkomolyabb változást a hatodik egységtől megjelent Mk.41 VLS indítók jelentették, az első öt hajón 2 db Mk.26 kétkaros indítóállványt építettek be az első és a hátsó fedélzetre, 44-44 rakétával. A USS Bunker Hill-től kezdve viszont 2x 61 db cellás VLS rendszer került ezek helyére (a VLS „csomagban” a 62-dik helyen a tubusok újra töltésére használatos daru foglalt helyet), ráadásul az Mk.41-esekbe Tomahawk csapásmérő robotrepülőgépeket is el lehetett helyezni, vagyis ellenséges hajók elleni csapásmérésre is képessé vált a hajóosztály.

Az Mk.26 kétkaros indítókra visszatérve még érdemes megjegyezni, hogy az Haditengerészet a biztos célmegsemmisítéshez két rakétaindítást tart(ott) szükségesnek célpontonként. Vagyis egyszerre csak két célpont ellen lehetett egyszerre rakétát indítani, márpedig az Mk.26 esetében az újra töltés kb. 10 másodpercet vett igénybe, vagyis 10 másodperc alatt mindössze 4 db rakétát lehetett indítani (két darab célpont ellen), míg az Mk.41 VLS esetében ez 10 másperc alatt 10 db rakétára nőtt (5 db célpont ellen).



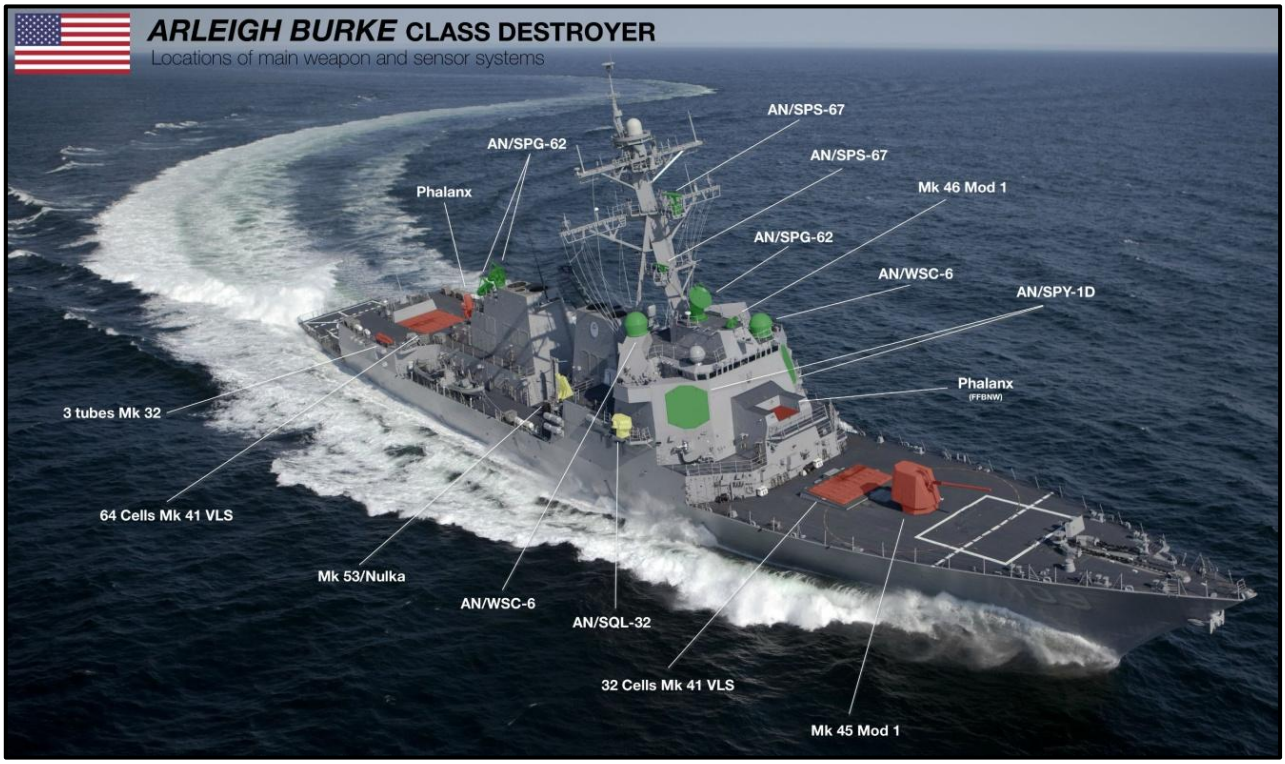
Az USS Ticonderoga fegyverzete és főbb radarrendszerei

A Ticonderogák légvédelem terén alapvetően az SM-2MR (majd a VLS indítók esetén már az ER is) családra építkeztek, amelyből maximum négyet tudnak végfázisban rávezetni, ennyi AN/SPG-62 folyamatos hullámú célmegvilágító radart helyeztek el a felépítményen (kettő egymás mellett előre néz, kettő pedig egymás mögött, lépcsőzetesen hátrafelé). A légvédelmi fegyverzethez alaphelyzetben még két Phalanx közellégvédelmi rendszer került integrálása, továbbá a hajó fegyverzetébe tartozik 2x4 db Harpoon indító konténer, két 127mm-es hajóágyú, 2 db tripla torpedóvetőcső illetve kézzel kezelt géppuskák. Amiben a Ticonderoga és az AEGIS harci rendszer első volt, hogy mindezeket egy komplex rendszerrel, az AEGIS Combat System-el felügyelik.

Ezzel együtt a Ticonderoga-osztály korántsem volt az a fegyver, amire a flotta vágyott, hiába ez volt az „olcsó” opció az AEGIS hajókra, így is méregdrága volt, és lassan készültek el velük. 1983-ban állt hadrendbe az USS Ticonderoga, de csak az 1980-as évek legvégére kezdett el felpörögni a hajóosztály további egységeinek a gyártása. A flottacsoportokon belül a teljes értékű légvédelmi együttműködéshez mindegyik hajónak AEGIS rendszerrel kellett volna bírnia, ám ezt már jól láthatóan csak ezzel az egy hajóosztállyal nem tudták megoldani.

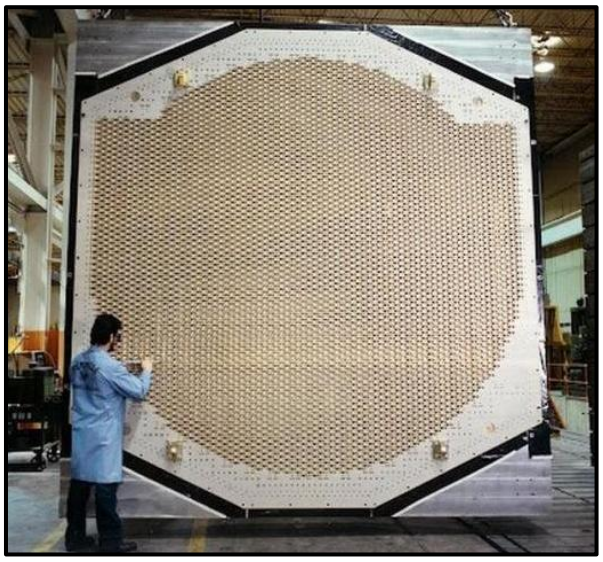
A fenti problémára adott válasz az Arleigh Burke-osztályú romboló lett. Noha méreteiben és vízkiszorításában közel akkora (sőt, a későbbi változatai már nagyobbak/nehezebbek), mint a Ticonderoga-osztály, ezek általános célú egységek, légvédelmi, vízfelszíni, felszín alatti és szárazföldi célok elleni feladatkörrel, és gyakorlatilag kiváltottak minden korábbi nagyobb hadihajóosztályt az US Navy kötelékében (ezen sorok írásakor 66 példánya van hadrendben és további legalább tíz építését tervezik).

A Ticonderoga-osztály megmaradt parancsnoki egységnek, de képességek terén a legfőbb különbség, hogy a Burke első változatai „csak” 90 db, a 21-edik egységtől (USS Mahan), Flight II jelöléssel illetett változatoktól kezdve 96 db Mk.41 VLS tubussal/cellával rendelkezik. A fegyverzetük ezt leszámítva nagyjából megegyezik a Ticonderoga-osztályéval, pár további kompromisszum mellett, mint például csak 3 db AN/SPG-62 tűzvezető radarral bír, illetve az első 27 egység (Flight I. és II.) nem rendelkezik hangárral, csak helikopter-leszállóhellyel a taton, így nem is visznek magukkal helikoptert.



Az Arleigh Burke-osztály Flight IIA változatának fegyverzete és felszíni szenzorjai

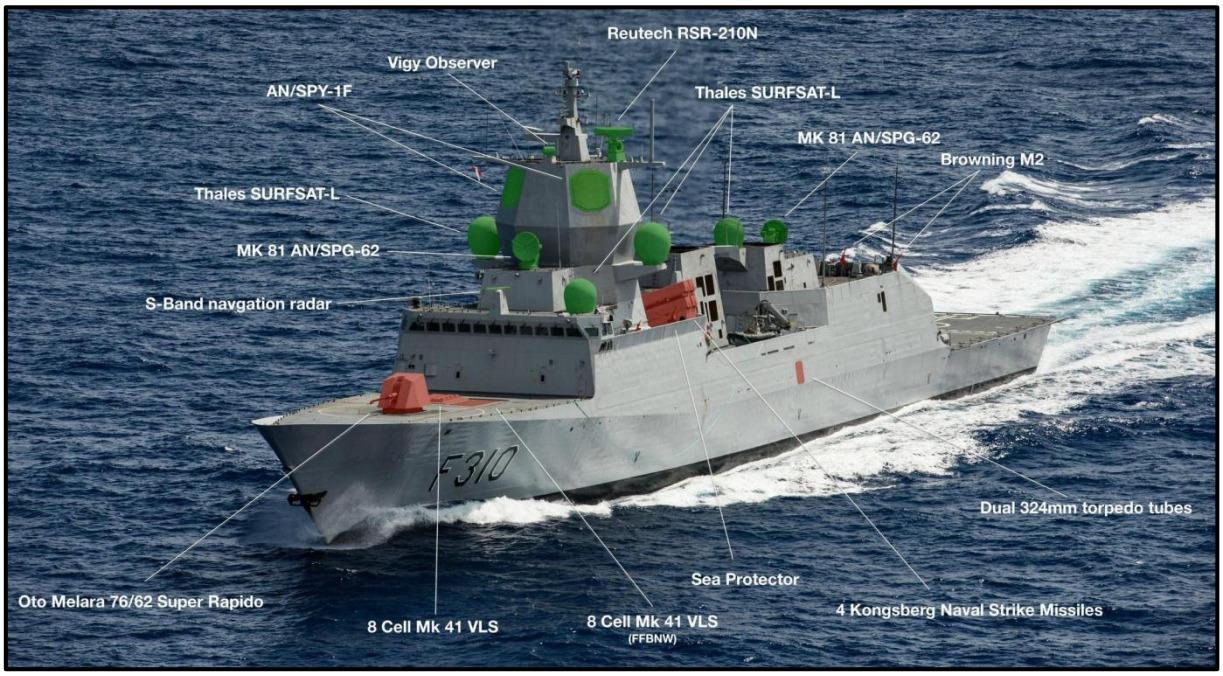
A Flight IIA változatoktól kezdődően megtörtént az ESSM Block 1 rakéták integrációja is, jellemzően 4-4 db tubust töltenek fel, ami összesen 32 db tűzkész rakétát jelent, egy SM rakéta helyett 4 db ESSM tárazható be. Ezeket végfázisban szintén az AN/SPG-62 radarok vezetik rá. A két hátsó AN/SPY-1D(V) antennát némileg magasabbra építették be. Érdekesség, hogy a Flight IIA-tól kezdődően a 2x4 db Harpoon indítótubus hiányzik a felépítményről, viszont zárt hangárt építettek a hajó tatjára, amelybe két MH-60 helikopter fér el, cserébe viszont feláldozták a vontatott szonárt.



Egy AN/SPY-1D radar antennája a külső védőborítás nélkül

Térjünk vissza magához az AEGIS rendszerhez, illetve annak egyik sarokkövéhez, az AN/SPY-1 PESA radarhoz. Az antennák az AN/SPY-1B/D változat mintegy 3,7 méteres átmérőjű, 4350 db antenna-elemből áll, amelyeket (a Ticonderoga-osztályon) 2x 32 db jel-generátor táplál. A radar maga S sávban üzemel (azon is belül 3,1-3,5 GHz tartományban). A tűnyaláb az első változatnál még 1,7x1,7, az AN/SPY-1B-től kezdve feltehetően 1,5x1,5 fokosak. A korai verziókat még kifejezetten a nyílttengeri feladatkörhöz szánták, így viszont a földháttér zavarására nem volt felkészítve, ezt kisebb mértékben az -1B, majd komolyabb mértékben az -1D és -1D(V) változatokban orvosolták.

Az AN/SPY-1D változatok eredetileg a Burke-osztály számára készültek, de végül az utolsó kilenc Ticonderoga-osztályba is ezeket építették be. A Burke-osztálynál egy 32 darabos jel-generátor szolgálja ki mind a négy antennát, ezért került mindegyik antenna az elülső felépítményre. Az -1D változat esetében utólagosan, de kiemelt figyelmet kapott a ballisztikus rakéták felderítésére és követésére, amelynek részeként függőlegesen jobban kitéríthetők a tűnyalábok, emiatt viszont a ballisztikus rakétavédelmi feladatkörre csak az AN/SPY-1D (és -1D(V)) radarral felszerelt hajóegységek alkalmasak. Az AN/SPY-1D(V) 2003-ban került hadrendbe, és kifejezetten a sekélyvízi, sok mozgó (akár vízi és szárazföldi) járművet is kezelni képes, a földháttér környezetet is jól kezelő verzió lett.



A Fridtjof Nansen fregatt, a felépítmény tetején lévő „turbán”-nak köszönhetően az AN/SPY-1F radarok magasabban vannak, mint a Ticonderoga vagy Arleigh Burke-osztályú hajók AN/SPY-1A/B/D radarjai.

Az AN/SPY-1F és -1K változatot elsődlegesen exportra szánták, előbbi 1856 db antenna-elemből áll és 2,4 méteres az átmérője, utóbbi 912 db elemből áll és mindössze 1,7 méteres. Ezek a változatok ugyanakkor korlátozott kepeségekkel bírnak, például a TBM integrációból kiesnek, így az SM-3 rakétákhoz sem párosíthatók. Az -1F változat a spanyol Álvaro de Bazán-osztályú és a norvég Fridtjof Nansen-osztályú fregattokra került beépítésre, előbbi hajóosztály SM-2MR Block IIIA és ESSM, utóbbi osztály jelenleg csak

ESSM rakétákkal rendelkezik, mindkét osztálynál két darab tűzvezető radart szereltek fel, tehát végfázisban egyszerre csak két célpontot tudnak kezelni. Az -1K változat eredetileg egy kisméretű Izraelnek szánt korvettre került volna, de megrendelésre nem került sor.

Az AEGIS rendszer képességeit a radar mögött álló számítási teljesítmény határozza meg. Az első AEGIS rendszerek részben az 1960-as évek végén az NTDS-hez szánt, félvezetőkre épült AN/UYK-7 számítógépekre, továbbá a már újabb, 1970-es években tervezett AN/UYK-20 számítógépeket használta egymás mellett. A nagy váltást az 1980-as években megjelent 16 bites, kb. 2MB memóriával rendelkező AN/UYK-43/-44 hozta el, ez az univerzális számítógép szinte mindegyik amerikai hadihajón és tengeralattjárón ilyen vagy olyan céllal, de alkalmazásba lett véve. Az 1990-es években nyilvánvalóvá vált, hogy a dedikált katonai célú, strapabíróra épített számítógépek kullognak a modern civil szférában alkalmazott számítástechnikai eszközök mögött, ezért 1998-tól kezdve az AN/UYK-44-esek mellé párhuzamosan kereskedelmi forgalomban kapható „hagyományos”, x86-os architektúrára építkező szervereket építettek be, majd 2002-től már kifejezetten utóbbiakra építkező megoldásokra tértek át.

Egy AN/AYK-20 számítógép kezelőpanelje

A hardverváltás mellé bejött a szoftveres háttér változtatása is. Az AEGIS fejlesztésének hajnalán is nyilvánvalóvá vált, hogy menet közben egyre gyorsabb és gyorsabb számítógépek várnak elérhetővé a félvezető ipar gyors fejlődése majd robbanásszerű fejlődésének köszönhetően, ezért egy „közös” programozási nyelvet kellett kifejleszteni, ez lett a CMS-2.

A CMS-2 esetében megoldották azt, hogy fussanak a programok az AN/UYK-7 / -20 / -43 és -44 gépeken is, ehhez pedig egy nagyon-nagyon alapszintű operációs rendszert fektettek le, amely lehetővé tette ezt. Vagyis nem volt szükség arra, hogy mindig mindent specifikusan az adott gépre megírjanak (megjegyzés: ugyanakkor ez azt is jelentette, hogy az adatok frissítési időköze a régebbi hardveren magasabb volt). Ha megírtak egy programot (ill. részprogramot), az mindegyik gépen lefuttatható volt. Viszont a kifejezetten katonai célra kifejlesztett CMS-2 programozási nyelv nem volt túl elterjedt, így nehéz volt programozókat toborozni hozzá. Így az 1990-es évek végén a hardverváltással együtt fokozatosan sokkal népszerűbb Ada és C++ programozási nyelvre tértek át, majd 2002-től a CMS-2 komponenseket teljesen kiváltották, végül az Ada helyére a Java nyelvet vezették be a 2000-es évek közepétől.

Elsőre ez talán furcsának tűnhet, hiszen egy harci célra épült rendszerbe nem tűnik ideálisnak a kereskedelmi megoldás, ám a valóság az, hogy sokkal rugalmasabb lett az egész rendszer ennek köszönhetően. A kereskedelmi piacon elérhető számítógépek teljesítménye robbanásszerűen nőt, márpedig a radarok adatainak feldolgozásához, a külső adatkapcsolatokból beérkező információk összevetéséhez a saját információkkal, a céljelek értelmezéséhez, a rakéták pályájának megtervezéséhez mind-mind számítási teljesítmény szükséges.

Minél nagyobb a rendelkezésre álló számítási teljesítmény, annál jobb és hatékonyabb lehet a légvédelmi rendszer, a kereskedelmi hardverekre és szoftvernyelvekre építkezve pedig rugalmasabb lehet a fejlesztés, könnyebb lehet adott esetben csereopciókat találni[626]

Hiába a modern LCD kijelző, a fontos adatokat egy előtte elhelyezett plexi lapra filctollal jegyzik fel

6.3.4.5. A Standard Missile család folyományai

Standard Missile család fejlesztése nem állt le az első rakéta változatok hadrendbe állításával. Az SM-2 rakéta még „örökölte" az SM-1 MR/ER párosítást, ahol az ER változat egy gyorsítófokozatot kapott, de végre beépítettek a rendszerbe az adatkapcsolat lehetőségét, így nem volt szükség folyamatosan megvilágítani a célpontot a folyamatos hullámú (CW) sugárzókkal.

A probléma az volt, hogy a régebbi hajók nem rendelkeztek adatkapcsolattal, így a vezérlő rendszerbe ilyen esetben előre programozták indítás előtt az előre kiszámolt legoptimálisabb pályát, és a rakéta ezt követte, remélve, hogy a végfázisban a célpont közel lesz az előre kiszámolt pozícióhoz, hogy a rakéta saját érzékelője befogja azt. Ez némileg kockázatos megközelítés, ám cserébe a tűzvezető radaroknak nem kell már az indításkor is besugározni a célpontot, legalább minimális mértékben növelhető volt így az időegység alatt leküzdhető célpontok száma.

Az irányítórendszer másik jelentős újítása a monoimpulzus antenna megjelenése, ami jobb zavarvédettséget biztosított. Az SM-2 család eredetileg az AEGIS hajókhoz volt szánva, ám a helyzet úgy hozta, hogy integrálni kellett a meglévő hadihajók fegyverzetébe, mivel az AEGIS drága és bonyolult megoldás volt. Hogy a régebbi hajók is megfelelő légvédelmi képességet kaphassanak, az NTU (New Threat Update) program keretében új (ám hagyományos) radarokkal és tűzvezető rendszerrel látták el, illetve az SM-2MR/ER rakéták integrációját is megvalósították.

Ennek a fonákja viszont az volt, hogy például az eredetileg a Terrier rakétákhoz felszerelt hajók esetén a tűzvezető radar korlátozta be immár a rakéták hatótávolságát. Az aerodinamikailag és ballisztikailag kedvezőbb elfogási pályának, majd az SM-2ER Block II-nél egy még nagyobb teljesítményű gyorsító

[626] *2014-ben az IBM x86-os szerver üzletágát megvásárolta a Lenovo nevű kínai cég. Az US NAVY a 2000-es évektől IBM x86 BladeCenter (HT) szerverekre épített az AEGIS számítástechnikai hardverét, így kénytelenek voltak más beszállító után nézni – végül egy General Micro System (GMS) nevű cég nyerte el a lehetőséget, és azóta ő biztosítja a hardvert.*

fokozatnak köszönhetően a rakéta elméleti (a rakéta mozgásparaméterei által biztosított) hatótávolsága már kb. 185 km volt, viszont a régebbi tűzvezető radarok tervezésekor ennél sokkal kisebb távolságokkal számoltak a tervezők.

A USS Reeves cirkáló az NTU után, az orrfedélzeten egy Mk.10 kétkaros indító két (gyakorló) SM-2ER rakétával, a felépítmény tetején két Mk.55 tűzvezető radar látható – a Terrier rendszer örökségei

Az SM-2ER Block III esetében a menethajtóművet is az új lehetőségekhez optimalizálták, illetve megkapta az alacsonyan repülő célpontok elfogását lehetővé tévő új Mk.45 Mod 8 közelségi gyújtót, amellyel a cirka 6-8 méterrel a tenger felett haladó célokat is leküzdhették (ez a korábbi változatoknál először 25, majd 15 méter körül mozgott).

Az Mk.41 VLS indítókba nem fértek el az eredeti SM-2ER rakéták, így egy külön, vezérsíkok nélküli a gyorsító fokozattal szerelt, és azt TVC kormányzással pótló változat született meg, SM-2ER Block IV jelöléssel (ez viszont csak 1999-ben állt szolgálatba, addig a VLS indítós hajók csak SM-2MR-el bírtak),RIM-156 típusjelzéssel. Az SM-2ER utolsó fejlődési lépése a Block IVA lett volna, amelynek kifejlesztése részben a ballisztikus rakéták elleni céllal indult, aktív radar és képalkotó IR érzékelőkkel, ám végül ezt 2001-ben törölték.

A kisebb SM-2MR rakéták közül a Block II-től jelentek meg a dedikáltan a VLS indítóba szánt alváltozatok, a Block III (1988) legnagyobb újítása a már említett Mk.45 Mod 8 közelségi gyújtó, amelyet a kis magasságban beérkező hajó elleni rakéták és robotrepülőgépek ellen készítettek fel.

A Block IIIA egy hatékonyabb harci fejet kapott 1991-től, míg a legnagyobb ugrás az eredetileg azAIM-7R-hez kifejlesztett kettős, félaktív radar és IR önirányító rendszer párosítása volt a Block IIIB-nél, amely 1998-ban állt hadrendbe. Ennél a változatnál az IR érzékelőt a rakéta orrán egy házban helyezték el. *(Balra fent a képen látható az érzékelő, felnyitva a burkolat és a rakétán magán.)*

A ballisztikus rakétaelhárításra dedikáltan az SM-2ER Block IVA-ból kifejlesztett RIM-161 SM-3 rakéta változat lett. Ez a Block IV gyorsító- és menethajtóművét használja, de kapott egy harmadik fokozatot, sőt, gyakorlatilag maga a harci fej negyedik fokozatnak tekinthető, mivel saját manőverező rakétahajtóművekkel rendelkezik. Alapvetően a rakéta célja a ballisztikus rakétákat a repülés középső fázisában, vagyis a légkörön túli elfogása.

Az SM-3 harci fejét a végfázisig egy áramvonalazó kúp takarja, így amíg le nem válik, az AEGIS rendszer adatkapcsolatán keresztül irányítják. A végfázisban az áramvonalazó kúp leválik (mivel ez már a legfelső légkörben, vagy akár a világűrben is lehet, így ez nem okoz problémát aerodinamikailag), és infravörös keresőjével a fej saját magát vezeti rá, a célpontot pedig kinetikai módon becsapódással semmisíti meg.

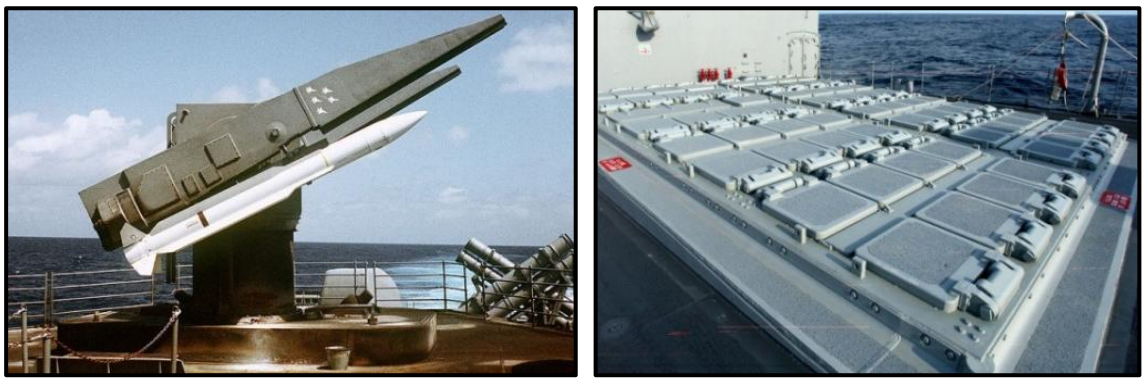
Egy RIM-156 SM-2ER Block IV rakéta indítása a Ticonderoga-osztályú USS Lake Erie fedélzetéről

A Block IA változatnál két különböző frekvencián dolgozó érzékelőre váltottak, a komolyabb előrelépés a Block IIA esetében a nagyobb átmérőjű rakétatest, és ezáltal menethajtómű (második és harmadik fokozat) és nagyobb harci fej, amely tovább képes üzemelni (az IRBM rakéták jóval magasabb pályája miatt volt erre szükség, amelyek ellen ez a változat is bevethető). A jelenleg még fejlesztés alatt álló Block IIB még nagyobb átmérőjű rakétatestet, újabb hajtóművet, és folyékony hajtóanyagú harmadik fokozatot fog majd kapni, várhatóan 2020 körül állhat hadrendbe.

Az SM-3 Block IIA és az SM-6 rakéta makettjei. A gyorsító fokozat és a menethajtómű (második fokozat) teljesen azonos.

Az SM-2ER Block IVA elhalálozása után (lásd előző oldalon) tehát a ballisztikus rakétavédelmi feladat egyik felét (a ballisztikus rakéták középső fázisban való elfogását) megoldották, de a légvédelmi képességek terén továbbra is komoly rés volt. A fenti rakétának az aktív radaros érzékelője elsődlegesen ugyanis a horizont alá bukó távoli célok leküzdése miatt volt megkívánt. Ezt a RIM-174 SM-6 szándékozta orvosolni, amely gyakorlatilag egy SM-2 Block IV, amelynek az orrába az AIM-120C AMRAAM radarja került egy nagyobb átmérőjű antennával, a végfázisban ez vezeti célra a rakétát.

Az SM-6 azonban nem szándékozik kiváltani az SM-2MR Block IIIB és az SM-2ER Block IV rakétákat, hanem azok mellett jelenik meg az AEGIS légvédelmi rendszerrel bíró hajók fegyverzetében. Az SM-6 másodlagos feladata a Dual I. fejlesztési csomag (amely nagyobb teljesítményű fedélzeti processzort, és célspecifikus célkövető szoftvert tartalmaz) a ballisztikus rakéták elfogása a végfázisban, tehát a célba csapódás előtt. Ez legalábbis részben a kínai repülőgép-hordozók elleni ballisztikus rakéták megjelenésére adott válasz.



MK-26 indító RIM-66 SM-1MR rakétával (balra), Mk-41 VLS indító, zárt fedelekkel (jobbra).

AZ SM rakétacsalád evolúciójának és változatainak megértéséhez a következő oldalakon található összefoglaló táblázat nyújt segítséget.

MR	IOC	Megjegyzés	ER	IOC	Megjegyzés
RIM-66A SM-1MR Block I/II/III	1967	Kísérleti / előszériás változatok, Mk.56 kettős tolóerejű hajtómű	**RIM-67A SM-1ER Block I/II/III**	1967	Megfelel az adott SM-1MR változatnak, a Terrier rendszer számára, kivéve, hogy két fokozatú, egy Mk.12 gyorsító fokozat és egy Mk.30 menethajtómű fokozattal
RIM-66A SM-1MR Block IV	1968	Sorozatgyártásba került, hadrendbe állt, a Tartar rakétákat váltotta	**RIM-67A SM-1ER Block IV**	1968	Megfelel az SM-1MR Block IV-nek, a hajtóműveket leszámítva
RIM-66B SM-1MR Block V	1970	Új robotpilóta, erősebb kettős tolóerejű hajtómű, új Mk.90 repeszhatású harci fej	**RIM-67A SM-1ER Block V**	1970	Megfelel az SM-1MR Block V-nek, a hajtóműveket leszámítva, ami maradt az Mk.12 / Mk.30 páros
RIM-66C SM-2MR Block I	1978	A Ticonderoga Mk.26 kétkaros indítóhoz szánt változat, új robotpilóta, inerciális / MCG irányítás a középső fázisban, monopulse kereső, Mk.115 repeszhatású harci fej	**RIM-67B SM-2ER Block I**	1980	Megfelel az SM-2MR Block I-nek, a hajtóművet leszámítva, ami maradt az Mk.12 / Mk.30 páros, az Mk.26 indítós AEGIS és az NTU-s Terrier hajók számára.
RIM-66D SM-2MR Block I	1978	Az SM-2MR Block I rakéta Tartar NTU rendszerekhez	-		
RIM-66E SM-1MR Block VI/VIA/VIB	1983	Az NTU-t nem kapott Tartar/Terrier rendszerekre szánt változat, az SM-2MR/ER Block I képességeivel, mínusz MCG (helyette inerciális irányítás a középső fázisban), a Block IVA és IVB az újabb gyújtókban tér el	-		
RIM-66G SM-2 MR Block II	1983	Erősebb Mk.104 hajtómű, csaknem megduplázott hatótáv és új Mk.125 repeszhatású harci fej, Mk.26 indítós Ticonderogák számára	**RIM-67C SM-2ER Block II**	1983	Megfelel az SM-2MR Block II-nek, de Mk.12 gyorsító és új Mk.70 menethajtóművel, az SM-2ER Block az Mk.26 indítós Ticonderoga és az NTU-s Terrier hajókon egyaránt használható volt
RIM-66H SM-2MR Block II	1983	Mint a RIM-66G, csak a VLS indítós AEGIS hajók részére	-		
RIM-66J SM-2MR Block II	1983	Mint a RIM-66G, csak az NTU-t kapott Tartar rendszerek részére	-		
RIM-66K SM-2MR Block III	1990	Mk.45 Mod 9 gyújtó a nagyon kis magasságú célpontok ellen, NTU-t kapott Tartar rendszerekhez	**RIM-67D SM-2ER Block III**	1988	Megfelel az SM-2MR Block II-nek, de Mk.12 gyorsító és új Mk.30 Mod4 menethajtóművel, az SM-2ER Block III az Mk.26 indítós Ticonderoga és az NTU-s Terrier hajókon egyaránt használható volt
RIM-66L SM-2MR Block III	1990	Mint RIM-66K de az Mk.26 indítós AEGIS hajók részére	-		
RIM-66M SM-2MR Block III	1990	Mint RIM-66K de a VLS indítós AEGIS hajók részére	-		

MR	IOC	Megjegyzés	ER	IOC	Megjegyzés
RIM-66K-2 SM-2MR Block IIIA	1991	Mk.125 repeszhatású harci fej, NTU-t kapott Tartar rendszerek számára	**RIM-156A SM-2ER Block IV**	1998	Megfelel az SM-2MR Block III-nak, de Mk.72 TVC képes gyorsító fokozattal és Mk.30 Mod4 menethajtóművel, csak a VLS indítós AEGIS hajók számára
RIM-66L-2 SM-2MR Block IIIA	1991	Mint RIM-66K-2, de a Mk.26 indítós AEGIS hajók részére	-		
RIM-66M-2 SM-2MR Block IIIA	1991	Mint RIM-66K-2, de a VLS indítós AEGIS hajók részére	-		
RIM-66M-5 SM-2MR Block IIIB	1998	Kettős aktív radar / infravörös képalkotó érzékelős önirányítás a végfázisban, csak a VLS indítós AEGIS hajók számára	**SM-2ER Block IVA**	N/A	Eredetileg kettős légvédelmi / ballisztikus rakétaelhárító változat aktív radar / képalkotó infravörös önirányítással a végső fázisban, 2001-ben a programot leállították
RGM-165 SM-4 LASM	N/A	Az SM-2MR Block III dedikált szárazföldi célpontokat támadni képes, INS/GPS irányítású változata, a partmenti műveleteinek tűztámogatására terveztek. A harci feje maradt az Mk.125-ös. 2002-ben a programot törölték.	-		
			RIM-161A SM-3 Block I	2005	Dedikált ballisztikus rakétaelhárító változat az SM-2ER Block IVA alapján, egy harmadik fokozattal és IR önirányító, manőverező kinetikai fejjel. Az SM-3 a célpont rakétát annak a középső repülési fázisában, a légkörön túl semmisíti meg.
			RIM-174 SM-6 Block I	2013	Az SM-2ER Block IVA alapján készült változat, az orrában az AIM-120C egy nagyobb átmérőjű (340mm-es) antennájával, a végfázisban aktív radaros önirányítással
			RIM-161B SM-3 Block IA	2014	Új harci fej, új, 2 frekvenciás érzékelővel és manőverező hajtóművekkel
			RIM-161D SM-3 Block IIA	?	Új, 530mm átmérőjű rakétatest, nagyobb teljesítmény, várható IOC 2018(?)
			SM-6 Dual I (Block IA)	?	Új változata kettős aktív radar és képalkotó infravörös végfázis vezérléssel, képességeinél megjelent a ballisztikus rakéták végfázisban való elfogása, várható IOC 2018(?)
			SM-3 Block IIB	?	Még nagyobb átmérőjű rakétatest, folyékony hajtóanyagú harmadik fokozat, könnyebb harci fej, várható IOC 2020+

Források: http://www.designation-systems.net/ ; http://www.alternatewars.com/BBOW/Weapons/US_Standard_Missiles.htm ; http://www.deagel.com/

6.3.5. Szovjet-orosz haditengerészeti légvédelmi rakéta-rendszerek

A hadrendbe állított szovjet-orosz haditengerészeti légvédelmi rendszerek egyetlen kivételtől eltekintve rendelkeztek szárazföldi változattal, ezért ezek bemutatása részletesen nem történik meg, a lenti táblázat alapján beazonosítható, hogy a haditengerészeti változat melyik szárazföldinek felel meg.

NATO típusjelzés	*szárazföldi megfelelője*	*Hajóosztályok, megjegyzések*
SA-N-1	Sz-125M Nyeva	Kotlin SAM-, Kashin-, Kynda-, Kresta I.-osztály
SA-N-2	Sz-75 Gyeszna	Tesztelés után nem állították hadrendbe a veszélyes folyékony rakéta-hajtóanyag miatt
SA-N-3	-	M-11 Storm rendszer; Moszkva-, Kijev-, Kresta II- és Kara-hajóosztályok
SA-N-4	9K33 Osza	Kara-, Krivak-, Kirov-, Szlava- és Gepard-osztályok
SA-N-5	9K32 Sztrela-2	Főleg kisebb hadihajókon, kézzel kezelt indítóállványokról
SA-N-6	Sz-300PSz Sz-300PM1	Sz-300F és Sz-300FM; Kirov- és Szlava-osztály, az Sz-300FM csak a Nagy Péter cirkálóra került, ott is csak az elülső az (a hátsó maradt Sz-300F)
SA-N-7	9K37 Buk-M1	Korai Szovremennij-osztály (Projekt 956)
SA-N-8	9K34 Sztrela-3	Főleg kisebb hadihajókon, kézzel kezelt indítóállványokról
SA-N-9	9K331 Tor-M1	Kirov-, Udaloj I. és II.-, Neusztrasimij-osztály
SA-N-10	9K38 Igla	Főleg kisebb hadihajókon, kézzel kezelt indítóállványokról
SA-N-11	2K22M Tunguszka	Kortik / Kasztán;[627] gyakorlatilag egy CIWS rendszer; modern nagyobb felszíni egységek (a két utolsó Kirov-osztály, Udaloj II.-osztály, stb.)
SA-N-12	9K37M1 Buk-M1-2	A Szovremennij osztály 9. egységétől (Projekt 956A/E/EM); Sthil/Szmercs név alatt VLS változata is létezik, pl. Admiral Grigorovics-osztályon
	Szoszna	Palas/Palma, CIWS rendszer, a Kortik/Kasztán rendszer könnyebb változata, saját radar nélkül, csak EO/IR érzékelőkkel és Sosna-R rakétákkal
	Sz-350	Redut néven ismert; Admiral Gorskov-osztályú fregatt
	Sz-400	Kirov-osztály felújításakor erre cserélik le az Sz-300F (SA-N-6) rendszert
	Sz-500	Jelenleg még csak tervek szintjén

Az egy kivétel az M-11 Storm, amelyet eredetileg a nagyméretű Projekt 1126 légvédelmi cirkáló részére kezdtek el tervezni még az 1950-es évek végén. A hajóosztályt 1961-ben lehúzták a fejlesztési listáról, és vele együtt az M-11 légvédelmi rendszert is, de 1962-ben újraindították a programot, ezúttal már a Moszkva-osztályú helikopter-hordozó számára.

[627] https://www.youtube.com/watch?v=J7ssNPxyHp8

Két V-611 rakéta egy dupla karos indítóállványon

A Storm legnagyobb újítása az 1,84 tonnás 4K60 egyfokozatú rakéta szilárd hajtóanyagú rakétahajtóműve volt, amely kettős tolóerővel bírt, az indítás után kb. 1200 m/s sebességre gyorsította a rakétát, majd a repülési magasságtól függően átlagosan 800 m/s utazósebességet biztosított. A szilárd hajtóanyag sokkal egyszerűbb üzemeltetést és nagyobb megbízhatóságot nyújtott, ami elvárás volt a haditengerészet részéről a folyékony hajtóanyagú légvédelmi rakéták után.

A 4K60 maximális hatótávolsága 33,5km volt, a maximális célmagasság 25 km. Az irányítása parancsközlő rádió-távirányítás, és noha egy 4R60 tűzvezető rendszer két különálló követő/parancsközlő antennával (amelyek más-más frekvencián sugároztak) bírt két rakéta számára, ez csak a nagyobb megbízhatóságot szolgálta, valójában egy célcsatornával és két rakéta-csatornával bírt a rendszer tűzvezető antennacsoportonként. A rendszer az alacsonyan repülő célok miatt egy kisebb távon belül érzékeny közelségi gyújtót kapott, ez a 4K65 rakétaváltozaton volt megtalálható.

A GROM tűzvezető rendszer, felső két antenna követi a rakétákat, két alsó nagyobb antenna a célpontot, a kettő között-alatti parabola antenna továbbítja a parancsjelet mindkét rakétának. (Nagyon hasonló a Krug vezérléséhez.)

A rendszer kétkaros indítóállvánnyal bír, a Moszkva- (Projekt 1123) és Kijev- (Projekt 1143) osztályú helikopter-hordozókon 2 db indító volt, alattuk két szinten (fedélzeten) 2 db, 6-6 db rakétát tároló forgótárral (összesen 96 db rakétával a hajó fedélzetén).

A Projekt 1134A (Kresta II) és a Projekt 1134B (Kara) osztályon 2 db dupla indító helyeztek el, ezekhez egy fedélzeten 2 db, 6-6 db rakétás forgótár tárolta a tűzkész rakétákat. Az előbbi hajóosztályon 48 db (később már 72 db), utóbbiakon 80 db rakétát tároltak a fedélzeten.

A (Poliment-) Redut rendszer a jövő zenéje. Ezt még az 1990-es évek végén eredetileg a haditengerészet részére kezdték el fejleszteni, 4 darab fix antennával, VLS indítóban tárolt önirányító rakétákkal. A Redut mellé összesen három féle rakétát lehet párosítani, mindegyikük egyfokozatú, szilárd hajtóanyagú hajtóművel szerelt. A 9M96D vagy M jelölésű rakéta kb. 100-120km hatótávolságú, aktív radaros önirányítású a végfázisban, a kisebb és könnyebb 9M96 rakétából (egyes források szerint egy VLS-be négyet lehet elhelyezni belőle, de ez tévesnek tűnik lévén az átmérője megegyezik a 9M96D/M változattal), hatótávolsága 40 km körül lehet, vezérlése a végfázisban szintén aktív radaros.

A 9M100 fejlesztése még folyamatban van, elvben ez egy még kisebb rakéta (bár azt, hogy egy VLS-be 16 db rakétát lehet elhelyezni, kicsit nehezen megemészthető, lévén a méretei nem szignifikánsan kisebbek, mint a 9M96-nak, igaz a tömege kb. harmada), amely 10-15 km-es hatótávolsággal bír, viszont infravörös képalkotó önirányítással rendelkezik végfázisban.

Érdekesség a Redut esetén, hogy több forrás szerint is egy adott irányba néző radar 4 darab rakétát vezethet rá, tehát 4 célcsatornával rendelkezik mindössze. A Redut-hoz szánt rakétákat később integrálták az Sz-350 'Vityaz' rendszerhez, de 50N6 radart mellékelve hozzá.

6.3.6. Európai PAAMS/SAAM (Aster) és Izraeli/Indiai Barak-8 légvédelmi rendszerek

Idő hiányában az európai haditengerészei légvédelmi rakéta-rendszer csak vázlatosan kerülnek bemutatásra, összesen két rendszer kiemelés történik meg röviden. Előszóként annyi róluk, hogy ezek már az amerikai AEGIS rendszerhez hasonlóak, tehát az „öreg kontinensen" is követik az US Navy által már kitaposott ösvényeket.

Az első bemutatott rendszer az európai együttműködés gyümölcse, a PAAMS (Principal Anti Air Missile System), amely közös brit-francia-olasz fejlesztés. A brit haditengerészet a NATO-n belül korábban mindig külön utakon járt, egyetlen amerikai/NATO haditengerészeti légvédelmi rendszert sem használt, mindegyik korábbi rendszer saját fejlesztési program végterméke volt.

A franciák ugyan igyekezték követni az ős-konkurens briteket, de végül a megkésett és kis számban elkészült Masurca légvédelmi rendszer mellett az amerikai Tartar/SM-1MR rendszert alkalmazták.

Az olasz haditengerészet ellenben a kezdetektől fogva az amerikai rendszerekre támaszkodott. Ők az egyedüliek például, akik a RIM-2 Terrier rendszert megvásárolták Amerikán kívül, de hadihajóikon feltűntek a Tartar/SM-1MR és a Sea Sparrow (illetve a Sparrow licencgyártása miatt náluk Aspide néven ismert) rakéták is.

Vegyük észre, hogy hiányzik a felsorolásból a többi európai tengeri hatalom, például Spanyolország, Németország, Dánia vagy Norvégia. Ők vagy egy az egyben megvették az AEGIS rendszert az AN/SPY-1F radarral és SM-2 és/vagy ESSM rakétákkal (Spanyolország, Norvégia), vagy az ESSM / SM-2 rakétákat európai radarokkal párosították (Dánia, Németország, stb.).

A PAAMS fő elemei:

- Egy S1850M PESA kereső/célkövető radar, amely 1000 db légi célpontot képes követni
- Egy EMPAR PESA vagy SAMPSON AESA kereső/célkövető radar (400+ cél)
- Sylver A-43, A-50 vagy A-70 VLS indítókonténerek
- Aster-15 és/vagy Aster-30 rakéták
- x86/x64 alapú számítógépek Windows operációs rendszerrel, amelyen a rendszer programja fut

Elől a brit Type-45 osztályú HMS Dragon, hátul a Horizon-osztályú francia, Chevalier Paul légvédelmi romboló a két PAAMS-al felszerelt hajóosztály egy-egy képviselője

A PAAMS érdekes kettőséget mutat; az eddigi rendszerek mindegyik radarja (mind a kifejezetten célkereső S1850M, mind a célkövető radarok) egy vagy két (SAMPSON) fázisvezérelt antennával rendelkezik, amelyek mechanikusan vannak forgatva, tehát a SCANFAR vagy AN/SPY-1 radarokhoz képest nincs folyamatos 360 fokos lefedettség (2012-től kezdve vannak koncepciók 4 db fix beépítésű Sea Fire 500 típusú AESA radaros megoldásra, [628] de ezek még nem realizálódtak).

A FREEM-ER hajóosztály fantáziarajza, amelyet Kanadának ajánlott francia DCNS, sárgával jelölve a Sea Fire 500 AESA radarantennák

[628] https://www.youtube.com/watch?v=1JTLLssrKAg

Ellenben figyelemreméltó, az Aster légvédelmi rakétacsalád, amely aktív radarvezérlést használ a végfázisban a célrávezetésre, amely az első ilyen rakéta volt a haditengerészeti légvédelmi megoldásoknál megelőzve az amerikai SM-6-ot. Az Aster család két változata, az Aster-15 és az Aster-30 esetében azonos maga a rakéta, viszont az Aster-30 egy jóval nagyobb gyorsító fokozatot kapott, így míg az Aster-15 hatótávolsága 1,7-30 km, az Aster-30-é 3-120 km. A kisebbik változat maximum 13 km célmagasság ellen használható, a nagyobb pedig 20 km-ig. Az Aster-30 változatból ballisztikus rakétaelhárító változatot is fejlesztenek (Aster Block 2 BMD), amely 2020 körül állhat hadrendbe.

A PAAMS „kistesója” a SAAM (Surface-to-Air Anti-Missile) rendszer, amely a kisebb Sylver VLS indítókra és az Aster-15 rakétára épít csak, az S1850M radart elhagyva pedig csak a Héraklès nevű mechanikusan forgatott PESA radarral (mint az Sz-300-nál a Big Bird radar) oldják meg a célkeresés és célkövetés feladatát. Ez a rendszer került például a Francia-Olasz FREMM fregattok fedélzetére.

Az Aster-30 rakéta indítása

Amit az Aster-alapú légvédelemnél viszont érdemes megjegyezni, hogy relatíve alacsony az indítható rakéták száma. A PAAMS rendszert használó hajóknál 48 db, míg a SAAM rendszernél mindössze 16 db VLS indítót telepítettek. (A SAAM esetében kivételt az olasz Cavour és a francia Charles de Gaulle repülőgép-hordozók képeznek, mindkettő 32 db VLS-el és ugyanennyi Aster-15-össel rendelkezik). Ennek oka részben a rakéták elképesztően magas darabára, az Aster-15 esetében hozzávetőleg 27 millió euro, míg az Aster-30 esetében cirka 34 millió euro... (Jól mutatja az európai szféra versenyképtelenségét, az ennél sokkal nagyobb teljesítményű SM-6 rakéták ára „csak” 10 millió USD táján van.)

Aster-15 rakétaindítás a francia Charles de Gaulle repülőgép-hordozóról

Egy Barak-8 tesztindítása

A másik figyelemreméltó rendszer a vadonatúj Barak 8. Ennek elődje az 1987-ben megjelent parancsközlő irányítású Barak 1, amelyet még Izrael a saját hajói közel-légvédelméhez szánt. A Barak 1 az indiai hadihajókra is meg lett rendelve, noha az üzlet körüli megvesztegetési botrány a 2000-es évek közepén komoly visszhangot kiváltott. India eredetileg egy saját közép/hosszú távú légvédelmi rendszer kifejlesztésén dolgozott, ám (ahogy annyi más indiai programnál) a fejlesztés nagyon megcsúszott, így 2007-ben India megegyezett az IAI/Rafael cégekkel, hogy közösen kifejlesztik a Barak 8-at. A fejlesztés eredetileg Barak-II néven indult, de marketing okokból megváltoztatták.

A Barak 8 méreteiben és tömegében leginkább az ESSM-hez áll közel (4,5 méteres hossz, 275kg-os tömeg), ám a különféle források[629] szerint a hatótávolsága a 90 km-t is elérheti (ez inkább tűnik költői túlzásnak). Az irányítás kétirányú adatkapcsolat segítségével valósul meg a középső fázisban, illetve aktív radaros önirányítással a végfázisban. A hozzáférhető adatok alapján meglepő a rakéta viszonylag alacsony sebessége (mindössze 680 m/s), viszont egy érdekes adalékot is hoznak. A rakéta a végfázisban indítja be a második fokozat hajtóművét, amikor a rakéta orrán található aktív radar befogta a célpontot.

Itt kérdőjelek azért vannak, hiszen közben sokszor dual-pulse (kettős sebességű) hajtóműként is hivatkoznak rá, ami lényegében az AIM-7F/M, illetve az Oszánál vagy az M11 Stormnál alkalmazott kettős tolóerejű hajtómű. A probléma az, hogy szilárd tüzelőanyagú hajtóműveknél ehhez szeparálni lenne szükséges valahogy az égőteret, hogy a végfázis programozott gyújtása megtörténhessen.

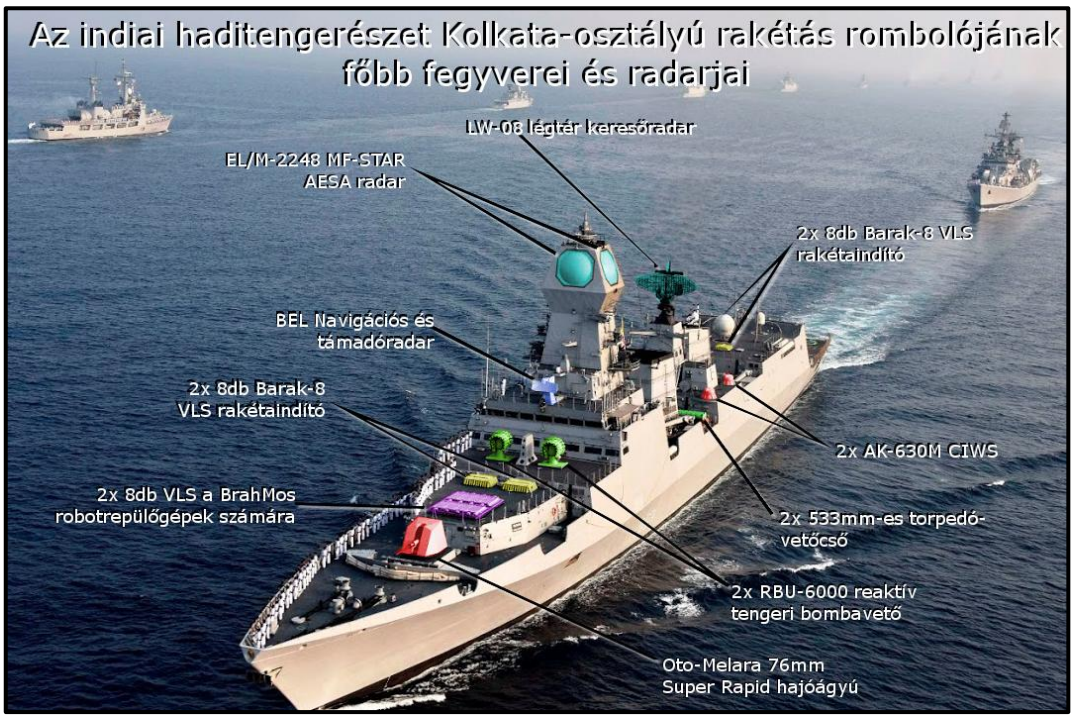
A furcsaságok nem csak itt tetten érhetők, az is érdekes, hogy a rakéta tömegéhez képest igen jelentős, 60 kg-os harci fejet építettek be, illetve a manőverező képessége eléri a 80G-t, ami meglehetősen magas, már-már felesleges érték.

A Barak 8-hoz párosított többfeladatú (felderítő/célkövető) radar az ELTA EL/M-2248 (MF-STAR) AESA radar, amely négy (viszonylagosan kisebb) antennából áll, amelyek a felépítmény tetejére, egyfajta „turbánba” kerülnek. A négy fix antennával a folyamatos 360 fokos lefedettséget biztosítani tudják, viszont a kisebb antennák és a kis tömeg (mindössze hét tonna) miatt inkább a korvett méretű egységekre szánták (többek között az izraeli haditengerészet Sa’ar-5 osztályú hajóihoz).

Ehhez képest India a 7400 tonnás Kolkata-osztályú rombolóra szerelte fel, igaz, egy Thales LW-08 légtér-kereső radar társaságában (az LW-08 egy nem túl erős vagy korszerű radar). A Kolkata fegyverzetében a 4x8 db VLS indítóban elhelyezett Barak-8 látja el a közép- és kis hatótávolságú légvédelmet (noha India LRSAM-ként, nagy hatótávolságú légvédelmi rakétaként hivatkozik rá),

Alapvetően a 16 db BrahMos robotrepülőgép határozza meg a Kolkata-osztály képességeit, noha e mellett erős tengalattjáró-elhárító fegyverzetet (2 db RBU-6000 reaktív tengeri bombavető és 2x2 db 533mm-es torpedóvetőcső) is kapott.

[629] https://www.livefistdefence.com/2015/09/exclusive-indo-israeli-lrsam-range.html



A Kolkata-osztály főbb fegyverei és radarjai

Az Aster és a Barak-8 mindenestre olyan jövőképet vetít előre, hogy a modern légvédelmi rakétáknál az aktív önirányítás a végfázisban ma már lassan minimum elvárásnak tekinthető. Ezzel a célcsatornák számát már nem befolyásolja a tűzvezető radarok száma, vagyis effektíve, a jelenlegi AESA / PESA célkövető radarok és a mögöttük álló számítási teljesítménynek hála, annyi célcsatorna áll rendelkezésre, ahány rakéta.

6.3.7. Pontvédelmi, közel-körzeti (CIWS) légvédelmi rendszerek

A CIWS[630] kategóriájú légvédelmi eszközök a védelem utolsó vonalát alkotják, jellemzően 2-10 km-es hatótávolsággal. Először a hajókon jelent meg ez a speciális alkalmazás, de ma már szárazföldi pontvédelemre is használnak adott esetben ezekhez hasonló telepített rendszereket, akár egyenesen hajókon alkalmazott rendszerek utánfutókra telepítésével.

A feladatot először az amerikai és a szovjet mérnökök különböző megoldással kezdték el kezelni, az amerikai oldalon először a soha meg nem valósult Mauler/Sea Mauler rakétarendszert szánták erre a feladatra, majd a program törlése után a már említett Sea Sparrow rakétarendszer lett rendszeresítve.

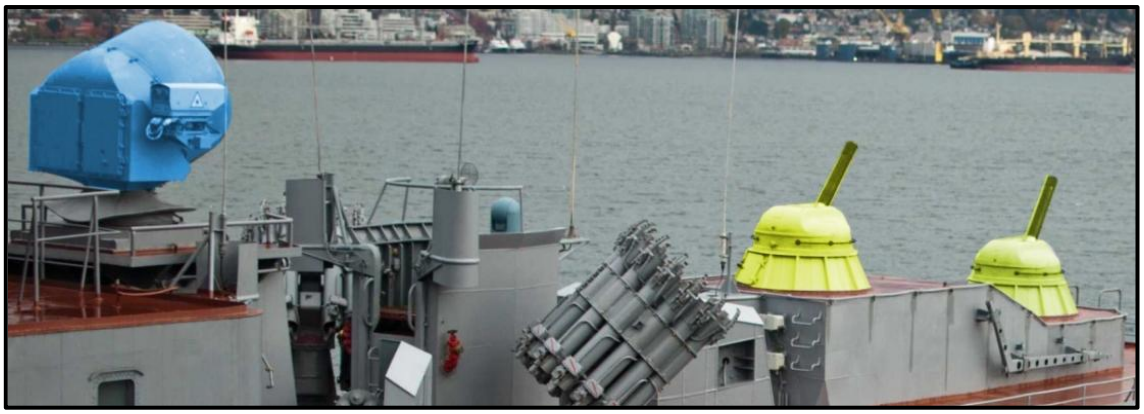
Egy „Kolonka" tűzirányítóval vezérelt AK-630 éleslövészet

A szovjetek először iker 57 mm-es, kézzel irányított, majd inkább egy nagy tűzerejű, hatcsövű Gatling-elven gépágyú mellett döntöttek. Az AO-18 típusjelzésű, 4-5 ezer lövés/perc tűzgyorsaságú gépágyút az AK-630 jelölésű toronyba szerelték, amely 4000 db tűzkész lőszert fogad be. A torony maga irányítható a 'Kolonka' kézi célzórendszerrel (bár ez inkább vésztartalék-megoldás), vagy az MR-123 tűzvezető rendszerrel, amely egy integrált kereső/tűzvezető radar 1 vagy 2db AK-630 és/vagy AK-176 lövegtoronynak, a teljes rendszer elnevezése A-213 Vympel(-A).

[630] *close-in weapon system*

Az MR-123 radar C/I/J hullámhossz tartományban működik, 0,5 mikromásodperces pulzusokkal, a radardóm kereső üzemmódban percenként 15-ször fordulhat körbe, 3 fokos tűnyalábbal keresi a célokat, fordulatonként 3,5 fokkal emelkedve egészen 56 fokos helyszögig.

Célkövetés üzemmódban monopulzus módban dolgozik, legfeljebb 85 fokig téríthető ki az antenna helyszögben (fel-le irány). Gyakorlatilag az 1970-es évek közepétől az 1990-es évekig minden szovjet-orosz hadihajón ez lett a közelkörzeti légvédelem, a kisebb hajókon egy MR-123 és két AK-630, a nagyobb hajókon 2/4, 3/6, vagy például a Kirov-osztályon 4/8 kiépítésben. Az 1980-as évektől CCTV kamerát és lézeres távolságmérőt integráltak az MR-123 rendszerhez, elsődlegesen a felszíni célpontok (gyors támadó motorcsónakok és hasonló célpontok) ellen.



Egy MR-123-2 tűzvezető radar (kék színnel jelölve) és a két hozzá tartozó AK-630 torony (sárga) egy Szlava-osztályú cirkálón

Korai Mk.15 Block 0 Phalanx CIWS az USS Rainier ellátóhajó fedélzetén

Az Egyesült Államokban az 1970-es évek elején szintén megkezdtek egy gépágyúra épülő megoldás kifejlesztését, ám a koncepció alapvetően eltért az A-213 Vympel rendszertől.

Az US Navy egy integrált rendszert szeretett volna, ami magában foglalja a célkereső/tűzvezető radart, egy M61A1 20mm-es hatcsövű Gatling-elven működő gépágyút, továbbá a lőszertárolót is, mindezt a fedélzet felett. Ez utóbbi elvárás azért volt fontos, hogy bármilyen hajóra, utólag is fel lehessen szerelni, a nélkül, hogy a fedélzet alatt helyet kellene biztosítani a kiszolgáló rendszereknek.

Ez gyakorlatilag azt jelentette, hogy csak a 440V-os áramellátásra, hűtővíz-csatlakozásra (az elektronika hűtése céljából, jellemzően tengervízzel) és a kezelőkonzolig vezető adatkábelre volt szükség, így beépítése igen egyszerűen megoldható volt. Az Mk.15 Phalanx rendszer hosszas tesztelési fázis után 1980-ban állt hadrendbe, és a 2000-es évekig az első számú CIWS rendszere lett a Haditengerészetnek, továbbá számtalan USA-barát ország haditengerészetének.

A Phalanx tetején foglal helyet az Ku-frekvencia tartományban (12-18 GHz) működő MTI keresőradar, amely mintegy 18 km-en belül képes észlelni, majd 9 km-en belül azonosítani a célokat. A rendszer automatikusan rangsorolja a célpontokat veszélyességük szerint, majd „átadja” az alatta található K tartományban (18-27 GHz)- működő tűzvezető radarnak, és a cél felé fordítja az tornyot. (Ezzel nagyon szűk nyaláb hozható létre, nagy hatótávolság nem szükséges, de az antenna mérete ellenben korlátozott.)

A tűzvezető radar meghatározza az ballisztikai változókat, és hozzávetőleg 1,5 km-es távolságból megtörténik a tűzkiváltás. Ez a későbbi változatoknál befolyásolható, de alapértelmezésben 60 vagy 100 lövedékes sorozatokat alkalmaztak. Egy „általános" célpont 90%-os biztonságú elpusztításához 1 km távolságból mindössze 42 db lövedékre van szükség, addig 2km-ről már 180 db, 3 km-ről pedig 400 darabra nő.

Ezen értékek mellé érdemes odatenni, hogy az első változat még csak 989 db lőszert tartalmazó tárral rendelkezett, majd az 1988-tól hadrendbe állt Block 1 már 1550 db lőszert tárolt. A Block 1 másik nagy újítása a pneumatikus motor (az első változat hidraulikus volt), amely a gépágyút forgatja, így az eredetileg 3000 lövés/perc tűzgyorsaságot 4500 lövés/percre lehetett emelni, valamint nagyobb csőhosszúságú csőköteget kapott.

Az alkalmazott lőszertípus először szegényített uránium magvas, majd wolfram-magvas APDS lövedékkel szerelt. A későbbi fejlesztések közé tartozott egy EO/IR kamera és lézeres távolságmérő elhelyezése a radaremelvényen, amellyel távirányított módban felszíni célok ellen is bevethető lett.

Mk.49 indítóállvány 21db RIM-116 RAM rakétával

Az Mk.15 Phalanx és az A-213 Vympel-A esetében is az 1980-as évek vége felé viszont kritikus hangok kezdtek el megjelenni, a fő probléma a rövid hatásos lőtávolság, ami reálisan inkább 1, mint 2 km körül mozgott. Egyszerűen több nagy sebességgel beérkező veszélyforrás hatásos leküzdéséhez ez túlságosan is kis reakcióidőt biztosított, így elvárás lett az, hogy nagyobb távolságból képes legyen a CIWS megvédeni a hajót, növelve a biztonsági zónát.

A válasz amerikai (és német) oldalon a RIM-116 RAM (Rolling Airframe Missile) lett, ez a Sidewinder rakétatestére és hajtóművére épített, a rakéta orrán két érzékelő antennával, amely a beérkező hajó elleni rakéta / robotrepülőgép aktív radarjának jelére vezeti rá magát. A forgó (rolling) jelzőt éppen azért kapta, mert a folyamatosan forgó test lehetővé teszi, hogy két antennával meghatározza a cél viszonylagos helyzetét.

A végfázisban, a rakéta orrában helyet foglaló, a FIM-92 Stinger MANPADS-tól származó infravörös érzékelő vezeti rá a rakétát. A RIM-116 későbbi fejlesztései a tisztán infravörös önirányításról szóltak (Block 1), illetve a komolyabb manővereket végző célpontok ellen szükséges precízebb manővereket lehetővé tévő irányítórendszer és fejlesztett hajtómű (Block 2).

Alap indítóállvány az Mk.49 GLM, amely 21 darab RIM-116 rakétát tárol, viszont ez nem rendelkezik saját tűzvezető rendszerrel – a hajó saját kereső- és célkövető radarja alapján lehetséges a célpontok meghatározása és a rakéták indítása. Mivel szükség volt egy, a Phalanx-hoz hasonló független rendszerre, amely saját célkereső és tűzvezető rendszerrel bír, a Phalanx tornyába integráltak egy 11 db rakétát befogadó indítóállást, ez az Mk.15 Mod 31 SeaRAM névvel illetett konstrukció.

SeaRAM indítóállványból egy RIM-116 indítás

Mikor úgy tűnt, hogy a rakéták mellett dönt az US Navy érdekes lépés következett, és rendszeresítették az Mk.110-et. Ez a svéd Bofors cég 57 mm-es Mark 3-as gépágyújának egy „amerikaizált" változata 3P[631] programozható gránáttal, utóbbi az Mk295 Mod 0 típusjelölést kapta az amerikai nómenklatúrában.[632] A 3P gránát közelségi gyújtóval is el van látva CIWS üzemmódban így használják.

Az Mk.110 120 db tűzkész gránáttal rendelkezik, a cső felett pedig egy kis radart helyeztek el, alapvetően a lövedék torkolati sebességének mérésére, amelyet a tűzvezetés pontosításához használhatnak fel.

Az LCS-12 USS Omaha, a hajóorron látható az Mk.110 57mm-es lövegtorony, a felépítmény hátsó részén pedig a SeaRAM

[631] *Pre-fragmented, Programmable, Proximity-fuzed, vagyis előképzett repeszekkel rendelkező, programozható közelségi gyújtós.*

[632] https://www.youtube.com/watch?v=rldn9Hvzih4

Említést érdemel, hogy az US Navy kissé skizofrén módon kezeli a CIWS fejlesztéseket. A Sea Mauler fiaskója után a Sea Sparrow felelt ezért a feladatkörért, majd a Phalanx vette át a staféta botot.

Az 1990-es évek végén a Phalanx nyugdíjazása mellett kardoskodtak, és úgy volt, hogy az Arleigh Burke-osztály a DDG-79 (USS Oscar Austin) egységtől kezdve egyáltalán nem kap Phalanxot, a CIWS feladatkört az ESSM rakétákkal biztosítják majd. Ez annyiban módosult, hogy DDG-85 (USS McCampbell) egységtől kezdve az elülső felépítmény előtti Phalanxot elhagyták (de a helye megmaradt, lásd korábbi kép a Burke Flight IIA-ról), a hátsó felépítmény tetején lévő viszont fel lett szerelve.

Majd négy régebbi (két Phalanx-al felszerelt) Burke-osztályú egység 2016-ban úgy építettek át, hogy a hátsó Phalanx helyére SeaRAM került, ám nem egészen egyértelmű, hogy ezt a megoldást a többi egységnél is érvénybe léptetik-e. (Ezen sorok írásakor átadás alatt álló DDG-118 (USS Daniel Inouye) esetében továbbra is csak a hátsó Phalanx tornyot lehet látni).

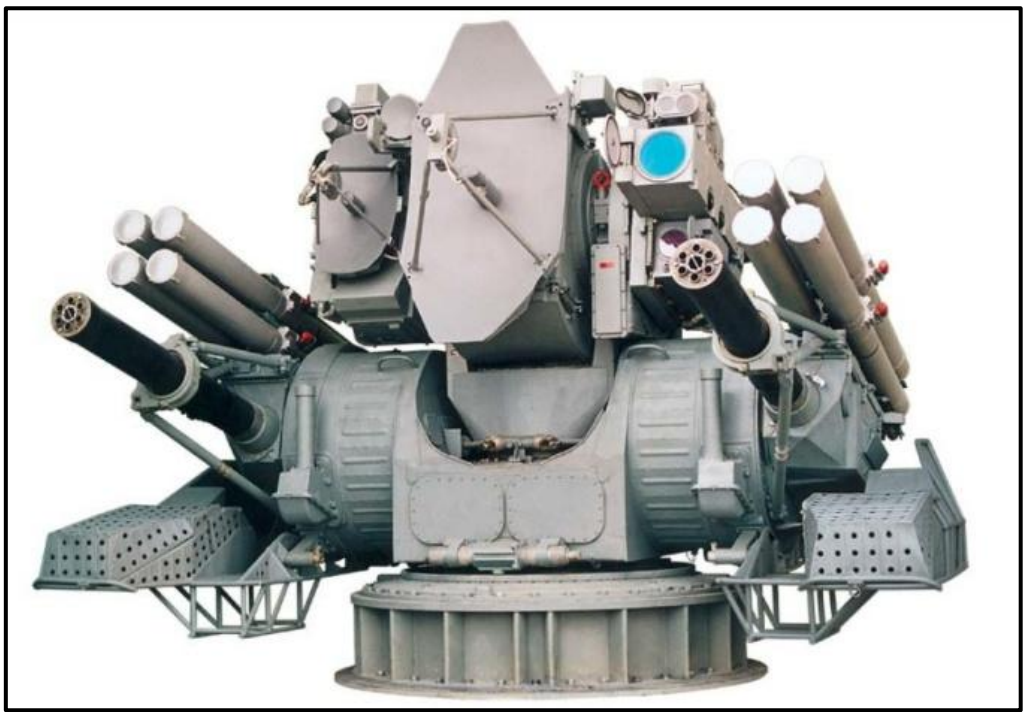
A helyzet nem tisztább a többi hajó osztály helyzetében sem. Az LCS egységeinél egy Mk.110-es, 57 mm-es löveg került fel, amely 3P gránáttal CIWS feladatkörben is működhet, valamint egy SeaRAM. A Zumwalt-osztályú rombolóknál eredetileg két Mk.110-es torony látta volna el a CIWS feladatkört, majd „költségcsökkentés" címén ezek helyett Mk.46-os, 30 mm-es gépágyúval felszerelt tornyok lettek beépítve, amelyek CIWS feladatkörben nem alkalmazhatóak, csak felszíni célok ellen.[633] Ez a döntés az ESSM rakétákra hagyta a hajóosztály CIWS képességeit.

A koronát a kérdéskörben pedig az amerikai repülőgép-hordozók teszik fel, ugyanis (csaknem) mindegyikük fegyverzetében ott van a Sea Sparrow vagy ESSM, a SeaRAM és a Phalanx is. (Amikor ebből elég lenne legfeljebb kettő, pl. az ESSM és a SeaRAM, Molnár Balázs megjegyzése).

Eközben a szovjet-orosz megoldás drasztikusabb irányt vett. Egyfelől megduplázták az AK-630 esetében használt AO-18K Gatling gépágyút (összesen 10 000 lövés / perc tűzgyorsaságot biztosítva), és emellé kapott 2x4 darab 9M311K két fokozatú, TVM/parancsközlő irányítású rakétát, valamint az állványra építették rá a tűzvezető radart és optikai/infravörös érzékelőt. A torony alatt 32 db rakéta és 1500 db gépágyúlőszer áll készenléti állapotban. Ez így egy harci modul, amelyből általában kettő tartozik egy vezérlő modulhoz, amely saját 3D-s kereső és célkövető-radart tartalmaz, a kezelőpultot és a számítástechnikai hátteret. A fentiekben felvázolt rendszer a Kortik, illetve export piacon Kasztán néven ismert.[634].

[633] *Ezen a ponten én már tényleg röhögök, mert a költségcsökkentés nem kisebb tűzerőt jelent, hanem eleve az eredetileg elképzelt képességre alkalmatlan a rendszer. (Molnár Balázs megjegyzése.)*

[634] http://www.youtube.com/watch?v=pXYWBIruPjY&feature=related



A Kortik / Khastan rendszer harci modulja

A rendszer első változata a 9M311 rakétával maximum 8 km-re lévő célokat küzdhet le, a gépágyúval ugyan papíron 3-4 km-es HMZ említenek, de reálisan inkább 1-2 km-re tehető inkább a Phalanxnál már említett korlátok miatt. (A 30 mm-es ágyú ballisztikailag nem pontosabb, ami lehetővé tenné a reálisan magasabb HMZ-t.)

Egy harci modul egyszerre egy célpont leküzdésével tud foglalkozni, a parancsnoki modul maximum hat célt tud folyamatosan követni. Az Admiral Kuznyecov repülőgép-hordozón 8 db harci modul lett elhelyezve, a Nahimov Admirális és a Nagy Péter (Kirov-osztályú) cirkálókon 6 db a közepes méretű egységeken (pl. az Udaloj II. osztályú Admiral Csabanyenko) 2 db harci modul és 1 db parancsnoki modul, illetve az első Szterеguscsij-osztályú egységen 1 db harci modult alkalmaztak (utóbbi esetében viszont két további AK-630 torony található a felépítmény hátsó oldalán).

A Kortik továbbfejlesztése a Kortik-M lett, amely nagyobb teljesítményű gépágyúkat kapott (AO-18KD), korszerűbb 9M311-1 rakétát. A névleges adatok szerint a gépágyú effektív lőtávolsága 4-ről 5 km-re, a rakétáé 8-ról 10 km-re nőtt, illetve utóbbi esetén a cél lehetséges magassága 3,5 km-ről 6 km-re változott. A legfontosabb változás viszont a modernebb elektronika hozta, a korábbi 6-9 másodperces reakcióidő 5-7 másodpercre szűkült, illetve lehetővé vált a kiemelt célok ellen több rakéta indítása is.

A Kortik leváltására a Palas/Palma[635] rendszert szánták, amely a Kortik tornyát és gépágyú-rendszerét örökölte, viszont a 9M311(-1) helyett a Szoszna-R/-RA lézernyaláb irányítású (lézer vezetősugaras, beam riding) rakétára tértek át, a tornyon lévő radarok és EO/IR érzékelőket egyetlen integrált érzékelő-toronyba elhelyezett EO/IR érzékelő és lézeres rakétavezérlő rendszer váltotta ki. A 2000-es évek közepén rakéták nélküli szerelt torony jelent meg néhány orosz hajón, például a Gorskov Admirális fregatton, de a rendszernek a Szoszna-R/-RA rakéták (elvben) alapvető részét képezik.

[635] https://www.youtube.com/watch?v=YhQYH9q6K9A

Két Palas CIWS torony a Gorskov Admirális fregatt hátsó felépítményén, rakéták nélkül.

Az orosz CIWS fejlesztések is botladoznak, vagy legalábbis nem egészen átláthatók. A Sztereguscsij-osztály a második egységtől kezdve a Kortik-M tornya helyére 12 db VLS indító került a Redut rendszer 9M96 aktív radaros önrávezető rakétái részére. Eredetileg a Palas/Palma rendszer kifejlesztésekor azért döntöttek a Szoszna-R rakéta mellett, mert az nem használ radar-rávezetést, így nem zavarhatja a Redut 9M96 rakétáit.

Ettől függetlenül viszont a most készülő, vagy fejlesztés alatt álló egységek jó részénél maradnak a Redut vagy Sthil-1 + 2 db AK-630 párosnál.

A CIWS-eknél tegyünk még említést a nagyobb kaliberű hajólövegekről is, ugyanis a mai napig a légvédelem ezen ágyúk feladatai közé tartoznak, mégpedig alapvetően a haditengerészeti légvédelemmel foglalkozó szekció elején ismertetett módon, közelgési gyújtós gránátokkal. Ez a képesség zömében nincs túlharsogva, de ettől még kétségkívül létezik. Egy 76 vagy 127 mm-es gránáttal persze nem könnyű telibe találni egy nagy sebességgel beérkező rakétát, de az olasz Oto-Melara kifejlesztett a saját 76 mm-es lövegéhez egy irányított lövedéket, a DART-ot. [636] Ennél a kb. 1100 m/s torkolati sebességű nyíllövedéket a torony jobb oldalán, egy fedél alatt visszahúzhatóan beépített tűzvezető radar (balra lent) vezeti rá a célra.

A 76mm-es OTO-Melara Super Rapid lövegtorony és a tűzvezető radarja

Említést érdemel, hogy a DART esetén is három gránátból álló sorozatot küldenek a célpont felé, és az irányított gránát ellenére is csak kb. 5-6 km-es a hatásos lőtáv. Ebből sejthető, hogy a hagyományos közelségi gyújtós, irányítatlan gránátoknál sokszor 10 km feletti lőtávnak mennyi köze van a realitásokhoz, vagy a Kortik/Kasztán esetén reklámozott 4-5 km-es lőtávolságnak...

[636] https://www.youtube.com/watch?v=61YnsQ1v0mw

6.3.8. A haditengerészeti légvédelem alternatív lehetőségei.

Az izraeliek tanultak az INS Eliat elvesztéséből, ám az első válaszuk némileg szokatlan volt, ugyanis nem a beérkező veszélyforrás megsemmisítésére törekedtek, hanem inkább annak megzavarására.[637] Ehhez a radarjelek aktív rádióadókkal való zavarását, illetve a radarzavaró csalik (a repülőgépeknél is használt módon apró fémszálakból, fémmel bevont üvegszálat, esetleg fémlemezkékből álló felhőt hoznak létre, amely a radarjeleket szétszórja, illetve hatalmas válaszjelet produkál) alkalmazását vetették be.

Az 1973-as Arab-Izraeli háborúban a fentieknek köszönhetően eljutottak oda, hogy egyetlen arab országok által indított P-15-ös hajó elleni rakéta sem talált, noha több tucatot indítottak az Egyiptomiak és Szíriaiak az Izraeli haditengerészet hajói ellen. A rádióelektronikai hadviselés hatékonysága elég látványosan bizonyítva lett.

Egy Oliver Hazard Perry-osztályú fregatt csalikat szór ki

A radarcsali (angol nyelvben általában 'chaff' (~szecska), a hajózásban 'Window' (ablak) néven is ismerik) alapvetően több módszerrel is bevethető. A legelső alkalmazás mód szerint viszonylag nagyobb távolságra egy nagy csalifelhőt hoznak létre még azelőtt, mielőtt a beérkező veszélyforrás (rakéta) bekapcsolná a radarját (avagy az indító / rávezető radart tévesszék meg). A cél az, hogy minél hamarabb már kettő, vagy még több célt nyújtsanak a radarnak, így választania kell, melyiket tekinti célpontnak.

A támadó egyszerűbb irányított rakéták vagy robotrepülőgépek ilyenkor csak találomra vagy a legközelebbit támadják meg, lehet reménykedni a sikerben. Persze a rakéták és robotrepülőgépek is fejlődtek, idővel lehetségessé vált felkészíteni ezekre a csalikra azok vezérlőrendszerét, például figyelmen kívül hagyják az egyhelyben álló, vagy nagyon kis sebességgel mozgó célt (amely feltehetően a csali lesz).

(Persze, a célpont és csalifelhő mozgásparaméterei azonosak, akkor lehet tippelgetni, fontos a szélirány és annak nagysága.)

[637] *Valljuk be, ennek valószínű költségvetési okai is voltak. Alumínium fóliacsíkokat lövöldözni olcsóbb, mint irányított rakéta-fegyverzetet rendszeresíteni... (Molnár Balázs kiegészítése.)*

Egy nagy méretű 'szecska-felhő' létrehozása, amely elfedheti az egész hajót

A második alkalmazási mód az, amikor a hajótól 1-2 km-re hoznak létre nagyméretű szecskafelhőt. Ez esetben a cél az, hogy a rakéta a nagyobb méretű célpontot követve kerülje el a hajót.

A harmadik alkalmazás mód a teljes fedés, amikor hajó és a rakéta közé nem sokkal a várható becsapódás előtt egy nagyméretű szecskafelhő kerül létrehozásra. Ez remélhetőleg megakadályozza a rakétát abban, hogy rálásson a hajóra. Így csak a szerencsén múlik, hogy a rakéta a felhőn áthaladva eltalálja-e a hajót. Ennek a módszernek az ára az, hogy a hajó saját radarjai sem látnak rá a közeledő veszélyre, tehát bizonyos szintig a saját védelmi képességeit is degradálja.

(Ez már amolyan végső eset. A módszer előnye az, hogy ha egy időablakon belül több rakéta is érkezik, akkor az összes érkező rakétát és/vagy robotrepülőgépet megtévesztheti, tehát igen sok múlik az időzítésen illetve a bejövő célok eloszlásán is. Egyetlen rakéta ellen nem éri meg alkalmazni, de ha fél perc alatt mondjuk érkezne 5-6 db és a hajó ennél kevesebb célcsatornával rendelkezik, akkor a döntés elég egyszerű...)[638]

Egy japán hadihajó infravörös csalifelhőt hoz létre

Hogy a dolog még kacifántosabb legyen, a hajó elleni rakéták némelyike infravörös érzékelőt is kapott a végfázisos aktív radarvezérlés mellé. Az infravörös érzékelő ellen értelemszerűen nem túl hatékony[639] szecskafelhőt létrehozni így a veszélyre válaszul megjelentek az infravörös csalik is, amelyek vagy egy nagyobb "fáklyával" nagyméretű infravörös jelet hoznak létre (általában ejtőernyőn ereszkedik alá, 30-40 másodperc alatt, vagy több kisebb apró égő darabra robbanva rengeteg jelet produkálnak, de olyan is akad, amely még a vízfelszínt elérve is ég tovább.

[638] *Molnár Balázs kiegészítése.*

[639] *A bár az oldal tetején, képen látható füstfelhőn azért kérdéses, hogy milyen infravörös érzékelő lát keresztül. (Molnár Balázs kiegészítése.)*

A Syllex csaliszóró, a nagyobb hajókon általában mindkét oldalon egy-egy ilyen szolgál a csalik kivetésére

A francia válasz erre a megoldásra a Syllex csaliszóró volt, amely 3+3+2 vetőcsővel rendelkezik, amelyekből három-három 45 fokban oldalra/előre illetve oldalra/hátra, kettő pedig 90 fokban oldalra veti ki 400 mm-es, kisméretű rakétahajtóművel meghajtott csaliszórókat. A vetőcsövekben különféle csalikat lehet elhelyezni, a már említett passzív csalikon kívül aktív csalikat is, amelyek lehetnek válasz-jeladókkal felszerelve, sőt, zavaró-adóval, amelynek célja a radarzavarásra „ráfogó” rakéták magához vonzása.

Talán nem meglepő, hogy az Izraeli haditengerészet élenjáró az alternatív védelmi megoldások terén. Az *INS Eliat* elvesztése után kifejezetten sok energiát fordítottak az ilyen célú fejlesztésekre. A Sa’ar 4.5 osztályú korvetteknél például nem kevesebb, mint 140 darab (!) csalivető csövet szereltek fel, és különféle radarzavaró rendszerekkel az aktív zavarás terén is komoly védelmi képességgel vértezték fel.

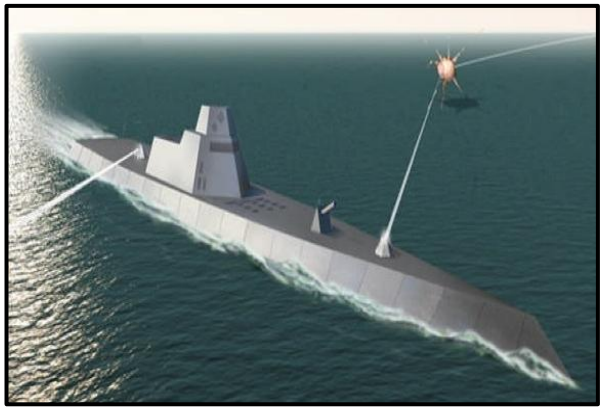
Az Izraeli Sa’ar 4.5 osztály egyik példánya – sárgával jelölve a 115mm-es-, zölddel a 90mm-es csalivetők, pirossal a különféle elektronikai hadviseléshez használta rendszerek antennái

Ezek fényében minden estre elég komoly arculcsapás volt az, hogy 2006. július 14-én az *INS Hanit*, egy Sa'ar 5 osztályú korvetett egy Hezbollah által indított C-802 típusú, kínai gyártmányú hajó elleni robotrepülőgép eltalálta és megrongálta, valamint négy tengerészt megölt. (Balra a képen)

Mindezt leginkább annak köszönhették, hogy a hajó önvédelmi rendszereit a személyzet (úgy vélve, hogy nincsenek veszélyben) egyszerűen kikapcsolta…

6.3.9. Gondolatok a haditengerészeti légvédelem jövőjéről

A haditengerészeti légvédelem jövőjének kérdését évtizedek óta „kísérti" az US Navy által az 1990-es években felvázolt koncepciója. E szerint nagy torkolati sebességű elektromagnetikus (EM) ágyúk[640] irányított, de akár irányítatlan lövedékekkel, illetve lézerágyúk nagy energiájú nyalábjaival fogják a beérkező veszélyforrásokat semlegesíteni.



A DD-21 program fantáziarajza az 1990-es évekből, lézernyalábokat használó CIWS rendszerrel

A haditengerészet annyira rabja lett ennek az elgondolásnak, hogy a DD-21, majd DD(X), később USS Zumwalt-osztályú hajóegységeket kifejezetten EM ágyúkkal, lézerekkel és rakétákkal szerették volna felfegyverezni, hagyományos löveg nem is lett volna a fedélzetén. Papíron az új technológiák jól is mutattak, az EM ágyúk a harckocsilövegek maximális torkolati sebességénél is kétszer nagyobbat (mintegy 3500 m/s) ígértek. Ezzel látszólag reálisnak tűnt, hogy a CIWS feladatkörben akár irányítás nélküli lövedékekkel is hatásos lehet 10 km-en belül, irányított lövedékekkel pedig akár 20-30km-es távolságból is.

A BAE Systems által fejlesztett HVP irányított gránát 127mm-es, 155mm-es és az EM ágyúhoz tervezett változatainak makettjei

A lézerfegyverek még izgalmasabban hangzottak, már amennyiben elektromosan gerjesztett lézerekről beszélünk. A jelenleg a nagyobb teljesítményű lézerek kémiai reakciót használnak a lézer generálására, ami jelentős tömegű üzemanyagot igényel, ezek hadászati alkalmazása gyakorlatilag kizárt, azok veszélyessége és nehezen kezelhetősége miatt.

Az elektromosan gerjesztett lézereknél ezzel szemben „csak" az energiaforrást és a hűtést kell biztosítani, amíg ezek biztosítottak, folyamatosan lehet tüzelni, nem szükséges lőszer. Tegyük fel, hogy egy

[640] *Railgun vagy Gauss Gun angol terminológiában:*

lézerrel másodpercenként le lehet lőni egy célpontot. Egy ilyen elképzelt lézerfegyver estén 1-2 db ilyen lézerrel felszerelt hajó védelmét gyakorlatilag képtelenség lenne túlterhelni a beérkező rakéták számával.

A gyakorlat viszont fájdalmas felismerést hozott. Az EM ágyúk jelenleg nagyjából 2000 m/s torkolati sebességet értek el eddig tesztkörülmények között[641], még mindig messze vannak a bevethető harci fegyvertől. A lövegcső élettartama, a hőhatások kezelése és az energiát biztosító berendezések még mindig tökéletesítésre várnak, több évtizednyi (és több százmillió dolláros) fejlesztés után is. Hovatovább ott tartunk, hogy a haditengerészet az eredetileg az EM ágyúhoz szánt irányított lövedékek 127 mm-es (és 155mm-es) ágyúkhoz való adaptálásán dolgozik...

A lézerek terén még kellemetlenebb volt az ébredés, a jelenlegi „csúcs" az AN/SEQ-3 LaWS (Laser Weapon System), ami hozzávetőleg 30 kW-os lézer teljesítményt tud nyújtani, ehhez pedig hat szilárdtest lézer nyalábját fókuszálják egy pontra. (Ezt fiber-lézerként is ismerik, utalva arra, hogy a generált lézernyalábokat üvegszálas vezetékeken vezetik az optikához).

A LaWS ugyan eljutott a tesztelési fázisba a USS Pounce fedélzetén, ám a látványos tesztvideók[642] ellenére a valóság az, hogy csak viszonylag lassan és kiszámíthatóan mozgó célpontok ellen van bármi értelme, mivel több másodperces célmegvilágításra van szükség ahhoz, hogy bármi komolyabb hatást érjen el a célponton.

Az AN/SEQ-3 LaWS a USS Pounce felépítményén

A lézerek problémái igencsak összetettek. Az elektromos gerjesztésű lézerek hatásfoka 30% körül van, tehát a 30 kW-os LaWS esetében 100 kW elektromos teljesítményre van szükség a tűznyitáshoz, de emellett 70 kW hőteljesítményt szükséges elvezetni. Az is igen komoly probléma, hogy az alumínium (gyakori szerkezeti anyag) a legáltalánosabban használt infravörös tartományban 90% körül, vagy annál jobb mértékben veri vissza a fényt. Tehát a LaWS által használt 1,004 µm hullámhosszon 94%-os, vagyis a 30 kW teljesítménynek máris csak a 6%-át, vagyis 1,8 kW-ot nyel el. Végezetül pedig tegyük hozzá, hogy az eső, pára, köd befolyásolja a fénytörést és így nagyobb távolságokra már csak ezért sem ideális tengeren a lézer. Hogy a fókusz problémájáról már ne is beszéljünk…

[641] https://www.youtube.com/watch?v=b8kZo2xByPY
[642] https://www.youtube.com/watch?v=ZtH2AbVxmxc

A US NAVY ezen tapasztalatokat követően felmérte, hogy milyen teljesítményű lézerek nagyságrendileg milyen feladatokra használhatók:

- 10 kW: "puha" (műanyag, balsafa) UAV-k, optikai rendszerek megvakítása
- 100 kW: UAV-k, (gumi)csónakok és bizonyos rakéták/gránátok ellen.
- 300-500 kW: Szubszonikus rakéták, kisebb hajók pár km-es távolságból.
- 1 MW felett: Teljes értékű önvédelem, szuperszonikus rakéták ellen is

Ebből nagyjából látható, hogy mennyire messze van a 1990-es években elvárt légvédelmi képesség a jelenleg megvalósított (tesztüzemi) képességtől.

A fentiek alapján kijelenthető, hogy legalábbis rövid-közép távon a gépágyúkra (esetleg irányított nagyobb kaliberű ágyúlövedékekre) és irányított rakétákra épülő közel- és kis távolságú légvédelmen túl (illetve e felett) továbbra is az irányított rakétákra lehet csak támaszkodni. Ezen a téren az előrelépést a nagyobb hatótávolságú, végfázisban aktív önirányítású (akár radar, akár infravörös képalkotó) rakéták jelentik, amelyek már el is kezdtek elterjedni. Ilyenek pl. az Aster-15/-30 (Európa), SM-6 (Egyesült Államok), 9M96 (Oroszország), Barak-8 (Izrael/India), SeaCeptor (Nagy-Britannia). Az önirányítású rakéták a célcsatornák számát gyakorlatilag a rendelkezésre álló rakéták számával teszi egy szintre, viszont azon az áron, hogy jóval drágább a beszerzési áruk.

Ami a különböző országokat haditengerészetek rövid távú terveit illeti:

Az US Navy esetében a Zumwalt-osztály leredukálása (és annak légvédelmi feladatra kondicionált CG-21/CG(X) jelölésű változatának törlése) után a Haditengerészet az Arleigh Burke-osztály továbbfejlesztésével próbálkozik, amely egy új radarra, az AN/SPY-6 AMDR-re (Air- and Missile-Defense Radar) épít. Az új radar AESA elven működik, körülbelül 60x60 centiméteres blokkokból (Radar Modular Assemblies - RMA) épül fel. Az Arleigh Burke Flight III változatánál 37 db RMA-ból áll egy antenna-blokk, és négy ilyen blokk váltja ki az AN/SPY-1D(V) antennákat. A hírek szerint ez a radar elődjéhez képest sokkal érzékenyebb (+15 dB), továbbá a megfelelő számítási háttérrel 30-szor több célt tud folyamatosan követni, mint elődje. [643] Mire ezek az egységek hadrendbe állnak, az SM-3 Block IIB és az SM-6 Dual I. is elkészülhet, így igen hatékony légvédelmet tudnak majd felmutatni. Valahol persze árulkodó az a fajta félszegség, ahol a Zumwalt-osztálynál pusztán az ESSM-re hagyták a légvédelmi képességeket, még akkor is, ha a hajóegységnél nem volt elvárás a komolyabb légvédelmi képesség.

Oroszország alapvetően a Redut rendszerre támaszkodik a jövőt tekintve, amely valahol félúton van az ESSM Block 2 és az SM-6 között, ezen kívül viszont komolyabb előre lépéseket nem látni. Az Sz-400/Sz-500 rendszerek tengeri változatai legfeljebb pár példányban tűnhetnek fel, mivel a Kirov- és Szlava-osztályokat leszámítva nincs olyan egység, amelyek elég nagyok lennének a hordozásukra. Amit viszont mindenképpen ki kell emelni, az a Palas/Palma, ami talán a legkomolyabb CIWS a névleges paraméterei alapján.

[643] https://youtu.be/BPGcW4Lj4fc

Az első Type-055 osztályú kínai légvédelmi romboló vízrebocsátása előtt. Világoskékkel jelölve négy nagyobb (S-sáv), sötétkékkel négy kisebb (C-sáv) AESA radar, a híd felett zölddel jelöltek navigációs radarokat és/vagy ESM/ECM antennákat takarhatnak, a híd előtt egy Type 1130 CIWS (sárga), 64 db VLS indító (piros) és egy 130 mm-es hajóágyú (rózsaszín), a kínai zászló feletti (lilával jelöl) antenna feladata ismeretlen (EW?)

A többi haditengerészet sem marad el lényegében technikai szinten, az AEGIS rendszert „másoló" integrált (nem csak) légvédelmi rendszerek minden nagyobb haditengerészetben feltűntek, a franciától az indiaiig. Hasonló a helyzet a rakétákkal és a radarokkal is, noha figyelemreméltó, hogy az AN/SPY-1 és folyományai megtalálhatóak az amerikai haditengerészeten kívül az Ausztrál, Norvég, Spanyol, Dél-Koreai és Japán hadihajókon.

Ez egy Arleigh Burke-… helyett egy féltestvér, a Dél-Koreai Szedzsong a Nagy[644]-osztályú romboló

Az AN/SPY-1-hez hasonló, folyamatos 360 fokos célkövetésre képes rendszert csak a kínai és az izraeli, valamint indiai haditengerészet tart jelenleg hadrendben. Ezekhez viszont rögtön hozzá is kell tenni a mennyiség kérdését.

Az US Navy e sorok írásakor 66 db (!) Burke-osztályú AEGIS rombolóval és 22 db Ticonderoga-osztályú AEGIS cirkálóval rendelkezik. Ha emellé letesszük a Royal Navy 6db Type-45 légvédelmi rombolóját vagy a Francia és Olasz haditengerészet 2-2 db Horizon-osztályú egységét, nem vitás, hogy légvédelem terén az

[644] https://en.wikipedia.org/wiki/Sejong_the_Great-class_destroyer

Európai haditengerészetek sehol sem tartanak, még összesítve sem. Az amúgy öles lépésekkel fejlődő Kína 2 db Type-51C, 6 db Type-52C és 9db Type-52D egysége sem túl markáns szám, de ha a jelenlegi ütemet tartják, nem vitás, hogy nem csak regionális szinten lesznek kihívói az amerikai haditengerészetnek.

Ahol azonban még látványos a különbség, az a VLS indítók száma. Már az első Burke-osztályú egységek 90 darabos kapacitása is hatalmasnak tűnik (még ha el is marad a Ticonderogák 122 darabos befogadóképességétől), ha a brit Type-45- és a francia-olasz Horizon-osztály vagy a kínai Type-52C 48 darabjához vesszük, de a kínai Type-52D is csak 64 darabot tud felmutatni.

Az amerikai „VLS fölény" még úgy is félelmetes, ha tudjuk, hogy „csak" 60-70 db cellában tárolnak ezek közül légvédelmi rakétát, a többiben Tomahawk robotrepülőgép és SL-SUBROC[645] és torpedó van betöltve.

Az első méltó kihívó a 13 000 tonnás kínai Type-055 romboló, 128 (?) darabbal. Persze meg lehet említeni a Kirov-osztályt a 1x48 db 5V55RM (Sz-300F), 1x48 db 48N6 (Sz-300FM), 2x4x8 db 9M330 (Tor) és 192 db 9M311M (Kortik) rakétáival, csakhogy a Kirov osztály vízkiszorítása 30 ezer tonna táján van. A másik apró szépséghiba, hogy a megépült négy egységből egyedül a Nagy Péter (korábbi nevén Jurij Andropov) van szolgálatban, az rendelkezik a fenti légvédelemmel. Az Lazarov Admirális (korábbi nevén Frunze) és a Nahimov Admirális nem aktívak, korszerűsítésre várnak. (A Kirov osztály eltérő egységeinek légvédelmi fegyverzete nem azonos, lásd a lenti táblázatban.)[646]

ВООРУЖЕНИЕ КОРАБЛЕЙ ПРОЕКТА 1144/11442				
Проект	**1144**	**11442**		
Первоначальное название	Киров	Фрунзе	Калинин	Юрий Андропов
Противокорабельное ракетное	20 наклонных ПУ сверхзвуковых ПКР 3М45 комплекса П-700 «Гранит»			
Противолодочное	1 × 2 ПУ ПЛРК «Метель» (10 ракето-торпед) 2x5 533-мм ТА (10 торпед)	2 × 5 универсальные ракето-торпедные ПУ для ПЛРК «Водопад-НК» и 533-мм торпед (30 ракето-торпед или торпед)		
Средства ПВО	12 × 8 ВПУ ЗРК С-300Ф («Форт») (96 ЗУР 5В55РМ) 2x2 ПУ ЗИФ-122 ЗРК «Оса-М» (40 ЗУР 9М33) 8 × 6 30-мм АК-630М (48000 выстрелов)		12 × 8 ВПУ ЗРК С-300Ф (96 ЗУР 5В55РМ) 2 × 2 ПУ ЗИФ-122 ЗРК «Оса-МА» (40 ЗУР 9М33) 6 боевых модулей ЗРАК «Кортик» (192 ЗУР 9М311, 36000 выстрелов)	6 × 8 ВПУ ЗРК С-300Ф и 6 × 8 ВПУ ЗРК С-300ФМ (48 ЗУР 5В55РМ и 48 ЗУР 48Н6) 2 × 4 ПУ ЗРК «Кинжал» (64 ЗУР 9М330) 6 боевых модулей ЗРАК «Кортик» (192 ЗУР 9М311, 36000 выстрелов)
Артиллерия	2 × 1 100-мм АК-100 (1200 выстрелов)	1 × 2 130-мм АК-130 (1000 выстрелов)		
Реактивное бомбовое (ПТЗ)	1 × 12 213-мм РБУ-6000 (72 РГБ) 2 × 6 305-мм РБУ-1000 (48 РГБ)		1 × 12 213-мм РБУ-6000 (72 РГБ) 2 × 10 РБУ-12000 «Удав-1» (120 РГБ)	
Авиационное	3 вертолета Ка-27ПЛ и/или Ка-25РТ			
Плавсредства	Командирский катер проекта 1404, два рабочих катера проекта 1402Б, служебный катер проекта 1390			
Радиолокационное	РЛС ОВНЦ МР-710М «Фрегат-М» и МР-600 «Восход»		РЛС ОВНЦ МР-750 «Фрегат-М2» и МР-600 «Восход»	
Гидроакустическое	ГАК «Полином»			
Радиоэлектронной борьбы	4 станции комплекса «Гурзуф-А» и четыре станции «Гурзуф-Б»	Комплекс «Кантата-М»		
БИУС	«Аллея-2М»	«Лесоруб-44»		

[645] *Rakéta-póthajtással induló torpedó. Hasonló, mint a légvédelmi-rakéták szilárd tüzelőanyagú gyorsítófokozata.*
[646] https://goo.gl/NdH6JF

A brit DragonFire lézertorony makettje a DSIE 2017 kiállításon, ez is inkább a 2020-as évek közepére lesz realitás. Azonban ez sem a légvédelmi rakétákat váltja ki, hanem az ellenséges infravörös optikák megvakítása, illetve a kisebb drónok leküzdése lesz a feladata.

A szép marketing-anyagokon túl) sehol sem látni a különféle energiafegyverek robbanásszerű terjedésére utaló jeleket, noha a fejlesztéseikkel szinte mindenki kacérkodik. A jövőt tekintve tehát a jelenlegi rendszerek további finomítására lehet számítani, de egyelőre úgy tűnik, hogy nagyon nem a sci-fi filmek ábrándjai fognak visszaköszönni.

6.3.10. Hajófedélzeti légvédelmi rendszerek rövid összegzése

A lenti táblázat némileg eltér a szárazföldi légvédelmi rendszereknél alkalmazottól. A felderítő/kereső radarok (Early Warning, EW) nincsenek említve, ez(ek) az adott hajóosztálytól, de sokszor még hajóosztályon belül az adott egységek között sem volt egységes, így nem kerülnek felsorolásra. Ellenben megemlítjük a kezdeti hadrendbe állás időpontját (IOC). Amerikai és NATO rendszerek (1. oldal):

Rendszer	*IOC*	*FCR*	*Rakéta*	*Mennyiség és rávezetés*	*Megj.*
Talos	1958	AN/SPG-49	RIM-8 Talos	Egy vagy két 2 karos indító per hajó, indítónkként 52db rakéta (18-20db tűzkész) Indítónkként 2db tűzvezető radar Indítónkként 2 célpontra 2-2 rakéta (elvben)	2-5kT-ás nukleáris robbanófejes változata is hadrendben volt, amely nem rendelkezett félaktív végfázis-irányítással (távirányítással robbantották).
Terrier	1956	AN/SPG-55	RIM-2 Terrier SM-1ER	Egy vagy két 2 karos indító per hajó indítónkként 52db rakéta (korai változatoknál 18-20db tűzkész, később az összes tűzkész) Indítónkként 2db tűzvezető radar Indítónkként 2 célpontra 2-2 rakéta (elvben)	Létezett 1kT-ás nukleáris robbanófejes változata Az 1970-es évektől SM-1ER rakétára fegyverezték át őket
Tartar	1962	AN/SPG-51	RIM-24 Tartar SM-1MR (Harpoon)	Egy vagy két 2 karos indító (42db rakéta) vagy egy 1 karos indító(40db rakéta) per hajó Indítónkként 1 vagy 2db tűzvezető radar Indítónkként 2 célpontra 1 vagy 2 rakéta	Igen elterjedt rendszer volt, az egy célpontra két rakéta az egy indítókaros megoldásnál inkább elméleti lehetőség volt – amire a második rakéta elindulhatott, az első már esélyesen elérte a célpontot. A Tartar rendszer képes volt a Harpoon indítására is (jellemzően az egy karos indítóknál 31db Tartar / SM-1 és 8db Harpoon valamint 1 gyakorló rakéta volt a tárolóban) Az 1970-es évektől kezdve fokozatosan SM-1MR rakétára fegyverezték át őket
Sea Sparrow	1973	Mk.115 Mk.95 Thales Stir 1.8 / 2.4	RIM-7 Sea Sparrow	8db rakétát befogadó Mk.25 vagy Mk.29 indító (jellemzően 8-12 tartalék rakéta) Hajónként 1 vagy 2 indító Indítóként 1 vagy 2 tűzvezető radar Tűzvezető radaronként 1 célpontra 1 rakéta	Repülőgép hordozókon 2db Mk.29 indító és 4db Mk.95 tűzvezető radar, felszíni hajókon 1db Mk.25 vagy Mk.29 és 1 vagy 2 db tűzvezető radar.
Sea Sparrow VL	1996	Mk.115 Mk.95 Thales Stir 1.8 / 2.4	RIM-7M/P Sea Sparrow	Mk.48 GLMS VLS indító Mk.41 VLS indító Hajónként 8 vagy 16 indító Hajónként jellemzően két tűzvezető radar Tűzvezető radaronként 1 célpontra 1 rakéta	Kanadai, Japán, Dán, Holland, Dél-Koreai és Görög hadihajókon alkalmazzák. A 2000-es évektől ESSM-re fegyverzik át a többséget, egy indítócellába 2db (a Mod2 változatba 4db) ESSM fér
SM-1MR / ER	1967	AN/SPG-51 AN/SPG-55 AN/SPG-62	RIM-66 SM-1MR RIM-67 SM-1ER	Egy vagy két karos indító Hajónként egy vagy két indító Hajónként általában 2-4 tűzvezető radar Tűzvezető radaronként 1 vagy 2 rakéta	Első sorban a Tartar (SM-1MR) / Terrier (SM-1ER) rendszert váltó integrált megoldás. Közös rakétatest, az ER változatnál van egy plusz gyorsító fokozat.

Amerikai és NATO rendszerek (2. oldal):

Rendszer	*IOC*	*FCR*	*Rakéta*	*Mennyiség és rávezetés*	*Megj.*
SM-2MR	1979	AN/SPG-51 AN/SPG-62 Thales APAR	RIM-66 SM-2MR	Egy 1 karos vagy két 2 karos indító hajónként Mk.41 VLS indító (1 rakéta per cella) Hajónként 2, 3 (Burke és folyományai) vagy 4 (Ticonderoga) tűzvezető radar Tűzvezető radaronként 1 célpontra 2 rakéta Thales APAR AESA radar: több tűzcsatorna	Külön alváltozatok a Tartar rendszerhez, az AEGIS két karos indítóhoz, illetve az (AEGIS és társai) VLS indítókhoz.
SM-2ER	1981 (1999)	AN/SPG-62 Tahles APAR (?)	RIM-67 SM-2ER RIM-156 SM-2ER Block IV	Egy vagy két 2 karos indító vagy Mk.41 VLS indító (1 rakéta per cella) Hajónként 2, 3 vagy 4 tűzvezető radar Tűzvezető radaronként 1 célpontra 2 rakéta	A Terrier-rendszerrel bíró hajók közül az NTU-t kapott egységek kapták meg, illetve a Ticonderogák. A RIM-156 (1999) a VLS indítókba szánt változat.
SM-3	2005	(AN/SPY-1D)	RIM-161 SM-3	Mk.41 VLS (1 rakéta per cella) Hajónként 2 (?) célpont, célpontonként 1 rakéta	Egyes AEGIS hajók, illetve az AEGIS Ashore rendszerbe integrált ballisztikus-elhárító rakéta, amely a célpont pályájának a középső szakaszában képes a célpontot elfogni.
SM-6	2013	AN/SPG-62 (opcionális)	RIM-174 SM-6	Mk.41 VLS (1 rakéta per cella) Hajónként 16+ (?) célpont Célpontonként akár több rakéta	Aktív radaros önrávezetés (opcionális félaktív rávezetés), a Dual I. változatnál ballisztikus rakéták végfázisban való elfogására is képessé tették.
ESSM	2003	Mk.95 AN/SPG-51 AN/SPG-62 Thales Stir 1.8/2.4 Thales APAR AN/SPY-3	RIM-162 ESSM	Mk.29 8db rakétát befogadó indító Mk.41 VLS (4 rakéta per cella) Mk.48 VLS (2 vagy 4 rakéta per cella) Mk.57 VLS (4 rakéta per cella) Hajónként 2, 3 vagy 4 tűzvezető radar AESA radar (AN/SPY-3 / Thales APAR) esetén feltehetően nagy számú tűzcsatorna	Általános NATO kis- és közép hatótávolságú félaktív légvédelmi és önvédelmi rakéta. Integrálva van a legtöbb NATO flotta légvédelmi eszköztárába. Jellemzően hajónként 16-32 rakéta tűzkész. A tűzcsatorna az SM-1/SM-2 rakétákkal megosztott, ahol mindkét rendszer jelen van.
MASURCA	1968	DRBC-51	Masurca	Egy kétkaros indító per hajó (48 rakéta, ebből 19 tűzkész) Hajónként két tűzvezető radar Hajónként két célra 2-2 rakéta (elvben)	A két célpontra 2-2 rakéta a viszonylag lassú újra töltés miatt inkább elméleti opció volt. Mindössze három példányban készült a Francia haditengerészet számára
Sea Slug	1961	Type-901	Sea Slug	Hajónként egy kétkaros indító (24db rakéta) Hajónként egy tűzvezető radar Egy célpontra egy rakéta	Brit légvédelmi rendszer, szörnye körülményes és gyenge teljesítményű volt, az első változata még a hangsebességet se lépte át, 1965-től a jobb képességű Mark 2 változatra cserélték (Mach 2 végsebesség)
Sea Cat	1962	- (később Type-262 vagy Type-903)	Sea Cat	Hajónként 2x 4 indítókeret vagy 2x 2 karú állvány (jellemzően 40-60db rakéta per hajó) Két tűzvezető radar, 2 célpontra 1-1 rakéta	Hangsebesség alatti, kis hatótávolságú, rádió irányítású brit rakéta. A korai változatok kézzel irányítottak, a későbbi változatoknál már automata tűzvezetéssel látták el. Igen gyenge képességű, de megbízható rendszer.

NATO és „nyugati” rendszerek (3. oldal):

Rendszer	*IOC*	*FCR*	*Rakéta*	*Mennyiség és rávezetés*	*Megj.*
Sea Dart	1973	Type-909	Sea Dart	Egy 2 karos indító per hajó hajótípustól függően 22-38 rakéta Hajónként két tűzvezető radar Hajónként két célpontra 1 vagy 2 rakéta	Közepes-nagy hatótávolságú félaktív rávezetésű, torlósugárhajtóműves menethajtóművel rendelkező rakéta. A Falklandi-háborúban a földháttérrel nem tudott mit kezdeni, de ezt leszámítva viszonylag jó képességekkel bírt.
Sea Wolf	1979	Type-910 Type-911	Sea Wolf	Hajónként két 6 tárolós indító Hajónként 1 vagy 2 tűzvezető radar Tűzvezető radaronként 1 célpont és célpontonként 1 vagy 2 rakéta	A Sea Cat leváltására fejlesztették, az indítás után teljesen automata tűzvezetéssel rendelkezett parancsközlő irányítással. A megbízhatósága és kis magasságban beérkező több célpont leküzdése viszont kritikát érdemelt a Falkland-szigeteknél.
Sea Wolf VL	1990	Type-911	Sea Wolf VL	Hajónként 32db VLS indító Hajónként 2 tűzvezető radar Tűzvezető radaronként 1 célpont és célpontonként 1 vagy 2 rakéta	A Sea Wolf VLS indítóhoz idomított Sea Wolf rendszer, tökéletesítették a Falklandi-háborúban szerzett tapasztalatok alapján.
PAAMS	2001	-	Aster-15 Aster-30	Hajónként 48db VLS indító „Több, mint 10”[647] célpont szimultán leküzdése Célpontonként több rakéta is lehetséges	A brit Type-45 és a francia-olasz Horizon osztályú hajók fegyverzetéhez tervezték, aktív radaros végfázis vezérlés.
Umkhonto	2002	-	Umkhonto-IR	Hajónként 8-32 VLS (1 rakéta per cella) Nincs dedikált tűzvezető radar, a rakéta infravörös önirányítású	Dél-Afrikai kis hatótávolságú önirányítású légvédelmi rendszer, a működési elve lock-on-after-launch, és az első és középső fázisban inerciális (előre programozott) navigációval repül.
SAAM	2007	-	Aster-15	Hajónként 16-32 VLS indító 10+ célpont szimultán leküzdése Célpontonként több rakéta is lehetséges	A PAAMS egyszerűbb, olcsóbb és kisebb változata, csak Aster-15 rakétával
Sea Ceptor CAMM(M)	2017	-	CAMM	Hajónként 32 VLS indító Sylver és Mk.41 VLS indítók (4 rakéta per cella) „Több célpont”[648] szimultán leküzdése	Az AIM-132 ASRAAM alapján kifejlesztett kis hatótávolságú, aktív radar önirányítású légvédelmi rakéta.
VL-MICA	2017	-	VL MICA RF VL MICA IR	Hajónként 8-16 VLS Több célpont szimultán leküzdése	A MICA RF és IR rakéták hajóról indított változata, aktív radaros (RF) vagy infravörös (IR) önirányítással.

[647] https://www.gov.uk/government/news/royal-navys-sea-viper-missile-system-hits-its-target
[648] http://www.mbda-systems.com/product/sea-ceptor/

Szovjet/Orosz haditengerészeti légvédelmi rendszerek:

Rendszer	*IOC*	*FCR*	*Rakéta*	*Mennyiség és rávezetés*	*Megj.*
M-1 Volna	1962	4R90 Jatagán	4K90 4K91	Egy vagy két ZIF-101 vagy ZIF-102 két karos indító per hajó ZIF-101: 16db, ZIF-102: 32db rakéta per indító Indítónként általában két tűzvezető radar	Az első változatok elég kezdetlegesek voltak, de menet közben több fejlesztési cikluson is átestek
M-11 Storm	1969	4R60	4K60	Hajónként két 2 karos indító Hajóosztálytól függően 24-80db rakéta Hajónként két tűzvezető radar Hajónként 2 célpont ellen 1 vagy 2 rakéta	A korszakában jó képességű rendszer, noha a tűzcsatornák száma alacsonyabb volt, mint a hozzá mérhető Tartar / SM-1 rendszereké •Volhov helyett, mert az folyékony hajtó anyagú volt •Krug/Osza féle RPK, 2 db rakétacsatorna 1 db célcsatorna •HMZ 33,5 km •http://pvo.guns.ru/naval/m11.htm
OSzA-M	1971	4R33	9M33	Hajónként egy vagy két 2 karos ZIF-102 indító indítónkként jellemzően 20 rakéta Indítónkként 1 tűzvezető radar Tűzvezető radarunkként 1 célcsatorna, Célcsatornánkként 1 rakétacsatorna	Az OSzA tengerészeti változata, ám több eltérés is van a szárazföldi verzióhoz képest, például a két karos indító miatt csak két tűzkész rakéta per indító, illetve a tűzvezető radarkomplexum csak egy rakétacsatornát kezel a szárazföldi kettőjével szemben
Uragan (Stil)	1983	3R90	9M38 9M317	Hajónként két egy karos indító, indítónkként 24 rakéta Indítónkként egy tűzvezető radar Tűzvezető radaronként 1 célra 1 vagy 2 rakéta	A Buk rendszer megfelelője, de egy karos indítója miatt az egy célra több rakéta indítása inkább elméleti lehetőség.
Sz-300F Rif	1984	4R31	5V55RM	8x8 (64db) vagy 12x8 (96db) VLS hajónként (1 rakéta per cella) Hajónként 1 vagy 2 tűzvezető radar Tűzvezető radaronként 6 célpont Célpontonként 1-1 rakéta (vagy pontosabban összesen 6 rakétacsatorna)	Az Sz-300PSz tengerészeti változata a Szlava- és Kirov-osztályon.
Kinzsal	1989	3R95	9M330-2	4-24x 8 VLS (32-196db rakéta) per hajó Hajónként 1 vagy 2 tűzvezető radar Tűzvezető radaronként 4 cél Célonkként 2 rakéta	A Tor tengerészeti megfelelője.
Sz-300FM Rif-M	1998	4R48	48N6 9M96	6x8 (48db) VLS a Nagy Péter cirkálón Egy tűzvezető radar 6 célcsatorna (vagyis 6 rakétacsatorna)	A Nagy Péter (Kirov-osztály) elülső Sz-300 Rif légvédelmi rendszer helyére került, a hátsó maradt Sz-300F Rif.
Redut	2014 (?)	- (Poliment)	9M96 9M96D/M 9M100	8-32 VLS indító per hajó (1 rakéta per cella) A rakéták a végfázisban aktív radar önirányításúak, de az információk szerint egy Poliment radarantenna 4 célt / rakétát képes kezelni	Sok kérdőjel van a rendszerrel kapcsolatban, de a Poliment fázisvezérelt (4 fix antennával szerelt) radarral párosítva végfázisban önvezérlő 9M96 és később 9M100 rakétákkal használják.

Rendszer	IOC	FCR	Rakéta	Mennyiség és rávezetés	Megj.
Stil-1	2016 (?)	3R90 3R91	9M317M	2x 12 VLS indító per hajó (1 rakéta per cella) Hajónként 4 tűzvezető radar Tűzvezető radaronként 1 célcsatorna Célcsatornánként 1-3 rakéta	A BUK-M3 tengerészeti változata.

6.4. Légvédelmi rakéta-rendszerek összefoglaló táblázata

Rendszer	Felderítő radar	Tűzvezető radar	Rakéta	Mennyiség és rávezetés	Megj.
Sz-25 Berkut (SA-1)	10 db A-100D Moszkvától 400 km-re 10 cm + 4 db Moszkvánál	56 db B-200 (Yo-Yo) radar 10 cm (3 GHz) impulzus üzemű	V-300 rakéta egy fokozat, folyékony hajtóanyagú	1 db ezrednél 20 db célra 20 db rakéta 60 db rakéta állványon rádió-parancsközlő	•56 db ezred, kettős gyűrűben •34 db külső gyűrűben •22 db belső gyűrűben •(giroszkóp ideje a korlátozza a felkészített állapot hosszát, Dvina és Volhovnál is) •1984-ig
SzA-75 Dvina (SA-2A) (SA-2B) (SA-2F)	P-12 (tetszőleges) 1,5 m (150-200 MHz)	RSzNA-75 10 cm (3 GHz)	kétlépcsős (fokozatú), szilárd gyorsító és folyékony hajtóanyagú menethajtómű (SAMsim kézikönyv)	1 db osztály 1db célra 3 db rakéta 6 db rakéta 6 db állványon rádió-parancsközlő	•min. 3 km alsó megsemmisítési magasság a végén 1000 m (rádió gyújtó fejlesztés) •v_{max} = M1,5 •„kutyaól optika” manuális RPK Vietnámban is
Sz-75 Gyeszna (SA-2C)	P-12 (tetszőleges) 1,5 m (150-200 MHz)	RSzN-75 6 cm (5 GHz) (SzDC üzemmóddal)	mint Dvina	1 db osztály 1db célra 3 db rakéta 6 db rakéta 6 db állványon rádió-parancsközlő	•eltérő frekvencián üzemel, a Dvina a sürgősség miatt készült 10 cm-es hullámhosszal
Sz-75M Volhov (SA-2E)	P-18 1,5 m (150-200 MHz)	RSzN-75V 6 cm (5 GHz) (SzDC üzemmóddal)	mint Dvina	1db osztály 1db célra 3 db rakéta 6 db rakéta 6 db állványon rádió-parancsközlő	•LORO (ez is X legyez) •1 MW-os tűnyaláb, nagyobb felderítési/átégetési táv de csak egy célt világít meg, HARM erre is mehet. •„anti Shrike” üzemmód, mert szűk nyaláb van és nem 30 fokos tartományban legyez, •Karát TV •automatikus RPK AVR-rel végfázis (25 sec célmegvilágítással) •100 méter alsó magasság, „K” rávezetés •Hadsereg szintű légvédelem amíg nem volt 2K11 Krug
Sz-125M Nyeva (SA-3B)	P-15 dm 0,5-1 GHz	SzNR-125 3 cm (10 GHz) (SzDC üzemmóddal)	kétlépcsős (fokozatú), szilárd gyorsító és folyékony hajtóanyagú menethajtómű (SAMsim kézikönyv)	1 db osztály 1 db célra 2 db rakéta 8 vagy 16 db rakéta 4 db állványon rádió-parancsközlő	•Csak LORO-t tud, X legyezés kis magasság miatt •Karát TV

Rendszer	*Felderítő radar*	*Tűzvezető radar*	*Rakéta*	*Mennyiség és rávezetés*	*Megj.*
2K11 Krug (SA-4)	1Sz12 SzOC (Long Track) 3 GHz (10 cm) digitális kóddal elektronikus célátdobás	1Sz32 (Pat Hand) 10 cm monopulzus antenna SzDC tűnyalábbal	kétlépcsős (fokozatú), szilárd gyorsító és folyékony (kerozin) hajtóanyagú menethajtómű torlósugár menethajtómű (SAMsim kézikönyv)	1 db üteg 1 db célra 1 db rakéta 6 db rakéta 3 db indító járművön rádió-parancsközlő 1 db osztály = 3 db üteg	•SzOC négy nyalábbal magasságot becsül, kapcsolható, egymás után forgáskor. •A SzoC az nem P-40, csak külsőleg hasonló. P-40 ezred/dandárnak van 1 db PRV-16 magasság mérő radarral •nem folyamatos RPK, régi idők „LPI” rávezetése még a tűnyaláb sem folyamatos. •Karát TV itt is van. •1 db ezred: 2 db osztály 2 db Long track = 6 db üteg, •1 db dandár 3 db osztály 3 db Long Track = 9 db üteg, hadsereg és hadseregcsoport szintű légvédelem. •Csak VSz országokban exportálták.
Sz-200 Angara (SA-5)	P-14 (Tall King) 2 m 150 MHz	5N62VE monopulzus CW	kétlépcsős (fokozatú), szilárd gyorsító és folyékony hajtóanyagú menethajtómű (SAMsim kézikönyv)	1 db osztály 1 db célra akárhány (3 db) rakéta félaktív 6 db rakéta 6 db állványon	•Nem került exportra.
Sz-200 Vega (SA-5A) (SA-5B export)	P-14 (Tall King) 2 m 150 MHz	5N62VE monopulzus CW	mint Angara	1 db osztály 1 db célra akárhány (3) rakéta félaktív 6 db rakéta 6 db állványon	•Alapvetően AVR-rel működésre tervezték
Sz-200 Dubna (SA-5C)	P-14 (Tall King) 2 m 150 MHz	5N62VE monopulzus CW	mint Angara	1 db osztály 1 db célra akárhány (3) rakéta félaktív 6 db rakéta 6 db állványon	•NDK-ba tervezték telepítését, de keleti blokk felbomlása megakadályozta a rendszeresítését. •Sz-300/400 váltotta le is az oroszoknál, az utolsó Sz-200 Dubna 2007 körül került kivonásra.
2K12 Kub (SA-6)	1Sz12 SzOC (Long Track) ? 7 GHz ? 2,2-2,3 GHz E sáv 2-3 GHz (15-10 cm digitális kóddal elektronikus célátdobás	1Sz91SzURN	két fokozat, szilárd hajtóanyagú gyorsító és szilárd hajóanyagú torlósugár menethajtómű, gyorsítót. nem dobja le	1 db osztály 1 db célra 3 db rakéta 12 db rakéta 4 db indító járművön	•Legkorszerűbb rakétával indítás utáni célmegvilágítás optikai célkövetés mellett M3 változatnál legkorszerűbb rakétával •VSz-en kívüli változat neve Kvadrát
Kub-M4					•TEL--> TELAR koncepció lett volna, de nem új rakétával, mint 9K37 Buk-M1 esetén

Rendszer	*Felderítő radar*	*Tűzvezető radar*	*Rakéta*	*Mennyiség és rávezetés*	*Megj.*
9K33 Osza (SA-8)	SzOC SzDC imp. radar 4 cm/7,5 GHz	SzSzC 2 cm/15 GHz monopulzus antenna SzDC tűnyalábbal	egy fokozat, szilárd hajtóanyagú, kettős tolóerő profillal (SAMsim kézikönyv)	egy jármű 1 db célra 2 db rakéta 4 db/jármű --> 6 db/jármű AK és AKM változatnál	•Krug „kistestvére”, de még bonyolultabb antenna rendszerrel •Krug féle „LPI” nincs, mert nincs Long Track •Karát TV •haditengerészeti változatánál a síkbeli stabilizáció miatt csak 1 db cél- és rakétacsatorna •AK és AKM voltak elterjedtek
9K37 Buk-M1 (SA-11)	üteg szinten 1 db SzOC 9S18M1 Kupol (Snowdrift) PESA 2-3 GHz (E sáv) (15-10 cm)	SzOU (TELAR) PZU (TEL) CW radar	egy fokozat, szilárd hajtóanyagú	2 db TELAR + 1 db TEL = 1 db üteg 3 db üteg = 1 osztály 4 db osztály = 1 db dandár Félaktív vezérlés	•Haditengerészeti projekt, szárazföldiek csak repesz módosítás után fogadták el A-10 miatt. • TELAR 1 db célcsatornás
Buk-M2 (SA-17)					•fázisvezérelt, TELAR szimultán képes dolgozni •új rakéta
Buk-M3 (SA-17)					•új rakéta, konténeres megoldás (Stihl rendszerrel közös) •aktív radaros vezérlés is lehetséges
9K331 Tor-M1 (SA-15)	körbeforgó ? dm ? 1 sec, 3 sáv, mint Long Track (4 fokos nyaláb)	Nagy antenna PESA, 2db rakétát + 1 db célt követi ? mm? kis antenna nyalábba viszi a rakétát + parancsközlő	egy fokozat, szilárd hajtóanyagú	egy jármű 8 db rakéta rádió-parancsvezérelt 2 db célra 4 rakéta 4 sec / 1 rakéta	•7x3 fok, szűk nyaláb •Kinzál haditengerészeti légvédelmi rendszer (Tor-M1) •Tor alap változat 1 db célcsatornás volt, a Kirov osztályra ezt telepítették (9K330)
9K332 Tor-M2 (SA-15)	körbeforgó AESA ? cm / mm ?	Nagy antenna PESA, 2db rakétát + 1 célt követi ? mm? kis antenna nyalábba viszi a rakétát + parancsközlő	egy fokozat, szilárd hajtóanyagú	egy jármű 8 db rakéta 4 db célra 2 db rakéta 2 sec / 1 rakéta	•2 db nyalábba vivő antenna, lézertávmérő, auto követés •szélesebb tartományban lát 60x60 fok (?)
Tunguszka 2K22M (SA-19)	SzoC	SzSzC optika + rádió pk.	két fokozat, szilárd gyorsító fokozat, de második lépcső hajtóanyag nélküli leváló fokozat	1 db célra 2 darab rakéta 8 db rakéta	•Már a ’70-es évek végén megvoltak alapjai

Rendszer	Felderítő radar	Tűzvezető radar	Rakéta	Mennyiség és rávezetés	Megj.
70R6 Sz-300PT (SA-10A)	•5N64 RLO (Big Bird) az ezred/ dandár vezetési osztálynál •5N66 NVO (Clam Shell) kismagasságú osztályonként	5N63 RPN (Flap Lid) alávilágítás	egy fokozat, szilárd hajtóanyagú	5V55K RPK, de fejlettebb, mint Sz-75 6 db célra 12 db rakéta 12x4 db rakéta	•25 méteres alsó magasság, BGM-109 Tomahawk miatt •TVM/SAGG még nem volt kész, tisztán RPK vezérlés •RPK miatt HMZ 55 km •Az 56 db Sz-25 ezred --> 56 db osztály Sz-300PT, 10 db ezred •(5P85SU táp + vezérlés a DU-hoz) •1979-től külső gyűrűn kezdték hadrendbe állítani, 2017-ben PSz vagy PM volt már csak hadrendben
70R6 Sz-300PT1 (SA-10A)	•5N64 RLO (Big Bird) az ezred/ dandár vezetési osztálynál •5N66 NVO (Clam Shell) kismagasságú osztályonként	5N63 RPN (Flap Lid) alávilágítás	egy fokozat, szilárd hajtóanyagú	5V55R SAGG 6 db célra 12 db rakéta 12x4 db rakéta	•PT-ből 1981-től •SAGG vezérlés, SAGG TVM-nél is zavarvédettebb, •HMZ 75 km •1984-re Sz-25 kivonva az PT-1 és PSz telepítések után
75R6 Sz-300PSz (orosz) 90Zs6 Sz-300PMU (export) Volhov-M (SA-10B)	•5N64Sz RLO (Big Bird) az ezred/ dandár vezetési osztálynál •5N66M NVO (Clam Shell) kismagasságú osztályonként •Export változatnál 36D6 SzT-68U (Tin Shield) harci osztály szinten, de nincs Big Bird	5N63Sz RPN (Flap Lid) 30N6E (export) alávilágítás	egy fokozat, szilárd hajtóanyagú	5V55K/5V55R 6 db célra 12 db rakéta 12x4 db rakéta	•Ez az eredetileg elképzelt változat, az orosz kialakítással •exportra ezt ajánlották 5V55K és 5V55R-rel, de vezetési osztály nélkül, helyette harci osztályonként SzT-68U (Tin Shield)
Sz-300PM (orosz) Sz-300PMU1 (export) Volhov M6M (SA-20A)	•64N6(E) RLO (Big Bird) az ezred/ dandár vezetési osztálynál •76N6 NVO (Clam Shell) kis magasságú osztályonként	30N6(E1) RPN (Tomb Stone) alávilágítás (nagyobb HMZ-hez)	egy fokozat, szilárd hajtóanyagú	48N6 6 db célra 12 db rakéta 12x4 db rakéta	•nincs SzU/DU, minden indító SzU •PSz-hez képest anti-BM képessége van 2800 m/s cél sebességéig, de kell hozzá a Big Bird (ezredeként) •HMZ 150 km •Kína, Görögország, Algéria, Vietnám
Sz-300PM2 (orosz) Sz-300PMU2 (export) Favorit (SA-20B)	•64N6-2(E) RLO (Big Bird) az ezred/ dandár vezetési osztálynál •96L6(E) VVO (Cheese Board) harci osztályoknál	30N6-2 RPN 30N6E2 (export) (Tomb Stone) alávilágítás nagyobb HMZ-hez	egy fokozat, szilárd hajtóanyagú	48N6D 6 db célra 12 db rakéta 12x4 db rakéta	•Kvázi Kínának kifejlesztett változat, de végül más ország és Oroszország is rendelt belőle. •ABM képesség van •HMZ 200 km
Sz-400 (SA-21)	•91N6(E) RLO (Big Bird) az ezred/ dandár vezetési osztálynál •96L6(E) VVO (Cheese Board) harci osztályoknál	92N6(E) MFR (Grave Stone) alávilágítás	egy fokozat, szilárd hajtóanyagú	48ND6M 12 db célra 24 db rakéta 12x4 db rakéta	•ex. Sz-300PM3/PMU PR okokból átnevezve Sz-400-ra •HMZ 250 km •40N6 rakétát 2017 végéig nem mutatták be, papíron létezik, HMZ 380 km

Rendszer	Felderítő radar	Tűzvezető radar	Rakéta	Mennyiség és rávezetés	Megj.
Sz-300V1 (SA-12A)	•*9Sz15 KO Obzor-3* (Bill Board) dandár vezetési osztály körkörös célfelderítő radarja	•9Sz32 SzNR (Grill Pan) harci osztály tűzvezető radar •9A83 PZU folyamatos hullámú célmegvilágító radar, osztályonként 4 db	9M83	•kombinált RPK végfázis CW megvilágítással •egy harci osztályban 24 db 9M83 4 db célcsatorna	•V1 sikertelen Pershing II ABM képesség nélküli (kb. PS), 1983-ban, osztályonként csak két üteg, ABM üteg és radar nélkül •HMZ 75 km repülőgépek ellen •300 km hatótávolságú ballisztikus elhárítási képesség
Sz-300V (V2) (SA-12B)	•*9Sz15 KO Obzor-3* (Bill Board) dandár vezetési osztály körkörös célfelderítő radarja •9Sz19 PO Imbir radar (High Screen) ballisztikus rakéta felderítő radar	•9Sz32 SzNR (Grill Pan) harci osztály tűzvezető radar •9A83 PZU folyamatos hullámú célmegvilágító radar, osztályonként 4 db •9A82 PZU folyamatos hullámú célmegvilágító radar, osztályonként 2 db	9M83 9M82 (ballisztikus rakéta ellen)	•kombinált RPK végfázis CW megvilágítással •egy harci osztályban 24 db 9M83 4 db célcsatorna •6 db 9M82 2 db ABM célcsatorna	•Ez volt az eredeti terv. V1 változat Pershing II elleni ABM képességgel kiegészítve •1988-tól állt hadrendbe •HMZ 100 km repülőgépek ellen •1100 km hatótávolságú ballisztikus elhárítási képesség (3000 m/s célsebesség), HMZ 40 km,
Sz-300VM (V4) (SA-23)	•*9Sz15M KO Obzor-3* (Bill Board) dandár vezetési osztály körkörös célfelderítő radarja •9Sz19M PO Imbir radar (High Screen) ballisztikus rakéta felderítő radar	•9Sz32M SzNR (Grill Pan) harci osztály tűzvezető radar •9A83 PZU folyamatos hullámú célmegvilágító radar, osztályonként 4 db •9A82 PZU folyamatos hullámú célmegvilágító radar, osztályonként 2 db	9M83M (120-130 km) 9M82M (200-250 km) 9M82MD (350 km) (ballisztikus rakéta ellen)	•kombinált RPK végfázis CW megvilágítással •egy harci osztályban 24 db 9M83M 4 db célcsatorna •6 db 9M82M/MD 2 db ABM célcsatorna	•2013-ban V3 változat 9M82MD nélkül •Új rakéta és osztály tűzvezető radar •2015-ben (?) állt hadrendbe •HMZ 200-350 km repülőgépek ellen •1100 km hatótávolságú ballisztikus elhárítási képesség (3000 m/s célsebesség), HMZ 40 km, •2500 km hatótávolságú ballisztikus elhárítási képesség (4500 m/s célsebesség), HMZ 30 km,
Nike Ajax	LOPAR (Low Power Acquisition Radar) eredetileg csak aq. radar volt 1 MW 3,1-3,5 GHz 120k yard (kb. 110 km)	TTR (Target Tracking Radar) 200-400 kW 8,5-9,6GHz, 100k yard MTR (Missile Tracking Radar)	két fokozat szilárd hajtóanyagú gyors. folyékony menet RPK, RPK vezérelt volt a harci rész 1 db célcsatorna 1 db rakétacsatorna	osztályonként 3 db állvány, 3-4 db rakéta/állvány	•Összesen 223 db osztály USA, 24 db Európában, 103 db raktárba került •14 ezer db rakéta, 1954-1957 között telepítve. •1964-ben volt az utolsó is hadrendből kivonva •Nem azonos az osztályonkénti rakéta mennyiség • nem volt hozzá atomtöltet, tömeges támadás ellen alkalmatlan,emiatt fejlesztették ki Herculest, nukleáris harci rész és HMZ növelés a civilek védelmében •HMZ 40 km
Nike Hercules basic	LOPAR (Low Power Acquisition Radar) eredetileg csak aq. radar volt 1 MW 3,1-3,5 GHz	TTR (Target Tracking Radar) 200-400 kW 8,5-9,6GHz MTR (Missile Tracking Radar)	két fokozat szilárd hajtóanyagú gyorsító. folyékony menethajtómű RPK vezérlés 1 db célcsatorna 1 db rakétacsatorna	osztályonként 3 db állvány, 3-4 db rakéta/állvány	•TTR és MTR forma és teljesítmény változott, TTR MTI üzemmóddal földháttérben követésre képes •nukleáris harci rész, csak gyakorló változatnak volt hagyományos harci része • „Dvinából Vegát”. Jellegű átépítés, a gyorsító fokozat négyszerese Ajax rendszernek, 1958-62 állt hadrendbe •szárazföldi célra is tüzelhetett 180 km-ig. •HMZ 90 km

Rendszer	*Felderítő radar*	*Tűzvezető radar*	*Rakéta*	*Mennyiség és rávezetés*	*Megj.*
Nike Hercules improved					•Zavarás ellen + 1 db extra dm-es radar, csak akkor működik, ha távolságot mér. Mind monopulzus radar volt. TRR időnként beszúrt volna és más frekin. 1961-től.
Nike Hercules ATBM					•10 MW HIPAR 1,35-1,45GHz,350k yard így lett az AR-ból LOPAR, 1963-től.SCUD kategória ellen. •A HIPAR Európában problémás volt a használt hullámhossza miatt.
HAWK	1 db PAR 1 db CWAR 1 db ROR (csak zavaráskor)	2 db HIPIR	2 db célcsatorna 2 db tűzcsatorna	3-3 db állvány állványon 3 db rakéta félaktív	•1 db komplexum = 2db tüzelő osztály, ketté bontható •USA gyakorlatilag nem használta otthon, csak kiképzésre és Floridában telepítettek osztályokat •Későbbi változatok során radarok száma és típusa változott •Kettős tolóerő fokozatú rakéta MIM-23B változattól •PIP III-tól fél-automatikus üzem
Patriot	AN/MPQ-53 •Irányok és üzemmód szerint optimalizálja a keresést. Horizont, pop up, stb. •előre néz (primary target line), ehhez képest: ± 45 fok célfelderítés ± 55 fok célkövetés •rávezetés közben fix oldalszögben áll •nincs körkörös keresési képesség	Felderítő radar látja el a feladatot	•8 db cél ellen 16 db rakéta lehet úton, a TVM végfázis szakaszban 3 db rakéta lehet •állványok fele balra 90 fok és középre, másik fele jobbra 90 fok és középre tüzelhet •nem körkörös csak 270 fokos indítási zóna •M3.0 körüli égésvégi sebesség	MIM-104 68,5 km MIM-104A 68,5 km (csak gyújtó eltérés) ez a rakéta nem tovább fejleszthető	•125 db osztály az eredeti terv, 625 (5/ osztály), 6250 rakéta (50/osztály), eredeti terv •1980 első 5 db osztály, nem igazán volt jó, költség miatt 103 db osztályra csökkentés, de 60 rakéta / osztály növelés •1985 – 58 db elkészült, 1989-93 között összesen 36 db osztály •A rendszert alapvetően menedzselik, nincs indítási gomb, az operátor prioritási listát állít össze, védendő területeket jelöl ki, stb.
Patriot PAC-1	AN/MPQ-53	Felderítő radar látja el a feladatot	•M5.0 körüli égésvégi sebesség	MIM-104B (SOJ) 160 km kevés készült	•Szoftver upgrade, gyakorlatilag csak USA használta •csak upgrade, nem új gyártás,
Patriot PAC-2	AN/MPQ-53	Felderítő radar látja el a feladatot		MIM-104C 160 km	•1987-1991 között kb. 500 „C” változatú rakéta, •Nagyobb teljesítményű radar, új rakéta, •Más ország is százas nagyságrendben rendelt, összesen 2000 db rakéta 1994-ig.
Patriot GEM	AN/MPQ-53	Felderítő radar látja el a feladatot		MIM-104D 220 km MIM-104E GEM+ 220 km	•184 db 1995 csak USA, kompozit rakéta test •2005 - GEM-T PAC-2 rakétából átépítés, 90 db, GEM-C 73 db-ot GEM rakétából
Patriot PAC-3	AN/MPQ-65	Felderítő radar látja el a feladatot		MIM-104F PAC-3 30 km aktív radaros, közvetlen ütközés	•2001, 1 ---> 4 db kis rakéta ATBM, ez már széttelepíthető, 16 db indítóállvány a maximum

Rendszer	*Felderítő radar*	*Tűzvezető radar*	*Rakéta*	*Mennyiség és rávezetés*	*Megj.*
NASAMS	AN/MPQ-64 Sentinel (tetszőleges mennyiség)	Nincs	Lásd megjegyzéseknél	Állványonként 6 db (tetszőleges állvány mennyiség 12 db-ig) rakéta darabszám = célcsatorna	• lézertávmérő és optikai követés külön járművön • AIM-120 mellett integrációra szinte bármilyen korszerű nyugati légiharc-rakéta, AIM-9X, IRIS-T, Meteor, eddig csak ESSM és AIM-120-szal vagy AMRAAM-ER-rel rendelték meg (2017)

7. Levegő-föld fegyverzet típusai, vezérlések fajtái

Eddig a fejezetig bezárólag szóba került, hogy a vadászgépek hogyan és mivel küzdhetik le a légi célokat, szárazföldi és hajóra telepített légvédelmi rendszerek a repülőgépeket, helikoptereket, ballisztikus rakétákat és egyéb rakétákat, de gyakorlatilag alig esett szó, hogy a repülőeszközök milyen csapásmérő fegyverzettel rendelkeznek, illetve mik azok képességei és alkalmazási korlátjaik.

(A lábjegyzetekben levő videók megnézése különösen ajánlott ezen fejezetek esetén, mert egy jó videó többet ér ezer szónál is, megkönnyítik a leírtak értelmezését.(

7.1. Nem irányított fegyverek

A csapásmérő fegyverek között a nem irányított fegyverek már kezdetek óta léteznek, csak képességeik változtak az adott kor színvonalának megfelelően. Alapvetően három kategóriát ölelnek fel, ha csak szárazföldi célpontok elleni bevethetőséget tekintjük, ami kiegészül egy negyedikkel és ötödikkel haditengerészeti alkalmazás során, amiből az egyik nem közvetlenül alkalmazott eszköz, ezek a következőek:

1. csöves tűzfegyverek, géppuskák, gépágyúk, extrém esetben ágyúk
2. szabadesésű bombák
3. nemirányított rakéták
4. nem irányított torpedók
5. légi telepítésű aknák

Az első három kategória erényei nagyjából kimerülnek egyszerűségükben, azonban pontosságuk és korlátjaik minden fejlesztés ellenére egy ponton túl eredménytelenné teszi használatukat a fizika törvényszerűségei miatt.

7.1.1. Tűzfegyverek, géppuskák, gépágyúk, ágyúk

A tűzfegyvereket alapvetően azok űrmérete/kalibere (csőátmérő) szerint kategorizálják, de természetesen további fontos paramétereik is vannak, illetve azok alapvető működési elve szerint is lehet kategorizálna azokat. Kaliber szerint géppuskáról beszélünk 12,7 mm-es (0,5 hüvelyk) csőátmérőig, 12,7-20 mm között nehéz géppuskáról, 20 mm és afeletti űrméretnél gépágyúról nagy tűgyorsaságú tűzfegyverek esetén.

A nehéz géppuskák korszaka az ’50-es években gyakorlatilag befejeződött, a repülőgépek mérete és szerkezeti szilárdsága elérte azt a szintet, hogy a géppuska lőszerek romboló ereje elégtelenné vált. A Koreai háborúban sok amerikai pilóta panaszkodott arra, hogy bár a 6 darab 12,7 mm-es géppuskájával láthatóan több találatot is elért MiG-15-ösökön, azok láthatóan nem szenvedtek súlyos sérülést. Ellenben a MiG-15-ösökön 23 mm és 37 mm-es gépágyúk voltak, amelyeknek ugyan a tűzgyorsasága szerényebb volt, de ha eltalálták a célpontot, akkor általában elég kárt okoztak ahhoz, hogy a gép legalábbis harcképtelenné, de általában repképtelenné is vált. Ellenben a nagyobb kaliberű gépágyúk szórása és tűzgyorsasága alacsonyabb és a két eltérő űrméret miatt a szórásuk nagy volt, tehát mindkét oldal az optimálishoz képes rosszabb fegyverzettel indult harcba. Az amerikai gépek a II. világháborús tapasztalatok alapján II. világháborús vadászgépek ellen szánt géppuskákkal, a MiG-15 pedig inkább a bombázók ellen megfelelő fegyverzettel.

Emiatt az utolsó nagy számban használt amerikai vadászgép, ami a M2 Browning családból származó géppuskát használt az F-86 Sabre volt, az 50-es évektől kezdve a 20 mm vagy afeletti űrméretű gépágyúk terjedtek el minden vadászgépen. Az, hogy azonban milyen elven működtek és milyen műszaki megoldást alkalmaztak ezek, az már igen változatos volt az elvárt tűzgyorsaság és kaliber kombinációja szerint.

A 30 mm, vagy afeletti nagy kaliber inkább illett a bombázók elleni elfogóvadászokhoz, azonban amikor megjelentek a légiharc-rakéták és rájöttek arra, hogy a manőverező légiharc nem tűnt el, akkor a 30 mm feletti űrméret vált okafogyottá vadászgépeken. Ennek oka azok tűzgyorsasága és kedvezőtlen ballisztikai tulajdonágaik voltak. Nagyobb kaliber esetén az ésszerűen megvalósítható tűzgyorsaság számottevően alacsonyabb, illetve a nagyobb lövedékek általában (de messze nem törvényszerűen) egyben kisebb torkolati sebességgel rendelkeznek, vagyis hosszabb időre van szükségük, hogy elérjék a célpontot. Ezen felül a lövedékek mérete miatt azok lőszerkészlete korlátozott volt. A manőverező vadászgépek ellen a felsoroltak miatt a kisebb kaliber és nagyobb tűzgyorsaság a célszerűbb. Ennek eredménye az, hogy ma lényegében minden vadászgép, de még a csapásmérő gépek is – már amin egyáltalán van gépágyú – 20 mm és 30 mm közötti kaliberű gépágyúval rendelkezik.

Örök vita tárgya az, hogy mi az optimális kaliber és tűzgyorsaság a vadászgépeken beépített tűzfegyverek terén. A dilemma egyik tárgya volt még az irányított precíziós fegyverek megjelenése előtt, hogy adott esetben földi célpontok ellen is komolyan számoltak a gépágyú használatával, ahol előnyös a 20 mm feletti űrméret páncélozott járművek ellen. Még, ha megsemmisíteni nem is képesek a repülőgépek, harcképtelenné tehetik azokat. Azonban manőverező légiharban az alacsonyabb tűzgyorsaságú nagyobb kaliberű ágyú „sörét" hatása gyengébb volt, hiába rendelkeztek megfelelő pusztító erővel.

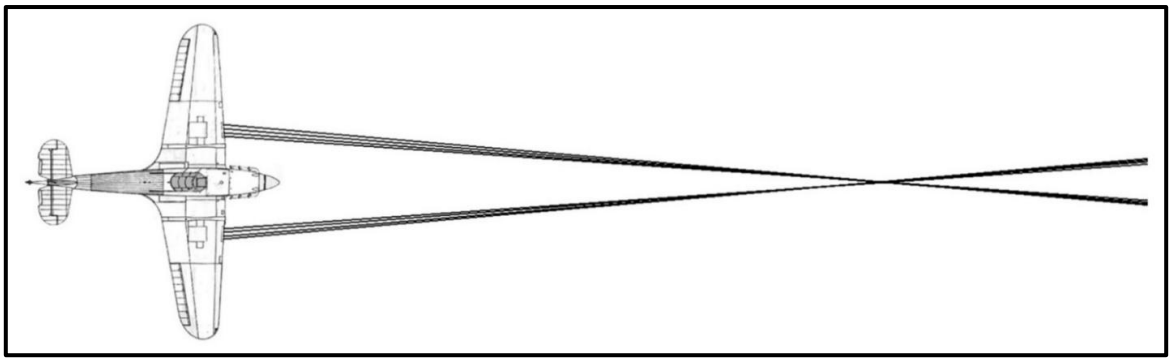
A különféle műszaki megvalósítású gépágyúk alapvetően azzal variáltak, hogy hány darab csövet, milyen lőszeradagolási módszert, illetve milyen hűtést választottak, ezzel egyensúlyoztak a tűzgyorsaság, kaliber, lövedék kezdősebesség szentháromság (no meg a csőélettartam, de ez már nem harcászati paraméter) között. Tehát pusztán a kaliber önmagában nem írja le egy tűzfegyver paramétereit, a MiG-29 GSh-301 és az A-10 30 mm-es gépágyúja hiába rendelkeznek azonos kaliberrel azok beépítése helye és tűzereje és célpontjaik teljesen eltérő kategóriát képeznek, ahogy a mögöttük levő célzó rendszerek is.

Balra fent 3 db géppuska egy P-51 Mustang szárnyában, jobbra fent az F-86 orr részén 3 db géppuska nyílása, a szerelőajtó nyitott állapotban a kabintető alatt.

A repülőgépekre telepített csöves tűzfegyverek esetén prioritás a magas tűzgyorsaság, mert a célpont sokszor csak a másodperc tört részéig van megfelelő helyzetben, ezen rövid idő alatt kellene eltalálni. (Ez egyaránt igaz földi és légi célpontok ellen is adott esetben.) A tűzgyorsaság a hagyományos egycsövű gépfegyvereknél általában 1200-1400 lövés/perc szintig emelhető, ez másodpercenként kb. 20-23 db lövést

jelent. A találati esély növelésére az egycsövű gépfegyverekből többet szükséges beépíteni, emiatt a II. világháború alatt a 6-8 db beépített géppuska sem volt ritka a vadászgépeken.

Ezeket jellemzően a szárnyakba, vagy ahol volt hely ott az orrba építették be, de az orrba gyakrabban inkább a gépágyú(k) kerültek. Ezek vagy a légcsavar körön keresztül tüzeltek a II. világháború alatt – az I. világháború alatt megalkotott szinkronizáló szerkezetekkel – vagy a légcsavar orrkúpján keresztül, de ez esetben csak 1 db gépágyú volt beépíthető. A több ponton beépített tűzfegyverek nem a gép hossztengelyével párhuzamosan voltak beépítve, hanem adott távolságba beállítva összetartottak azok egy pontba küldték a lövedékfolyamot, persze némi szórással, ezzel hozva létre egy felületet, amin belül kellett a célpontnak lennie a találathoz.[649]



Géppuska összetartás sematikusan ábrázolva.

A gépágyúk és géppuskák esetén a lövedékek kezdősebessége és a lövedékek ballisztikai tulajdonságai néhány száz méteres, vagy legfeljebb 1 kilométeres hatásos lőtávolságot tesznek lehetővé nem manőverező légi célok ellen, 1 km feletti lőtávolság inkább csak szárazföldi célpontok esetén értelmezhető.

A gépágyúk főbb típusainak ismertetése előtt érdemes tisztázni, hogy a műszaki kialakítást alapvetően két nagy tényező szerint lehet csoportosítani. Az első faktor az, hogy a fegyver igényel-e külső erőforrást a működtetéshez, a második a fegyver kialakítása a csőszám és a töltő/ürítő és zárszerkezet szerint. Ahogy a későbbiekben látni fogjuk, többcsövű tűzfegyver kialakítása lehetséges azonos elven működő szerkezettel úgy, hogy az egyik külső erőforrást igényel, a másik meg nem.

A II. világháborút követő időszakban a USAF és a US Navy a 20 mm-es űrméret mellett döntött, az egycsövű gépágyúkból 2-4 darabot építettek be, Az ’50-es évek végétől a XIX. századi Gatling elv[650] feltámasztása és felhasználása mellett döntöttek, de sokkal korszerűbb formában, ennek gyermeke lett az M61 Vulcan 20 mm-es gépágyú és kistestvére az M134 7,62 mm űrméretű Minigun géppuska.

A Gatling módszer lényege, hogy több cső van kör alakban elhelyezve (csőköteg),[651] minden csőnek saját töltényűre és töltő/ürítő mechanizmusa van, amit a csőköteg forgatásával működtetnek. A XIX. századi eredeti Gatling gépfegyvereket kézzel működtették – tehát külső erőforrása volt, az ember –, ami a nagy tűzgyorsaságon túl számtalan előnnyel rendelkezett, például a működtetésénél a besült lőszer nem okozott problémát, mert egyszerűen tovább tekerve a lőszert kivetette a rendszer, mint egy üres hüvelyt. Lőszerhiba esetén sem csökkent a tűzgyorsaság a fegyver nem akadt el.

[649] https://en.wikipedia.org/wiki/Gun_harmonisation
[650] https://www.youtube.com/watch?v=ZoMe8hV6uFM
[651] https://www.youtube.com/watch?v=j8s6Vul1Mn8

Gatling elképzelése a XX. század elején elvérzett a Maxim-féle géppuskával szemben, amely teljesen önműködő volt, nem igényelt külső erőforrást, legyen az kurblit tekerő kezelőszemélyzet vagy hidraulikus külső erőforrás.

A Gatling elven működő hatcsövű M61 Vulcan esetén külső erőforrás volt szükséges, a működtetést hidraulikus motorra bízták.[652] A gépágyú tűzgyorsasága 6000 lövés/perc volt, amivel nemcsak elérte, de meghaladta a II. világháború alatt több géppuskával elérhető tűzgyorsaságot. Az M61 Vulcan a mai napig az amerikai vadászgépek elmaradhatatlan kelléke lett, egyedül Tengerészgyalogság számára készült AV-8B Harrier II vadászgépnél nem alkalmazták a '60-as évek eleje óta hadrendbe állított típusokat nézve. A tisztán amerikai tervezésű vadászgépeknél az első nem M61-gyel felszerelt vadászgép az F-35,[653] ahol a 25 mm-es GAU-22 gépágyú használata mellett döntöttek, aminek bár űrmérete nagyobb, de továbbra is kitartottak a Gatling elv mellett. (A JSF projekt elején felmerült a Mauser BK27 elektromos hajtású és elsütésű változatának kifejlesztése az F-35 számára, de ezt végül elvetették.)

M61 Vulcan gépágyú egy adott konfigurációban. Látható a jellegzetes lőszerdob és szalagos lőszerheveder továbbító rendszer.

Kivételnek tekinthető a hidegháború alatt az F-5A/E típus, ami nem Gatling elven működő, hanem a revolver megoldást (lásd később) használó M39 20 mm-es gépágyúval rendelkezett, azonban az USA csak agresszor századoknál használta kiképzési célokra, bevethető harci alakulatok nem rendelkeztek a típussal. Az A-4 Skyhawk csapásmérő szintén revolveres megoldást használó Colt Mk.12 típusú 20 mm-es gépágyúval rendelkezett. Összességében elmondható, hogy az USA-ban tervezett és gyártott vadászgépeken és csapásmérőkön az M61 Vulcan és a Gatling elvet használó ágyúk voltak a jellemzőek a '60-as évektől kezdve. A fenti két repülőgépet még az '50-es években tervezték, azok a múlt örökségei.

---

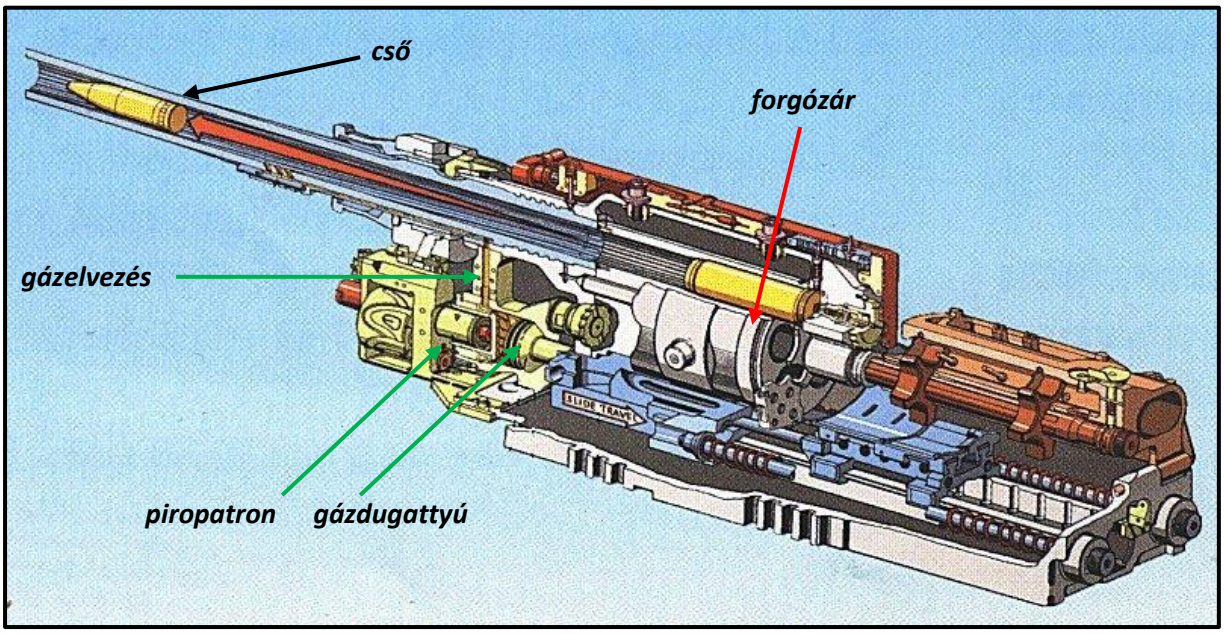
[652] *Elektromos módon is lehetséges a meghajtás a Gatling elven működő fegyvereknél is. A hidraulikus meghajtás azt jelenti, hogy a repülőgép hidraulikai rendszerének nyomását felhasználva lapátozáson keresztül hajtanak meg motort, a szivattyúk működési elvét megfordítva. Tehát lényegében a gázturbina teljesítményének mechanikus megcsapolásával, a generátorok által előállított árammal működő hidraulikai teljesítményt alakítják vissza ismét mechanikai munkává. Azért választják első látásra ezt a komplikáltnak tűnő megoldást, mert a hidraulika rendszer minden gépen legalább duplikált és a hidraulika olajról való teljesítmény elvétel jól szabályozható.*

[653] *A '80-as évek végén folytak kísérletek F-16 30 mm-es gépágyú konténer alkalmazásával, illetve magába a gépbe is megpróbáltak 30 mm-es gépágyút beépíteni, hogy az A-10 mintájára gyorsabb, de speciális közeli légi támogató gépet hozzanak létre. Mindkét próbálkozás kudarccal végződött. Utólagos bölcsességgel az is kijelenthető, hogy a precíziós támadó fegyverek megjelenése és elterjedése amúgy is igen hamar értelmetlenné tette volna a koncepciót.* http://www.f-16.net/f-16_versions_article18.html
https://foxtrotalpha.jalopnik.com/the-f-16-gun-pod-that-tried-to-shoot-down-the-a-10-wart-1597577525
https://www.youtube.com/watch?v=wNcZQQ6Fv2Y

A Gatling kialakítás legfőbb hátránya, hogy (jellemzően) külső erőforrást igényel, illetve a rendszer felpörgetése időt vesz igénybe, ezért egy hosszabb sorozat (tűzcsapás) első másodperce alatt a névleges tűzgyorsaságának csak kb. 70%-át éri el és csak aztán üzemel a névleges tűzgyorsasággal.

A németek és a franciák az úgynevezett revolver-rendszerű működésű,[654] külső erőforrást nem igénylő gépágyúban látták a megoldást. Ez többé-kevésbé emlékeztet a Gatling féle megoldáshoz, de itt csak a zárszerkezet forog, de a gépágyú csak egycsövű, a zárszerkezet a revolver pisztolyoknál használt „forgótárhoz" hasonló. A zárszerkezet mindig az éppen elsütésre szánt lőszert forgatja a cső végéhez (csőfar), a zár forgatása a Gatling módszerhez hasonlóan tölti be az új lőszert. Tehát itt a „tár" valójában nem a teljes lőszertároló, csak a lőszertároló rész és a cső közötti kapcsolatot teremti meg, tölti a fegyvert illetve húzza ki a zárból az ellőtt (vagy besült) töltényhüvelyt.

Mauser BK-27 27 mm-es gépágyú.



Mauser BK-27 metszeti rajza.

Tehát a forgó zárszerkezet töltése gépesítve van a kézi lőfegyverhez képest – ahol az elsütő billentyű (ravasz) meghúzása forgatja a tárat – folyamatosan történik az ürítés és töltés, hogy a tűzgyorsaság egyenletes legyen. A Mauser BK27 külső erőforrást nem igényel a lőporgázokat furaton visszavezetve dugattyúra engedve mozgatja a zár- és lőszeradagoló szerkezetet, ezt hívjuk gázelvételes rendszernek.

Az lövési folyamat elindításához – mivel nincs visszavezethető lőporgáz – a gépágyú piropatront használ. Tehát a gépágyú csak korlátozott számú tüzelésre (tűzkiváltásra) alkalmas, ami a piropatronok számával egyezik meg. A gépágyú tűzgyorsaságát és lőszerkészletet nézve reálisan nézve nincs igény 6-10 db-nál több

[654] https://www.youtube.com/watch?v=TXliIJ_66FQ

piropatronra. A gázelvételes módszer hátránya, hogy hibás lőszer esetén a tüzelési folyamat megszakad, csak piropatron felhasználásával lehet továbbforgatni a zárat.

A Gatling elvű ágyúhoz képest az egyetlen cső és külső hajtás elhagyása miatt könnyebb lehet a revolver elven működő szerkezet, viszont mivel minden lőszer ugyanazon csövön keresztül távozik a cső hűtése nehezebb feladat a Gatling rendszerrel szemben, ahol egy cső igénybevétele lényegesen kisebb. Ilyen elven működő például a magyar Gripeneken használt német fejlesztésű 27 mm-es Mauser BK-27, vagy a francia vadászgépen használt DEFA 550-es család gépágyúi. Ennél a műszaki kialakításnál is lehetséges a külső áramforrással történő (pl. elektromos) elsütés és üzemeltetése a zárszerkezetnek, de nem ez terjedt el, legalábbis nem a repülőgépeken, pedig ez feleslegesség tenné a piropatron használatát és korlátlan számú tűkiváltást tesz lehetővé.

A szovjetek kezdetben más megközelítésben gondolkodtak, a ők az un. Gast elvhez fordultak. Ez gyakorlatilag két párhuzamosan elhelyezett gépfegyver, ahol az egyik fegyver elsütése szolgáltatja a szükséges teljesítményt a másik fegyver töltéséhez. Ez közvetlen mechanikus kényszerkapcsolatot jelent, tehát nem gázelvételes a működtetés, a fegyver elsütése utáni rövid hátrasiklás mechanikai teljesítményét használják ki. (Hasonlóan ahhoz, amikor a kézifegyvereknél elsütés után a rugót összenyomva a „szán” hátranyomódik a fegyverben levő rugó által és ezzel tölti meg a fegyver illetve működteti a zárat.) Ezzel a megoldással is nagy tűzgyorsaságot lehet elérni, mintegy 3200-3600 lövés per percet mindösszesen két cső használatával.

A módszer előnye, hogy nem igényel külső erőforrást, viszont az első lövedéket kvázi kézzel kell csőre tölteni, ezen felül a gépágyú mérete és tömege számottevően kisebb a külső forrást igénylő Gatling elvet felhasználóhoz képes, ellenben érzékenyebb a hibás lőszerek okozta meghibásodásra, hiszen hibás lőszer esetén a töltési és ürítési folyamat megszakad, ahogy a revolver elvű megoldásnál. Gast elven működik a MiG-21 és MiG-23 vadászgépeken használt kétcsövű 23 mm-es GSh-23-2 gépágyú. (a 23-as szám az űrméretet, a 2-es a csőszámot jelöli.). Ilyen elven működik a 30 mm-es GSh-30-2, amit a Szu-25 típuson alkalmaznak.

GSh-23-2 gépágyú.

A Gatling működési módszer a szovjetek fantáziáját is megmozgatta, de ők az egyszerűbb szerkezeti kialakítás felé mozdultak el, szerették volna függetleníteni a gépfegyver működését a külső erőforrásoktól, Ennek a kezdeményezésnek a végeredménye fent ismertetett gépágyúkhoz képest hibrid tűzfegyver lett a GSh-6-23. (Érdekes, hogy a csőszám és űrméret megnevezése megfordult a Gast rendszerű ágyúkhoz képest.). A csőköteges többcsövű kialakítást megtartották, de gázelvételes működést választottak, ahol a csőből elvezetett lőporgázok működtették a zárszerkezetet, ez adta a teljesítményt a töltés – lövés - ürítés folyamathoz. A gázelvételes revolver elven működő BK 27-hez hasonlóan a gépágyú felpörgetést meg kell kezdeni külső erőforrás nélkül, ehhez piropatronokat használtak.

A GSh-6-23 esetén 10 000 lövés/perc tűzgyorsaság elérése volt a cél, ez végül ez nem sikerült „csak” 9000 lövés/perc tűzgyorsaságra volt képes. Piropatronokból összesen 10 darab állt rendelkezésre. Ez azt jelentette, hogy legfeljebb 10 alkalommal lehetett megkezdeni (és megszakítani) a tüzelést.

GSh-6-23 gépágyú.

A MiG-31 típuson összesen 260 db lőszer állt rendelkezésére, egy másodperc hosszúságú tűzcsapás a GSh-6-23-ból kb.120-150 lőszert jelentett. Még rövid ismételt tűzkiváltással is bőven elegendő a meghibásodott lőszerek általi megszakításokat figyelembe véve. (A MiG-31M változaton a gépágyút eltávolították.) A GSh-6-23 a MiG-31 mellett csak a Szu-24 típuson építették be ezt a fegyvert, aminek repülési profilja és egyéb csapásmérő fegyverei mellett a gépágyú használata gyakorlatilag elméleti. (Ezért nem kapott beépített tűzfegyver az azonos kategóriájú F-111 sem.)

A MiG-29, a Szu-27 és ezek továbbfejlesztett leszármazottain a GSh-301 típus került beépítésre. Bár a GSh-301 egycsövű, de az alapelv itt is hasonló, mint a GSh-23-2-nél, a löveg rövid hátrasiklásának erejét használják ki, tehát továbbra sincs szüksége külső erőforrásra. A gépágyút olyan könnyűre alkották meg, amennyire csak lehet, mindössze 50 kg-ot nyom (viszonyításképpen a 20 mm-es M61A1 Vulcan 112 kg). A GSh-301 tűzgyorsasága elviekben elérheti akár az 1800 lövés per percet is, de ezt mesterségesen 1500/perc értékben maximalizálták, ennek ellenére a fegyver élettartama rendkívül alacsony, mindössze 1000 lövés a csőnek, és 2000 lövés a fegyvernek. (150 darabos lőszerkészlettel rendelkeznek a fent említett típusok.) Hogy a cső kibírja a hatalmas hőterhelés egy köpenyt kapott, amiben 7 liter desztillált víz található. Amikor a cső felhevül a víz gőzzé válik és egy furaton át távozik, így vonva el hőt. (Télen desztillált víz, glicerin és etanol keveréket használtak, a fagyvédelem miatt.)

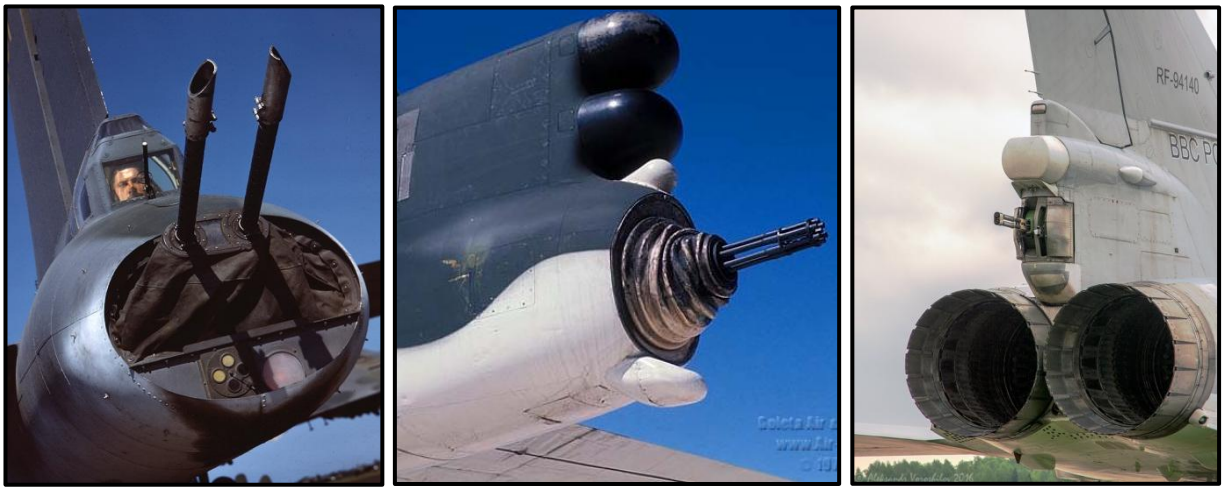
GSh-301 gépágyú.

(A gépágyúk műszaki kialakításának megírásában Cifka Miklós nyújtott segítséget.)

A csöves tűzfegyverek lehettek fixen előre, állványon vagy esetleg lövegtoronyban forgathatóan beépítettek, de a II. világháború alatt néhány extrém esettől eltekintve minden vadászgépen fixen előre néző tűzfegyverek voltak a repülőgépek sebessége és kialakítása miatt és ez mind a mai napig így maradt vadászgépeken.[655] A II. világháború bombázó gépein fegyvertornyokba vagy állvány-rendszereken levő

[655] https://en.wikipedia.org/wiki/Boulton_Paul_Defiant

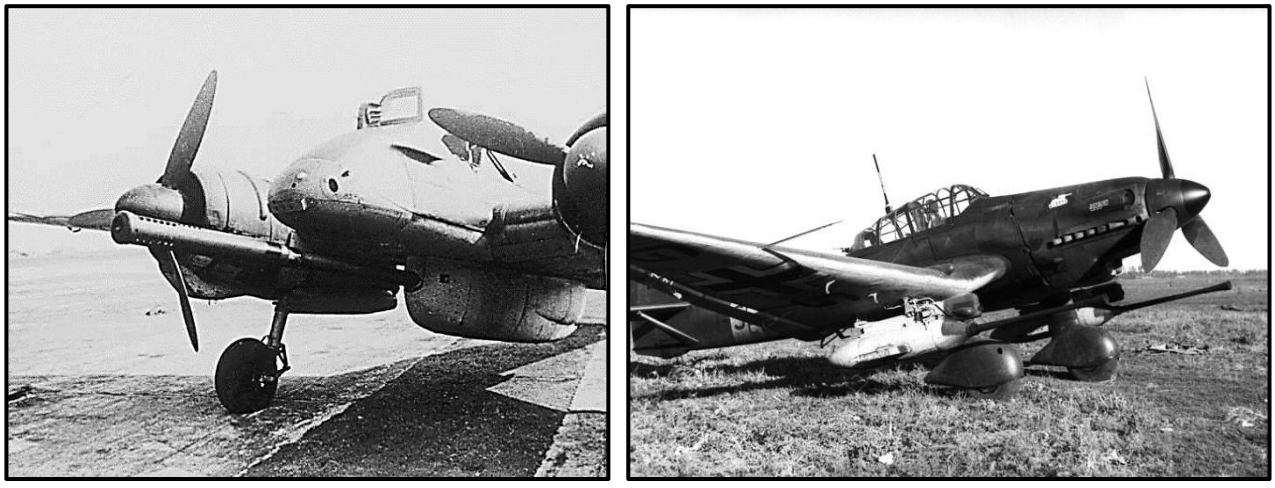
géppuskák voltak használatosak, azonban a háború végétől kezdve a távirányítású radarvezérlésű fegyvertornyok kezdtek megjelenni.[656] A hidegháború bombázó és interkontinentális bombázógépein ezek megmaradtak a múlt örökségeként, de immáron csak a gépek farok részén beépítve. A légiharc-rakéták megjelenésével és elterjedésével ezek végképp okafogyottá váltak, azonban a B-52H gépekről mégis csak a '90-es évek elején és közepén távolították el azokat, de a Tu-22M3 szovjet-orosz haditengerészeti bombázó/csapásmérőn még mai napig megtalálható a farok gépágyú.



Faroklövész bombázókon, manuális kezelésű B-17 (II. világháború), M61 Vulcan B-52H típuson és GsH-23-2 távirányítható torony a Tu-22M3 Backfire típuson. Az utóbbi kettő esetén láthatóak a tűzvezető radarok.

7.1.1.1. Gunship koncepció

A tűzfegyverek különleges beépítésére akadt több példa a történelem során azok extrém kalibere vagy azok mennyisége és beépítési iránya miatt. Az extrém kaliberre példa a Hs 129 B-3 változata a 75 mm-es páncéltörő ágyúval a II. világháború alatt vagy a Ju-87G, amely már nem zuhanóbombázóként, hanem gépágyúkkal támadva bizonyult hatásos páncélelhárító fegyvernek. A fenti párosnak valószínűleg volt némi hatása az A-10 + GAU-8 Avenger gépágyú koncepcióra (lásd később),



Jobbra fent a Hs 129 B-3 75 mm-es páncéltörő ágyúval, balra a Ju-87G két db 37 mm ágyúval a szárny alatt.

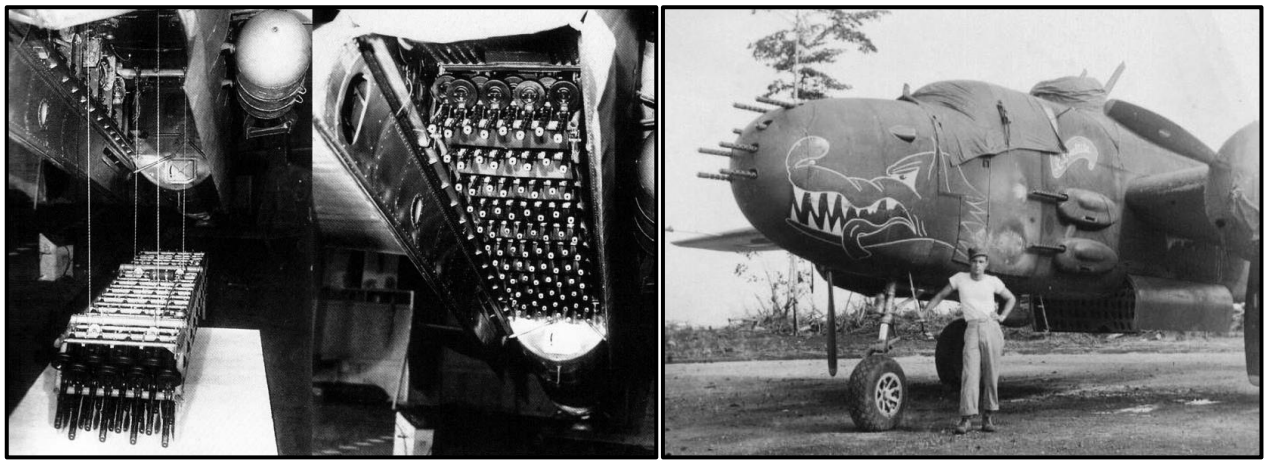
Szintén ebből a korszakból származó kuriózum a Tu-2 bombázó repülőgép bombakamrájába felhúzható 88 db PPSh-41 géppisztoly rakasz, amivel függőlegesen lefelé (kismértékben előre) [657] lehetett tüzelni.

Az egyetlen kivétel, ha a Me-110 nehéz vadászgép faroklövészétől eltekintünk. A Defiant a Me-110-zel ellentétben nem rendelkezett előre néző fixen beépített tűzfegyverekkel.

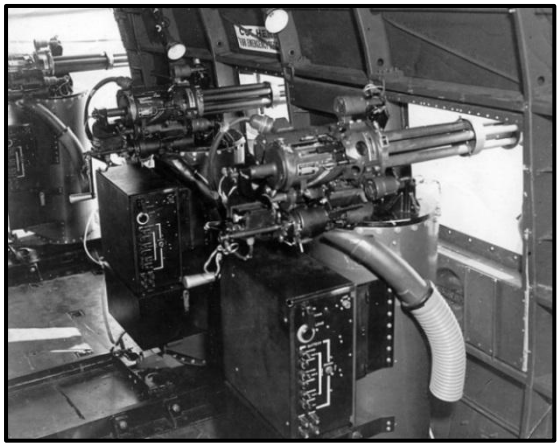
[656] https://goo.gl/fBY4Pr

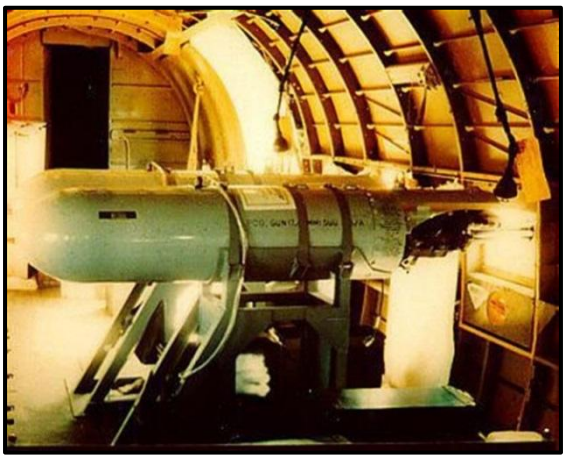
[657] https://www.warhistoryonline.com/featured/innovative-flawed-fire-hedgehog.html

Hasonló elképzelést – nagy tűzsűrűség tűztámogatásra – valósított meg a B-25J Strafer, amibe 14-18 db M2 Browning géppuskát építettek be, itt a vadászgépekhez hasonlóan előre felé fixen voltak ezek beépítve. Bár a Tu-2 függőleges géppuskákat használó változata nem volt sikeres és a B-25J-nek is megvoltak a maga korlátai, a koncepció nyugaton a háború után is megmaradt, a minél nagyobb tűzsűrűségű vagy tűzerővel történő légi támogatás megvalósítása, a „gunship” koncepció..



Balra fent a Tu-2 bombakamrába emelhető 88 db géppisztoly „rakasz”, jobbra fent a B-25J Strafer, géppuskákkal alaposan teletűzdelve.





Már az egyetlen relevánsnak mondható extrém kivétel a hidegháborús tervezésű az AC-130 Spectre típus, [658] a C-130 Hercules különleges, módosított változata, melynek elődje az AC-47D Spooky[659] volt még Vietnámban (a kevésbé ismert AC-119K és AC-123K mellett). A Spooky esetén a tűzfegyvereket a gép hossztengelyére merőlegesen, oldalra tüzelő pozícióba építették be, az AC-47 estén teljesen fixen (balra), az AC-130 esetén már mozgathatóak voltak a fegyverek.[660]

A fenti típusok lassú bal fordulót leírva képesek a szárazföldi csapatok tűztámogatást biztosítani. A gépek mérete és fegyverzete miatt ez a támogatás azonban csak aszimmetrikus hadviselési környezetben biztosítható, a nagyméretű és lomha gépek könnyű prédái bármilyen légvédelmi rendszernek, legfeljebb MANPAD kategóriájú fegyverek ellen biztosítható önvédelmük.

Az AC-47 a Gatling elven működő M61 Vulcan kistestvérével, az 7,62 mm kaliberű M134 Minigun géppuskával fegyverezték fel, de ezekből akkora hiány volt, hogy egyes gépekre csak a kisebb, 0,3 hüvelyk űrméretű Browning jutott, de azokból 8-10 darab került

[658] http://jetplanes.blog.hu/2016/12/20/ejszakai_halaloszto
[659] https://www.youtube.com/watch?v=JAFVuG2KQqk
http://www.guns.com/2015/08/07/the-spookiest-story-in-vietnam-the-ac-47-gunship-12-photos/
http://www.historynet.com/spooky-gunship-operations-in-the-vietnam-war.htm
http://www.theaviationzone.com/factsheets/ac47.asp
[660] https://www.youtube.com/watch?v=JAFVuG2KQqk

beépítésre. Esetenként gépágyú/géppuska konténereket is használtak, tehát részben „barkács” és „sufnituning” megoldásokkal operáltak, azonban a „gunship” „koncepció Vietnám felett bizonyította életképességét.

Az AC-47D repülőgépek lőszerkészlete hatalmas volt, elérhette a 10-20 ezer lövedéket, amivel igen hosszú tűzcsapásokra voltak képesek. A hosszú lőszerfolyamokkal a gyengébb épületek is letarolhatóak voltak köszönhetően az iszonyatos mértékű tűzerő koncentrációnak. A lenti hosszú záridővel készült fotón az AC-47-es éjszakai tevékenysége és tűzsűrűsége látható úgy, hogy csak minden ötödik lövedék volt nyomjelzős. A becsapódási területen levő lefedettség jól látszik.

Mivel az C-47 szállítógépek nem voltak sem páncélozottak sem más szempontból sérülésállóak, ezért célszerűnek tűnt egy nagyobb és célra tervezett géppel megvalósítani a feladatot, így született meg az AC-130, aminek az idők során több féle változata is kifejlesztésre került, amik nem csak fegyverzetben nem voltak teljesen azonosak, de az azokat kiszolgáló harcászati avionikai háttérben sem.

Az AC-130 rendelkezik minden idők legnagyobb űrméretű repülőgépre telepített tűzfegyverével, a 105 mm-es M102 rövid csövű ágyúval, de azok mellett nagyobb tűzgyorsaságú és kisebb kaliberű tűzfegyverekkel is el van látva sőt, a legkorszerűbb változata már irányított rakétafegyverzettel és siklóbombákkal is rendelkezik, köszönhetően a gépen megtalálható FLIR toronynak.

Egy a sok konfiguráció közül, nem „klasszikus” hidegháborús, de ahhoz igen hasonló.
105 mm-es M102 löveg, 40 mm-es Bofors gyorstüzelő ágyú és 25 mm-es GAU-12 a gép orr részén.

Természetesen nem csak a fegyverzete változott az AC-130 családnak,[661] hanem a digitális korszak beköszöntével a tűzvezetés is egyre pontosabbá vált, valamit a FLIR torony és éjjellátó képességgel alapvetően védettebben képes üzemelni, hiszen a MANPAD használatához szükséges látni a célpontot, ráadásuk már MAWS és DIRCM is telepítésre került az AC-130-asokon.

Változat	*Fegyverzet*
AC-130A Project Gunship II	4 db 7,62 mm GAU-2/A (M134) Minigun géppuska 4 db 20 mm M61 Vulcan gépágyú
AC-130A Surprise Package, Pave Pronto, AC-130E Pave Spectre	2 db 7,62 mm GAU-2/A (M134) Minigun 2 db 20 mm M61 Vulcan gépágyú 2 db 40 mm L/60 Bofors gépágyú
AC-130E Pave Aegis	2 db 20 mm M61 Vulcan gépágyú 1 db 40 mm L/60 Bofors gépágyú 1 db 105 mm M102 rövid csövű agyú
AC-130H Spectre (2000 előtt)	2 db 20 mm M61 Vulcan gépágyú 1 db 40 mm L/60 Bofors gépágyú 1 db 105 mm M102 rövid csövű agyú
AC-130H Spectre (2000 után)	1 db 25 mm GAU-12/U gépágyú 1 db 40 mm L/60 Bofors gépágyú 1 db 105 mm M102 rövid csövű agyú
AC-130U Spooky II	1 db 25 mm GAU-12/U gépágyú 1 db 40 mm L/60 Bofors gépágyú 1 db 105 mm M102 rövid csövű agyú
AC-130W Stinger II / AC-130J Ghostrider	1 db 30 mm ATK GAU-23/A gépágyú 1 db 105 mm M102 rövid csövű agyú Gunslinger rendszer, indítórendszer az AGM-176 Griffin rakétának, vagy a GBU-44 Viper Strike sikló bombának, AGM-114 rakétának, GBU-39 SDB vagy GBU-53 SDB II siklóbombáknak

7.1.1.2. GAU-8 Avenger

A gépágyúk között (már-már túlontúl és indokolatlanul) nagy hírnévvel rendelkezik az A-10 Thunderbolt II beépített tűzfegyvere, a GAU-8 Avenger. A hétcsövű, Gatling elven működő 30 mm-es űrméretű gépágyú minden idők legnagyobb tűzerejű gépágyúja, az A-10 közvetlen légi támogató repülőgépet lényegében eköré a fegyver köré tervezték meg.

[661] https://www.youtube.com/watch?v=_F809jKdD-E

Olyannyira ennek a fegyvernek rendelték alá a repülőgép kialakítását, hogy a gépágyú hatalmas reakcióereje miatt középvonalban maradhasson az orrfutó nem esik egybe a gép hossztengelyével. (A korszerű vadászgépek szinte mindegyikében lényegében a törzs-szárny átmenet táján vagy a szárnytőbe van beépítve a gépágyú, mert az orrészt elfoglalja az orrfutó és a fedélzeti radar.)

Az A-10 középvonalába beépített GAU-8 és az F-16 esetén a szárnytő/géptörzs oldalába épített M61. Csak a gépágyú nyílása látható.

Az Avenger annak ellenére, hogy az M61 Vulcan gépágyúhoz hasonlóan Gatling elvű tűzgyorsasága kisebb, mert szárazföldi célok ellen tervezték, 4200 és 2100 lövés/perc értékekre állítható be, repülés közben is változtatható. Amitől a gépágyú igazán ütős keményebb célpontok ellen az a szegényített uránt tartalmazó páncéltörő lőszere, amivel harckocsik megsemmisítésére is képes.

Bár GAU-8 Avenger tűzereje tényleg impresszív, de az a téves sztereotípia él (amennyire meg lehet ítélni) a gépet minimálisan ismerők szemében, hogy nincs olyan harckocsi, amit ne lehetne kilőni vele. Ez több mint költői túlzás. A mellékletek között is megtalálható elemzés[662] egészen más képet fest le úgy, hogy a teszteket 1979-ben folytatták le az akkor már totálisan elavultnak számító amerikai M47 típusú harckocsikon, 10 db harckocsis század elleni támadást modellezve.

A tesztek során 3-6 fokos rácsapási szögekkel támadtak, az átlagos tüzelési távolság mindössze 750 méter volt. 10 db rácsapást végeztek ideális látási viszonyok és természetesen ellenséges ellentevékenység nélkül. Az álló harckocsikra összesen 174 lövést adtak le, átlagosan 0,57 másodpercig tartott egy sorozat. Ezzel 86 db közvetlen találatot értek el, a felpattanó és lecsúszó lövedékeket is számolva 90 db találat volt. Ebből 30 db lövedék ütötte át a páncélzatot. A 10 db harckocsiból 3 db teljesen megsemmisült, 4 db mozgásképtelenné vált, ebből kettőnek fő fegyverzete is használhatatlanná vált. 2 db könnyű sérüléseket szenvedett, némileg csökkent tűzerejük és mozgásképességük, mindössze 1 db harckocsi marad teljesen harcképes minimális sérülésekkel.

Ez első látásra döbbenetes pusztító erőt mutat a GAU-8, azonban van néhány „apró hiba” a teszttel kapcsolatban Az M47-esek páncélvédettsége nem érte el az akkor is már másodvonalasnak számító T-55 és T-62 tömegesen hadrendben álló változatokét, nemhogy az akkor rendszeresítés alatt álló bármelyik T-72 változatét, nemhogy a ’80-as években elsővonalas szovjet harckocsikét. Azok ellen legfeljebb oldalról és hátulról lehetett volna esélye a GAU-8-nak és a realitás inkább a mozgás vagy harcképtelenné tétel volt, de nem a teljes megsemmisítés.

[662] http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a522397.pdf

Ráadásul a tűzmegnyitás távolsága képtelenül alacsony mindössze 750 méter, ilyen kis távolság esetén minden létező légvédelmi rendszer HMZ-jébe mélyen berepültek volna, ezen felül a célpontok nem mozogtak, ami nagyon komoly tényező a kis távolsággal együtt kombinálva a találati arányt nézve. Életszerűbb lett volna a teszt, ha 1,2 és 2 km lőtávolság esetén is végrehajtották volna, ahol ráadásul a páncélátütés is kisebb, hiszen a lövedék lassul kilövés után, a lövedék pusztán keménysége és sebessége által éri el a páncélátütést.

Target Tank No.	Damage Assessment (M%)	(F%)	(K%)	All Target Impacts	Direct Impacts	Rounds Fired	Total Perforations
7	—	—	—	6	4	26	0
28	100	—	—	12	11	16	4
49	—	—	—	3	3	18	0
41	100	95	—	11	11	14	6
47	—	—	100	5	5	12	3
30	—	—	100	8	8	11	6
48	100	100	—	9	9	15	4
33	100	—	—	8	8	19	2
38	5	10	—	12	11	16	0
39	—	—	100	16	16	27	5
	TOTALS:			90	86	174	30

K = Catastrophic Kill; M = Mobility Kill; F = Firepower Kill

Felhasznált lőszer és találatok száma a célpontok ellen, illetve a célpontok állapota tűzcsapás után. K =teljes megsemmisítés, M = mozgásképtelenség, F = tűzerő

Target Tank	Damage Assessment* (M%)	(F%)	(K%)	Turret Perforations (Fighting Compt)	Hull Perforations Fighting Compt	Drivers Compt	Engine Compt	Total Perforations
7	—	—	—	0	0	0	0	0
28	100	—	—	0	0	0	4	4
49	—	—	—	0	0	0	0	0
41	100	95	—	5	0	0	1	6
47	—	—	100	1	0	2	0	3
30	—	—	100	2	4	0	0	6
48	100	100	—	3	1	0	0	4
33	100	—	—	1	0	0	1	2
38	5	10	—	0	0	0	0	0
39	—	—	100	3	0	1	1	5
	TOTALS:			15	5	3	7	30

*K = Catastrophic Kill; M = Mobility Kill; F = Firepower Kill

A lövedékek páncélátütési helyei. Turret (torony), Hull (test), fighting compt (küzdőtér), drivers compt (vezetőállás), engine compt (motortér)

A ’80-as években az A-10A inkább csak a másodvonalas VSz harckocsik ellen tudott volna elégséges tűzerőt felmutatni, de a korszerű elsővonalas szovjet harckocsik ellen már nem, legfeljebb oldalról és hátulról támadva azokat. Ez azonban nem jelenti azt, hogy a GAU-8 értelmetlen lett volna. A PSzH-k és lövéspáncélosokat vagy bármilyen más gyengén páncélozott célt gyakorlatilag bármilyen járművet kilőhetett költséghatékonyan, nem volt szükség irányított precíziós fegyverre vagy kazettás bombára.

Összegezve, az GAU-8 tényleg egy potens gépágyú, de közel sem az a „harckocsi gyilkos” csodafegyver, mint aminek sokan beállítják vagy szeretnék annak hinni. A ’80-as években a fő harckocsi elhárító fegyvere az A-10A-nak az AGM-65D irányított rakéta volt, nem a GAU-8 gépágyú. A légvédelmi rendszerek fejlődése a korszerű légvédelemmel felszerelt ellenféllel szemben gyakorlatilag öngyilkosság kategóriába pozícionálja a gépágyúkkal földi célra támadást. Minden létező légvédelmi rendszer megsemmisítési zónájába szükséges berepülni, ami egy Varsó Szerződés szintjén levő rétegzett légvédelem ellen nem a hosszú élet záloga, különösen a szovjet szinten nézve. A ’80-as évek közepétől kezdve az infravörös vezérlésű rakéták zavarvédelme egészen más szintet ütött meg, mint a ’70-es években, az A-10A megalkotásának idején.

7.1.2. Szabadeséső bombák

A szabadeséső bombák már a kezdet kezdetén megjelentek már a repülőgépek fegyverzetében, de igen primitív formában. A nagyjából aknavető gránát méretű bombákat eleinte még kézzel dobálták ki a gépek fedélzetéről. Ez a módszer meglehetősen pontatlan volt célzás szempontjából, továbbá az emberi erő alkalmazása a bombák méretét, ezáltal azok ölőhatását is korlátozta, az efféle alkalmazás inkább csak jelképes volt. Ami miatt fontos lépés volt ezek alkalmazása, hogy kijelölte a légierők fejlődési irányát a jövő számra, lehetséges volt immáron a levegőből történő csapásmérés az ellenfélre. A innentől fogva nem az alkalmazás, hanem csak fejlődés üteme volt a kérdés. A nemirányított, szabadeséső bombák mind a mai napig használatban vannak, persze azok mérete és célba juttatási módszerei teljesen megváltoztak.

Az I. világháború végén az kisebb repülőgépek teherbírása már elérte a néhány száz kg-ot (német Gotha G. V), az Ilja Muromec bombázó esetén már akár a 600 kg-ot is. Ekkoriban még a kisméretű bombák voltak használatosak a gépek teherbírása és célzási pontossága miatt a több száz kg tömegű bombákból 1-2 db hordozásának nem volt értelme a célzás pontatlansága és a bombák pusztító erejének korlátozott sugara miatt.

A II. világháború alatt már a vadászgép méretű repülőgépek is hordozhattak értelmes harcászati paraméterek mellett akár 500-1000 kg bombaterhet is, de közepes bombázók (He-111, A-20 Invader, stb.) akár már 2-3 ezer kg-ot is, a stratégiai bombázók típustól függően akár 3-5 ezer kg-ot is.[663] A bombák mérete is jelentősen megnőtt, a több tonnás teherbírás mellett a bombázók 250-500-750-1000 kg-os bombákból is jelentős mennyiséget vihettek magukkal, de még a vadászgép méretű gépeken is megszokottá vált a 250 kg vagy akár 500 kg-os bomba használata, a gépek repülési teljesítménye lehetővé tette ezt értelmes harcászati paraméterek megtartása mellett.

A második világháború alatt a stratégiai bombázókon már nagyon komoly bombacélzó berendezések – pl. abban a korban rendkívül erős titokvédelem alá eső amerikai Norden[664] – de átlagos személyzettel, még ideális látási viszonyok között is ezekkel 6-8 km magasságban repülve a bombázás szórása több száz méteres nagyságrendbe esett a berendezés helyes használata esetén.

Bármilyen zavaró tényező vagy hiba esetén kilométer feletti hibázások is előfordultak. Ez akkoriban a vadászgép méretű gépek a zuhanóbombázás technikával kompenzálták. [665] A módszer lényege az, hogy vízszintes repülés közbeni bombaoldás helyett, aminek pontosságát számtalan faktor komolyan befolyásolja (lásd lent), a célzást magával a repülőgéppel hajtják végre. Tökéletesen ideális estben, ha egy

---

[663] *A 617. század speciálisan átalakított Lancaster bombázói a 10 tonnás Grand Slam bombákkal voltak a csúcstartók, de csak igen erős megkötésekkel lehetett azokat használni, kirívó eset, nem általános. A Grand Slam bomba a korábbi 5,5 tonnás Tallyboy bomba „felskálázott" változatának tekinthető. Míg a kisebb testvérből kb. 800 db készült, csak a háború végére elkészülő nagytesóból alig 150 db, amiből 42 darabot vetettek be.*
https://en.wikipedia.org/wiki/Grand_Slam_(bomb) https://en.wikipedia.org/wiki/Tallboy_(bomb)

[664] *https://www.youtube.com/watch?v=VHeL-TitKuo https://www.youtube.com/watch?v=143vi97a4tY*
https://www.youtube.com/watch?v=rAYRv8T5jEg https://www.youtube.com/watch?v=XyT3yVnlfjs

[665] *https://youtu.be/lOz_i_2USkY?t=7m15s Szimulátorban végrehajtva a művelet.*
https://www.youtube.com/watch?v=n-PMFUgOUvY

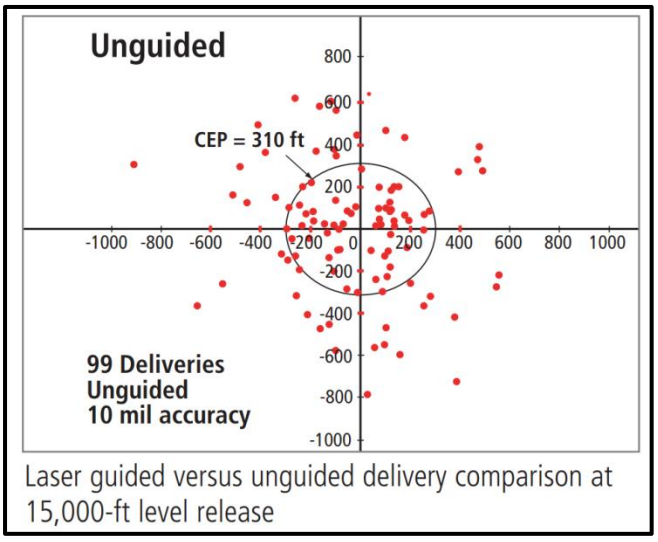
repülőgép függőleges süllyedésben oldja ki a bombát, akkor a szél hatása minimális és kis magasságról arra a pontra zuhan, amerre a repülőgép sebességvektora mutat.

Ez persze kivitelezni pontosan lehetetlen, a valóságban 60-70 fokos zuhanásban oldották ki a bombákat 700-1500 méter közötti magasságban ezzel is csökkentve a szél és egyéb hibák lehetőségét. Még ezzel a módszerrel is azonban gyakorlott pilóták és átlagos körülmények estén a célzási ponthoz képest azt lehetett elérni, hogy a bombák kb. 50%-a ért a célpont 25 méteres körzetében földet. Ezt azt jelentette, hogy még hajó méretű álló célpontok sem voltak mindig eltalálhatóak, nemhogy lényegében pontcél méretű járművek. A legendákkal ellentétben a harckocsik gyilkosan nem a bombával repülő Ju-87 Stuka bombázók voltak. 1940-ben a Csatorna felett végzett repülések során kisméretű és gyors rombolók eltalálásával is igen komoly nehézségeik voltak, nemhogy azokhoz képest töredék méretű harckocsik ellen. Azonban a puhább célpontok ellen a gépen hordozott 250-500 kg-os bombák kellően pusztító hatásúak voltak.

A zuhanóbombázásnak azonban hátrányai is voltak. Ezt lényegében csak vadászgép méretű repülőgépekkel lehetett végrehajtani és azokat a bombázásból való felhúzás után rendkívül erősre, vagyis nehézre kellett építeni azokat. A bombázáshoz szükséges aerodinamikai kialakítást a vadászgépekhez képest azokat jellemzően lassúvá tette, tehát a vadászgépek könnyű prédái voltak a zuhanás megkezdése előtt és után is. A zuhanás végrehajtása után még a légvédelmi ágyúkkal szemben is sebezhetőek voltak kis sebességük és alacsony repülési magasságuk miatt.

Összességében kijelenthető, hogy a II. világháború alatt harcászatilag értékelhető tűzerő támogatást bombákkal csak néhány száz méteres oldási magassággal lehetett elérni vízszintes vagy akár zuhanóbombázás esetén is. A stratégiai bombázók átlagos bombázási pontossága 5-10 ezer méter magasból még ennél is rosszabb pontosságú volt, gyakorlatilag több tucat bombázó és több száz tonna bomba oldása volt szükséges ahhoz, hogy egy futballpályához mérhető területen mérhető károkat okozzanak. Ennek oka az, hogy számtalan faktor rontja a bombázás pontosságát.

A repülőgép haladási iránya, sebessége, bólintási szöge mind-mind hibákkal mérhetőek, a szél eltérítő hatása csak becsülhető, hiszen csak az oldási magasságban mérhető, kisebb magasságon csak becsülhető a légköri modellek alapján. A bombák felülete sem teljesen azonos, a méretük is szór, ezek a véletlenszerű hibák összességében a magassággal egyre növekvő hibát okoznak.



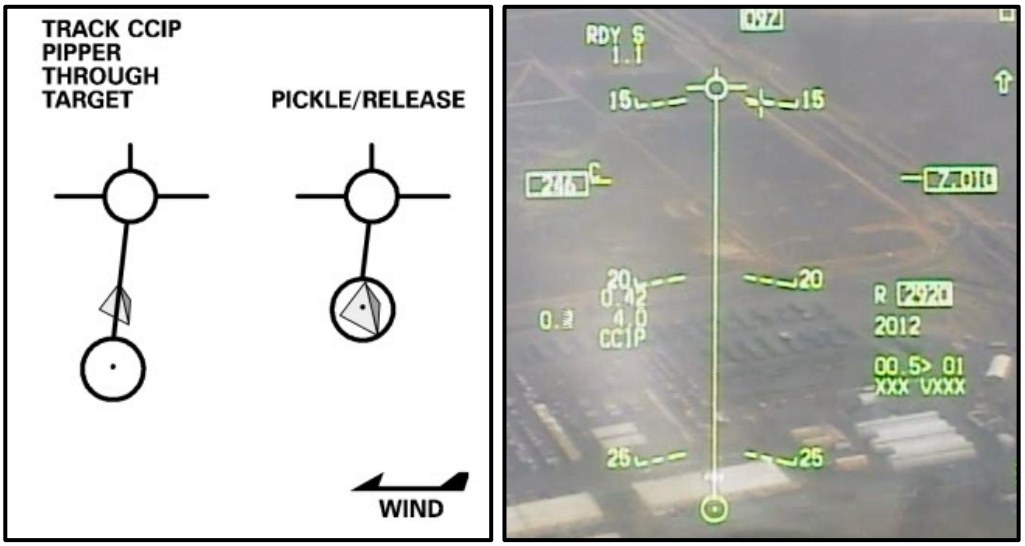
Laser guided versus unguided delivery comparison at 15,000-ft level release

A bombák egy ponttól számítva adott valószínűség szerint leírható hibával csapódnak be, ezt hívjuk körkörös szórásnak (CEP, circular error probable). A hagyományosan bevett CEP érték az a zónát írja le, ahova az célzási ponttól – tehát a szórási zóna 0 méteres hibájával számolva – a bombák 50%-a esik (bármilyen) eloszlásban.

Ez azt is jelentheti, hogy nagyjából egyenletesen terítik be a bombák a zónát, de matematikailag azt is jelenthetik, hogy a célpont közelében szinte egyetlen bomba sem ér földet és egy attól nagyobb távolságban csapódnak be véletlenszerű eloszlásban, de alapvetően a Gauss eloszlás (normál eloszlás) a jellemző. A fenti ábrán 15 ezer láb (kb. 5 km) magasságból végrehajtott bombázások eredményei láthatóak. (4. generációs harci repülőgéppel végrehajtott tesztsorozat.)

Jól látszik, hogy a célzási pont körül csoportosul a találatok számottevő része, azonban a véletlenszerű hiba és természeti jelenségek miatt a bombák egy része egészen megdöbbentő távolságban csapódik be az átlagos távolsághoz képest, nemhogy a legpontosabb bombához képest. Az ábrán látható, hogy a találatok a célponthoz képest kb. 100-120 láb (30-35 méter) környél kezdenek el sűrűsödni, de a leoldott bombák 50%-a (CEP távolsága) 310 láb (95 méter) értékre adódik. A legtávolabb becsapódó bombák távolsága ezzel szemben kb. 900 lá (280 méter). Belátható, hogy ez alapján nagy magasságból nem irányított bombafegyverek alkalmazásával adott méretű álló célpont eltalálása is kb. lehetetlen még ma is és a tudomány jelenlegi állása szerint az is marad, mert a véletlenszerű hibák mértékét egy adott szint alá nem lehet csökkenteni.

A mai korszerű repülőgépre telepített harcászati avionikával és különféle bombaoldási üzemmódokkal a II. világháborúhoz képest jobb eredményeket lehet elérni, de precíziós bombázásnak nevezni ezeket még mindig eufemizmus lenne. 1981-ben kis és közepes magasságból oldott bombákkal az Izraeli Légierő demonstrálta az akkori bombázási pontosságot az Opera hadművelet alatt az F-16A Block 1 bombázók CCIP üzemmódjával.[666] A süllyedés közben leoldott bombák módszerével kombinálva ez az üzemmód az akkori harcászati avionikával lehetővé tette a 10-15 méteres CEP eltérését, ami lényegében biztosította a 15-20 méter kiterjedésű objektumok elpusztítását a szükséges magas találati valószínűséggel.[667] Ehhez azonban zuhanásban kellett kioldani a bombákat és az oldási magasság 3 km alatt volt, tehát bőven a légvédelmi-rakéta rendszerek és légvédelmi tüzérség megsemmisítési zónáján belül.



A CCIP üzemmód sematikusan ábrázolva, az ábrán oldalszél an, ezért látszik annak korrekciója, a gép haladási iránya és a bomba röppályája szöget zár be oldalirányban. A jobb oldali képest a Super Tucano HUD kijelzőjén látható működés közben a CCIP üzemmód. A bomba a fehér épület mellé esik annak szórását figyelembe véve. A repülési magasság 7000 láb (2100 méter).

A fenti tapasztalatok összessége vezetett el a precíziós támadófegyverek kifejlesztéséhez. Egyaránt cél volt a találati pontosság növelése is, hogy kevesebb bevetés és fegyver használatával elpusztíthatók legyenek a célpontok, akár olyan célpontok is, amiket nemirányított bombafegyverzettel kvázi reménytelen volt támadni, pl. megerősített repülőgép fedezékeket. A precíziós támadófegyverek megjelenésével

[666] *A harcászati avionikai rendszer folyamatosan frissíti a repülőgép mozgásparaméterei és a szél függvényében a becsapódási pontot. Tehát a II. világháborús zuhanóbombázáshoz képest nem csak adott magasságból, de lényegében tetszőleges magasságból működik a régi zuhanóbombázásra hajazó módszer. Természetesen a pontosság a magasság növekedésével romlik.*
https://www.youtube.com/watch?v=NbWGNjyU2yQ

[667] *https://www.youtube.com/watch?v=LbMeaKTjGjE*

azonban kedvező mellékhatás volt, hogy egyes légvédelmi rendszerek megsemmisítési zónájából gyakorlatilag kikerülhettek a csapásmérő gépek, vagy azok HMZ-jében sokkal rövidebb ideig tartózkodtak.

A precíziós támadófegyverek megbízhatóvá válására és tömeges elterjedésére még a legfejlettebb haderőben is a XXI. századig kellett várni annak ellenére, hogy legelső próbálkozások a harctéren már a II. világháború alatt megtörténtek és a vietnámi konfliktus óta folyamatosan növekszik azok aránya a felhasznált fegyverzet tekintetében. Vietnám alatt néhány százalék volt az arányuk, a Sivatagi Vihar alatt már elérte a 8%-ot amerikai részről, 1999-ben az Allied Force hadművelet idején, 35%, 2001-ben Afganisztánban 56%, a 2003-as iraki hadműveletek és azt követő időszakban 56%, mára az USA odáig jutott, hogy 90% feletti arányban használnak precíziós támadó fegyvereket repülőgép fedélzetéről.[668]

A nem irányított bombákból annyi féle típus létezik, mint égen a csillag, ezért ezek osztályozásával nem foglalkozik mélyebben az összefoglaló terjedelmi korlátok miatt. A jellemző típusok a típusjelzések bemutatásánál a 14. és 15. oldalon ezek részben már érintve voltak. Hagyományos romboló bombák, páncéltörő bombák, napalm- és gyújtóbombák, illetve kazettás, kis résztöltettel operáló bombák lefedik az élesben használt bombafegyverek túlnyomó részét.

Table 1. Direct Blast Effects of Explosions: Fatalities and Injuries

(Effective overpressure in psi. Overpressure duration more than 100 milliseconds.)

Eardrum Rupture	
Threshold	5 psi
50 percent (20 or more years old)	15-20
(less than 20 years old)	30-35
Lung Damage	
Threshold	12 psi (range: 8-15)
Severe	25 (range: 20-37)
Lethal	
Threshold	40 psi (range: 30-50)
50 percent	62 (range: 50-75)
100 percent	92 (range: 75-115)

Source: "Effects of Nuclear Weapons." Atomic Energy Commission, U.S. Department of Defense, Government Printing Office, Washington D.C., 1977.

Table 4-I. Range of Lethality at Peak Overpressure

Lethality (approximate %)	Peak overpressure (k Pa)
1	160 - 230
50	230 - 400
100	400 +

A bombák pusztító ereje is csak vázlatosan kerül bemutatásra, afféle sorvezetőként. Ehhez első lépésként annak megértése fontos, hogy a hagyományos romboló (HE, high explosive) bombák vagy repeszhatással – a szétrobbanó bombaköpeny és/vagy bombában levő további előképzett repeszek – vagy a robbanás által létrehozott nyomáshullámmal pusztít. A lábjegyzetben található linken[669] található alkalmazással számolható, hogy adott tömegű robbanóanyag adott távolságban mekkora túlnyomást (incident pressure) hoz létre. (A mai Mk bombákban tritonal típusú robbanóanyag van, Mk-82 esetében 87 kg, az Mk-84-ben 429 kg tömegben) Ezekkel a sarokszámokkal legalább minimálisan becsülhető a bombák által létrehozott nyomáshullám.

Az angolszász források jellemőzen PSI – font/négyzethüvely – mértékegységben adják meg a nyomás értékeket. 14,5 PSI = 1 bar = 100 kPa.

Az egyenlet másik fele az, hogy az adott célpontok mekkora túlnyomást viselnek el. A lenti linkek alapján sorvezetőként felhasználva azokat lehet kutakodni, de a tapasztalat azt mutatja, hogy elképesztő szórással adják meg a források az emberi test, de néma még az épületek ellenállását is.[670] Egyes forrásoknál 20 PSI (kb. 1,4 bar) túlnyomás esetén adnak meg 100% halálozási arányt, más egészen elképesztően magas 4-6 bar értékeknél, 1,6-2,7 bar közötti alsó

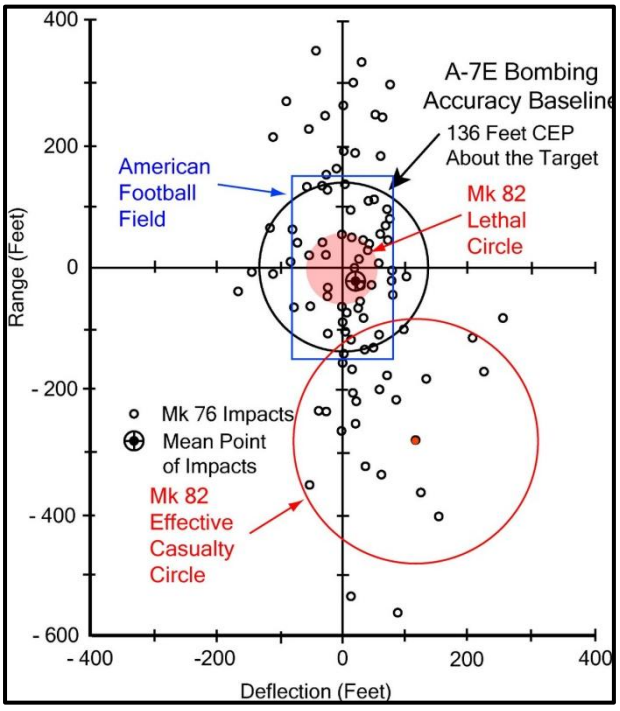
[668] https://goo.gl/M8d5Ta
[669] https://www.un.org/disarmament/un-saferguard/kingery-bulmash/ *A weboldal túlnyomást számol.*
[670] http://characterisationexplosiveweapons.org/studies/final-report/
https://www.gichd.org/fileadmin/GICHD-resources/rec-documents/Explosive_weapon_effects_web.pdf

küszöbértékkel. A túlnyomás értékek hatalmas szórása miatt csak igen tág becslés adható meg a bombák pusztító hatására nyomáshullám által.

Table 1 – Effect of various long duration blast overpressures and the associated maximum wind speed on various structures and the human body.

Peak overpressure	Maximum wind speed	Effect on structures	Effect on the human body
1 psi	38 mph	Window glass shatters	Light injuries from fragments occur
2 psi	70 mph	Moderate damage to houses (windows and doors blown out and severe damage to roofs)	People injured by flying glass and debris
3 psi	102 mph	Residential structures collapse	Serious injuries are common, fatalities may occur
5 psi	163 mph	Most buildings collapse	Injuries are universal, fatalities are widespread
10 psi	294 mph	Reinforced concrete buildings are severely damaged or demolished	Most people are killed
20 psi	502 mph	Heavily built concrete buildings are severely damaged or demolished	Fatalities approach 100%

Azonban a bombáknak (és minden robbanó eszköznek) nem csak nyomáshulláma, de repeszhatása is van. A források lényegében soha nem szólnak a repeszhatásoktól, jellemzően csak fordítottabb esetekre adnak meg távolságokat (risk-estimate distance) [671] a közeli légi támogatás biztonságos lefolytatásához. Az ebben szereplő távolságok adott harcképtelenné tételi valószínűségi értékekhez (PI – probability of incapacitation) vannak rendelve, de az nem derül ki ezekből, hogy az ölési zóna mekkora.



A lenti ábrán látható körök valószínűleg a repeszhatását mutatják a Mk-82 bombának, ugyanis még a forrásokból adódó legrosszabb esetet nézve (20 PSI túlnyomásnál) is kisebb körök adódnak ki. Pontos adatokat találni nemigen lehet, tüzérségi gránátok esetén is hasonló bizonytalanság található a forrásokban, tehát referenciának vagy összehasonlítási alapnak azok is csak korlátozottan használhatóak.

Mk-82 bomba ölési (lethal circle) és harcképtelenné tételi zónája (effective casual).[672] Az ölési zóna kiterjedése 100 láb, vagyis 30 méternél kisebb távolság az ábra szerint.

Alapvetően azt ki lehet jelenteni, hogy harckocsik ellen hagyományos bombákkal való támadás szinte reménytelen még kismagasságban is a fent említett szóráskép és annak nagyságrendje miatt. A II. világháború utáni harckocsi (MBT, main battle tank) korszak gyermekei és a háború utáni közepes harckocsik harcképtelenné tehetők néhány méteres távolságban becsapódó közeli találatokkal, de azok elpusztításához szinte telitalálat szükséges.[673]

[671] http://characterisationexplosiveweapons.org/studies/annex-e-mk82-aircraft-bombs/
https://www.globalsecurity.org/military/library/policy/usmc/mcwp/3-23-1/appf.pdf

[672] http://thanlont.blogspot.hu/2009/09/why-laser-guided-bombs.html

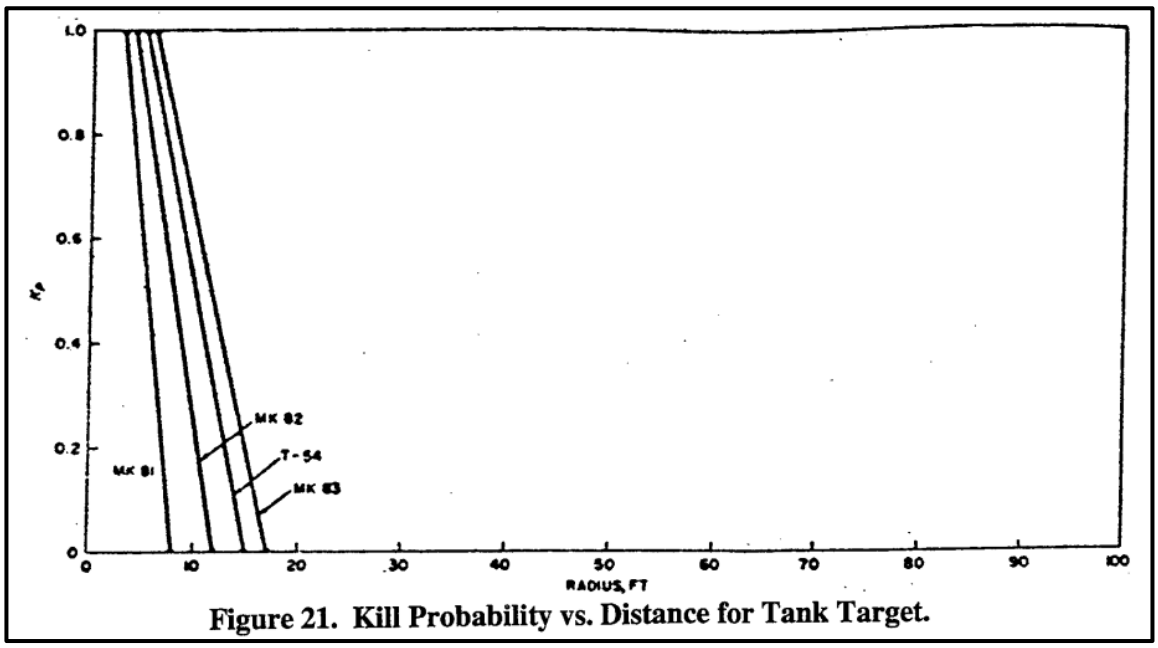


Figure 21. Kill Probability vs. Distance for Tank Target.

Megsemmisítési valószínűség harckocsi célpont ellen. 10 lábnál (kb. 3 méter) közelebbi találat szükséges 1000 fontos Mk-83 bomba esetén is.

Ennek esélye a fenti szóráskép ismeretében még kis magasságról leoldott fél tucat bombával is viszonylag alacsony. A kevésbé páncélozott járművek (PSzH, gyalogsági harcjárművek, teherautók,stb.) a hagyományos rombolóbombák nyomáshulláma és repeszhatása azonban már elégséges lehet.

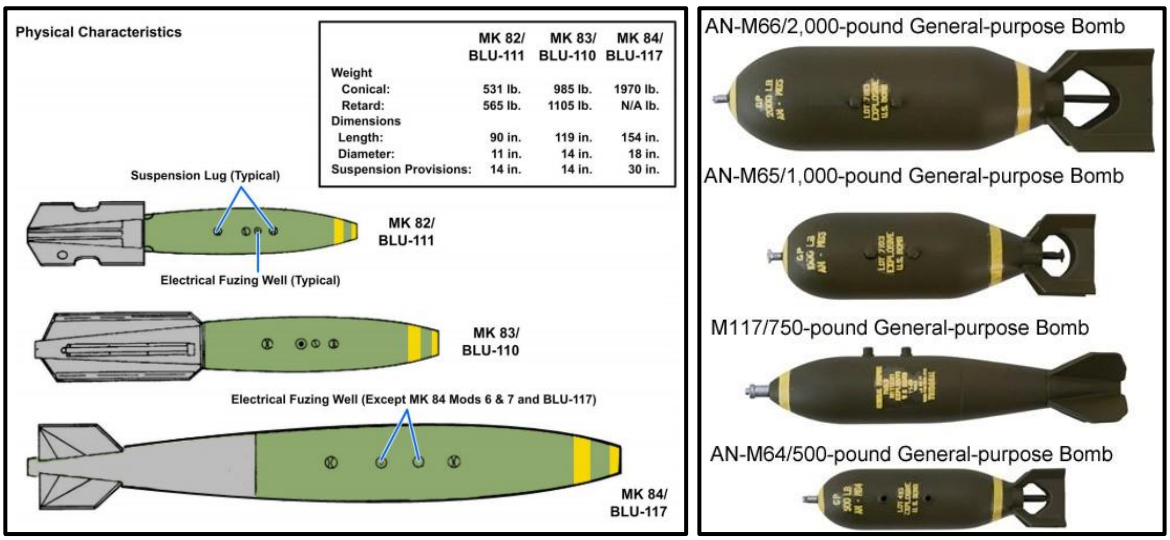
Az élőerő és puha célpontok elleni területfegyver a napalm, a páncélozott célok (PSzH, gyalogsági harcjárművek, harckocsik, önjáró löveg) elleni ideális bombafegyverzet a megfelelő résztöltettel rendelkező kazettás bomba vagy mini-bombákat szóró konténerek. A kazettás bombák alapvető működési elve a hagyományos bombákkal szemben apró mini-bombák vagy más speciális kialakítású harci részt tartalmaznak, és azokat nagy területen szétszórva pusztítanak. A mini-bombák lehetnek előre vagy akár páncélos járművek ellen optimalizált töltetek is.

MW-1[674] minibomba-szóró konténer, ehhez hasonló például az angol JP-233 vagy a szovjet-orosz KMGU rendszer

A teljesség igénye nélkül a lenti képeken és ábrákon az amerikai és szovjet-orosz nem irányított bombák vagy minibomba-szóró konténerekről látható egy gyűjtemény néhány videó linkkel kiegészítve.

A bombákat mérettől és típustól függően egyesével, párosával, négyesével vagy akár hatosával is lehet függeszteni, ha az adott típuson elférnek és rendszeresítették hozzá a bombazárakat és síneket (függesztőket).

[673] http://www.dtic.mil/get-tr-doc/pdf?AD=ADA329188 *32. nyomtatott oldal.*
[674] https://www.youtube.com/watch?v=kLqCxCLKfGk



Balra, a ma az USA és a nyugati világ által használt alapvető buta bombái az Mk-80 bomba család, az Mk-82/83/84 (500, 1000, 2000 font névleges tömeg kategória.) Jobbra néhány korábbi, ma már nem használt bombatípus. A 750 font tömegű M117 bomba utolsó példányait 2015-ben használták el.[675]

A szovjet-orosz FAB, OFAB és RBK bombacsalád néhány típusa, balról jobbra. FAB-500 (M62), FAB-500 (M54), FAB-250 (M46), OFAB-250, ?, RBK-250.

[675] http://flightlines.airforcetimes.com/2015/06/26/b-52-crews-drop-pacafs-last-vietnam-era-bomb/ https://www.youtube.com/watch?v=6ytsLXAE5dc

Kazettás bombák alapvető működési elve, a technikai megvalósítás ezektől természetesen eltérő lehet bomba típusonként. Nem feltétlenül fékezik a résztölteteket ejtőernyővel, a szórás módja is lehet egyszerűen gravitáció és légellenállás által, rugós kivetésre is van példa illetve a bombatest bepörgetésével is elérhető a nagyobb területen történő szétterítés.[676]

Féklapos Mk-82 Snakeye bomba hatzáras bombafüggesztőn

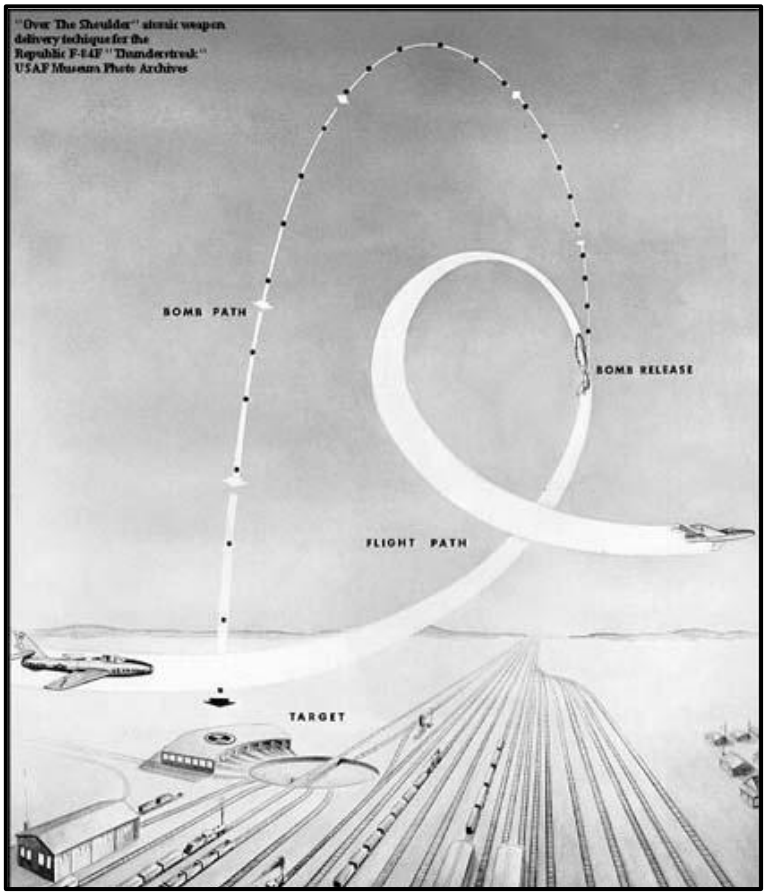
Orosz RBK-500 családba tartozó kazettás bomba metszete résztöltetekkel.

[676] https://www.youtube.com/watch?v=9wRQSOxse64 https://www.youtube.com/watch?v=QcJc_u5JXVY

A kazettás bombák között különleges helyet foglal el az CBU-97/105 SWF,[677] ami intelligens/precíziós kazettás bombának hívható leginkább. Itt a résztöltetek szórása, de maga a résztöltetek célravezetése is érzékelőkkel megtámogatva történik, nem csak pusztán szétszórva adott sűrűséggel reménykedve, hogy kellő sűrűség esetén eltalálnak valamit. Ennek megfelelően természetesen a fegyver ára egészen más kategóriában van a mezei kazettás bombákhoz képest és adott célsűrűség alatt bevetése értelmetlen is költséghatékonyság szempontjából.

Bár erre konkrét bizonyíték/forrás alig[678] vagy nem áll rendelkezésre, a különleges bombán jól láthatóak Follow-On Forces Attack koncepció[679] során megfogalmazott követelmények, ahol a felvonuló vagy csak részben szétbontakozott VSz erők tömeges pusztítását tűzték ki célul (többek között) hagyományos, nem nukleáris fegyverek használatával. Az más kérdés, hogy a CBU-97 csak a hidegháború lezárulta után készült el.

A nukleáris és termonukleáris fegyverek megjelenésével a bombák pusztító ereje annyira megnőtt, hogy azok alkalmazásakor a hordozó gép kioldásának védelme érdekében egészen eszement szintig fokozott „hajító” bombázás alkalmazását tette szükségességé.



F-84 Thunderstreak vadászgéppel végrehajtott nukleáris bombatámadás sémája.

A hajító bombázást precíziós bombafegyverekkel is alkalmazzák/alkalmazták (lásd később) mert az intelligens végfázis vezérléssel a pontossága elfogadható volt. A nukleáris fegyvereknél a függőleges vagy közel függőleges kioldással kis magasságból történő emelkedéssel biztosították azt, hogy bombát kioldó repülőgépnek legyen ideje kikerülni a robbantás hatósugarából. A harcászati repülőgépek és

[677] https://defencyclopedia.com/2015/06/12/cbu-105-sensor-fuzed-weapon-usafs-ultimate-tank-buster/ https://www.youtube.com/watch?v=CY9gojFu-_U https://www.youtube.com/watch?v=myuZUxS3Uww
[678] https://de.wikipedia.org/wiki/Follow-on-Forces-Attack
[679] http://ota.fas.org/reports/8630.pdf http://ota.fas.org/reports/8718.pdf

könnyűbombázók jellemzően 1 db bombát hordoztak, ahogy az interkontinentális bombázók is, csak azok néhány tucat vagy 100-200 kt hatóerejű bombák helyett a néhány vagy akár 10 Mt hatóerőt elérő bombákkal operáltak.

Emiatt fajult a végén már odáig a helyzet, hogy az interkontinentális B-47 Stratojet bombázókkal is ilyen hajításos módon oldották volna le a hidrogénbombákat.[680] Ez a módszer a vadászgépek tömeges jelenléte és a légvédelmi rakéta rendszerek megjelenésével végképp vállalhatatlanná tette a 5-10 Mt vagy akár nagyobb hatóerejű termonukleáris fegyverek használatát, ami végül elvezetett el még a nukleáris fegyverek esetén is a nagy hatótávolságú és pontosabb irányított rakéta fegyverzet megjelenéséhez, illetve és később a robotrepülőgépek alkalmazásához.

A hidegháború alatt a VSz tagországokban minden egyes ezrednek legalább egy százada nukleáris fegyvereket hordozott volna, ez alól a Magyar Néphadsereg sem volt kivétel. A lenti képen a MiG-21bisz által hordozott 244N (RN-24)-es gyártmány látható, ami egy 5-30 k közötti hatóerejű nukleáris bombát takar. (Érdekesség a radar magasságmérő a bomba orrán.)A MiG-21bisz mellett, a MiG-23MF illetve Szu-22M3 is alkalmas volt speciális fegyverzet bevetésére

7.1.3. Nemirányított rakéták

A nemirányított rakéták esetén hasonló pontossági probléma jelentkezik, mint a gépágyúk és géppuskáknál. A rakétákkal a géppuskáknál, de még a gépágyúknál is nagyobb lőtávolság érhető el, azonban ezek is nagyjából csak 3-4 km lőtávolságig hatásosak. Ekkora távolság esetén azonban legfeljebb csak területcélok ellen, pontcélok eltalálása nagyobb távolságról reménytelen vállalkozás a rakéta szórása miatt. Nem csak az célzás, de a rakéták ballisztikája, a hajtómű tolóerejének és működési idejének véletlenszerű szórása is rontja ezek pontosságát.

A gépágyúkkal és géppuskákkal szembeni előnyük, hogy a rakéta harci részével és szórásával – ami sokszor hátrány, de néha előny is – puha célpontok ellen terület lefogó fegyver, viszont pontcélok ellen emiatt kevésbé használható, ha járulékos kár csökkentése a fontos vagy a célpont egyszerűen kisméretű.

Harckocsik ellen a hagyományos repesz-romboló harci résszel rendelkező rakéták alkalmatlanok, még telitalált esetén sem képesek megsemmisíteni a harckocsikat, komoly kárt okozása legfeljebb a gyengén páncélozott motortér találatakor lehetséges, azonban PSzH és lövéspáncélosok ellen közeli hátulról vagy oldalról érkező repeszek, vagy telitalálattal még használhatók. Bár léteznek speciálisan páncéltörő változatú rakéta kumulatív (HEAT) harci résszel is, ezek ritkák a fegyver hátrányai miatt, hiszen igen közelről lehetséges csak harckocsi méretű pontcélok megsemmisítése, de kumulatív harci résszel is inkább csak az

[680] https://www.youtube.com/watch?v=mqIJL8lx00o

oldalpáncél ellen lehet próbálkozni. (A kumulatív harci rész páncélátütése az átmérőtől függ, a harckocsi gránátokkal összemérhető rakéta az 5 hüvelykes Zuni, lásd lentebb. A kisebb rakéták kumulatív harci része reménytelenül kis páncél átütési értékkel rendelkeznek.)

A rakéták hátránya a gépágyúkkal szemben légi célpontok ellen (elvileg) nem használhatók, tehát kevésbé univerzálisak. Bár az amerikai honi légvédelmi vadászok dedikáltan célok elleni rakétákkal rendelkeztek, de azokat nem manőverező hatalmas interkontinentális bombázók ellen szánták és kisebb méretűek voltak jellemzően, mint a földi célpontok ellen szánt társaik.

A történelem során mindössze két olyan eset fordult elő, amikor földi célok elleni nem irányított rakétával légi győzelmet értek el. Az egyiket izraeli A-4 Skyhawk csapásmérővel (pilóta Ezra Dotan), aki harckocsi elleni nem irányított rakétával lelőtt egy MiG-17-est,[681] illetve Vietnám felett Zuni rakétákkal szintén egy MiG-17-est lőttek le szintén Skyhawk típussal (1967 május 1-én, pilóta Theodore R. Swart), de ezek egyedi és elszigetelt esetek voltak, nem hivatkozási alapok.

A nemirányított rakéták méretben, tömegben és harci részben igen nagy szórással rendelkeznek. A legkisebbekből egyetlen rakéta konténerben (blokk) akár több tucat is hordozható. A szovjet-orosz Sz-5 típus az 57 mm-es átmérőjével és 4-5 kg-os tömegével a skála alján helyezkedik el, amiből 16 vagy akár 32 db is betölthető egy indítóba. Ennek amerikai megfelelője nagyjából a kicsit nagyobb méretű 2,75 hüvelykes rakéta.[682] Számottevően nagyobb a Zuni[683] típus (127 mm/5 hüvelyk, 45-60 kg) rakétából már számottevően kevesebb hordozható. A skála felső végét az 240 mm átmérőjű 200 kg tömeget is meghaladó Sz-24 és Sz-25 rakéták jelentik, amiket adott estben nem is tubusból, hanem csak sínre függesztve indítanak.

Bár igen hosszú múltra tekintenek vissza – már a II. világháborúban is használtak földi célok ellen nemirányított rakétákat – mind a mai napig hadrendben vannak a korszerű haderőkben egyes célok elleni költséghatékonyságuk miatt. A kevésbé korszerű, adott esetben 3. világ légierőiben és helyi háborúiban mai napig elsővonalas csapásmérő fegyvernek számít, ahol precíziós támadófegyverek elterjedtsége nulla, és a légvédelmi rakéta vagy légvédelmi ágyúk fenyegetése minimális.

Balra fent Sz-25 rakéta konténerben és kinyílt vezérsíkokkal konténeren kívül. Jól látható, hogy a rakéta harci része nagyobb, mint a rakétatest átmérője. Jobbra fent 5 hüvelykes Zuni rakéta a kép jobb szélén, 4 db rakéta egy indítóban.

[681] http://www.iaf.org.il/2540-30115-en/IAF.aspx
[682] https://en.wikipedia.org/wiki/Folding-Fin_Aerial_Rocket https://en.wikipedia.org/wiki/Hydra_70
[683] http://www.designation-systems.net/dusrm/app4/5in-rockets.html

Balra fent UB-57-32 rakéta blokk, jobbra fent töltése a rakéta blokknak, bár nem éppen eredeti rendeltetésnek megfelelően, szárazföldi járműről alkalmazva.

7.1.4. Torpedók, aknák

A címben említett két fegyver kategória részben történelmi okokból van csak említve, a harcászati repülőgépek eszköztárából nagyjából a II. világháború után kikoptak mivel azok sebessége nem tette praktikussá azokon történő alkalmazásukat.

A II. világháború alatt a repülőgépekről indított torpedók[684] irányítás nélküliek voltak, ledobásuk után tartották haladási irányukat és csak egyenesen előre haladtak.

Leoldási magasságuk jellemzően 10-300 méter magasságra korlátozódott, továbbá a ledobás sebessége is limitált volt, nagyjából 250-400 km/h sebesség táján. A haditengerészeti járőr repülőgépek (P-3 Orion, Il-38 May, stb.) fegyverzetében torpedó fegyverzet jelent van, de azok immáron önvezérlő, manőverező torpedók, amit nem a tenger felszíne felett suhanva oldanak ki, hanem, ejtőernyő segítségével lassítják azok zuhanási sebességét és érnek vizet a torpedók. (Jobbra fent a képen.)

Az aknatelepítés szintén olyan tevékenység, ami mára nem harcászati repülőgépek által végzett tevékenység, pusztán történelmi okokból szerepel. Jellemzően ez ma már csak hajók fedélzetéről, adott estben helikopterekkel vagy a fent említett tengerészeti járőrgépek végzik.

[684] https://www.youtube.com/watch?v=w8XYZoR9ABE

7.2. Irányított csapásmérő fegyverek

A nemirányított fegyvereknél ismertetett okok és azok hatásai miatt hamar felmerült azok hátrányinak és korlátainak kiküszöbölése irányított fegyverek megalkotásával. Már az I. világháború idején is kísérleteztek rádió távvezérléssel, de az első gyakorlatban használt fegyverek csak a II. világháború alatt/végén születtek meg, amiket sikerrel is tudtak (néha) gyakorlatban is használni.

A következő vezérlési alapelvek és módszerek (vannak átfedések ezek között) kerülnek bemutatásra a lentiekben:

- CLOS, (command to line of sight) közvetlen rálátású pályaíven haladó fegyverek, ezeknek létezik manuális (MCLOS), fél-automatikus (SACLOS) és automatikus (ACLOS) változata is
- lézervezérlés
- elektro-optikai / infravörös képalkotás
- passzív„radar”
- aktív radarvezérlés
- GPS vezérlés
- TERCOM és DSMAC
- kombinált vezérlés a fenti elemekkel

A precíziós fegyverek iránti igény nem csak az addig támadható célok elleni hatékonyság növelése miatt jelent meg, hanem a fegyverek indítási távolságának növelésével az azokat alkalmazó repülőeszközök megsemmisítése is nehezebbé vált adott esetben, kellően nagy indítási távolság és megfelelő vezérlés alkalmazásával nemegyszer támadhatatlanná váltak az indító repülőgépek a megtámadott fél oldaláról nézve. Pl. egy 4 km magasan repülő lézervezérlésű bombát vagy IR/EO vezérlésű rakétát indító repülőgép ellen a csöves légvédelmi tüzérség lényegében tehetetlen 5-8 km-es indítási távolság mellett vagy a hajók légvédelmi tüzérsége sem tehetett lényegében semmit a Fritz X siklóbomba ellen. (Lásd később.)

A precíziós fegyverzet megjelenésének további előnye volt, hogy olyan célpontokat is támadhatóvá tett mind a helikopterek, mind a repülőgépek számára, ami ezen fegyverek megjelenése előtt lényegében semmilyen módon nem volt elpusztítható épeszű keretek között az addig alkalmazott fegyverek segítségével.

A helikopterek számára a harckocsik elleni fegyverzet az irányított páncéltörő rakéták megjelenésével jött el, a repülőgépek az addig tömegesen alkalmazott kazettás bombák helyett – amik egyes környezetben bevetve hatalmas járulékos károkat is okoznak – lehetővé vált pontszerűen elpusztítani magányos harckocsikat tömeges kazettás bomba használat nélkül is.

A lézervezérlésű bombák megjelenésével az addig hagyományos fegyverekkel kvázi sérthetetlen megerősített repülőgép- illetve betonfedezékek, vagy akár földalatti bunkerek is elpusztíthatóvá váltak. Nem irányított páncéltörő bombák korábban is léteztek már, de azok szórása miatt csak véletlen lett volna lehetséges eltalálni ilyen kis célpontokat. Lézervezérléssel azonban 1-2 méteres szórással már megérte ezekre (a nagyobb biztonság kedvéért több bombát oldva) akár 1 tonna tömegű páncéltörő bombát ledobni, hiszen a találat valószínűsége igen magas lett.

A második világháború alatt egy századnyi (kb. tucatnyi) zuhanóbombázóból 2-3 darab gépnél több nemigen talált el repülőgép-hordozó és csathajó méretű célokat.[685] Igaz, hogy azok mozogtak, de több száz

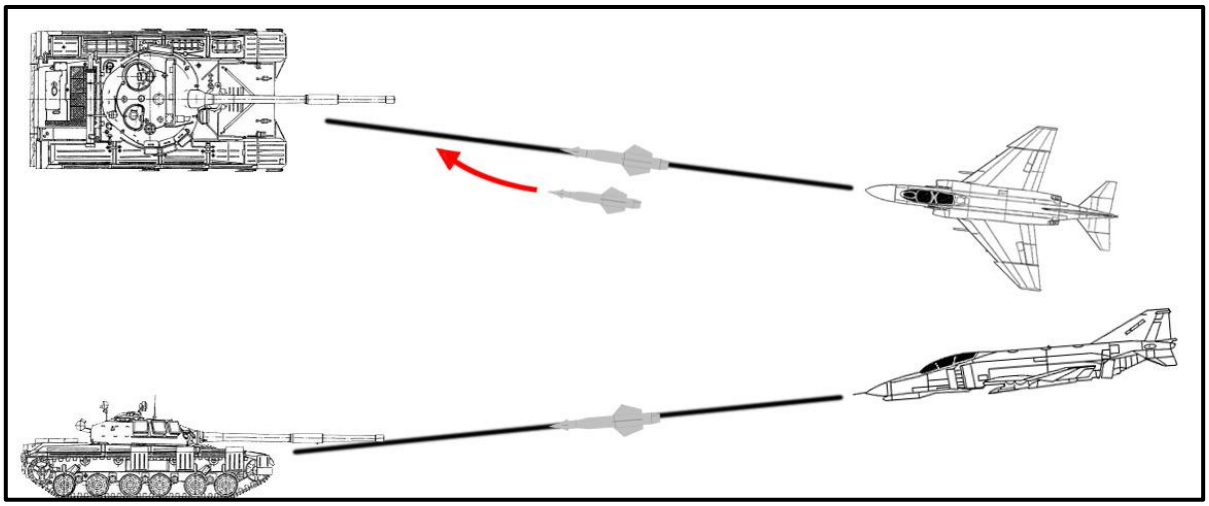
[685] http://www.mediafire.com/file/0t2j2xm9zel1m8g/Mushasi_elektronikus.pdf

méter hosszúak és 30 méterszélesek is lehettek. Viszont azokat kisebb tömegű bombákkal is harcképtelenné lehetett tenni, azonban a hidegháború, atomtámadást is kibíró repülőgép fedezékei ellen 1 tonnás vagy nagyobb bombák szükségeltettek. Ezekből a kisebb gépek legfeljebb 2 darabot hordozhattak, de a legnagyobbak (pl. F-111) is csak 4 darabot, tehát buta bombákkal – még ha azok páncéltörők is – megoldani a feladatot gyakorlatilag képtelenség volt.

7.2.1. CLOS

A közvetlen rálátást igénylő fegyverek jellemzően rádió távirányításúak vagy huzalvezérléssel bírnak, a fegyverek indítási távolságától függ a vezérlési parancsok eljuttatásának a módja.

A vezérlési módszer lényege egyszerű geometriai meglátáson alapszik. Ha a rakétát vagy siklóbombát indító repülőgép a célpont irányába repül, és a rakéta célpontot és az indítót (ez lehet akár szárazföldi jármű vagy indító állvány) összekötő képzeletbeli egyenesen mozog, akkor a rakéta a célpontba fog csapódni. Ha letér erről az egyenes pályáról, akkor korrekció szükséges, a rakétát vagy bombát vissza kell „terelni" (kormányozni), erre a képzeletbeli összekötő egyenesre. Az ötlet pofonegyszerű, a megvalósítása már kevésbé.



A vezérlés alapelve, ameddig a rakéta az összekötő egyenesen van, addig a cél felé repül, ha attól pl. balra kitér, akkor korrekció szükséges. A magyarázó ábrán harckocsi a célpont, azonban MCLOS rakétával eltalálni egy ekkora méretű mozgó célpontot gyakorlatilag a csodával lett volna határos repülőgépről, még álló célpontként sem valószínű a telitalálat.

A vezérlési módszer alapvető korlátja, hogy megfelelő látási viszonyok szükségesek alkalmazásához, mind a célpontot, mind a rakétát látni kell, emiatt a rakéta (vagy siklóbomba) nyomon követését jellemzően a rakétán hátsó részén levő égő és füstölő magnézium töltetek segítik.

A teljesen manuális vezérlési módszer esetén (MCLOS) a rakétát vagy bombát közvetlenül a pilóta vagy fegyverzetkezelő operátor vezeti (vezérli) egy kis botkormánnyal. Az ilyen vezérléssel bíró fegyver használata gyakorlatot és jó térlátást igényelt, pontossága így is csak akkora volt, hogy az ilyen vezérléssel működő eszközök több száz kilós harci résszel bírtak. Ilyen vezérléssel bírtak például a II. világháborús Fritz X és He 293 siklóbombák,686 de a vietnámi háború idején használt AGM-12 Bullpup is, a Magyar Néphadsereg MiG-23MF és Szu-22M3 gépeihez rendszeresített H-23M (AS-7) is ilyen vezérléssel rendelkezett. [687] A linkelt videón látható a kézi vezérlés közvetlen hatása, hogy mennyire cikázik a rakéta,

[686] https://www.youtube.com/watch?v=Ur-G97BVtX0
[687] http://www.youtube.com/watch?v=f61UCSdvbAI&feature=related

ami egyben annak pontosságát is jól bemutatja, nagyban múlott az operátor ügyességén a fegyver pontossága. Ezt hivatott javítani a félaktív vezérlés (SACLOS).

Félaktív megoldás azt jelenti, hogy az operátor csak a célpontot követi optikán keresztül, a rendszer automatikusan rajta tarja a rakétát azon az egyenesen, amit az operátor jelöl ki az optika használatával adott irányba forgatásával. Ilyen irányított rakéták például a BGM-71 TOW, 9M113 Konkursz (AT-5 Spandrel).

A fenti példában szereplő AGM-12 rádió-parancsvezérelt a kisebb indítási távolsággal bíró TOW és Konkursz huzalvezérlésű. A huzalvezérlés jellemzően maximum 4 km alatti hatótávolságú fegyvereknél használatos, afelett a huzal hossza és tömege miatt nem praktikus. Előnye a huzalvezérlésnek, hogy és nem igényel sem infravörös sem elektromágneses kisugárzást, tehát lényegében zavarhatatlan. (A II. világháború alatt a Fritz X bombák vezérlését sikerrel zavarták meg egyes esetekben, köszönhetően a rádió-távirányításnak.) Hátránya, hogy, hogy több kilométernyi huzalt cipelni, ennek nem a tömege az igazán vészes – néhányszor tíz kg – de ha gyártási hiba miatt a huzal nem bírja az igénybevételt és elszakad, akkor a rakéta irányíthatatlanná válik és odavész.

Szárazföldi indítás esetén nem jelent komoly megkötést a CLOS módszer, hiszen az indítóállvány egyhelyben áll, csak a célpont mozog, repülőgépek esetén viszont legfeljebb a helikopterek végezhetnek függeszkedést, a repülőgépeknél a folyamatosan célpont felé repülés folyamatos süllyedést és nyílegyenes repülést jelent, ami láttán minden légvédelmis megnyalja a szája szélét.

BGM-71 TOW rakéta, látszanak a rakétához csatlakozó vékony huzalok.

Huzalvezérlésű pl. az amerikai BGM-71 TOW[688] vagy az szovjet-orosz 9M14 Maljutka (AT-3 Sagger) páncéltörő rakéta. Ezeket szárazföldi járművekről vagy helikopterekről lehetett alkalmazni, repülőgép soha nem rendelkezett huzalvezérlésű irányított rakéta fegyverzettel, ennek oka huzalvezérlésű rakéták sebessége alacsony. Ez azt jelenti, hogy a rakéta sebessége közel van az indító repülőgépéhez, ami messze nem optimális körülmény, mert túl közel lesz a célponthoz az indító gép a rakéta becsapódásakor. Hiába lehetne az elvi maximális távolság az indító repülőgép és a rakét között a huzal hossza, ha ez lényegében nem használható ki. Nagyobb távolságról, mint 4 km a célzást és rávezetést nem lehet megkezeni az optikai célkövetés miatt, ami azt jelenti, hogy 250 m/s-os (900 km/h) haladó repülőgép esetén kb. 800 méter távolság lesz a célpont és az indító repülőgép között becsapódáskor.

A SACLOS és huzalvezérlés párosítása ma már ezek részben elavultnak tekinthető a hatótávolság és rakéta sebességi korlátja miatt, továbbá a légvédelmi rendszerek fejlődése miatt. Ennek ellenére mind a mai napig használják őket olyan országok, akiknek újabb technika beszerzése nem lehetséges, meg amúgy is

[688] *tube-launched, opticallytrackedwire-guided – csőből indított optikai célkövetéses huzal vezérlésű (rakéta)*

igen nagy mennyiségben rendelkezésre állnak még a hidegháború maradékaként. (Szárazföldi járműveknek és erőknek mind a mai napig megfelelnek részben a huzalvezérléssel bíró eszközök.)

BGM-71 TOW indító AH-1 Cobra harci helikopteren (balra), illetve MD 500 típusból kialakított könnyű helikopteren.

Néhány további példa a kezdet kezdetéről. Korai, és egyben extrém példa kiszolgált B-17 bombázók átalakítása rádió távirányítású repülő bombává a II. világháború alatt. [689] *A repülőgépekkel a videón ellentétben pilóták szálltak fel, akik még Anglia felett ejtőernyővel kiugrottak a gépekből. A program nem volt túl sikeres, de az igény megvolt a precíziós nagy pusztító erejű fegyverre, de a technikai kihívások még túl nagyok voltak.*

II. világháború után az angolok által kifejlesztett 5,5 tonnás Tallyboy bombát módosított formában továbbfejlesztve, rádió-távirányításúvá alakítva használta az USA, ez volt az ASM-A-1 Tarzon.[690]

A fenti különleges eszközök mind szokatlanul nagyméretű fegyverek voltak, mert a precíziós vezérlésnek az akkori műszaki korlátai csak ennyit tettek lehetővé. A precíziós fegyverek fejlesztése és fejlődése során néhány kivételtől eltekintve a fegyverek pontosságnak javulása azok méretének csökkenéséhez vezetet, de nem általánosan.

Ennek oka, hogy a célpontok elpusztításához nagy méretű és tömegű bomba vagy rakéta bevetése szükséges, ilyenek jellemzően megerősített betonfedezékek és földalatti bunkerek, amik ellen a precíziós vezérlés ellenére legalább fél, de inkább egytonnás bombák szükségesek. A másik oka lehet a hatalmas fegyvernek az elvárt hatalmas hatótávolság, pl. a több száz km indítási távolsággal bíró szovjet-orosz haditengerészeti csapásmérő rakéták emiatt lettek nagyon, nem azért, mert hatalmas átütő erőt vártak el tőlük, bár a harci részük ettől függetlenül több száz kiló vagy akár elérhette az 1 tonnát is.

7.2.2. Elektro-optikai, TV, infravörös képalkotásos vezérlés

Ezen vezérlés előnye a CLOS elven működőkhöz képest, hogy adott esetben nem szükséges az indító repülőgépnek folyamatosan a célpont felé repülnie, bár nem ettől függetlenül lehet így alkalmazni egyszerűsítésként ezt a fajta vezérlési módszert is.

Az EO/TV/IR (képalkotós) vezérléssel megoldható, hogy a rávezetés alatt a repülőgép ne repüljön a célpont felé, tehát szerencsés esetben kívül maradhasson a légvédelem megsemmisítési zónáján. Ennek a

[689] https://www.youtube.com/watch?v=bXIfiPejcrI https://en.wikipedia.org/wiki/Operation_Aphrodite
A programban részt vett a későbbi elnök John F. Kennedy bátyja is, aki életét vesztette egy katasztrófában.

[690] https://www.youtube.com/watch?v=xEYVT-f4qtE https://en.wikipedia.org/wiki/ASM-A-1_Tarzon

kategóriának az első képviselője a II. világháború alatt kifejlesztett, de végül hadrendben nem állított TDR-1 Torpedo Drone [691] volt.

Az első MCLOS kategóriájú siklóbombákhoz hasonlóan ez is manuálisan vezérelt volt, de az operátor szempontjából sokkal könnyebben kivitelezető volt, mert a drón orr részén levő televíziós kamera képét jelenítették meg az indító és vezérlő repülőgépen az operátornak. Ezzel elérték, hogy nem kellett az indító gépnek a célpont felé repülni, miközben a gép fedélzetéről szemmel tartva a siklóbombát / drónt a gép és célpontot összekötő egyenesen tartani. Egyszerűen magát a siklóbombát kellett csak a cél felé kormányozni, ehhez volt szükséges a kamerára a drónon, de a repülőgép akár ki is fordulhatott indítás után. A linkelt videón látszik, hogy 7 km távolságból is működött a távvezérlés – zavarással természetesen nem számoltak – ami azt jelentette, hogy az akkori légvédelmi ágyúk hatásos lőtávolságán kívül lehetséges volt nagyméretű célpontokat, pl. hajókat támadni a fegyverrel.

A TV vezérlés valójában tehát a rádió-parancsközlő vezérlés különleges változatának tekinthető, csak a későbbi égvédelmi rakétákkal ellentétben nem radarmérés szolgáltatta az adatot az vezérléshez, hanem az ember ismerte fel a céltárgy sziluettjét a TV képernyőn és kormányozta a irányított rakéták vagy siklóbombát a célpont felé

Érdekes, hogy a B-17-es bombázókkal CLOS elvben történő vezérléshez képest mennyivel fejlettebb és előremutatóbb volt a TDR-1, mégsem állították végül ezt hadrendbe.

Maga a TV+rádió-parancsközlő vezérlési elv a TDR-1 program leállítása után nem merült feledésbe, amikor a technikai fejlődés elérte a kellő szintet, akkor újra elővették, de már fejlettebb formában, a ’60-as évek végétől kezdve fél-automatikus formában ezt alkalmazták az AGM-65A Maverick rakétán.

A fél-automatikus a teljesen manuális vezérlés helyett azt takarja, hogy csak a célkijelölésig manuális a módszer, azonban ha minden más rendben zajlik, akkor indítás után nem szükséges foglalkozni rakétával. Az AGM-65A volt az első „tüzelj és felejtsd el” (fire & forget, F&F) fegyver szárazföldi pontcélok ellen,[692] bár a F&F képessége azért mai szemmel nézve korlátozott volt. Az AGM-65A alkalmazása a következő módon történt.

Az AGM-65A/B rakéta (vagy más fegyver, pl. AGM-62 Wallye siklóbomba esetén) orrában egy giroszkóppal stabilizált TV kamerát építettek be. A pilóta vagy a fegyverzetkezelő (WSO)[693] azonosítja a célt, a rakéta vagy siklóbomba kameráját a célpontra irányítja, fókuszba állítja (B változaton már volt nagyítási lehetőség, ezzel távolabbról indítható vált) majd rögzíti a célt a kabinban található képernyő segítségével. Ezzel került beállításra, hogy a rakétának merre kell egyenes vonalban repülnie a célpont felé. Ezután indulhat a rakéta, az indító repülőgép ezután kifordulhat, de rádióösszeköttetést végig fenn kell tartani a rakétával, ennek oka giroszkópos vezérlő rendszer korlátja.

A rakétának idealizált esetben nyílegyenesen a célra kéne repülnie, de mivel nincs tökéletesen pontos giroszkóp, a beállított pontról elmászhat a szálkereszt, ami az egyenest kijelöli, ezért lehetőség van a célpont felé közeledés közbeni beavatkozásra a monitort figyelve, ezt az operátor egy kis joystick segítségével teheti meg. Olyan gépen ahol nincs WSO, ott a botkormányon van ez a kis „joystick”, ami lényegében 4/8 irányú kapcsoló. (4/8 way hat switch).

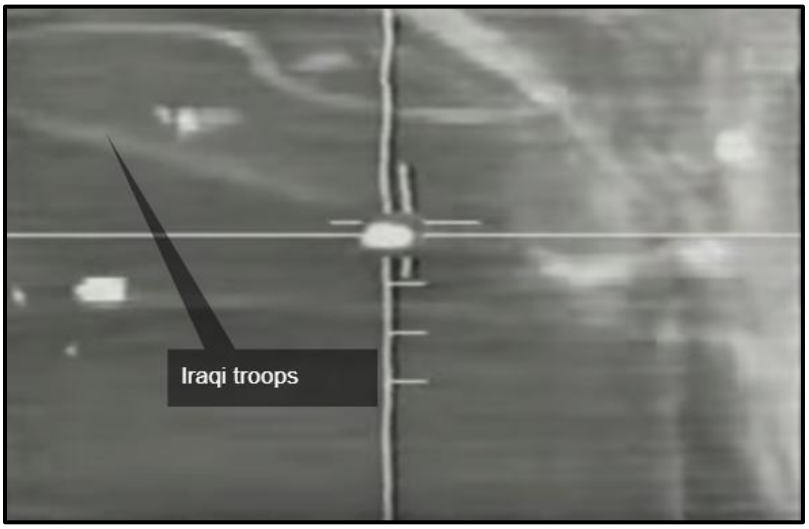
---

[691] https://youtu.be/8RQcUtzAe98

[692] *Az AGM-65A hadrendbe állításakor már léteztek aktív radarvezérlésű hajó elleni rakéták, de azok fregatt/romboló méretű hajóknál kisebb célpont ellen nem voltak használhatóak.*

[693] *weapon **s**ystems officer*

A rendszer tehát folyamatos iránymérésen és a megfelelő irányba haladáson alapszik, a képalkotó rendszer csak ahhoz kell, hogy a referencia irány és az aktuális haladási irány szinkronban legyen, hogy a manuális korrekció[694] kivitelezhető legyen. Emiatt az AGM-65A/B legfeljebb álló célpontok ellen „fire & forget" rakéta, mozgó célpontok elleni alkalmazása (elvileg, lásd később kontrasztosság elvénél) lehetetlen volt manuális korrekció nélkül. Ilyen vezérlést használó eszköz volt például az AGM-62 Walleye[695] és az AGM-65 Maverick A és B változatai[696], továbbá a szovjet-orosz KAB bombacsalád egyes változata is. Mivel az AGM-65A/B kamerája a látható fény tartományában dolgozott, ezért csak nappal volt használható.



AGM-65D keresőfejének képe a Sivatagi Vihar hadművelet alatt. A célpontok elkülönülnek a földháttértől, de azok azonosításához az érzékelő felbontása miatt messze elégtelen.

Az TV/IR vezérlés fejlettebb megoldása, hogy a bomba vagy rakéta orrában lévő kamera képe rögzítésre kerül a kioldás előtt. A bomba vagy rakéta vezérlése ledobás/indítás után a célpont kontrasztjának közepét próbálja megcélozni és oda becsapódni.[697] Ez a megoldás tehát automatikus, a fegyver így már valóban „tüzelj és felejts el" kategóriájú lehet, hiszen a célon tartás is automatikus akár mozog a cél, akár nem és ezt a rakéta saját maga oldja meg, tehát önvezérlő.

Ezzel a megoldással a rakéta hatótávolsága ki is tolható, hiszen indítás után akár emelkedhet is a rakéta,[698] hiszen csak a végfázisban szükséges a célpont felé repülni pontosan. A kontrasztosság elve[699] használható TV, CCD kamera (látható fény), illetve infravörös képalkotásnál[700] (AGM-65D változata rendelkezik ilyen vezérléssel) is használható sőt, az utóbbinál valószínűleg hatékonyabb az elv, hiszen ha „sima" a környezet, akkor az erős infravörös források markánsan elütnek a környezettől. Ezzel szemben a látható fény tartományában egy harckocsi és az általa vetett árnyék adott estben nagyon hasonló méretű és kontrasztosságú céljelet adhat a rendszernek. Mind a látható, mind az infravörös képalkotó rendszer számára korlátozást jelent a por és füst, ami a harctéren nem ritka, ezek képesek megzavarni a vezérlést.

---

694 *„man the loop" megoldás.*

695 https://youtu.be/MQ4cDFP0CQk

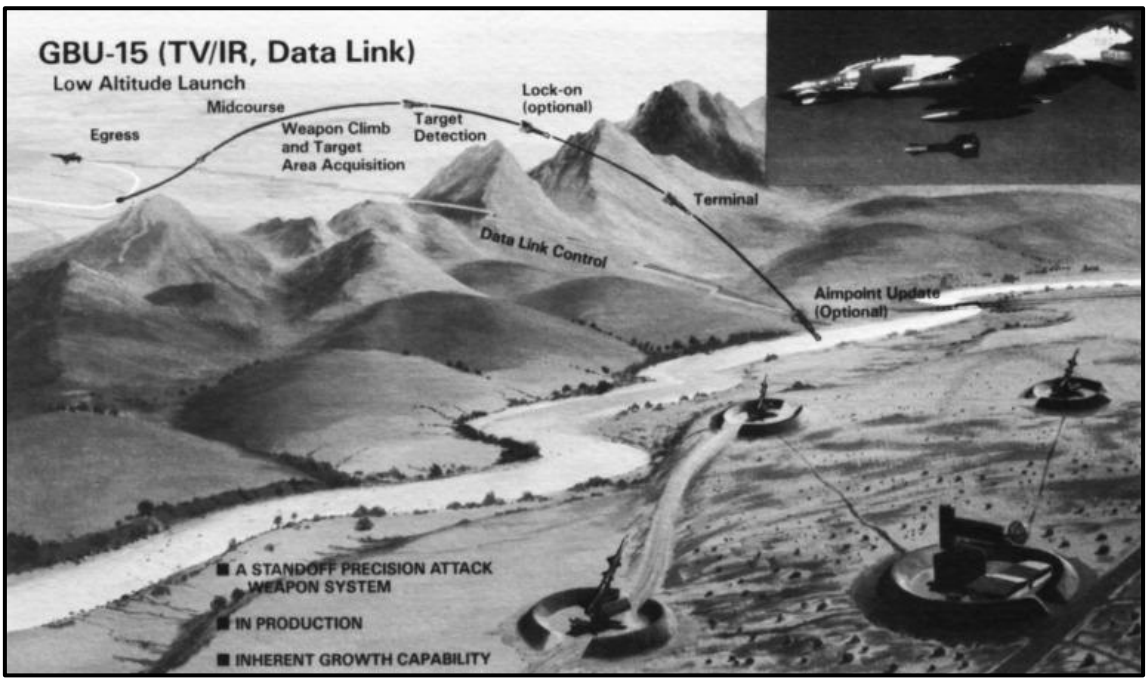
696 https://youtu.be/uf_uC-s9bdw

697 *Egyes források szerint már az A/B változat is képes volt kontrasztosság alapon dolgozni, de gyenge volt ezen képességük. Hosszú árnyékok és füst esetén nem maradt rajta a célon.* http://vnfa2.tripod.com/VNFA-Maverick.html

698 https://youtu.be/5-cWL2O0SU0

699 https://en.wikipedia.org/wiki/Contrast_seeker *Tehát ez nem keverendő össze a MCLOS vezérléssel.*

700 https://youtu.be/zCTG8wcUUy8 https://youtu.be/As1X6xBNEK0



A GBU-15[701] siklóbomba is a TV+rádió-parancsközlő („man in the loop") vezérlés párosításával született meg, de később ennek is létezett infravörös kamerás változata, amivel éjszakai bevetés is lehetségessé vált. Siklóbomba lévén az indítási távolsága jóval meghaladhatta az AGM-65A/B változatát és speciális konténerrel nem csak az indító repülőgép vezethette rá a fegyvert a célra, ami (elvben) nagy harcászati rugalmasságot tett lehetővé.[702] Az indító repülőgép nagy sebességgel oldhatta a bombát minimális ideig kitéve magát a légvédelemnek – hasonlóan a hajító bombázáshoz, lásd később –, miközben a vezérlést biztosító repülőgép akár 70-80 km-re is lehetett. A GBU-15 utódja az AGM-130.[703]

7.2.3. Passzív „radar", (anti-radiation missiles, ARM)

A fejezet címben levő radar megnevezés picit pontatlan, mert távolság mérésre kezdetben nem voltak alkalmasak az ilyen eszközök és fegyverek, csak irányt mértek. Passzív radar vezérléssel működnek a radar elleni[704] (REL/„radargyilkos) rakéták.

A vezérlési módszer alapelve, hogy a célpont radarkisugárzása alapján – akár azok oldalszirmai is elégségesek lehetnek – vezeti önmagát célra a rakéta, tehát ez is „tüzelj és felejtsd" képességgel rendelkező fegyvercsalád. Az első ilyen rakéta a vietnámi konfliktus idején használt AGM-45 Shrike és AGM-78 Standard voltak, amit a '80-as években követett a forradalmi újításokat hozó AGM-88 HARM. Szovjet-orosz oldalon a H-31P (AS-17P Krypton), H-25P (AS-12P Kegler)és H-58U (AS-11 Kilter) típusok képviselik ezeket eltérő méretben, hatótávolsággal és sebességgel, a francia fejlesztésű Martel rakétának is létezett ilyen változata, vagy a mára már hadrendből 2013-ban kivont angol ALARM.[705]

A Magyar Néphadsereg a Szu-22M3 gépeihez rendszeresített H-25MP-t (AS-12) .A első REL rakéta a H-28 (AS-9) volt, elvileg ezt is hordozhatta volna a Szu-22M3, de (szerencsére) ebből nem szerzett be a MN egy darabot sem, a H-25MP (AS-12) a HAWK osztályok ellen került rendszeresítésre.

[701] https://youtu.be/U_B2vUAxBow https://youtu.be/n4zEmeWmhh4
[702] https://htka.hu/2010/04/11/general-dynamics-f-111-aardvark-avagy-a-rettegett-foldimalac/ *70. oldal*
[703] https://youtu.be/ZJOWHdMVMAY
[704] *ARM – anti-radar missile*
[705] *Különleges bevetési módja, amikor indítás után magasba emelkedve ejtőernyőn ereszkedik és várja a légvédelmi rendszer radarjának felkapcsolását.* http://www.ausairpower.net/alarm-armat.html

A H-58E (AS-11) a Patriot ellen is használható lett volna, nagy magasság indítás esetén annak HMZ-je elérte a 100 km-et, M3,6 csúcssebességgel), de a MN nem szerzett be belőle egy darabot sem, a szomszédos Csehszlovákiával ellentétben. A H-31P (AS-17) hidegháború utáni fegyverrendszer semelyik VSz tagállam nem rendszeresítette.

Kezdetben, ha lekapcsolták a radart, a rakéta – esetünkben az AGM-45, ez volt az első tömegesen használt REL – biztosan elvétette a célt. Amíg az AGM-45 a Shrike csak a cél irányát ismerte, és afelé repült (analóg technika), addig a későbbi AGM-88 HARM már képes volt a cél távolságát mérni önállóan is (eléggé pontatlanul) úgy, hogy a programozott repülési pályáján többször rámért a célra.

Az AGM-45 Shrike végtelenül egyszerű szerkezet volt a kor szintjén, részben annak primitívségét kihasználva alkalmazták azt a pilóták. Rájöttek arra, hogy az AGM-45 akkor is célba talál, ha a repülőgéppel emelkedés közben indítják a rakétát, ezzel megnő az indítási zóna amiatt, hogy a rakéta kisebb sűrűségű légrétegeken halad át. Ez a „hajítás” (loft) később az AGM-88 esetében már programozottan zajlott a célpont távolságának megfelelően. (A célpont távolságának meghatározásához különleges harcászati avionikai szükséges, lásd később.

A célpont radar lekapcsolásának problémáján úgy próbáltak segíteni, hogy a rakéta próbálta „megjegyezni” a cél helyzetet az utolsó mért adatok alapján, de ennek meg vannak a maga korlátai. A gond az, hogy ha a lekapcsolás mondjuk 15 km-re történt és mondjuk fél fok pontossággal képes a rendszer mérni a sugárforrás irányát (ez pontosnak mondható) a sugárforrás irányát, akkor ebből az oldalirányú eltérés önmagában 100 méter nagyságrendben való hibával terhelt, ha egyáltalán a célpont távolsága ismert lenne és a rakéta tudná, hogy milyen megközelítési szöget tartson.

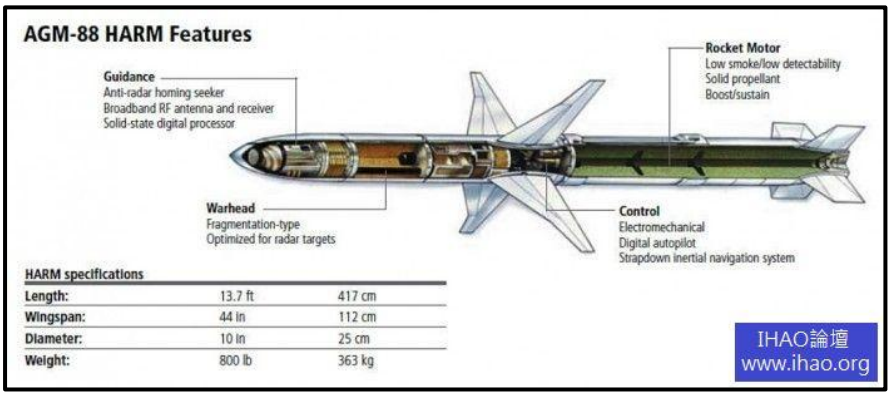
Még, ha tökéletesen pontos irány és távolságmérés lehetséges is lenne, akkor is csak a lekapcsolás pillanatában lenne ismert a referencia pont a rakéta további vezérléséhez. A radar lekapcsolása után csak rakéta gyorsulásának, sebességének mérésével lehet csak meghatározni annak további röppályáját a tehetetlenségi navigáció elvét felhasználni. Tehát az utolsó mérési ponttól kezdve a rakéta saját röppályájának meghatározása csak időben folyamatosan növekvő hibákkal terhelve lehetséges sőt, maga az utolsó iránymérés is hibával terhelt. Ez okozza azt, hogy a REL-ek hatékonysága a megsemmisített célok számában alacsonynak volt mondható az összes háborúban. A légvédelmi rendszerek elnyomására képesek voltak, de azok megsemmisítésére már kevésbé. (Lásd később.)

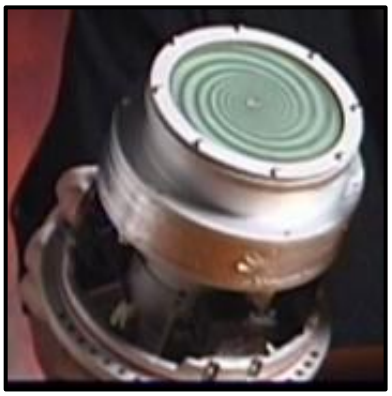
Az összes REL/ARM esetén igaz, hogy nem csak dedikált SEAD platformokról (F-4G, F-16CG HTS konténerrel) használhatóak, de különleges harcászati avionika hiányában csak magukkal a rakéták érzékelőivel lehetséges keresi a célpontokat. Ebben az esetben a bármely rakéta képességei töredékére csökkennek. A SEAD feladatkörre specializált gépeken – ez régebben az Phantom II specializált variánsa, az F-4G volt, a ’90-es évek közepe óta az F-16CJ/DJ (Block 50/52) változatokat jelenti az USAF állományán belül. – rendelkezésre áll/állt külön elektronikai rendszer, ami a különféle sugárforrások azonosítását és pontosabb bemérését tette lehetővé.

Az F-4G[706] esetén az AN/APR-38, később az AN/APR-47 rendszereket jelentette, illetve a fent említett F-16 változatokon az AN/ASQ-213 konténer (HTS, HARM Targeting System) használatos (jobbra).[707]

A konténert kezdetben az F-16 jobboldali szívócsatorna felfüggesztési ponton hordozták a gépek, de ma már képes baloldalt is vinni, hogy a jobboldali ponton a lézerbombák rávezetéséhez szükséges konténert számára is jusson hely, így egyidejűleg két specializált képességgel is felruházható a gép, precíziós csapásmérő és SEAD feladatkörben is potens a gép.

A REL-ek méreteiből adódik, hogy azok a méteres hullámhosszon üzemelő radarok ellen hatástalanok, hiszen nem lehetséges olyan antenna beépítése a nagyjából 25-30 cm átmérőjű rakétákba, ami effektíve képesek lennének kellő érzékenységet felmutatni fél méteres vagy még nagyobb fél hullámhosszal üzemelő radarok ellen. A régebbi Shrike cserélhető fejrésszel bírt, különféle felszerelhető érzékelő résztől függött, hogy milyen hullámhossz tartományban működő radarok ellen volt használható.[708] Az AGM-88 HARM azonban egyszerre használható deciméteres és centiméteres hullámhosszon működő radarok ellen sőt, akár a Sz-75/125 és az 9K33 Osza rádió-parancsközlő jeleit is képes felhasználni. A cm-es hullámhossz érzékenységét négyszeres spirállal oldották meg a rakéta orrában, e mögé pedig került egy dm-es (fagyi tölcsér alakú) spirál antenna, ami akár a parancsközlő rendszerek parancsjeleire is érzékennyé teszi a vevőt.





AGM-88 HARM alapvető paraméterei, jobbra fent a különleges antennája.

Az AGM-88 HARM az AGM-45-höz képes számottevően nagyobb, akár 100 km-et elérő megsemmisítési zónával bír, amelyek több okból tevődnek össze:

- Az AGM-88 F-4G vagy HTS konténeres F-16 fedélzetéről képes ballisztikus pályán repülni a cél felé, ha annak távolsága legalább nagyjából ismert, amíg az AGM-45 erre képtelen volt. Végszükséges esetén az AGM-88 indítás után végezhet méréseket és ez alapján korrigálja a pályáját amennyire azt még a rakéta tolóereje és sebessége lehetővé teszi.
- A rakéta mérete nagyobb lett az AGM-45-höz képest.

[706] http://wiki.scramble.nl/index.php/Loral_AN/APR-38
http://www.designation-systems.net/usmilav/jetds/an-apr2aps.html
[707] http://defense-update.com/products/h/HTS.htm
[708] http://www.designation-systems.net/dusrm/m-45.html

- Az AGM-88 kettős tolóerő fokozattal (dual thrust) rendelkező hajtóműve van, ami nem a nagy égésvégi sebességre (a rakéta nevével ellentétben), hanem viszonylag moderált gyorsítással ellentétben hosszú ideig tartó sebesség tartására van optimalizálva.
- A fentiek miatt képes az AGM-88 a radarok oldalszirmai alapján is képes célra repülni, mert kellően közel kerülhet az indító repülőgép távolságmérés és ballisztikus pálya használatával, ahol erre csak a végfázisban van szükség.
- A ballisztikus pálya további előnye, hogy a HARM fentről érkezik, tehát nem könnyen fordulhat elő az, hogy egy tereptárgy (pl. domb, vagy hegycsúcs) miatt a rakéta magasságmérője a földközelség miatt elműködtesse a harci részt. A REL/ARM rakétákon ugyanis közelségi gyújtó nem alkalmazható, mint a légiharc rakétához. A sugárforrás felé repülve, amikor a magasságmérő már 10-15 méteres magasságot mér, akkor azt jelenti, hogy a célpont közelében van, ekkor robban fel a rakéta. (Líbia ellen végrehajtott bombázások során Szurt felé rakéta így robbant fel, amikor a domboldalt érzékelte a célpont felé repülve.)

Az újgenerációs AGM-88E AARGM (Advanced Anti-Radiation Guided Missile) változat már kombinált GPS vezérléssel is rendelkezik – tehát a lekapcsolás pillanatában a rakéta saját helyzete és a célpont visszaszámolt helyzete elméletileg számolható, természetesen ez is mérési hibával –, illetve ezen felül milliméteres hullámhosszú radar is került a rakétába, a radar korlátozottan még alakfelismerésre is képes. A célpont közelébe a passzív vezérlés navigálja el a rakétát, de a célkörzetben a saját radarjával is megtalálhatja a célt. A fegyver továbbra is „tüzelj és felejtsd el” képességgel bír, viszont jóval potensebb elődeinél a kombinált vezérlésnek köszönhetően. (No persze az árfekvése is egy picit más lett, de ez már egy másik történet…)

Számottevő és értékelhető mennyiségben csak amerikai és angol REL/ARM bevetése történt meg, szovjet-orosz fegyverekről emiatt nem áll rendelkezésre értékelhető adat.

7.2.4. Aktív radarvezérlés

Ez a vezérlési módszer kezdetben a hajó elleni rakétákon volt csak jellemző azon egyszerű okból kifolyólag, hogy más célpont ellen nem volt lehetséges olyan radar megalkotása, ami kellő távolságból képes lett volna akár még csak a vízfelszínen kisebb visszaverő felülettel rendelkező célpont felderítésére. (Nem véletlenül lett az AIM-54 hatalmas átmérőjű rakéta és kellett várni a ’90-es évekig az AIM-120 ARAAM méretű aktív radarvezérlésű légiharc rakétára.)

Ilyen vezérléssel bírt a ’60-es évek elején hadrendbe állított szovjet haditengerészeti támadó eszköze a szubszonikus P-15 Termit robotrepülőgép, de a későbbi amerikai AGM-84 Harpoon, vagy a nagysebességű és hatótávolságú H-22 (AS-6 Kingfish) szovjet haditengerészeti csapásmérő rakéta is.

Megjegyzendő, hogy az aktív radarvezérlést jellemzően kombinálják tehetetlenségi vagy ma már GPS vezérléssel, mert az ilyen vezérlést használó robotrepülőgépek és rakéták akkora indítási távolsággal rendelkeznek – ez több száz kilométer is lehet –, hogy indításkor esélyük sincs a célpontok felderítésére a kisméretű radarral bíró támadó fegyvereknek, tisztán aktív radarvezérlés csak kisebb hatótávolságú rakétánál lenne megoldható. Indításkor a célpontok várható elfogási pontja felé repülő rakéta vagy robotrepülőgép csak a végfázisban kapcsolja fel a radarját és próbálja az eredetileg kijelölt vagy bármilyen, a radar felderítési zónájába eső célt megtámadni.

A módszer előnye, hogy indítás után nem szükséges foglalkozni a rakétával/robotrepülőgéppel, teljesen autonóm módon is megtalálhatja a célpontját, bár ettől függetlenül lehetséges a célpontok frissített adatait

adatkapcsolaton keresztül pontosítani a mai korszerű fegyverek esetén akár indítás után. Hiába a nagy sebessége egyes rakétáknál még 3-4-szers hangsebességgel is percek telhetnek el a rakéta indítása és azok számított becsapódási ideje között 400-600 km-es indítási távolság esetén, a szubszonikus fegyvereknél akár 10-30 perces nagyságrend is lehet az indítás és becsapódás között.,

Balra fent az AGM-84 Harpoon, jobbra fent az Tu-22M Backfire szárny alatt a szuperszonikus H-22 (AS-6 Kingfish) rakéta.

Bár kezdetben csak hatalmas rakétákon alkalmazták ezt a vezérlési formát ma már egészen kisméretű rakétákon is lehetséges alkalmazni azt, ilyen például az angol Brimstone, ami mindössze 48 kg induló tömeggel rendelkezik. A Brimstone harckocsi elhárító fegyver elsősorban, azonban az aktív radarvezérléssel (mm-es hullámhosszú radart használ) a szinte azonos tömegű és méretű (az alap változatú) AGM-114 Hellfire rakétával szemben, ami lézervezérlésű nem egy célcsatornás, hanem a Tornado párhuzamosan annyi célpontot támadhat, amennyi rakétával rendelkezik. Mozgó célpontok felderítése történhet a Tornado vagy a Eurofighter Typhoon vadászgép radarjának SAR üzemmódjával, amivel a szimultán célkijelölés sem probléma.

Angol Tornado GR.4 csapásmérő 8 db Brimstone (törzs alatt) és 4 db ALARM rakétával (szárnyakon, a póttartályok felett).

A Brimstone legkorszerűbb változata ráadásul kombinált vezérlésű, szükséges estén lézervezérlést is alkalmazhat, ami megkönnyítheti a földi célkijelölőkkel végzett együttműködést, tehát adott estben több féle módon is kijelölhető a célpont illetve akkor is alkalmazható, ha a célpont radar visszaverő felülete nem teszi lehetővé alkalmazását. (Pl. aszimmetrikus hadviselési környezetben élőerő ellen) Természetesen ebben az esetben autonóm alkalmazáskor, amennyiben az indító repülőgép világítja meg a célt a párhuzamos célleküzdés nem lehetséges.

7.2.5. Lézervezérlés (félaktív)

A nemirányított rakétáknál és bombáknál bemutatott célzási és indítási utáni fizikai törvényszerűségekből eredő szórások csökkentésének további lehetséges módja a lézervezérlés.[709] Ez a passzív radar vagy TV/EO vezérléshez képest abban tér el teljesen, hogy nem rádió-parancsvezérelt – tehát rádióelektronikai úton nem zavarható – illetve nincs „intelligencia" a bombában vagy rakétában kontrasztosság módszerének felhasználásához képes, nem teszi lehetővé a „tüzelj és felejtsd el" képességű fegyver megalkotását, legalábbis autonóm alkalmazási módon, amikor az indító repülőgép maga vezeti rá a célpontra a bombát vagy rakétát.

Bombáknál és rakétáknál is alkalmazott vezérlési módszer, de az nyugati légierőkben érdekes módon a rakétáknál viszonylag ritkán használt megoldás, a lézervezérlésű bombák számítanak elterjedtnek az USA, a NATO és a nyugati légierőkben. Ilyen vezérléssel rendelkeznek a már korábbiakban említett Paveway lézervezérlésű bombacsalád tagjai, ahogy szovjet-orosz KAB bombák, ahogy a legkorszerűbbek közé tartozó francia AASM is.[710] Az irányított rakéták közül az AGM-65-nek is van ilyen változata, az AGM-65E, továbbá a szovjet-orosz H-25L (AS-10 Karen család tagja) és H-29L (AS-14 Kedge család tagja) rakéták is lézervezérléssel operálnak.

A Magyar Néphadsereg Szu-22M3 gépeihez rendszeresített H-25ML (AS-10) és H-29L-t (AS-14), bár ez utóbbinál történt meg az az apró „malőr", hogy a hozzájuk való indítósínt soha nem szereztük be, emiatt a fegyverek használhatatlanok voltak.

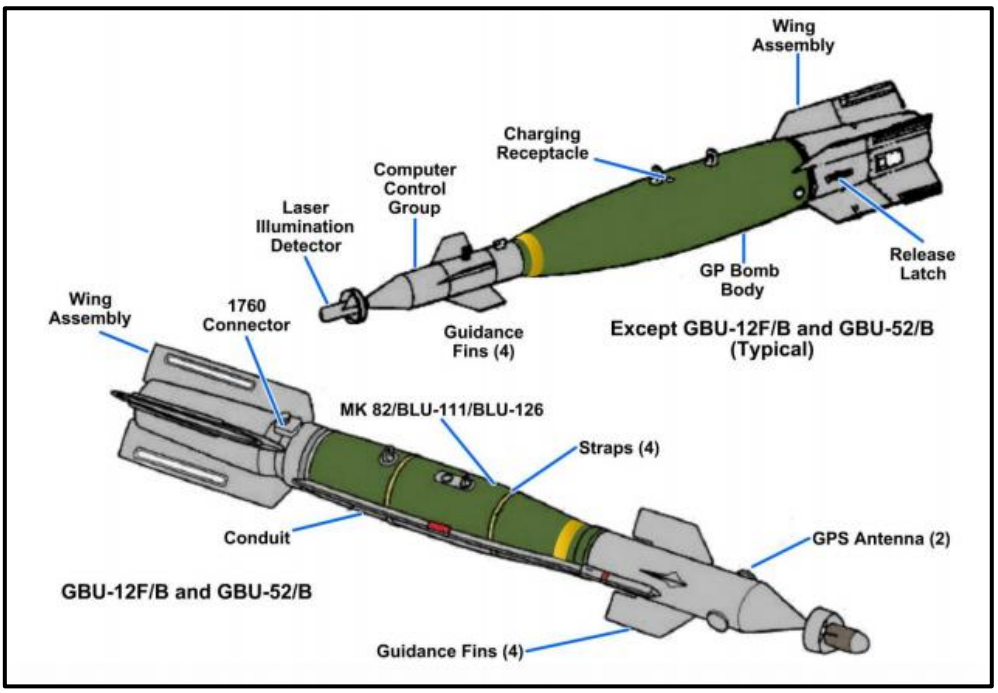
A JAS-39 EBS HU Gripen típushoz hosszú évek kínlódása után 2017-ben végre valahára beszerzésre kerültek a meglevő kevés AGM-65 rakéták mellé (fele lézeres, fele EO/IR) lézervezérlésű bombák is.[711]

A lézervezérlés alapelve, hogy egy giroszkóppal stabilizált lézersugarat folyamatosan a célponton tartanak, ez világítja meg a célt, amit a bomba elektro-optikai rendszere képes érzékelni, a bomba vezérlése efelé a pont felé kormányozza a bombát. A célpont megvilágítása nem csak az indító repülőgépről történhet, hanem például másik repülőgépről, pilótanélküli repülőeszközről, helikopterről vagy akár földi csapatok által is.[712] A Sivatagi Vihar alatt például az angol Tornado gépek számára ősrégi Buccaneer gépek jelölték meg a célokat Pave Spike lézeres célmegjelölő konténerekkel (mert a TIALD akkor még nem állt rendelkezésre a Tornado számára), a Líbia ellen végrehajtott bombázások során fordult a kocka és a Tornado GR.4 vadászbombázók jelölték meg a célokat az Eurofighter Typhoon vadászok számára. (A más repülőgép számára célmegvilágítást hívja az angol terminológia szerint a „buddy lasing"-nek.)

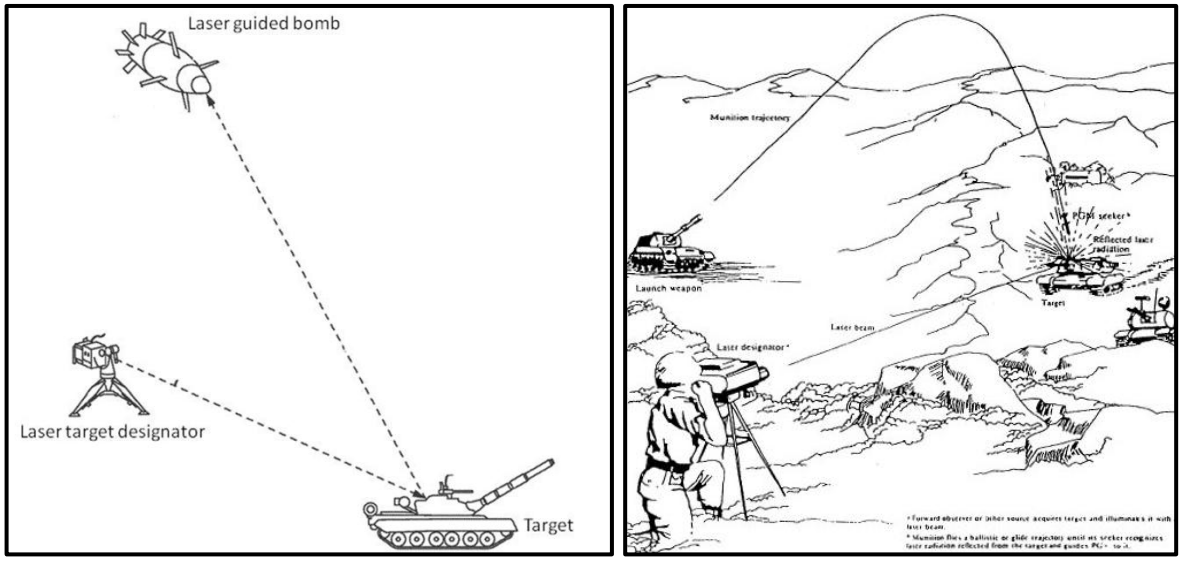
A célmegjelölést, céltávolság-mérést és az azonosítást nagy szögtartományban elforgatható infravörös kamera segíti autonóm alkalmazáskor, amikor a bombát hordozó gép maga keresi és világítja meg a célpontot. A cél megvilágítása a kamerával történő célra pozícionálás után történik, ezek össze vannak szinkronizálva, tehát ahova a kamera néz, oda világít a célmegjelölő lézer. (A célpont befogása után giroszkópos rendszer tartja a célon a kamerát, illetve a kontrasztosság elvét felhasználva lehetséges az automatikus korrekciót segíteni.)

---

[709] *A mellékletek között elérhető a Kővári László által írt hosszabb cikk a lézervezérlésű fegyverekről.*
[710] https://en.wikipedia.org/wiki/AASM
[711] http://legiero.blog.hu/2017/10/25/megkuzdottunk_demonjainkkal_gripenjeink_bombakkal_a_levegoben
[712] http://legiero.blog.hu/2012/11/26/jtac_air_capability_jtac_0
http://airbase.blog.hu/2012/11/27/akkreditalt_kepesseg



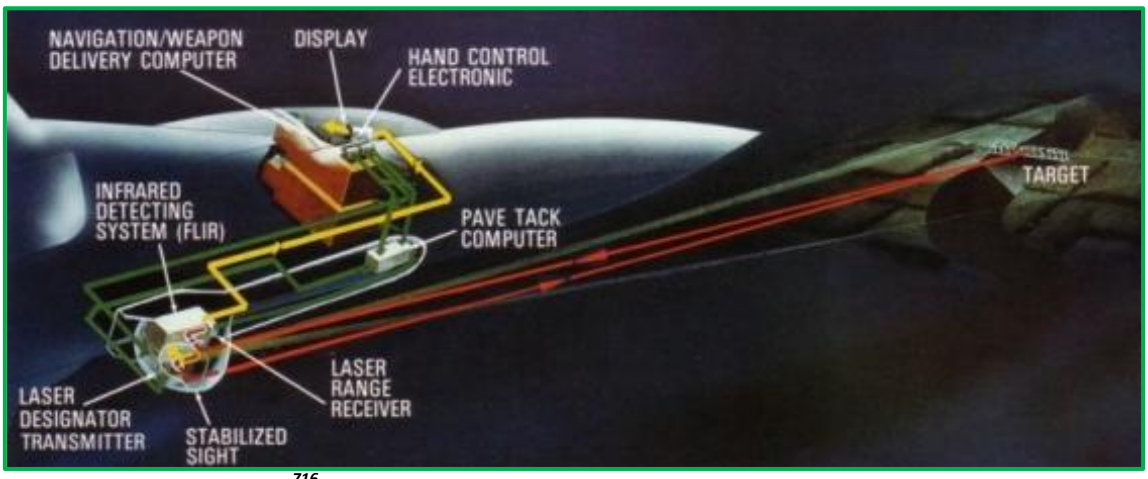
1000 font névleges tömegű GBU-16 és 2000 GBU-10 lézervezérlésű bombán bemutatva azok fő részeit. Alapvetően az Mk-80 bomba család alaptestéhez illesztett vezérlő, illetve vezérsík részekből tevődik össze a bomba. A bomba orrán levő érzékelő (laser illumination detector) gömbcsuklón keresztül forgatható.



Földi célmegjelölés lézerbomba számára (balra), illetve földi célmegjelölés tüzérségi, végfázis lézervezérlésű gránátnak, ilyen például az M154 Copperhead.[713]

A kamera mozgása szinkronizálható a radar célkijelölő üzemmódjával levegő-föld üzemmódban, tehát a már korábban ismertetett SAR radar üzemmód alkalmazásával a támadó gép viszonylag részletes képet kap a célpontról –például reptéren megerősített betonfedezékek vagy repülőgépek megkereshetőek – és a kívánt célpontra állítható rá az infravörös kamera. A kamera nagyfelbontású képével közelebbről már részletek is kivehetőek a célpontról – már amennyire az adott fejlettségű célmegjelölő konténer[714] megengedi.[715] –, a célzást majd befogást végrehajtják, ezután lehet a bombát vagy bombákat leoldani.

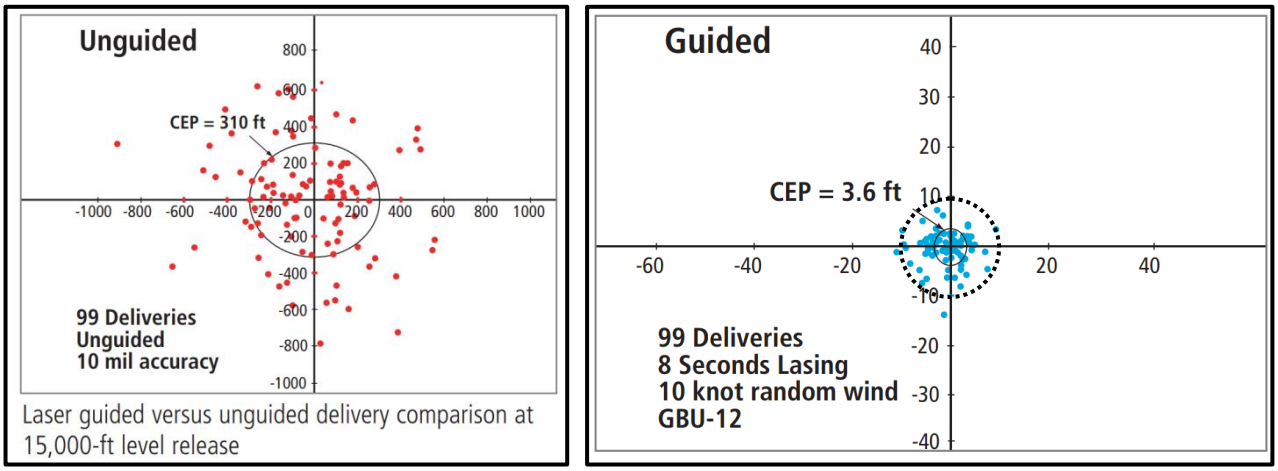
[713] https://www.youtube.com/watch?v=j4sMeo8wdzE
[714] *TGP, targeting pod*
[715] https://htka.hu/2010/04/11/general-dynamics-f-111-aardvark-avagy-a-rettegett-foldimalac/ *58. oldal*
1986-ban az El Dorado Canyon hadművelet alatt a Pave Tack konténerrel nem sikerült mindig végrehajtani a célpont azonosítását



A Pave Tack[716] lézeres célmegjelölő rendszer főbb elemei és működési elve.

Az bombaoldásnak a korai lézervezérlésű bombáknál szinte olyan pontosnak kell lennie, mint a hagyományos bombákkal végrehajtott bombázásnak, a lézervezérlés feladata a bomba természetes szórását csökkentése volt, szó nem volt arról, hogy a bomba irányított rakétaként manőverezzen. A lézer csak az utolsó néhány másodpercben világította meg a célpontot, máskülönben a bomba folyamatos korrekciókat végezne, ami miatt a bomba mozgási energiája csökkenne, a célpontig el sem repülne a bomba folyamatos „laffogása” miatt.

A korai lézervezérlésű bombák vezérlése csak a vezérsíkok gyors és teljes kitérítésével tudott operálni („bang-bang módszer), ami nagy légellenállással jár. A lézervezérlés kezdetben valójában csak végfázisban korrigáló módszer volt, a lézervezérlésű bombák valójából korrigált zuhanású bombák voltak. (Az orosz nevük is ennek megfelelő.) A fentiek miatt valójában picit túldobták azokat a célpontokon, hogy legyen mozgási energia tartalék a végfázis korrekcióban. Ez azt is jelenti, hogy azokkal nagy sebességű földi járművek vagy motorcsónakok támadása nem megoldható főleg, ha azok irányt változtatnak, mert igen nehéz megbecsülni a szükséges „elé dobás” mértékét.



A nemirányított bombák szórásképe összevetve a lézervezérlésű bombák szórásképével. A diagramokon használt tengelyek léptéke nem azonos. A baloldali diagramon azt a kört, ahova lényegében a bombák 100%-a esett lényegében egy pontszerű kört kapnánk, aminek átmérője vonalvastagságnyi. Lézervezérlés esetén azonos magasságból a 310 láb nagyságú szórás 3,6 lábra zuhant 8 másodperces lézer megvilágítási idővel.

Hátránya ennek lézervezérlésnek, hogy párás, rossz időben nem használható és egyszerre csak egy cél, ha autonóm módon alkalmazzák a fegyvert leoldó repülőgép fedélzetéről. Egymáshoz közel levő célok esetén különböző frekvenciájú lézerekkel világítják meg a célokat, hogy ne ugyanarra a célra álljon rá az

[716] https://www.youtube.com/watch?v=_WpPO9_Zed0

összes bomba, de ehhez több célkijelölő berendezés használata szükséges. Tehát, ha mondjuk egy földi előretolt megfigyelő csoport képes egyszerre több célt megvilágítani, akkor egyetlen gép több leoldott bombája eltalálhat több különböző célpontot, ha egyetlen bombaoldásból a bombák kinematikailag képesek az összes célpontot elérni, de ilyesféle szimultán támadásra egyetlen repülőgép képtelen.

A lézervezérléssel végrehajtható hajító bombázás (lofting) előnye, hogy a légvédelmi gépágyúk és kis hatótávolságú légvédelmi rakéta-rendszerek (SHORAD) HMZ-jének egy részén kívül teszi lehetővé a bombázást végfázisban történő korrigálással, lévén a bombázás pontossága a bomba hosszú röppályája és felfelé hajítása miatt alapvetően az egyszerű bombázásnál is pontatlanabb lenne, a vezérlés ezt korrigálja. (Nemirányított bombával ilyesféle hajító bombázásnak értelme nincs, mert a bomba szórása akkora, hogy esélytelen értelmes mértékűre leszorítani bombák szórásképéből eredő pontatlanságot, ez alól csak a nukleáris fegyverek kivételek.)

Hajító bombázás végrehajtása F-111-gyel.

Az infravörös kamerák az idők folyamán persze egyre fejlettebbek lettek,felbontásuk nőtt, a giroszkóp stabilizálás pontosabbá vált, a rendszerek megbízhatósága egyre magasabb fokot ért el. A lézervezérlésű bombák képességeinek egyre jobb kihasználását a maguknak a bombáknak, illetve célmegjelölő rendszerek tették lehetővé.

Az első generációs célmegjelölő és infravörös kamera rendszerek közé tartozott az AN/AVQ-10 Pave Spike[717] és az AN/AVQ-26 Pave Tack.[718] Az előbbit elsődlegesen az USAF F-4 Phantom II gépei számára fejlesztették ki, a másodikat viszont nagy tömege és légellenállása miatt lényegében csak az F-111F és az ausztrál F-111C gépek használták. Éles bevetésen a rendszer néhány videón[719] a Sivatagi Vihar hadművelet idején. A videókat VHS szalagra rögzítették, de azok minősége nem csak emiatt alacsony, a rendszer felbontása erősen korlátos volt, lényegében csak nagyméretű statikus célpontok ellen (hidak, megerősített betonfedezék, nagyméretű épületek) volt használható, csak azok voltak segítségével néhány kilométernél távolabb azonosíthatóak.

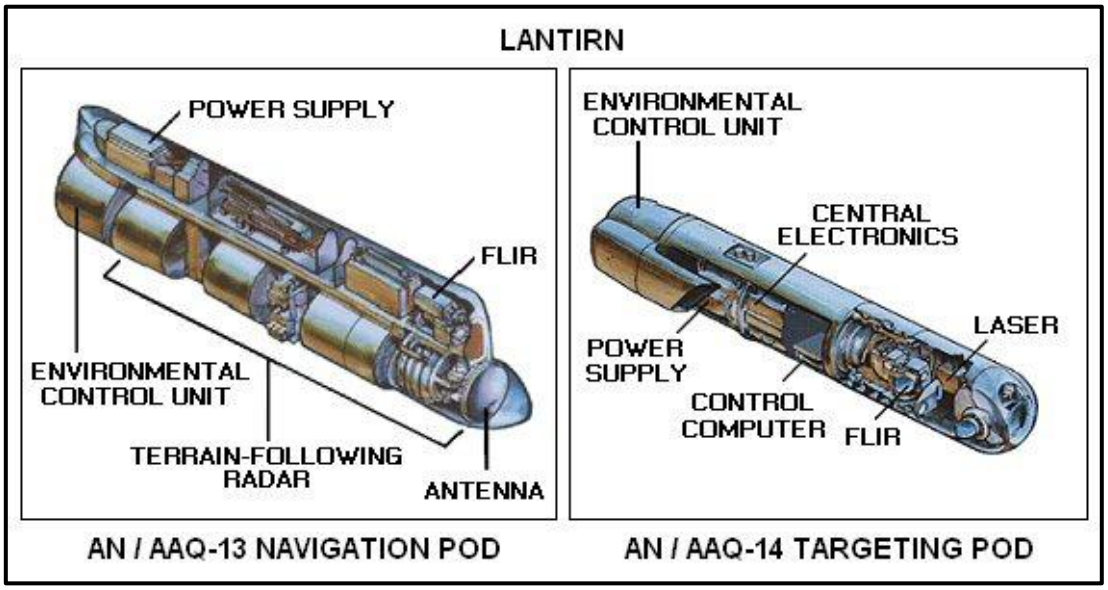
[717] http://www.youtube.com/watch?v=G_VRYz52BIs
[718] http://www.youtube.com/watch?v=_WpPO9_Zed0
[719] https://www.youtube.com/watch?v=oBaqGQRL-qQ
https://www.youtube.com/watch?v=mmVjyuawVew

A második generációba tartozó lézeres célmegjelölő rendszer a LANTIRN,[720] ami lényegében két felfüggeszthető konténer együtteséből állt. Az AN/AAQ-13 navigációs és az AN/AAQ-14 célkijelölő konténerből állt. Az első konténerben egy fixen előrenéző infravörös kamera volt és a terepkövető radar, másik konténerben volt forgatható infravörös kamera és a lézeres célmegjelölő- és távolságmérő. A Sivatagi Vihar idején kis számban már rendelkezésre álltak ezek az eszközök, F-15E vadászbombázók használták, de csak minden negyedik gépre jutott egy konténer, a többi gép számára az egyetlen hordozó világította meg a célt.

A LANTIRN célkijelölő konténere használható önmagában, a navigációs konténer nélkül is, mára gyakorlatilag eltűnt az első vonalbeli szolgálatból, de érdekes, hogy a terepkövető radaros FLIR konténert a 2000-es években is szinte csak mutatóban volt használva. Pongyola szóhasználattal emiatt, amikor csak a lézeres célmegjelölő konténerre önmagában is használták a LANTRIN megnevezést.

Balra fent AN/AVQ-26 Pave Tack konténer képe a Sivatagi Vihar hadművelet alatt alig néhány km-ről. Éppen csak kivehetőek a célpontok (kis pöttyök) és az út nyomvonala. Éppen egy kazettás bomba csapódik be, az a nagy sárga folt

Jobbra fent a AN/AAQ-33 Sniper[721] lézeres célmegjelölő konténer képe 20 km távolságból. A különböző repülőgép típusok egymástól elkülöníthetőek, ez azt jelenti, hogy egy busz egy harckocsitól, egy mentőautó megkülönböztethető egy PSzH-tól. A Pave Tack felbontásával ezek csak egy pötty nagyságú célpontok…



A LANTIRN rendszer két konténere.

[720] http://www.youtube.com/watch?v=0WsebiYf8YI *A videón látható az korai bombáknál említett laffogás is 6:39-nél.*
[721] https://www.youtube.com/watch?v=Yi9d8bstWsE

AN/AAQ-28 LITENING[722] következő generációt képviselő célmegjelölő konténer a nyugati légierőkben, aminek különlegessége, hogy izraeli tervezésű, a Northrop Grumman csak később kapcsolódott a programba, ennek ellenére hadrendbe állította az USA. Az első változatot szokás szerint többször továbbfejlesztették, a legutolsó változata elvileg már a később kifejlesztett AN/AAQ-33 Sniper (balra fent) célmegjelölők első szériáját is felülmúlja, de minimum egyazon színvonalon vannak a képességeik alapján.

A fentiekhez hasonló a francia Damocles[723] illetve az angol TIALD célmegjelölő konténer. Az előbbi a 2000-es évek gyermeke, a TIALD a hidegháború végén készült el. A Sivatagi Vihar alatt alig néhány Tornado csapásmérő átalakítása fejeződött be, azok jelölték meg a célt a többi Tornado számára, más esetekben az akkor már igencsak koros Blackburn/Hawker Siddeley Buccaneer gépek jelölték meg a célt a szintén korosabb Pave Spike konténereikkel.

Az szovjet / orosz csapásmérők mind a mai napig nem rendelkeznek a fentiekhez hasonló célmegjelölő konténerrel, legfeljebb prototípus szintjén. (Oroszország majd 10 évig próbálkozott a francia Damocles célmegjelölő beszerzésével, de erre végül soha nem került sor.) A MiG-27, Szu-22, Szu-24 és Szu-25 típusok orrában vagy a törzs alatt, az orrész alatt beépítve találhatóak az infravörös célmegjelölő céltávmérő vagy TV/infravörös képalkotó rendszerek, a legújabb Szu-35 típus esetén az IRST-hez tartozó lézertávmérő egyben lézeres célmegvilágításra is képes, de a csak a fenti berendezésekhez hasonló oldal- és helyszög korlátokkal.

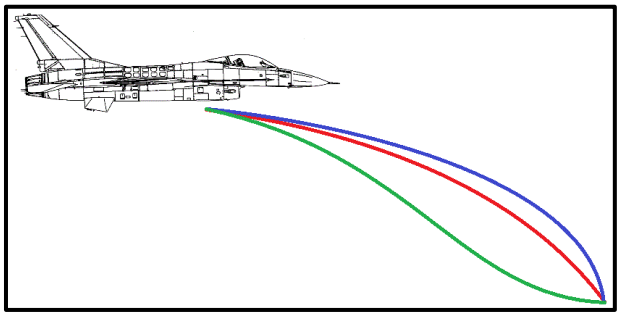
Bal oldalt valószínűleg egy MiG-27K, lézeres célmegjelölő és képalkotó rendszer üvegezésével. Jobb oldalt egy lengyel Szu-22 orrkúpjában látható lézeres célmegjelölő és céltávmérő üvegezése.

A Magyar Néphadsereg Szu-22M3 gépeihez nem lehetett TV irányítású rakétát rendszeresíteni, a Csehszlovákia által beszerzett későbbi Szu-22M4 változatú csapásmérői gépei már alkalmazhatták a TV vezérlésű H-29T-t (AS-14) rakétát is.[724]

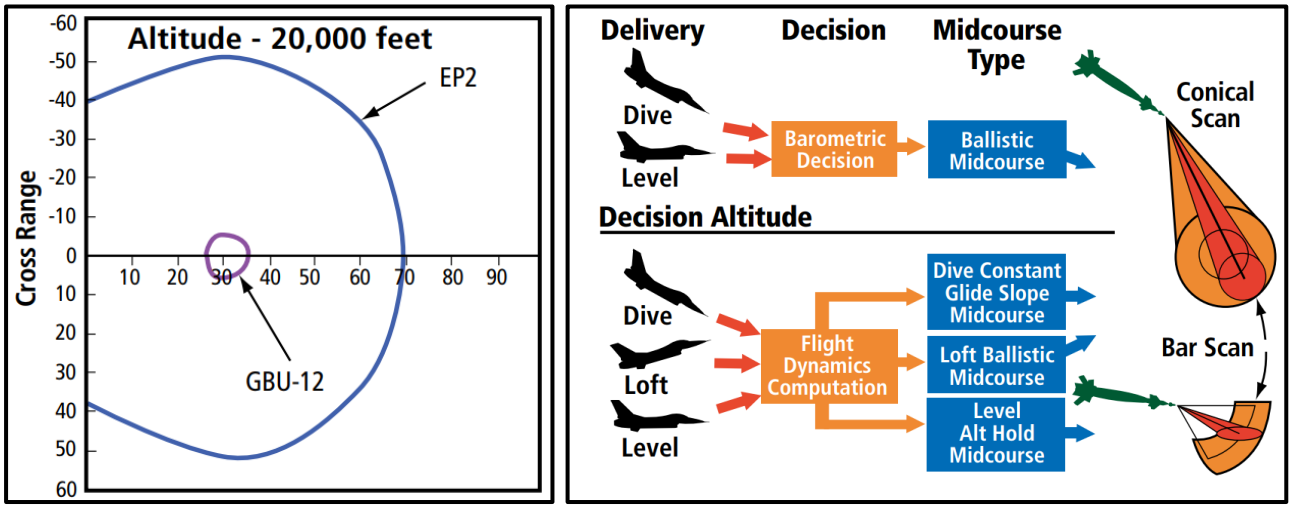
[722] https://www.youtube.com/watch?v=rucdAd97Ut0
[723] https://www.youtube.com/watch?v=o1tNyZ5yuJ4
[724] *Képgyűjtemény a szovjet-orosz levegő-föld rakétákról.* http://www.ausairpower.net/APA-Rus-ASM.html

A Szu-24 orra alatt levő célmegjelölő és képalkotó helye. A fotó különlegessége a törzs alatt levő L-081 Fantazmagoria elektronikai konténer. A már említett AN/ASQ-213 konténerhez hasonló alkalmazás, SEAD feladatkört ellátó Szu-24 csapásmérők hordozhatják.

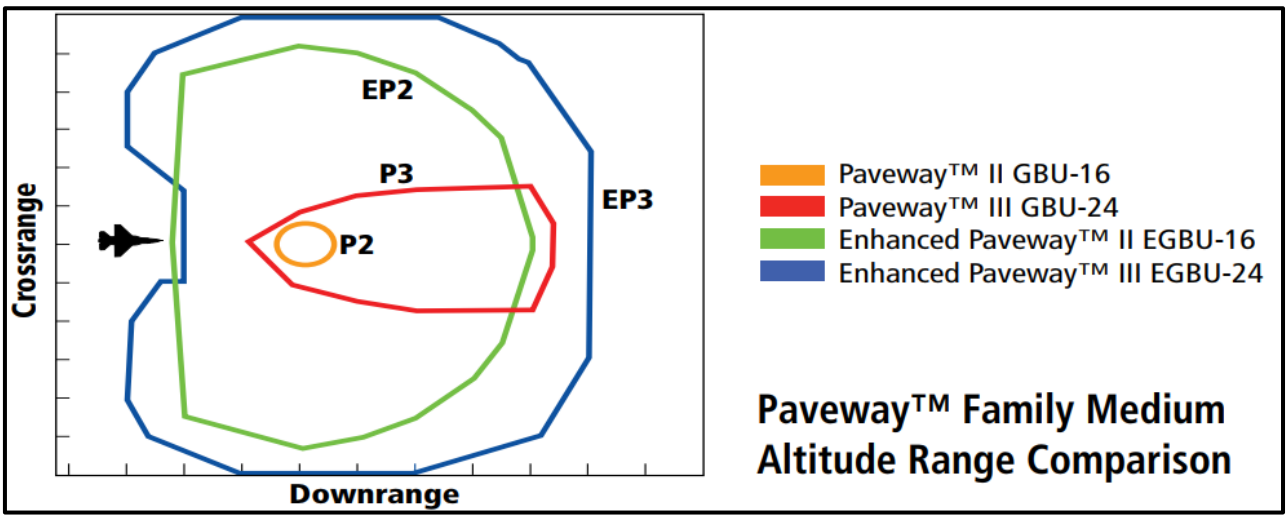
Nem csak a célmegjelölő rendszerek, hanem a bombák és azok képességei is fejlődtek. A korai lézerbombákhoz képest a bombák már kombinált vezérléssel rendelkeznek, a lézervezérlés mellett kombinált tehetetlenségi és/vagy GPS-szel navigáció, ami lehetővé teszi azt, hogy a bomba ne csak végfázis korrekcióra legyen képes, hanem képes legyen programozott pályán megközelíteni a célpontot a bomba és a végfázisban a célra fordulni és keresni a megvilágított célpontot, ilyen például az Enhanced Paveway 2 vagy a francia AASM.



A bomba oldásakor nem kötelező immáron a célpont felé repülni és a bomba képes úgy manőverezi, hogy a becsapódási szöge teljesen eltérő lehessen a végfázisban. Ugyanabból a magasságból oldott bomba képes majdnem függőlegesen a célpontba csapódni (balra, kék színű pálya az ábrán), vagy a végfázisban manőverezve lapos szögben érkezve (zöld), vízszinteshez közeli végfázis röppályával eltalálni egy megerősített betonfedezés ajtaját. Összefoglalva, a bomba röppályája markánsan eltérhet a gravitáció és a légellenállás által meghatározott pályától (piros).



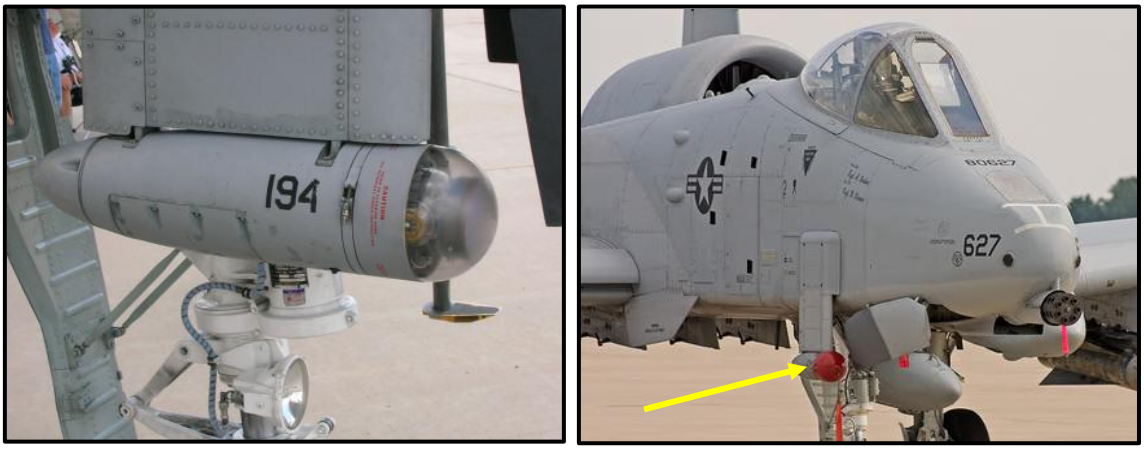
Balra fent az ős GBU-12 változat és az Enhanced Paveway 2 (EP2) manőverező képessége. Az EP2 esetében nem szükséges már a célpont felé sem repülni bombaoldáskor, a bomba 6 km (20 ezer láb) oldási magasság esetén akár 10 km-es oldaltávolsággal levő célra is képes ráfordulni.



További Paveway változatok támadási zónája összehasonlítva a korai variánsokéval.

Lézeres SACLOS vezérlésű rakéták esetén látható a programozott rakéta röppálya, nem csak a célpont és az indító gép közötti összekötő egyenesen képesek repülni.[725] A linkelt videón látható, hogy az indító repülőgép minden esetben a célpont felé repül a rakétával együtt, 2:17-nél és 2:26-nál a második rakéta emelkedik, miközben az első egyenesen repül és végül mindkettő célba talál.

Lézervezérlésű bomba alkalmazás olyan repülőgép fedélzetéről is lehetséges, amelyik nem rendelkezik lézeres célmegjelölő képességgel. de akkor egy olyan egyszerűbb berendezés szükséges, amivel képes megtalálni a megvilágított célpontot, hogy a bombát annak manőverezési korlátain belül oldja ki. Ilyen eszköz például az A-10A Thunderbolt II és az A-7 Corsair II egyes változatán használt AN/AAS-35 Pave Penny. (Laser spot tracker.)



Pave Penny az A-10A típuson.

Elképzelhető olyan bombaoldási, illetve célzási módszer is, amikor rádió szóban közlik a géppel, hogy a célpont „nagyjából” merre van – a fent említett megvilágítási korlátot és a bombán levő lézer detektor látószögét figyelembe véve –majd a bombát a megfelelő helyre lehessen dobni, ez történt a 1982-ben a Falklandért vívott konfliktus során, de ez nagyon nem a kívánatos alkalmazási módszer.

1982-ben a Harrier gépek számára nem állt rendelkezésre lézeres célmegjelölő berendezés (laser spot tracker sem), csak a földi csapatokkal együttműködve tudták megoldani a célpont megvilágítását. Egy argentin tüzérségi állást semmisítettek meg lézervezérlésű bombával, amely a Harriet hegy mögül ágyúzta az angol csapatokat.

[725] https://www.youtube.com/watch?v=0xpDanFaWhs

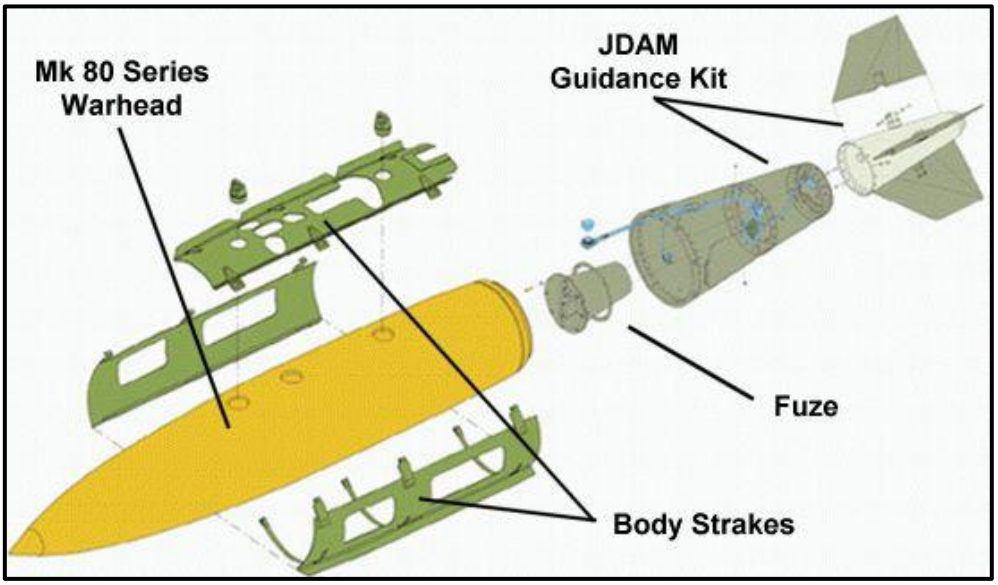
A hegy tetejére észrevétlenül feljutott egy angol kommandós csoport, akik magukkal vittek egy hordozható lézeres célmegjelölőt. A bombát hordozó Harrier a tenger felől közeledett kb. 1000 km/h sebességgel, majd a pilóta emelkedés közben, hajítva oldotta ki a lézervezérlésű bombát. A bomba emelkedő pályán átrepült a hegy felett, de nem érte el a célpontot, mert túl korán kapcsolták be a célmegjelölőt. A második próbálkozás már sikerült, és a tüzérségi állás telitalálatot kapott. (szerkesztett idézet Kővári László írásából.)

7.2.6. GPS/műholdas vezérlés[726]

A ’90-es évek legvégén debütált vezérlési forma, addig csak pusztán navigációs célokra használták a GPS Kezdetben csak statikus célokat lehetett támadni velük, és felszállás után nem lehetett a bombák vezérlő rendszerébe táplált célpontot megváltoztatni. Első lépésben később lehetővé tették, hogy a pilóta vagy a fegyverzetkezelő tiszt a célpontok koordinátáit manuálisan táplálja be a rendszerbe változás esetén, de igen lassú, és körülményes volt, igen hamar túlhaladottá vált. Ma a fedélzeti radar és GPS rendszer össze van kapcsolva, így a radar által felderített célpont(ok) koordinátáit átszámítja a fedélzeti rendszer, így módosítható a célpont.

A GPS módszer előnye a lézervezérléssel szemben, hogy tetszőleges számú célpontot támadhatnak vele, amennyiben a repülőgép rendszerei képesek az össze bombának megadni a célkoordinátákat, azok aztán saját magukat vezeték célra, nem igényli az álló célpontok folyamatos megvilágítását vagy azok relatív helyzetének mérését az indító repülőgéphez képest.

Már a legelső JDAM bombákkal is lehetséges volt statikus célokat elképesztő pontossággal és bombamennyiséggel támadni. A linken látható videón egyetlen B-2 bombázó 80 db pontcélt támadt párhuzamosan 80 db bombával egy teszt során.[727] Lézervezérlés esetén ehhez 80 db lézeres célmegjelölő berendezés lenne szükséges, amik megvilágítják a célpontokat, ordító a különbség a kétfajta vezérlés képességei között.



JDAM műholdas navigációs, GPS vezérlést használó vezérlő készlet (kit) elemei, Mk-80 bomba család testtel párosítva, ahogy az már a lézervezérlésű bombáknál is megszokott volt korábban.

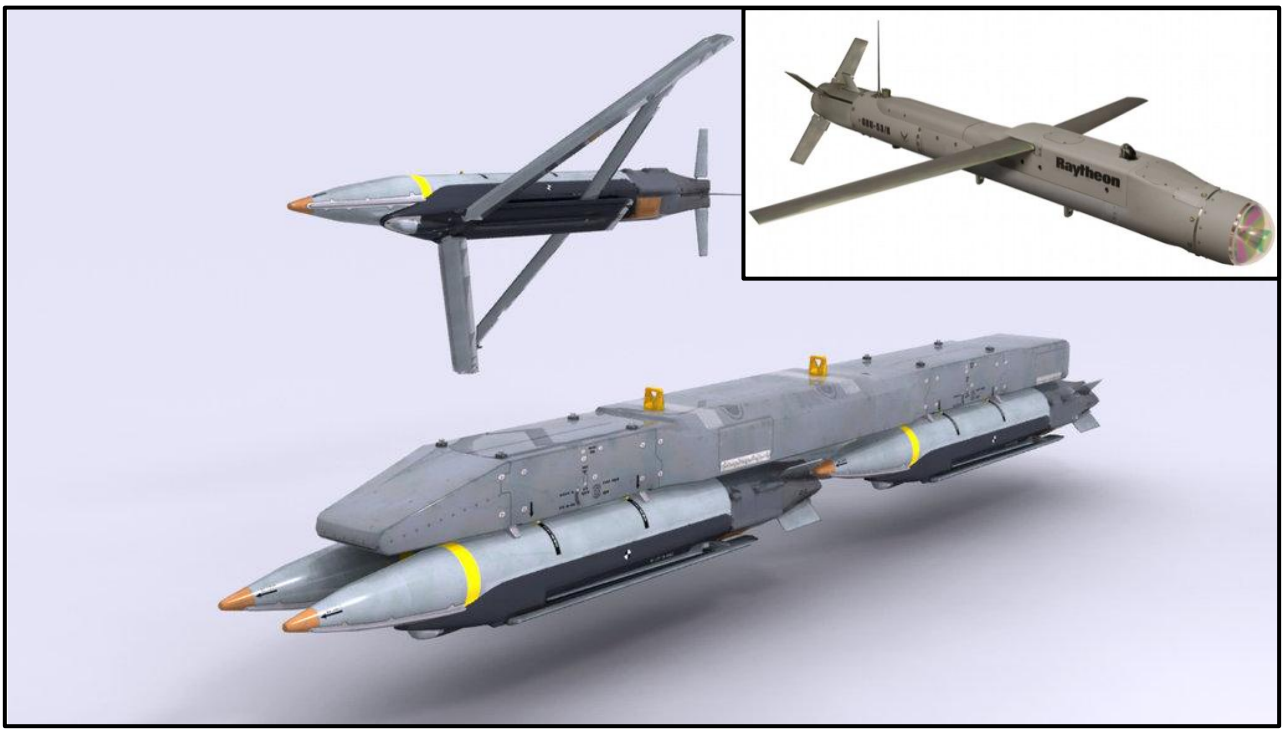
[726] *A köznyelvben az első navigációs rendszer, a GPS (Global Positioning System) annyira elterjedt, hogy minden műholdas vezérlési rendszerrel lényegében ezt a terminológát használják pongyolán, holott ez az amerikai tervezésű és üzemeltetésű rendszer neve, nem a módszeré. A pontos megnevezés a műholdas navigáció (angol terminológiában Global Navigation Satellite System, GNSS).*

[727] https://youtu.be/qiJn1Xepp90

Ma már gyorsan mozgó célpontok is eltalálhatóak a legújabb generációs GPS vezérlésű fegyverekkel, a repülőgépek SAR radar üzemmódjával megoldható a kisméretű és gyorsan mozgó célpontok követése, a bombák folyamatosan frissített célkoordinátákkal ellátása. A párhuzamosan támadható célok számát inkább már csak a SAR radarfelbontása és a felderített területen található célpontok száma korlátozza le.

(Adott esetben lézeres célmegjelölő konténerrel is követhetőek a célpontok és annak irány és távolságméréséből számolhatóak a célkoordináták, de akkor csak egy mozgó célpont támadható műholdas vezérlésű bombával, ami valójában félig lézeresség vált a lézeres távolságmérés miatt.)

A GPS módszer egyik legnagyobb előnye tehát az, hogy a bombák száma a célcsatornák számával megegyezik ideális esetben, másfelől időjárás független a vezérlés pontossága és alkalmazhatósága. A képalkotós infravörös vagy a lézervezérléssel szemben nem korlátozza sem köd, sem pára, sem füst, pusztán a GPS rendszer műholdjaival történő rádiókommunikáció szükséges, ami bár zavarható, de nem egykönnyen.



GBU-39 SDB-I bomba, indítás után kinyíló szárnyakkal, illetve négyzáras tartón. Jobbra fent a GBU-53 SDB-II, felismerhető az eltérő orrésztől, ahova a milliméteres hullámhosszú radar és az képalkotó infravörös érzékelő kerültek beépítésre.

Ilyen vezérlés használ JDAM bombacsalád, az AGM-154 JSOW siklóbomba, a sokkal kisebb méretű SDB I és SDB II (GBU-39, GBU-53) siklóbombák, illetve az AGM-158 JASSM, de az utóbbi kettőről kijelenthető, hogy szintén nem csak a GPS-re támaszkodnak, hanem a ma trendeknek megfelelően kombinált vezérlésűek. Az SDB-I GPS + tehetetlenségi navigációs, az SDB-II a maga nemében páratlan, GPS + aktív radaros + képalkotós infravörös érzékelővel is rendelkezik, természetesen a kötelező tehetetlenségi navigáció mellett. A JASSM GPS + tehetetlenségi navigáció és végfázis képalkotó infravörös (valószínűleg alakfelismerő, mert indítás után történhet meg a célbefogás) érzékelővel rendelkezik.

A mai korszerű GPS vezérlésű bombák már jellemzően siklóbombák, ezzel a hagyományos gravitációs bombákhoz képes sokkal nagyobb indítási távolság érhető el, nagy magasságból akár 50-100 km közötti kinematikai hatótávolság elérésre is képesek.

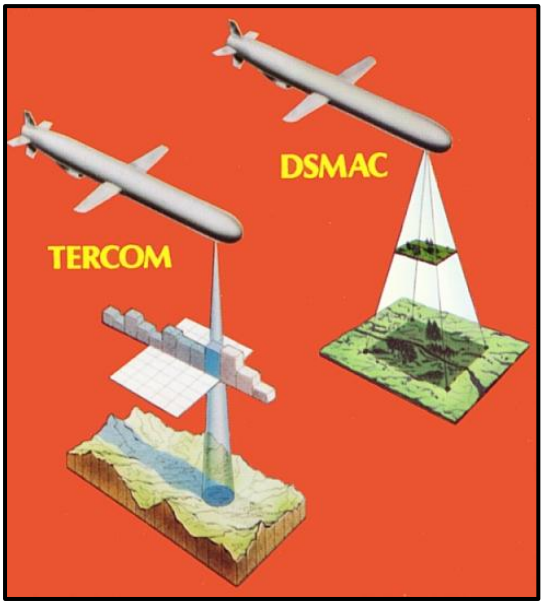
F-15E Strike Eagle 20 db SDB-I bombával, egészen elképesztő mértékű tűzerő. Ez csak tesztelésre szolgáló konfiguráció, harcászatilag 8-16 db hordozásánál nincs több értelme, mert a törzs alatt jellemzően póttartályt hordoz az F-15E. Megjegyzendő, hogy a sokkal kisebb méretű F-16 is képes 2x4 db SDB hordozására. A párhuzamos célleküzdési képességgel a hidegháború alatti képességekkel összevetve brutális tűzerő koncentráció érhető el ezekkel a gépekkel. Sikeres SAR radaros célfelderítés esetén néhány csapásmérő repülőgép komplett zászlóaljak megsemmisítésére is képes elvi szinten még akkor is, ha azok már szétbontakoztak.

Ha csak GPS/műholdas vezérlésű fegyverek árait nézzük, akkor a felmerül, hogy miért létezik még ma is a lézervezérlés ezek ár/érték arányát nézve. A GPS/műholdas vezérléshez szükséges a ma már több, mint két tucat műholdból és számtalan követő állomásból álló hálózat fenntartása. Ennek éves költsége több milliárd dollár.

7.2.7. TERCOM és DSMAC

ATERCOM a vezérlés a 70-es években jelent meg, a nagy hatótávolságú robotrepülőgépek számára megalkotott vezérlés, kombinálva a tehetetlenségi navigációval. Az akkor kifejlesztett BGM-109 és AGM-86 ALCM számára szükség volt egy navigációs rendszerre, amivel több ezer km-es távolság is megtehető volt és legalább a nukleáris harci részhez kellő pontosság volt elérhető. A GPS rendszer megszületése előtt pusztán a tehetetlenségi navigációval nem volt megvalósítható a kellőt pontosság, a csillagászati navigáció a kismagasságon repülő robotrepülőgépek esetén nem lehetséges, mert a csillagokra való rálátás az időjárás

és a napszakok miatt teljesen esetleges, erre adott megoldást a TERCOM (Terrain Contour Matching, domborzat kontúr egyezéses) módszer.



A TERCOM navigáció lényege, hogy a robotrepülőgépbe épített radar segítségével a domborzat kontúrjának magassági adataival ellenőrzi a robotrepülőgép a tehetetlenségi navigáció általi sodródást a környező területek magassági adatainak összehasonlításával az aktuális helyzetével.

A TERCOM vezérléshez tehát ismerni kell a robotrepülőgép tervezett útvonalán a domborzat tulajdonságait kellő sűrűséggel, azzal digitális térkép elkészítése szükséges, ami ellenséges vagy potenciális ellenséges terület esetén csak korlátozottan lehetséges.

A papíralapú katonai térképek titkosak voltak (a civil térképeken szándékos hibák is találhatóak voltak a Keleti Blokk országaiban), ezért az egyetlen lehetséges módszer a műholdas radarmérésekre való támaszkodás volt.

Azt sem szabad elfeledni, hogy a ’70-es években a számítógépek memória kapacitása mennyire korlátos volt, ezért arról szó sem lehetett, hogy a robotrepülőgépekbe a Szovjetunió vagy más hasonlóan nagy terület teljes digitális térképét beletöltsék, a robotrepülőgépek tervezett útvonalán a legjellemzőbb tereppontok közelében különböző méretű szeleteket lehetett a memóriába töltetni és a vezérlés ezen pontoknál korrigálhatta a tehetetlenségi navigáció időbeli sodródását.

A navigáció megdöbbentően pontos, a Sivatagi Vihar alatt 10 méteren belül pontossági is sikerült elérni több esetben a TERCOM navigációban. A módszer hátránya, hogy teljesen jellegtelen sík területen a műholdas radarmérések hibája akkora lehet, hogy egyszerűen nincs jellemző minta, amihez képest lehetne megfelelő összehasonlítást csinálni. A TERCOM és tehetetlenségi navigáció kombinálásának előnye, hogy zavarhatatlan és teljesen önvezérlő sőt, még az időjárástól sem függ, de a fentiek szerint a terepviszonyok gátolhatják használhatóságát. Vízfelület felett repülve pl. semmiféle viszonyítási pont nincs...

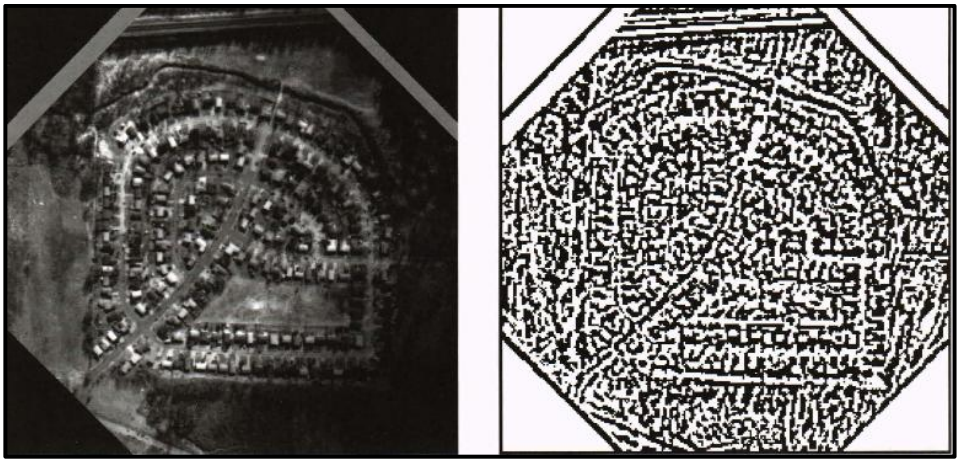
A DSMAC[728] (Digitized Scene-Mapping Area Correlator, digitalizált terepjellemző korrelációs módszer) a TERCOM-hoz hasonló, ám annak fejlettebb formája. A DSMAC szintén a terep jól azonosítható részleteit használja fel (például egy város részletét), és műhold / légi felvételek alapján ezek segítségével generálnak egy matematikailag leírt mintát, majd azt veti össze egy számítógép a DSMAC kamerája (vagy képalkotásra képes radar) által látottakkal.

A DSMAC sokkal precízebb helyzet meghatározást tesz lehetővé a TERCOM navigációhoz képest, ám kevésbé toleráns a környezeti változásokkal szemben. Például, ha egy városrészletben egy házat lerombolnak vagy átépítenek azt még képes lekezelni, de ha egy egész utcát vagy városrészt letarolnak, akkor az már annyira megmásíthatja a képet, hogy a DSMAC vezérlés nem tudja azonosítani.

Elvileg a kétféle vezérlés kombinációja is elképzelhető. A TERCOM a lakatlan területek feletti navigációhoz megfelel, ahol vannak jellemző tereppontok (hegycsúcsok, folyókanyarulatok, tavak, stb.),

[728] http://techdigest.jhuapl.edu/views/pdfs/V15_N3_1994/V15_N3_1994_Irani.pdf

addig a legfrissebb digitális térkép segítségével (műholdak korában ezt ma már nem nehéz elkészíteni a nagyhatalmaknak) gyakorlatilag adott épület is megcélozható akár több ezer km távolságból. (Bár ez végfázisban aktív radar vagy képalkotó infravörös vezérléssel is megoldható.)



Felülnézeti kép látható fény tartományában és az abból képzett digitálist térkép.

Az AGM-86 ALCM, BGM-109 Tomahawk és a H-55 (AS-15 Kent) szerű szubszonikus csapásmérő eszközökre használt angol terminológia a cruise missile, aminek tükörfordítása miatt a „cirkálórakéta" terjedt el, ami több szempontból is igen pontatlan, mert ezek nem rakétahajtóművel, hanem a repülőgépeken is használt gázturbinás sugárhajtóművel repülnek. A „cirkálórakéta" kifejezés mellett gyakran felbukkan még a „manőverező robotrepülőgép", illetve a „szárnyas rakéta." Ezekkel a megnevezésekkel is több baj van, mint amennyire hasznosak.

Először is a szárnyas rakéta elég mulatságos, mert nagyjából az világűrbe indított, interkontinentális ballisztikus rakétákat vagy ABM rendszerek rakétáit leszámítva nincs olyan rakéta, aminek ne lennének szárnyai vagy vezérsíkja, mert máskülönben légkörben irányt változtatni körülményes. (Az űrrakéták hajtómű fúvókái kormányozhatóak, tehát azok tolerő-vektorált hajtóművek, ahogy az ABM elfogó rakétákon fix beépített fúvókákat is használnak.) Nincs értelme a „szárnyas" szónak, mert minden irányított fegyver rendelkezik olyannal, még a nemirányított rakéták is.

A manőverező robotrepülőgép terminológia hiányossága, hogy a repülőgép szó összemossa ezeket a drónokkal, holott ezek a fegyverek egyszer használatos eszközök és nem saját erőből szállnak fel és le. (Most lépjünk át azon, hogy a kísérleti repülőgépek egy része sem saját erőből szállt fel, mint az X-1 vagy X-15, hanem hordozó gépről oldották le azokat, de ezek legalább nem egyszer használatosak voltak.) Minden repülőgép manőverezik, hiszen erről szól a repülés.

A legpontosabb megnevezése ezeknek a fegyvereknek talán a manőverező szárnyasbomba lenne. A siklóbombákhoz képest lényegében a hosszú távú repülés miatt a vezérlésük tért el, illetev a gázturbinás hajtóműveknek köszönhetően nem csak siklásra, hanem vízszintes vagy akár emelkedő repülésre is alkalmasak voltak. (Aerodinamikai szempontból tehát siklóbombáhkoz állnak a legközelebb, csak van hajtóművük.) A hasonló, de sokkal primitívebb német V-1-es fegyvert az angol „flying bomb-nak" (repülő bombának) hívja, aminek bár nem gázturbina, de hanem pulzáló sugárhajtóműve volt. Az három fent felsorolt eszköz a V-1 korszerűbb leszármazottjának tekinthető, de ezek nem csak egy beállított irányba képesek repülni, a pontosabb navigációnak hála valóban manőverezek.

Ennek ellenére az összefoglaló a „manőverező robotrepülőgép" vagy „cirkálórakéta kifejezéseket " használja, annak ellenére, hogy ezektől a kifejezések egyikével sem vagyok finoman kibékülve, de pontosan annyira elterjedtek, mint az „repülőgép-anyahajó", a „repülőgép-hordozóval" szemben.

8. A navigáció története, módszerei, repülőgép-fedélzeti rendszerek

Ez a fejezetet teljes egészében Cifka „Cifu” Miklós készítette, köszönet érte. (Csak apró, főleg stilisztikai változtatások vagy kiegészítések történtek a kész szövegen részemről.)

Szó esett eddig már különféle fegyverrendszerekről, fegyverekről, de arról nem, hogy a repülőgépek hogyan repülnek el A-ból B-be, vagyis a navigációról. Ez igen fontos tényező sokáig ez korlátozta a gépek hatékonyságát számtalan helyzetben nem csak este, hanem sokszor még nappal is. Mind nappal, mind éjszaka ráadásul számolni kell azzal, hogy az ellenség semmilyen módon nem fogja megkönnyíteni a navigációt. A lent felsorolt civilek számára rendelkezésre álló navigációs módszerek egy része háborúban nem áll rendelkezésre, de a navigációs módszerek fejlődéstörténetében fontos állomások.

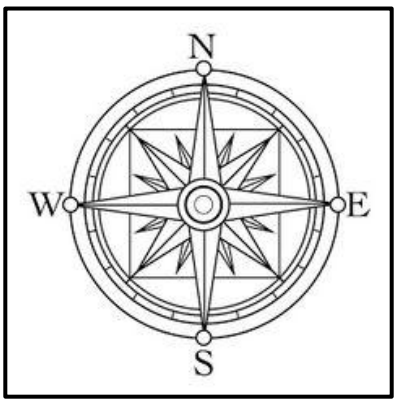
8.1. A navigáció alapjai

A latin *Navigatio* szó a hajózást jelenti, és ez a szó használatos hosszú idő óta a tájékozódás, vagyis az aktuális helyzetünk megállapításának módszereire. A szó eredete jól mutatja, hogy hol is jelentett problémát a tájékozódás már hajdanában is, hiszen amíg a szárazföldön (vagy a partok mentén hajózva) a különféle tereppontok jó tájékozódási alapot nyújtanak, addig a nyílt tengeren ezek nélkül kell boldogulni. A navigáció helyzetpont és/vagy térbeli helyzet meghatározása.

Amennyiben a helyzetünket szeretnénk meghatározni, akkor alapvetően rögtön több tényezős problémába ütközünk, ugyanis ismernünk kell a környezetünket, ami leegyszerűsítve a térképet jelenti. Ezen kívül szükségünk lesz egy (vagy több) tájékozódási pontra, vagyis valamire, aminek a helyzetét jól ismerjük – ennek a hozzánk viszonyított irányát és távolságát is meg kell határoznunk, és ez alapján tudjuk megmondani az adott helyzetünket.

Egyszerűen hangzik? Igen, egészen addig, amíg bele nem gondolunk mi mindent kell ismernünk és szabványosítanunk hogy ezeket általánosan tudjuk használni. Az első rögtön a tájékozódási pontok, ami általánosan egy jól látható pont, legyen az természetes (pl. egy hegy) vagy ember alkotta (pl. világító torony). Ha ez megvan, kell egy meghatározás, hogy tőlünk merre is helyezkedik el – ez hosszú idő alatt kialakulva az észak-dél és kelet-nyugat meghatározásában teljesedett ki, de persze ez még nagyon durva megközelítés, még ha ez alapján tovább is osztjuk őket (például észak és kelet között elhelyezkedő észak-kelet, vagy tovább osztva mondjuk észak-észak-kelet (az észak-kelet és észak között félúton) meghatározásokkal.

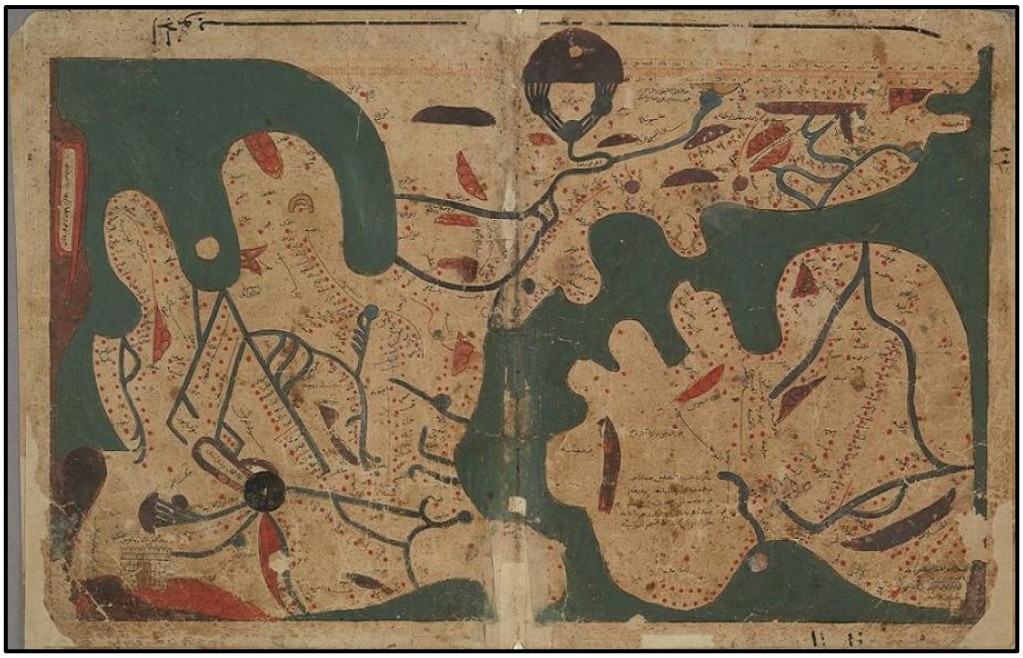
A jó öreg navigációs csillag, négy fő égtájjal, belül az ezeket felosztott égtájakkal. A hajózásban, ahol először használták szélrózsa volt a neve.



Most jön a következő probléma, a tájékozódási ponttól mért távolság meghatározása, amihez természetesen lehetőleg egységes hossz-mértékegység is szükséges (láb és lépés rövid úton elterjedt, de hát a biológiai eltérőségből fakadóan ezek nem éppen szabványosak). Ha pedig még azt is meg akarjuk határozni, hogy mekkora távolságot teszünk meg adott idő alatt, akkor még időegységre is szükségünk lesz. Mivel nem szeretnénk túlságosan elnyújtani, ezért inkább csak szemezgetünk abból, hogyan fejlődött a helyzet-meghatározás a történelmi időktől kezdve a mai napig.

A legalapvetőbb tájékozódási pont természetesen adott – a Nap, amely keleten kel fel, és nyugaton bukik a horizont alá. Ebből már hozzávetőlegesen meg lehet állapítani, hogy merre is haladunk, illetve

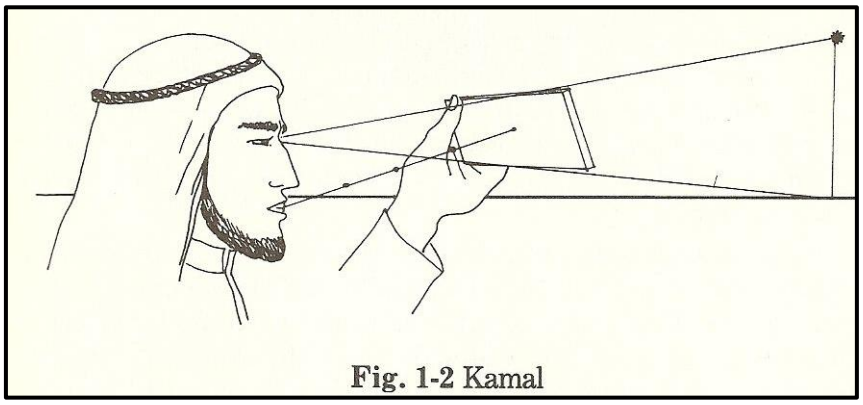
éjszaka a Hold és a szabad szemmel követhető csillagok (északi féltekén főleg a Sarkcsillag), csillagképek alapján lehet az irányt tartani. Erre az egyik első írott emlékünk Homérosz Odüsszeiája, amelyben Kalüpszó úgy irányítja Odüsszeuszt, hogy tartsa a Nagy Medve csillagképet bal oldalán, míg a Fiastyúkot (Plejádokot) követi, hogy keletnek hajózzon.



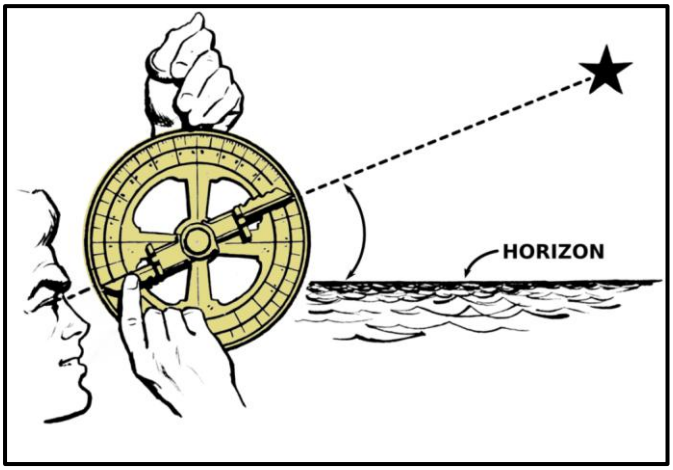
Arab térkép az akkor általuk ismert világról, időszámításunk kezdete után hozzávetőleg 90 évvel.

A szárazföldön a helyzet maghatározásához a térkép a legősibb segítség, már a korai ókorban feltűntek agyagtáblába vésett várostérképek, területi térképek. Ezek segítségével a főbb, szabad szemmel is azonosítható tájékozódási pontokat azonosítva könnyebben lehetett megtalálni, hogy hol vagyunk, illetve a célunk eléréséhez merre kell elindulni. A térképek fontossága aligha volt vitatható: a hadurak stratégiai döntéseitől a kereskedelmi útvonalak meghatározásán át mindenhol jó hasznát vették. Komoly probléma volt persze, hogy a térképek pontossága viszonylagos volt olyan apróságok miatt, mint a távolságmérés problémái és a távolságok ezáltal pontatlan feltüntetése miatt. Ezt úgy kell értelmezni, hogy még az újkorban is általánosan használták az olyan kifejezéseket, mint a „egy napi járóföld”, ami aligha igényel további magyarázatot...

Az égitestek figyelésére épülő navigáció következő lépcsőfoka az volt, hogy elkezdték figyelni, mennyire vannak magasan az adott égitestek a horizont felett. Ha ezt megállapították és jegyzékbe vették, később ezek segítségével hozzávetőleges pozíciót lehet meghatározni, a hosszúsági fokot, vagyis hogy mennyire is járnak északra vagy délre.



Erre az arabok egy falapot használtak, amelynek a közepébe egy zsinór volt, melyre adott távolságokra csomókat helyeztek, ez volt a *Kamal*. A zsinórt az adott csomónál a szájba véve tudták a lap távolságát (ezáltal pedig nagyon durván, de az égitest magasságát) meghatározni. Ez az eljárás az évszázadok folyamán sokat finomodott, valamikor a XII.-XIII. század körül pedig egy új segédeszközt szült, az *asztrolábiumot*. Egy réz gyűrű, amelynek közepén egy tengely van, ezen pedig egy rúd, amelynek két oldalára egy-egy furattal ellátott lapot helyeztek el. A rudat először vízszintesbe állították, és a gyűrűn lévő skálán a 0-hoz állították, majd pedig a rudat addig kezdték el forgatni, amíg az égitestet meg nem látta a két furaton át a navigátor. Ekkor a gyűrűn lévő beosztáson megnézhették, milyen magasan is jár az égitest. A nehézkes asztrolábiumot a sokkal egyszerűbb Jákob pálca kezdte el kiváltani a XV. század körül, amelynél egy lécen keresztbe elhelyezett, elcsúsztatható másik lécből állt. A pálcát a szem elé helyezve addig csúsztatták el a keresztlécet, amíg a horizont volt az alsó, és az égitest a felső részén, a szemtől való távolság alapján már lehetett is kiszámolni, hány fokot is zár be a kettő.

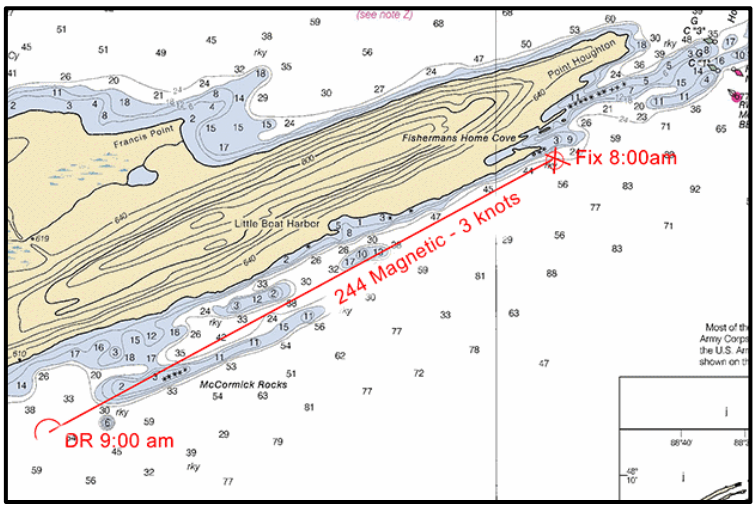


Az asztrolábium használata

A csillagászati navigáció meglehetősen soká kapott csak segítséget, mégpedig az iránytű képében, amely már rossz idő esetén is lehetővé tette az irány meghatározását a Föld mágneses mezejét felhasználva. Az első navigációs célú iránytűkre az XI. századból származnak írásos emlékek Kínából, illetve a XIII. századból az közel-keletről és Európából.

Viszont a helyzetünket ebből még mindig nem tudjuk megállapítani. Ehhez bizony térkép kell, és a haladási irányunk, illetve a sebességünk alapján meg lehet határozni, hogy merre is haladunk. A sebesség meghatározásához viszont rögtön két dolog is mérni kell, egyfelől a megtett táv, másfelől a közben eltelt idő. A táv meghatározására a hajósok azt találták ki, hogy egy kötélre kötött fa korongot dobtak a vízbe, és számolták, hogy adott idő alatt mennyi kötél fut le. Az idő mérésére homokórát használtak, a táv pontosabb meghatározására pedig a kötélre adott távolságonként csomót kötöttek. A különféle országokban különféle meghatározások születtek a távolságokra, ám végül 1929-ben létre hozták az egységes nemzetközi tengeri mérföldet (nautical mile, nm), ami 1 852 métert takar, és a hozzá kötött hajózási sebességmértéket, a csomót (knot, kn), ami másképpen tengeri mérföld/óra.

A felfedezések korában a tengerészeti térképek értéke hatalmas volt, és jól jövedelmezett megbízható térképeket gyártani, ami ugyanakkor időigényes és sziszifuszi munka volt. A térképeket használó alapvető navigáció az általánosan ismert **közvetlen számításos** (Dead Reckoning) módszer, ahol a térképen a haladási irányba húzunk egy egyenes vonalat, és a sebességünk ismeretében bejelöljük rajta, hogy adott időegység elteltével hol lesz a pozíciónk. Ez a módszer a mai napig általánosan használt, noha tengeri vagy légi közlekedésben nem eléggé megbízható, hiszen nem veszi figyelembe a tengeráramlatokat és a szeleket, illetve ezeknek a valódi haladási irányunkra gyakorolt hatását. Magyarul lehet, hogy mi ismerjük azt, merre néz a hajó orra, és tudjuk hozzávetőleg mekkora távolságot teszünk meg adott idő alatt, de mégis lehet, hogy például oldalirányú szél miatt egy napos hajóút után akár száz kilométerrel is odébb vagyunk, mint ahogy mi azt a térképen felrajzoltuk.

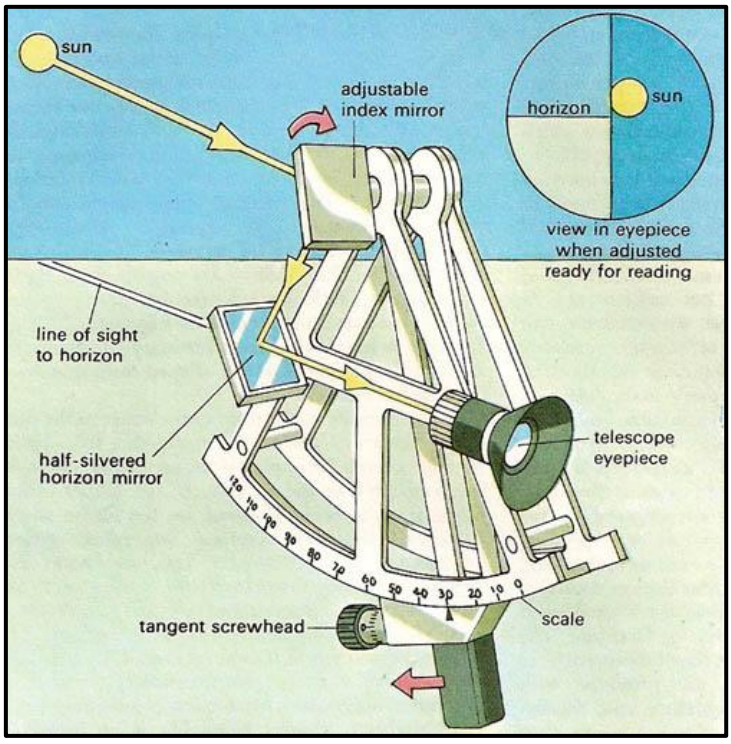


Dead Reckoning térképen berajzolva, a jobb oldali X az indulási helyzetünk, a vonal alatt olvasható,hogy a (mágneses kompasz alapján) 244°-nak tartunk majd, 3 csomós sebességgel, a bal oldalt alul látható DR jelöli a várható helyzetünket egy óra múlva

A következő nagy lépés a navigációban a szextáns megalkotása volt a XVIII. század közepén, amellyel az égbolt kiválasztott elemének (ez lehet a Nap, a Hold, bolygó vagy csillag) a horizonttól bezárt szögét lehetett pontosan meghatározni. Ez így önmagában még kevés, de miután a csillagászat segítségével nekiálltak felmérni hol és miként lehet hasznosítani a szextánst, meglehetősen pontosan megadhatja a helyzetünket, óriási előrelépést jelentve a Jákob-pálcához képest.

Most egy picit rohanjunk előre, és idézzük fel, hogy is osztották fel a Földet szélességi és hosszúsági fokokra. A szélességi kör az egyenlítőnél kezdődik, északra az északi sarkig 90 egyenlő fokra van osztva, déli irányba pedig a déli sarkig ugyanígy 90 fokra, de negatív előjellel.

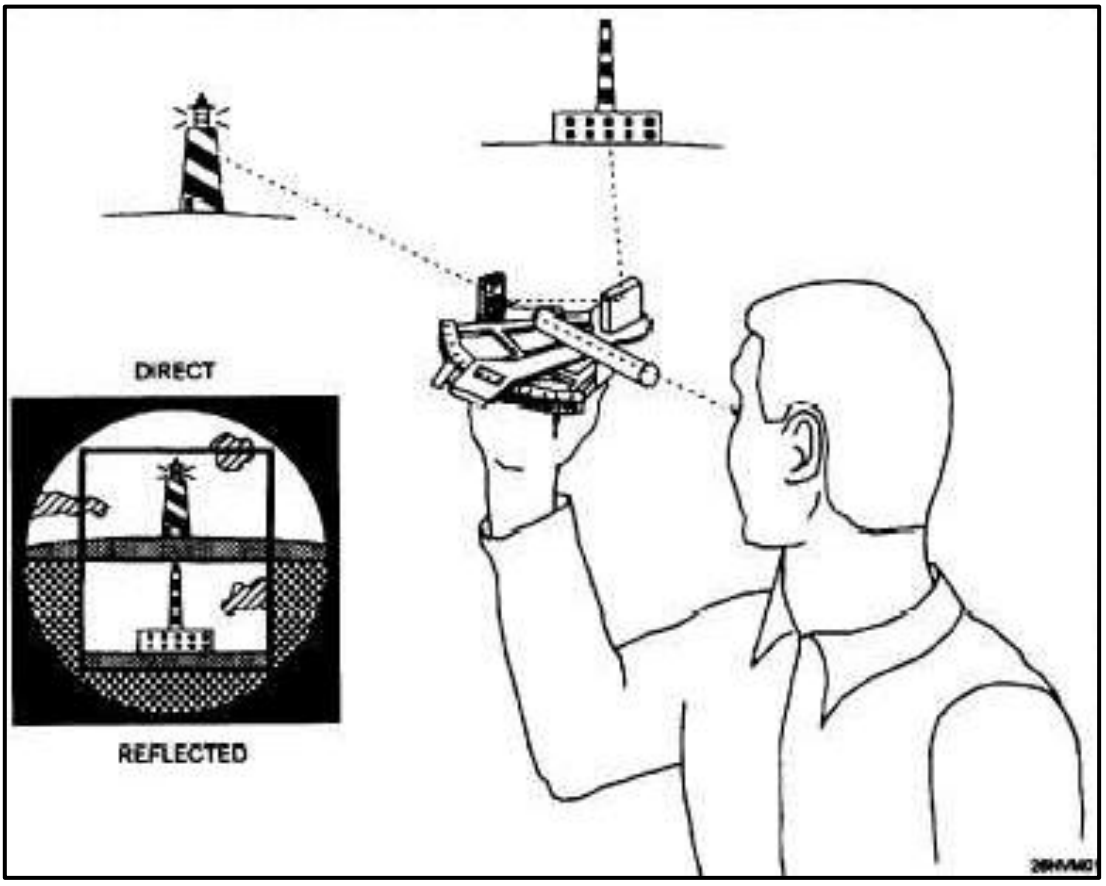
A földrajzi szélesség egy kicsit trükkösebb, ugyebár Greenwich városa lett nulladik szélességi foknak nevezve, a teljes Földet 360 fokra osztották, mind keletre, mind nyugatra 180-180 fokra.



A szextáns működési elve, függőlegesen tartva a horizont és a kiválasztott égitest közötti szöget tudjuk meghatározni vele

Tegyük fel, hogy december 21.-én a nap legmagasabb pontját akarjuk megnézni, ez az adott esetben még szextáns se kell: pontosan a fejünk felett lesz. Ebben a naptári dátumban a baktérítőn, vagyis a (déli) -23.26° fokon vagyunk. Most állapítsuk meg, hogy melyik szélességi fokon – ehhez nem kell más, mint hogy megnézzünk egy kellően precíz órát, amely a Greenwich-i időzónához van beállítva. Mivel a Nap óránként 15°-ot halad kelet-nyugati irányban (ugyebár 360 fok osztva 24 órával), így ebből kiszámolható, hogy ha az óra szerint reggel 8 óra van, akkor 4x 15°, vagyis 60° fokra vagyunk, keletre (ugyebár az óránk mutat). Természetesen ez egy nagyon leegyszerűsített és a lehető legkönnyebben érthető példa, de ebből már jól látható, hogy is lehetséges a helyzetünket megállapítani a csillagászat segítségével.

A szextáns segítségével nem csak délben és nem csak nappal lehet a helyzetünket meghatározni, hanem ha van egy kellően pontos csillagászati atlaszunk, illetve pontosabban előre meghatározott égitestek helyzetét táblázatokba foglaló (tengerészeti) évkönyvünk (Nautical Almanac), akkor azok alapján meghatározhatjuk a pozíciónkat némi számolgatás árán. A szextáns nagyon pontos eszköz lehet hozzáértők kezében, percbeosztású (egy fok 1/60-ad része egy perc, egy perc 1/60-ad része pedig egy másodperc) szextánssal már egy tengeri mérföld pontossággal meg lehet határozni a helyzetünket. Nyilván a szextáns megjelenése után még hosszú időnek kellett eltelnie, amíg sikerült a kellően pontos csillagászati atlaszt és a navigációs táblázatokat összeállítani, de a XIX. századra a tengeri navigáció meghatározó eleme lett, és a mai napig fontos a tengeri és légi helymeghatározásban.



A szextáns használta oldalszög meghatározásához

8.2. Navigáció a repülés hajnalán

A repülés kezdetén a navigáció nem volt túlbonyolítva, a földi tájékozódási pontok (templomtornyok, hegyek, vasúti sínpályák) használatával nagyszerűen el lehetett boldogulni, ha valaki az indulás előtt a térképet áttanulmányozta. A hosszabb utaknál az iránytű megmutatta merre van észak, és a térképet már magukkal is vihették, így menet közben is változtathatták már bátrabban az repülési irányt. A korai időkben a repüléseket megkönnyítendő még előfordultak kiépített földi útmutatók, amelyek például a legrövidebb utat mutatták, avagy a közeli repterekhez vezethették a gépeket.

JELZÉS AZ AVIATOROK SZÁMÁRA.

A talajon nagy fehér nyíl mutatja a La-Manche csatorna feletti legrövidebb utat jelző irányt. A nyíl elegendő nagy ahhoz, hogy felülről is jól lehessen látni. A talajon megállapított jelek fogják majd feltüntetni a leszállásra alkalmas helyeket, veszedelmeket, időjárást stb.

1913-ban kiadott „Küzdelem a levegő meghódításáért" könyvből származó ábra a földi iránymutatók alkalmazásáról (forrás: Scharekf.hu)

Gyakorlatilag az első világháború idején ezek voltak a lehetőségek, igaz, ott a hosszú lövészárok-rendszerek szintén jól azonosítható tájékozódási pontok voltak. Ezzel együtt éjszaka vagy rossz időben istenkísértés volt a felszállás, köszönhetően annak, hogy a szabad szemmel nem látható horizont nélkül nehéz volt a gép térbeli helyzetének megállapítása, ami miatt már egy kismértékű dőlés vagy bólintás is könnyedén végződhetett az anyaföld karjaiban idejekorán.

A hosszú távú repüléseknél tehát két megoldás volt, a legkézenfekvőbb, ha vizuális alapon korrigálták a számított helyzetüket, a könnyen azonosítható pontok alapján, mint hegyek, dombok, tavak. Ha éppen voltak. Ha ezek nem voltak adottak, mint például a tengerek felett, akkor viszont nem maradt más, mint a hajózásból átvenni a szextánst, és a nap illetve a csillagok helyzetére támaszkodni. Ezt a megoldást követték mind a merevszárnyú repülőgépeknél, mind a léghajóknál, ha például óceán-átrepüléseket tettek – így repülték át leszállás nélkül az Atlanti óceánt 1919-ben először egy átalakított Vickers Vimy bombázóval.

Azonban a navigáció még mindig csak a jó látási viszonyok közben volt garantált, úgyhogy valami olyan megoldást kellett találni, amely független az időjárási viszonyoktól. A rádió alkalmazása a navigációban hamar felmerült, a rádió-iránymérők megjelenése rögtön kettős céllal került képbe. Egyfelől az ellenséges rádióadások irányát figyelve meg lehetett állapítani az ellenség irányát (két vevővel és háromszögeléssel pedig ugyebár a távolságát is), másfelől pedig a navigációban is fel lehet használni, egyfajta világítótorony szerűen. Illetve hát először fordítva, a léghajó volt a világítótorony (leadta rádión az azonosító jelét, és folyamatos adásra kapcsolt), és a földi rádióállomások „ernyőszerű" irányított antennákkal (valójában 16-45, körkörösen elhelyezett különálló antennát) használtak arra, hogy megállapítsák, tőlük milyen irányban van a léghajó. Ezt utána továbbították a léghajónak, amely ha legalább két-három földi bázistól kapott adatokat, meg tudta a saját helyzetét határozni.

Egyes repülőgépeken a csillagászati navigáció használatban maradt hidegháború alatt, vagy mind a mai napig. Előnye ennek a navigációs formának, hogy zavarhatatlan. A korai gépek esetén problémát jelentett a repülési magasság miatt az időjárás zavaró hatása, azonban az interkontinentális bombázók vagy a magasan repülő SR-71 esetén ilyen probléma nincs, sőt, még nappal is láthatóak a csillagok.

Persze a mai rendszerek automatizáltak, nem a pilóta méregeti a csillagokat szextánssal. Az SR-71-en alkalmazott automatizált csillagászati navigációs eszköz a lenti linken látható,[729] az FB-111 gépek fedélzetén az AN/ASQ-119-et használták és a B-2 Spirit típuson is az SR-71-éhez hasonló berendezés üzemel. (Molnár Balázs kiegészítése.)

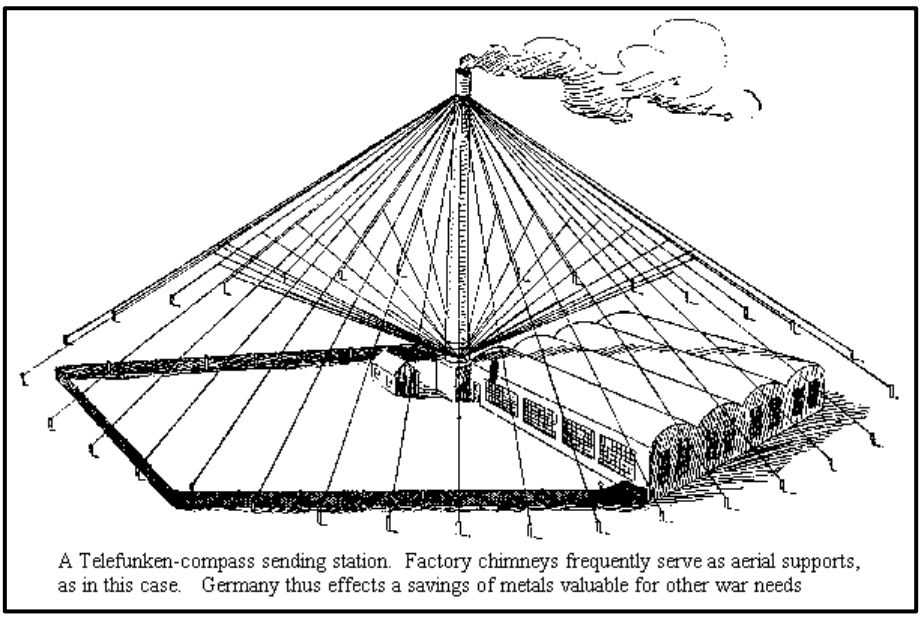
Az első világháborúban Németország erre alapozta a léghajóinak navigálását, amely ugyanakkor a rádióelektronikai hadviselés egy újabb lépcsője is lett: a Francia és Brit rádiófelderítők képesek voltak azonosítani a közeledő léghajókat, sőt néha (a rádiók egyedi sajátosságaiból illetve a rádiós egyedi ütemeivel adott Morze jeleit azonosítva) még azonosítani is tudták a léghajókat.

Ha a rádiót nem akarták használni, a légvédelem miatt egyre magasabbra kényszerült léghajók lehetőségei is csökkentek, a felhők felett repülve legalább a szextánssal való helyzet-meghatározás lehetősége megvolt. Éjszaka, jó időben a városok fényei megfelelő támpontot nyújtottak, egészen addig, amíg be nem vezették a kötelező elsötétítést. A helyzet olyan morbid megoldások hozott, mint például a megfigyelő kosár alkalmazása, amikor a 3-4km magasan repülő léghajó egy-másfél kilométerrel maga alá engedett egy kis kapszulát, benne egy megfigyelővel, aki telefonon jelenthette mit lát.

A Telefunken tovább tökéletesítette a rádiós helyzetmeghatározási eljárást, hogy az efféle megoldásokra ne legyen szükség. A következő lépcső az volt, hogy adóállomásokat létesítettek, amelyeknél körben 32 antennát feszítettek ki. Minden adás az összes antenna által sugárzott adó-azonosító jellel kezdődött, illetve egy 'startjellel', ami után az észak felé néző antennával kezdve egyenként sugárzott egymás után a 32 antenna, és a teljes kör fél percig tartott.

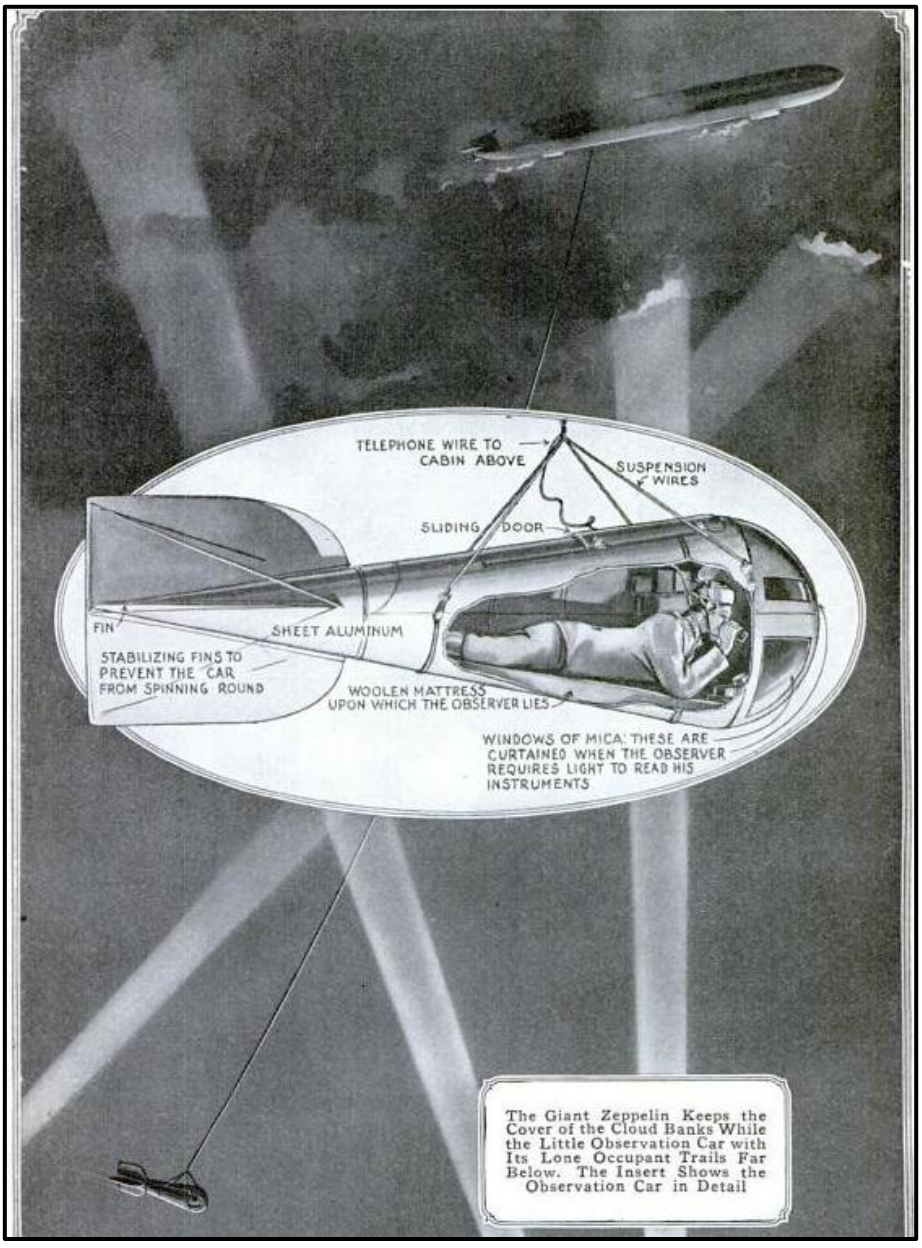
A léghajón vagy ekkor már nagyobb repülőgépen is a rádiós a 'startjelre' elindított egy fél perces óraszerkezetet, és amikor legerősebb volt a jel, megállította. Egy iránytű segítségével már tudhatta, hogy merre van észak, és hogy az adóhoz képest merre helyezkedik el. Az adók eltérő frekvencián működtek, így több adó jeléből már elég pontosan meg lehetett határozni a helyzetét a gépnek.

[729] https://timeandnavigation.si.edu/multimedia-asset/nortronics-nas-14v2-astroinertial-navigation-system



A Telefunken-compass sending station. Factory chimneys frequently serve as aerial supports, as in this case. Germany thus effects a savings of metals valuable for other war needs

Egy Telefunken-kompasz adótorony, ami egy gyárkéményt használ toronyként



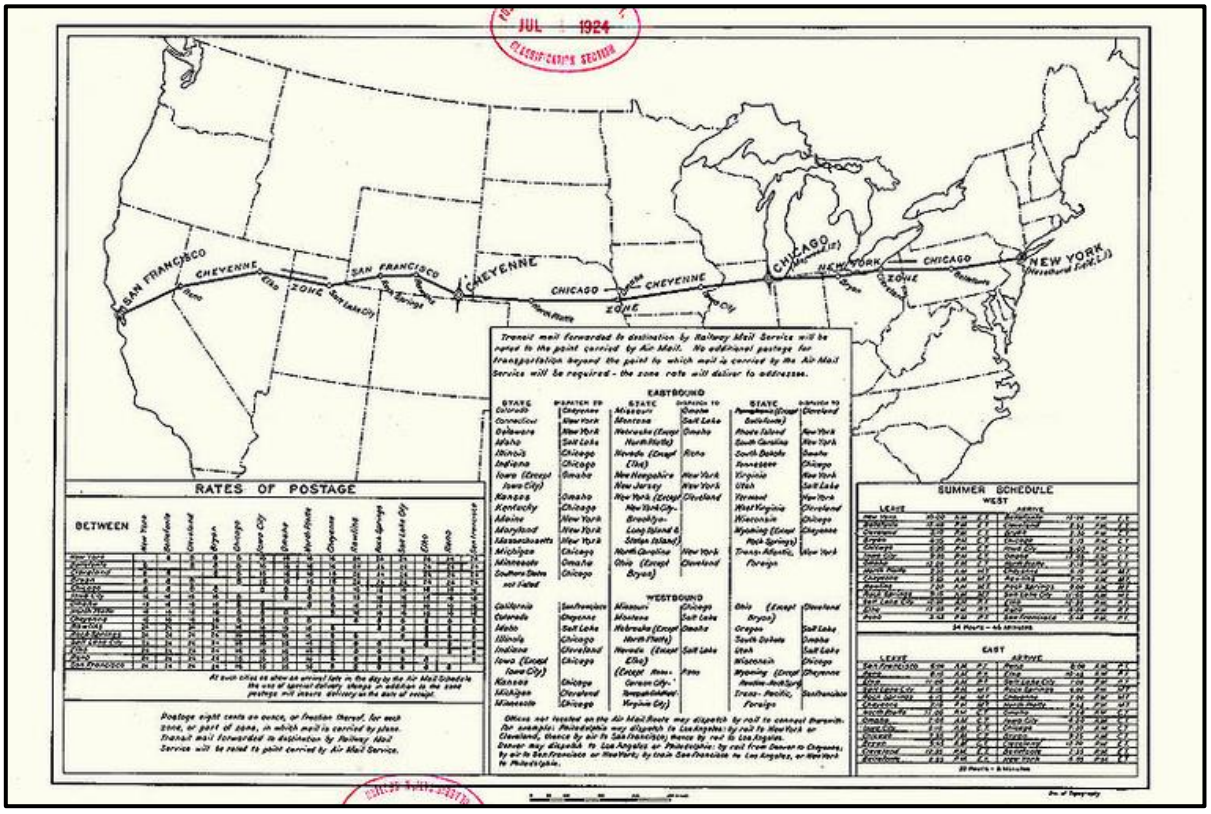
A Zeppelin léghajók megfigyelőkosarát bemutató ábra

8.3. Navigáció a két világháború között

Az első komolyabb segédműszerek az 1920-as években jelentek meg, és a működésük igen egyszerű volt, az egyik egy folyadékban lévő buborékkal a dőlésszöget mutatta meg, amelyből kettőt felszerelve már a dőlés és a bólintás irányban is nagyban megkönnyítette, hogy a pilóta a gépet vízszintben tartsa. A repülési magasság mérésére a légköri nyomás alapján dolgozó magasságmérők jelentettek segítséget, ám ezek megbízhatósága viszonylagos volt, és nem ártott figyelembe venni, hogy nem a földtől mért magasságot mutatta, így egy domb- vagy hegyoldal kellemetlen pillanatokat okozhatott.

A sebesség mérésére a légsebességmérők nyújtottak először lehetőséget, amelyek a gép menetszelének a sebességét mérték. Ám ezeket a szél sebessége becsaphatta, ha például valójában 200 km/h sebességgel halad a repülőgép (ezt hívhatjuk földsebességnek (ground speed)), de 30 km/h sebességű szembeszél fúj, a kijelzett (indikált) sebesség 240 km/h lesz. Ez akkor kínos, ha közvetlen számításos elven szeretnénk a helyeztünket megállapítani – márpedig a legáltalánosabban használt megoldás még mindig ez volt (és egyébként ma is sokszor használatos).

Mai szemmel nézve talán kicsit mókásanak hat, de a repülésben is a II. világháború előtt a vizuális navigációs pontok meglehetősen általánosan voltak használva, és fejlesztve. Az US Air Mail szabvány világítótornyokat (Airways Beacon, kb. Légi útvonal-jelzés) kezdett el telepíteni egész Észak-Amerikában, a főbb városokhoz, hogy éjszaka és kevésbé jó látási körülmények között is tájékozódási pontokat nyújtsanak a repülőgépeknek. A jelzőfény egy igen erős, percenként hatszor körbeforduló fehér fény, illetve piros (következő jelzőtorony) és/vagy zöld (leszállópálya) irányjelző fényekkel, amelyeket már csak közelebbről lehetett észlelni. Egyszerű, évszázados tengerészeti háttérrel bíró megoldás, ráadásul a repülőgépekre egy térképnél és az alapvető navigációs műszereknél (iránytű, esetleg sebességmérő és magasságmérő) több nem kellett, hogy ezek alapján tájékozódjanak, így nem meglepő, hogy az 1930-as évekre már 1 500 ilyen jelzőfény volt szétszórva csak Amerikában.



1924-es US Air Mail térkép a San Francisco-New York közötti útvonalról és a főbb leszállóhelyekről, az Airways Beacon-ok ezek mentén épültek ki először

A probléma persze adott volt, jó látási viszonyok mellett lehetett ezeket használni, és igen költséges volt a telepítésük illetve üzemeltetésük. Ráadásul ott, ahol igazán szükség lenne rájuk, a tengerek, lakatlan vidékek felett, ezek sem segítették a helyzet-meghatározást.

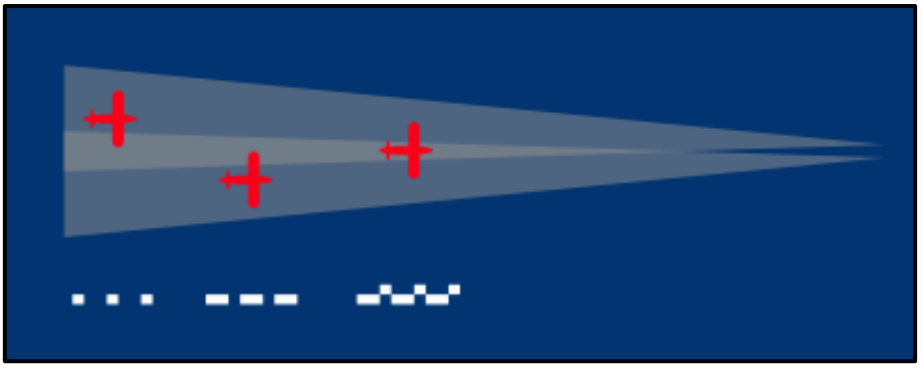
Egy Airway Beacon-ról készült légi fénykép az 1940-es évekből, a piros nyíl a legközelebbi repülőtér irányát mutatta

Nyilvánvaló volt, hogy a rádiós navigáció a megoldás, csakhogy továbbra sem volt egyértelmű, hogyan. A rádiós iránymérés már említett, földi telepítésű megoldása Európában valamennyire elterjedt, de nem volt praktikus és az egyre növekvő légi forgalommal nem tudott lépést tartani. Megoldást az iránymérő gépre telepítése nyújt, és a földön pedig rádióadókat, amelyek adásait az iránymérővel meg lehet figyelni. Hátránya, hogy a gépen egy gyűrű alakú rádióantennát kell elhelyezni, és nem árt egy külön rádiós, aki a rádióantennát forgatva, a jel 'elhallgatásakor' (un. 'null' helyzetben) meghatározza a rádióadó irányát. Kettő vagy több ilyen rádió-jeladó irányának ismeretében pedig már meg lehet a gép helyzetét határozni. Ez a megoldás szinte minden nagyobb hatótávolságú katonai és kereskedelmi gépen megjelent az 1920-as évek után, és csak valamikor az 1950-es évek elején kezdett eltűnni, hogy modernebb megoldásoknak adja át a helyét.

A britek az un. Orfordness Körbeforgó Drót nélküli Jeladó (Orfordness Rotating Wireless Beacon) rendszert tesztelték, az 1929-ben működésbe lépett rendszer lényege az volt, hogy egy percenként egyszer (vagyis másodpercenként 6°-ot forduló) forgó antenna adott jelet, amikor észak felé nézett, egy 'V' morze kódot adott le (három rövid és egy hosszú jel), majd újra körbe fordult. A repülőgépen a rádiós arra figyelt, hogy a 'V' morze kód után hány másodperccel hallgat el, ám ebből két lehetőség jött ki (amikor az antenna a gép irányába, illetve attól 180°-os szögben állt), és noha általában ez nem okozott problémát, de a hibalehetőség benne volt. Ezért később, amikor a forgásban kelet fele mutatott az antenna, egy 'B' morze kódot (egy hosszú és három rövid) adott le, így már két viszonyítási alap volt, és könnyebb volt meghatározni a helyzetét a gépnek. Egy második jeladót is üzembe helyeztek Farnborough reptér mellett, és 5 percenként váltották egymást azonos frekvencián (a Farnborough-jeladó az észak és a kelet irányba 'G' és 'W' morze kódot adta le, hogy ne keverhessék össze őket). Ám az ilyen megoldások nem terjedtek el végül széleskörűen.

A rádiónavigáció új megközelítése volt a Lorenz-rendszer, amelyet a német C. Lorenz AG fejlesztett ki. Céljuk a rossz időjárási körülmények vagy sötétben való leszállás megkönnyítése, mégpedig úgy, hogy a leszállópályájára vezeti rá a beérkező repülőgépet. A megoldás lényege az, hogy három irányított antennát

helyeztek el a leszállópálya végén. A középső folyamatosan adott, míg a két szélső felváltva, a leszállási irányból nézve a bal oldali a másodperc 1/8-ad részéig adott, majd ez után a jobb oldali adott a hátralévő 7/8-ad másodpercben. A pilóta a rádión figyelte a jeleket, ha rövid jeleket (’pontokat’) hallott, akkor tudta, hogy a középvonaltól balra van, és jobbra kell korrigálnia. Ha hosszú jeleket (’vonalakat’) hallott, akkor tudta, hogy jobbra van a középvonaltól, és balra kell korrigálnia. Ha középen volt, akkor folyamatos jelet hallott. Ez még csak az irányt adta meg, a távolságot nem, így két ’előjelző’ rádióadó is volt, az egyik 3km-re, a másik 300 méterre, amelyek eltérő modulációval adtak, ezek alapján pedig a megkívánt repülési magasságot is meg tudta már a pilóta. A Lorenz-rendszer gyorsan elterjedt Németországban, és azon kívül is.



A Lorenz-rendszer működési vázlata (Wikipédia)

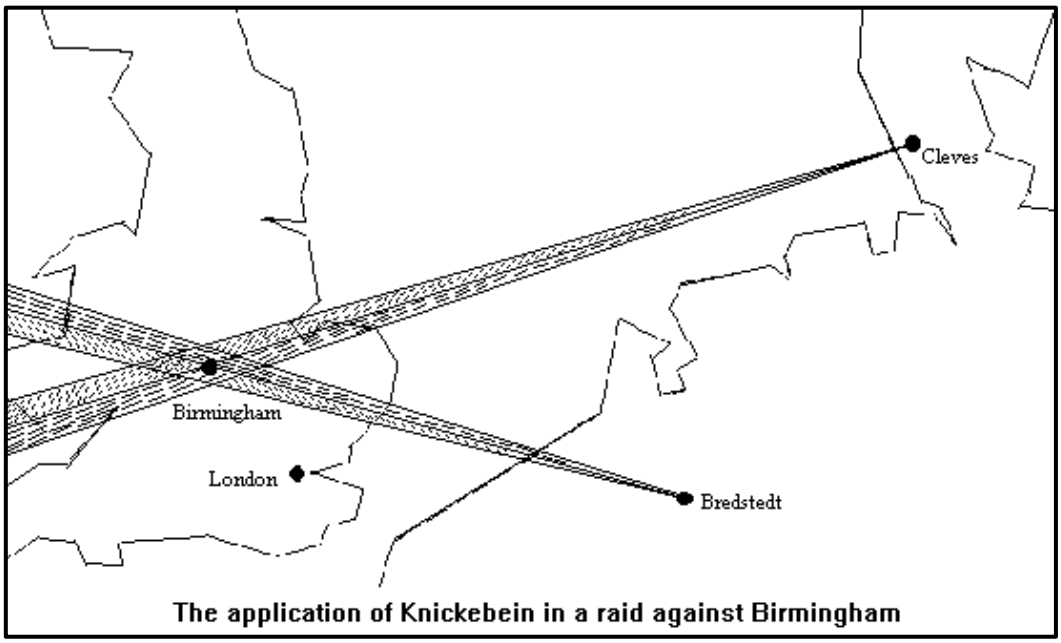
8.4. Fejlesztések a II. világháború alatt

Az első világháború tanulságai ellenére a II. Világháború elején szinte csak Németországnak volt komolyabb rádiós navigációs rendszere. Példának okáért az amerikai bombázókon egy buborékot helyeztek el a gép felső részén, ahonnan szextáns segítségével nyugodt (?) körülmények között lehetséges volt a helyzet-meghatározás.

Plexi ’buborék’ egy B-17-es orrának tetején, közvetlenül a navigátor állása felett, a navigátor ez alól jó kilátást kapott a szextáns használatához.

A németek a Lorenz-rendszert aztán bevetették a Nagy-Britannia elleni légi hadjáratban, mikor a nappali bombázások már túl veszélyesé kezdtek válni. Az éjszakai bombázásoknál viszont a navigáció problémás volt, erre jelentett megoldást a Knickebein rendszer, ami alapvetően a Lorenz-rendszerre épült, de két nagy teljesítményű, igen szűk sugárban adó antennát használtak, a bombázógépek az első irányadó antennák vonalában közelítették meg a célpontot, amelyet a célpont felett keresztezte egy másik adó jele. Mikor az

két adó által sugárzott jelek teljesen együtt álltak, pont a célpont felett jártak. Noha már ez a megoldás is viszonylag korrekten meghatározhatta a bombavetés helyét, azért még korántsem volt tökéletes.



A Knickebein alkalmazása Birmingham éjszakai bombázásakor

A Knickebein rendszerről a britek úgy szereztek tudomást, hogy egyfelől egy lelőtt Luftwaffe bombázóban feltűnő lett, hogy mennyire precízre volt kihegyezve a Lorenz-rendszer érzékelője, illetve hadifogságba esett pilóták utaltak a rendszer létezésére. Azonban a híreket szkepticizmussal fogadták, mivel úgy vélték, hogy ilyen nagy távolságban a Föld görbülete miatt nem működhet egy rádió navigációs rendszer (érdekes, hogy nem vették figyelembe a repülési magasságot, mert kellő magasságból direkt ráláthatott a jeladó a gépre).

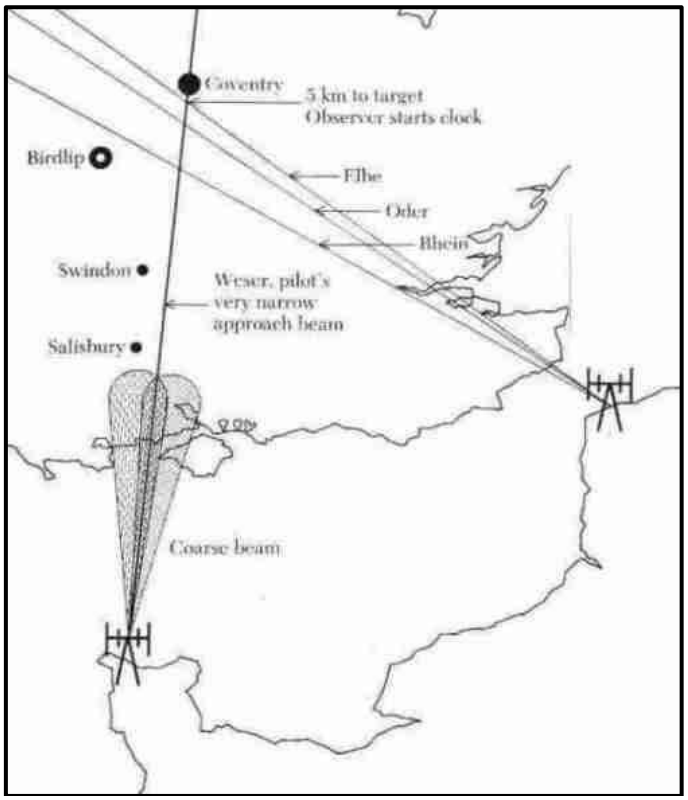
A bizonyításhoz egy rádióamatőr rádiót szereltek egy Avro Avson gépbe, és a személyzetnek csak annyit mondtak, hogy keressenek Lorenz-rendszer mintákat, hozzávetőleg a 30 MHz-es hullámhosszon. A személyzetnek nem okozott gondot megtalálni a jelet, sőt, még azt is kisilabizálták, hogy Derby városa felett, pont a Royce-Rolls gyára felett (ahol a Merlin motorokat gyártották akkoriban) keresztezik egymást.

Ez vezetett a „Jelek csatájáig" (Battle of the Beams), amelynél a britek nekiálltak a németek által használt frekvenciákon fals jeleket adni, például folyamatosan „pontokat", amivel először csak megnehezítették a pontos navigációt, de később már gondosan kimérve irányították a jeleket, és elérték azt, hogy a német gépek oda dobják bombáikat, ahova ők szerették volna.

A fals jelek használata további nem várt eredményeket is hozott: a német pilóták annyira megbíztak a rendszerben, hogy teljesen erre hagyatkoztak navigáció terén, így sok gép eltévedt a vissza vezető úton.

A tökéletesítés az X-Gerät képében jött, ahol három keresztirányú jeladó volt, az elsőt cirka 30km-re a célponttól „kapta el" a bombázógép, és ez még csak a felkészülést hozta, a rádió operátor ekkor kapcsolta be a bombázó rendszert, a második mintegy 10, a harmadik pedig már csak 5 km-re volt a célpozíciótól. Ezek a jelek az X-Gerät távolságmérő rendszerét aktiválták: a rendszer akkor kapcsolt be, amikor a második jelet érzékelte, és elkezdett egy óraszerkezet számolni, mikor a harmadikat, akkor pedig az óraszerkezet elindult visszafelé.

Mivel a második és a harmadik, illetve a harmadik és a célpont között ugyan akkora volt a távolság, így amikor a bombavetési pozícióba került a gép, akkor automatikusan dobták is a bombákat. Mivel azonban ez a rendszer sokkal bonyolultabb volt, mint elődje, ezért csak speciális, gyújtó és fényjelző bombákkal felszerelt He-111-esek kapták meg őket. Ők jelölték meg a célpontot, amit aztán a többi bombázó már jól láthatott szabad szemmel, és ide vetették a saját bombáikat.



Az X-Gerät működési elve, a négy rádiónyalábot négy német folyóról nevezték el (Weser, Elba, Odera és Rajna)

Az X- Gerät sokkal bonyolultabb volt, mint elődje, így feltörni is nehezebb volt. Ebben ismét nagy segítség volt, hogy az egyik első X- Gerät-al felszerelt német bombázó lezuhant a brit partok mentén, és sikerült a roncsból megszerezni az irányítórendszert. A 66,9-75Mhz-en működő rendszert a britek először rossz frekvencián próbálták zavarni, ezért a Coventry elleni bombázást már nem tudták megakadályozni. de pár nappal később már idő előtt sikerült aktiválni a rendszert, így hamarabb dobta valamivel le a célmegjelölő bombázó a gyújtóbombáit. Később már a Weser jeladó jelét kezdték el zavarni, így oldalirányban is sikerült félrevezetni a német bombázókat.

A németek válasza az Y-Gerät, vagy más néven Wotan kifejlesztése volt, amelyről a britek az Enigma-rejtjelek feltörésével szereztek tudomást. Wotan a német-skandináv mitológiában Woden-ként vagy Odin-ként is ismert istenség, akinek csak egy szeme van. Innen kikövetkeztették, hogy csak egy jeladóval akarták a németek megoldani a bombázóik irányítását. A rendszer leegyszerűsítve úgy működött, hogy a bombázógép irányába egy jelet adtak le a földi irányító központból, amit a bombázó rendszere egyből vissza is küldött. A fáziseltolódásból meg tudták állapítani a távolságát a földi rádióadótól, illetve az adás irányát is megtudták, ez alapján pedig utasíthatták a bombázót az irányváltoztatásra, illetve a bombák ledobására.

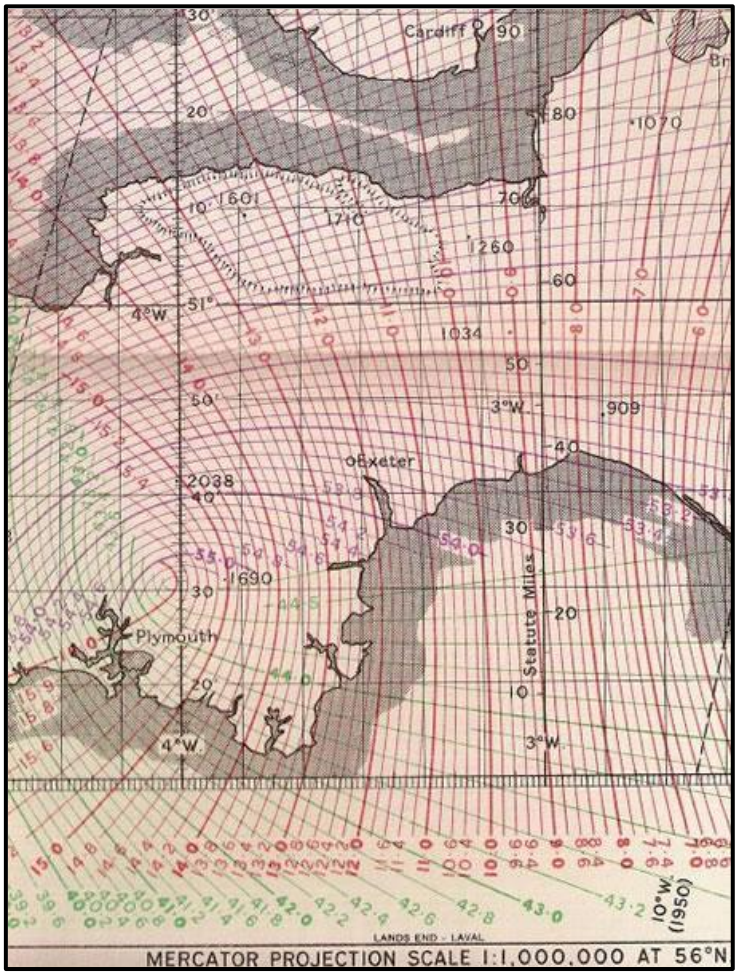
A németek szerencsétlenségére a 45Mhz-es frekvenciát választották a rendszer működésére, és a britek pont ezt a frekvenciát használták az éppen nem üzemelő BBC TV adásokhoz, vagyis kéznél volt egy kellően erős és jól működő adójuk. Innen már nem volt más dolguk, mint amikor a bombázó a válaszjelet küldte, az érzékelt jelet a TV adó is megismételte

A jelet az elején még gyenge energiával adták csak, így nem derült ki a németek számára, hogy miért nem kellően pontos a rendszerük - majd az elkövetkező estéken egyre erősebben és erősebben jött már a fals jel, mire ráeszméltek, hogy a bolondját járatják velük.

A Luftwaffe-t annyira lesújtotta a Wotan kudarca, hogy ezek után több rádiós irányítású éjszakai bombázást már nem is vezényeltek. Igaz, ekkoriban már a náci hadigépezet éppen kelet fele robogott…

A csatorna túloldalán is dolgoztak a nagy távolságú navigáció problémáján, és az úgynevezett Hiperbolikus navigációval kívánták megoldani. Ennek lényege, hogy két adótoronyból érkező jelet figyeltek, és a két jel beérkezése közötti különbség alapján meg tudták határozni, hogy milyen messze vannak azoktól. A késleltetési időket előre fel lehetett rajzolni egy térképre, ahol a rádió-navigáció kezelője bejelölve azt meg tudta mondani, hol is helyezkednek el.

Az adótornyok legyenek például 300km egymástól, nevezzünk ki egyet vezértoronynak (ez a *Master*), akinek a jelét amikor a többi adótorony (akik a szolgák, vagyis *Slave*) észlelve leadja a saját jelét is. Ez ugye azt jelenti, hogy a Master jeladó „mellett”, 300km-el lévő első torony 1ms-al később adja le a saját jelét. Mivel akkoriban az időmérés még korántsem volt olyan pontos, mint az atomórák megjelenése után elképzelhető volt, így nem az eltelt időt figyelték, hanem egy katódsugárcsöves oszcilloszkóp képernyőjén a két jel közötti távolságot, amiből a két jel közötti időeltolódást meg lehet mérni. Tegyük fel a két jel között van 0,5ms, ez még nem sokat segít, hiszen a 0,5 és az 1ms vagy a 0,3 és a 0,8ms között is ugyanennyi az időeltérés. Ám ha a térképünkön folyamatosan követjük az eltérést, akkor már tudjuk követni az útvonalunkat, és így meg tudjuk határozni a pozíciónkat.



Gee térkép diagram a helyzet megállapításához, a piros szín az A (’Master’), a zöld a B és a lila a C ’Slave’ adóra vonatkozó értékeket mutatta

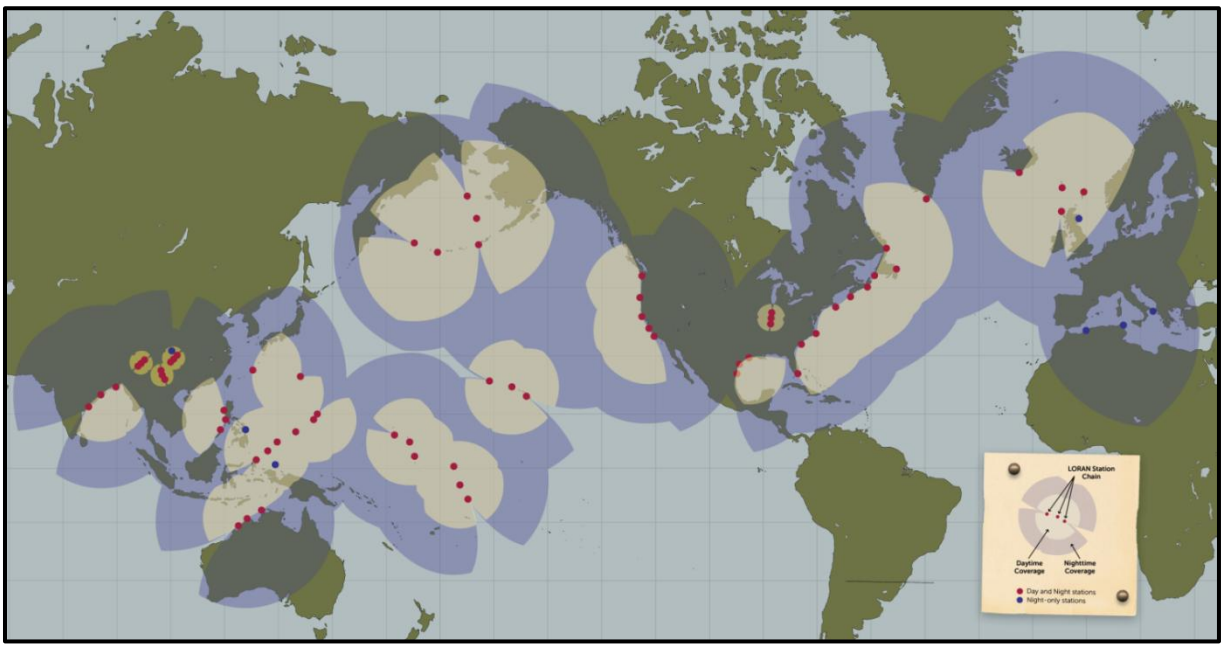
Ez volt a *Gee* rendszer működési elve, amely 1942-ben állt rendszerbe, eredetileg a bombázógépek és felderítőgépek navigációs eszközeként, a 20-30Mhz-es frekvenciát használva. Eközben a tengeren túl, az Egyesült Államokban egy hasonló rendszert fejlesztettek, ez volt a Project 3, ám a program viszonylag kis prioritással rendelkezett, így amikor az ország belépett a háborúba, és a britek megosztották velük a titkos fejlesztéseiket, rövid úton döntést hoztak arról, hogy a már teljesen gyártásra érett *Gee,* illetve a menet közben továbbfejlesztett *Gee Mk.II* rendszert fogják használni. Utóbbiban az oszcillátorokat kicserélve lehetőség volt repülés közben átállni a négy különböző frekvenciasáv között (20-30, 40-50, 50-70 és 70-90 Mhz).

A Gee Mk.II egy Lancester bombázó makettben

A Gee-hez több Master-Slave láncot is megépítettek, különböző frekvenciákkal, majd a D-Day után mobil adótorony-láncok is megjelentek, amelyek a pontosabb navigációt tették lehetővé a Németország elleni bombázásokhoz. Ha már itt tartunk, az adótornyokhoz közelebb mindössze pár száz méteres pontossággal meg lehet határozni a gép helyzetét, de a távolság növekedésével ez egyre növekedett, és csak a Nagy-Britanniai adótornyokkal Németország felett már több kilométeres volt a rendszer pontatlansága.

Az Amerikai Haditengerészet szintén tervezett egy hasonló, de hajóra telepíthető rendszert, amelynek a fejlesztésébe becsatlakozott a Gee fejlesztője, Robert J. Dippy. Akinek első dolga az volt, hogy a rendszert minél kisebbre akarta megépíteni, és úgy, hogy a Gee kijelzőjét használják fel, csak a hozzá kábellel csatlakoztatót vevő egységet kelljen kicserélni. A rendszer az 1.75 és 1.85 Mhz-es frekvenciát használta, amelynek a lényege, hogy az ionoszférán visszaverődve a horizonton túl is fogható – így több száz, de ideális viszonyok között akár kétezer kilométeres távolságból is, ami hatalmas előny még azon az áron is, hogy a pontossága elmaradt a Gee-étől. A LORAN (LOng RAnge Navigation ~ Nagy Távolságú Navigáció) rendszer adóit gyorsan elkezdték kiépíteni, és 1943 elejére működésbe is lépett az Atlanti-óceánon, nagyban segítve az óceánon átigyekvő hajókonvojokat és repülőgépeket.

A rendszer sajátossága az volt, hogy az ionoszféra éjszaka nyugszik le megfelelően ahhoz, hogy rádiójeleket megfelelően visszaverje, így igazán a naplemente után vált használhatóvá a rendszer. A LORAN először a Atlanti-óceánon kezdett el kiépülni, de az Amerikai Haditengerészet hamarosan a Csendes-óceán minél jobb lefedettségét is elkezdte kiépíteni. A LORAN igen sikeresnek tekinthető volt, a háború végéig mintegy 75 000 vevőkészüléket gyártottak le, amelyek nagyban hozzájárultak a sokkal pontosabb tengeri navigációhoz.

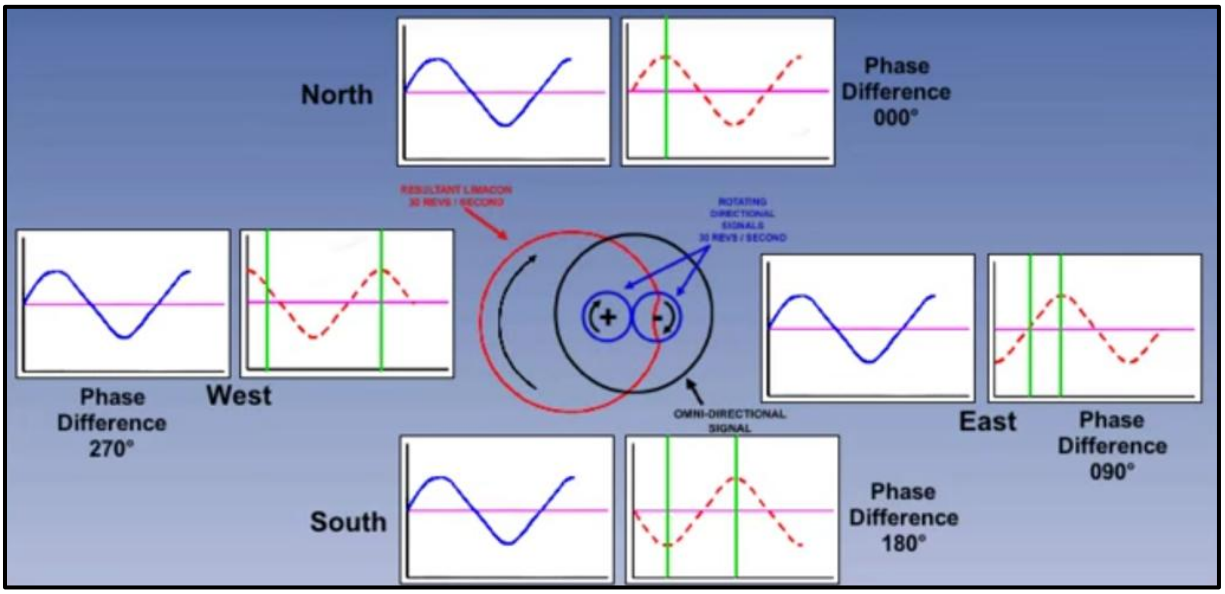


A LORAN rendszer lefedettsége 1945-ben nappal (világos terület) és éjszaka (lilás árnyalatú terület)

8.5. Navigáció a II. világháború után

Még 1937-ben elkezdték az Egyesült Államokban egy új rádió alapú rendszer a VOR (VHF Omnidirectional Radio (Range) ~ UHR (VHF) frekvenciás Körsugárzó Rádiós Irányadó) fejlesztését, amely a jó öreg Telefunken rendszer elgondolását vitte tovább. A VOR adó először is folyamatosan modulált Morze kódot ad, amely az azonosítására szolgál, sokszor pedig egy AM hangsávot is ad, amelyen időjárási információkat adnak folyamatosan. A körkörösen adott jel másik eleme egy 30Hz-es, minden irányba sugárzott úgynevezett referencia-jelből áll. A második jel pedig egy másodpercenként harmincszor körbeforgó jel, amelyet a korai időben mechanikusan forgatott antennával, később pedig elektronikusan kitérített jelekkel oldottak meg. Az irányított jelek esetén az északi irány képviseli a 0°-ot, amelyet a 30 Hz-es jelmaximumán adnak le.

A repülőgépen a két jel fáziseltolódásából meg lehetett állapítani, hogy az adott VOR jeladótól milyen irányban is helyezkedik el. Leegyszerűsítve azt nézik, hogy az irányadó jele a referencia jelhez képest mennyivel később érkezik be.



A VOR működési elve, a kék diagram a referencia, a szaggatott piros a beérkezett jel fáziseltolódását mutatja, függően attól, milyen irányban van a gép a VOR irányadótól

A VOR-t alapvetően a csöves elektronika tette lehetővé, de igazán látványosan az 1960-as években a tranzisztorok, majd a mikrochipek segítségével lett a fejlődés látványos, ahogy a szükséges elektronika egyre kisebb és könnyebb (no meg megbízhatóbb lett). A VOR ráadásul számtalan lehetőséget is adott, igaz alapvetően a hatótávolsága viszonylag szerény, mintegy 370 km-es volt, de reptereknél kisebb teljesítményű adókkal tovább lehetett a VOR által lefedett zónákat tagozni. A működési frekvencia pedig a 108,0 MHz es 117,95 MHz között lett, 50 kHz-es lépesekkel, ami mintegy 160 sávot jelent, így az egymással szomszédos VOR adók nem zavarják egymás működését.

A technológia hátránya volt persze, hogy a pontos helyzet megállapításához még mindig legalább két VOR adó jelét kellett venni. A megoldás Ausztráliából érkezett, ahol az 1940-es évek közepén elkezdték kidolgozni, hogy is lehetne a repülőgép távolságát megállapítani a repterektől. A teljes megvalósítás és az első rendszer beüzemelése az 1950-es évekig váratott magára, ám aztán gyorsan elterjedt, mint DME (Distance Measuring Equipment ~ TávolságMérő Berendezés). A repülőgép egy megadott pulzus-párt ad le, amelyet a DME egy meghatározott (50 milliomod másodperces) idő múlva pontosan megismétel.

A távolságot az adás és a vétel közötti idő pontos mérésével lehet megállapítani, ha például a kettő között 200 milliomod másodperc telik el, akkor azt jelenti, hogy 200-50 (a válasz késleltetése) / 2 (az oda-vissza út ugyebár kétszerese a távolságnak, így meg kell felezni) szorozva a fény sebességével. Ez ugyebár 75 milliomod másodperc * 0,3km, vagyis cirka 22,5 kilométerre vagyunk a DME-től.

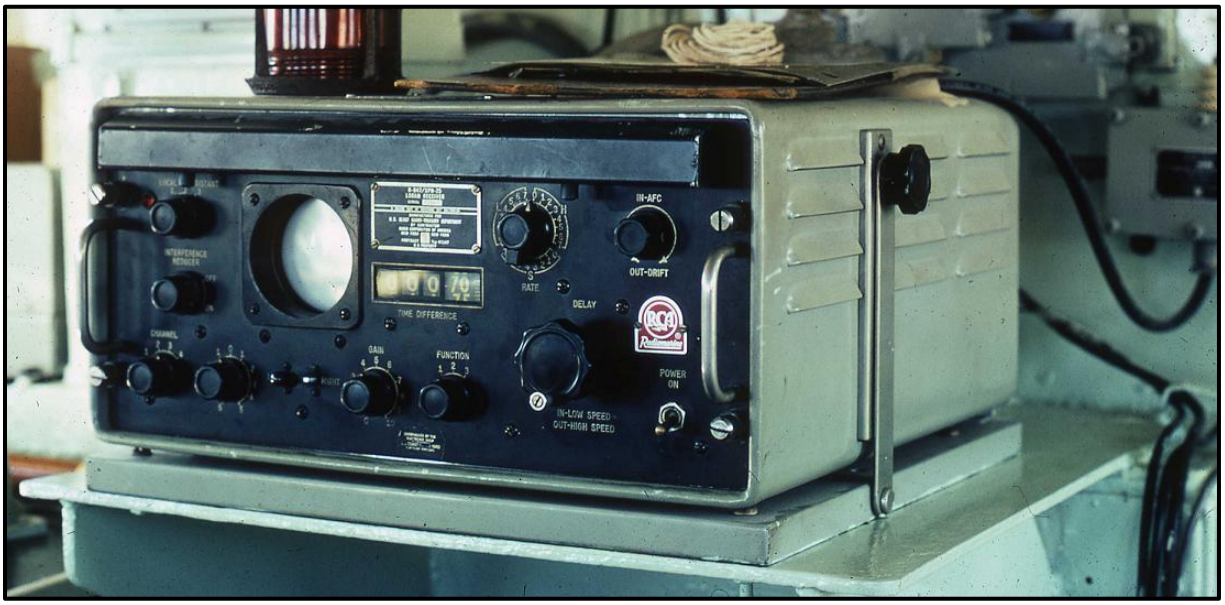
Egy VOR/DME antennapáros Hollandiában, levegőből fotózva

Természetesen a VOR és a DME hamar egymásra talált, a DME a párosított VOR-al azonos morze kódot ad le, így egy rendszerben használva a kettőt már nem csak azt tudjuk, hogy az irányadótól milyen irányba vagyunk, de azt is, hogy milyen messze.

A szárazföld felett tehát a rádió-jeladóknak köszönhetően elkezdett a navigáció jelentős minőségi fejlődésen átesni, persze csak addig, amíg kiépült és jeladókkal jól ellátott vidék felett vitt az út - ha lakatlan vagy fejletlen vidék avagy az óceánok felett, akkor maradt ismét a térkép, iránytű, óra és jó esetben a szextáns. Márpedig a civil repülésben is elkezdtek egyre jobban terjedni a hosszú távú járatok, az adott helyzet megállapítására pedig továbbra is a szextáns és az asztronavigáció maradt a legmegbízhatóbb és legáltalánosabb megoldás. Annyit tudtak segíteni a tervezők, hogy integrálták a szextánst a gép tetejében, általában közvetlenül a pilótafülke hátsó részében, hogy a navigációt elősegítsék.

Egy Vickers VC-10 utasszállító pilótafülkéjébe integrált szextáns használat közben

A LORAN rendszer a tengerhajózásban használható volt, de továbbra is csak az északi féltekén, a Csendes-óceánon és az Atlanti-óceánon kiépített hálózat működött. A LORAN rendszer felügyeletét 1958-ban átadták az Amerikai Parti Őrségnek, és ők átkeresztelték azt Loran-A-ra, míg a fejlesztés alatt álló új rendszerre a Loran-B adták. Utóbbi egy hosszadalmas fejlesztési program vége volt, amely CYCLAN (két egy 180 és egy 200Hz-es) vevőegységgel, a két frekvencián eltérő fázist használó, magas fokú automatizáltsággal bíró, analóg számítógépet használó rendszer, amely ugyanakkor túl bonyolult, nehéz és drága volt), majd az ennek egyszerűsített, a fáziszárt hurok elvét használó Cytac rendszeren keresztül vezetett. A Cytac / Loran-B rendszernél a fázisok eltolódásának a problémája azonban megakadályozta, hogy nagy távolságokra megbízható legyen. A megoldás az lett, hogy tovább finomították a fázisok helyzetét (0,180 fokra tértek át a korábbi 45 fokos eltolástól), és így jött létre a Loran-C.

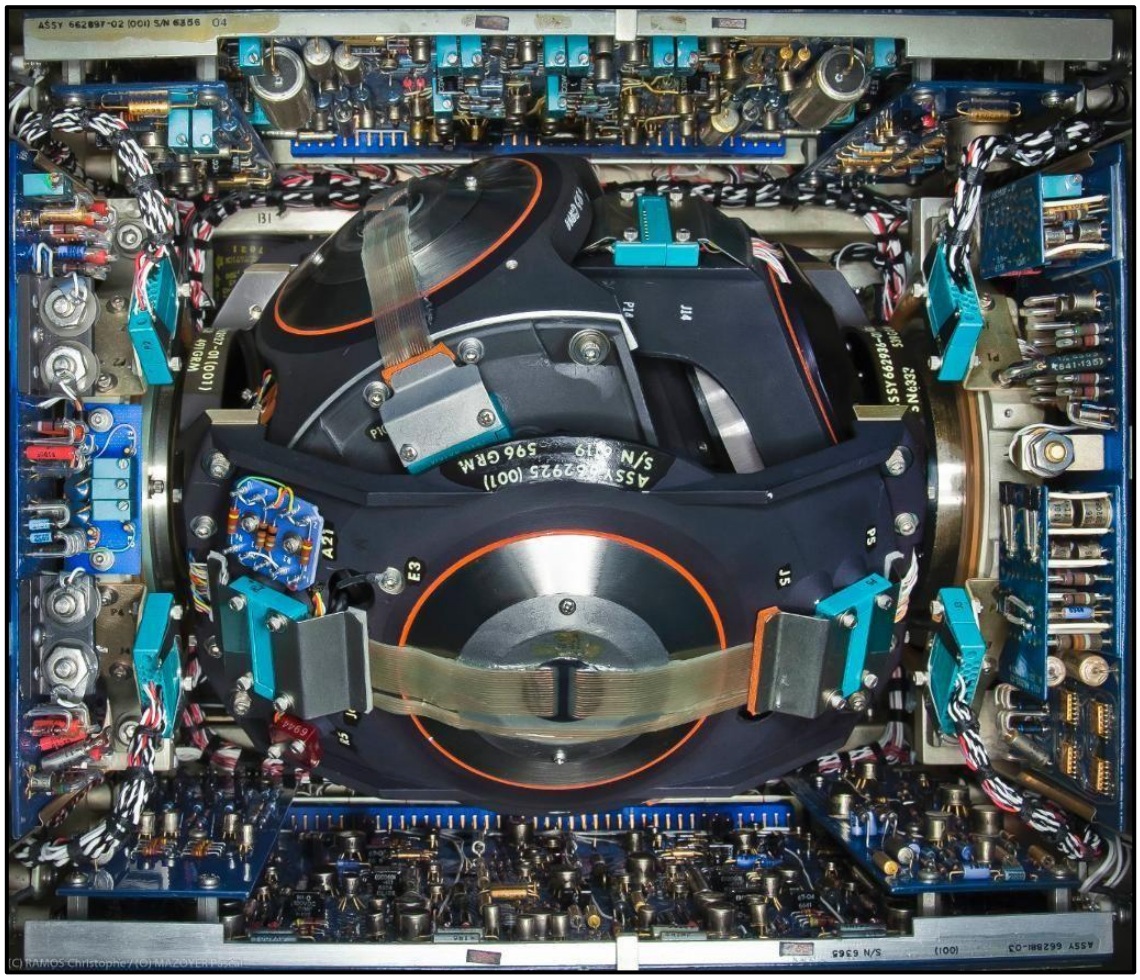


Egy AN/SPN-25 Loran-A vevőkészülék

A fő különbség a két rendszer között felhasználó szempontból az automatizáltság volt, amíg a Loran-A segítségével pár perces művelet volt a helyzet megállapítása, a Loran-C segítségével fél percen belül lehetségessé vált. A Loran rendszer ugyanakkor katonai rendszernek minősült, és csak a Loran-C rendszer

megjelenése után kerültek a Loran-A vevők a civil piacra, relatíve olcsón. A Loran-C problémája ellenben a nagy mérete és tömege volt, valamint a vákuumcsöves elektronika karbantartás-igénye. Az 1960-as években a tranzisztoros elektronika segítségével már „csak” 45kg-os volt az AN/APS-31, ugyanakkor ez még mindig dedikált navigátort igényelt, és csak a Loran-C által lefedett területeken működött – nappal az adóláncokhoz közel, éjszaka ezektől távolabb is. A Loran-A/-C 1973-ra teljesen nyitott lett a civil használatra is, noha még mindig drágának számítottak, a tengerhajózásban majdhogynem alapértelmezett lett a használata. A hosszú távú repüléseknél is igénytől függően használatba vették, de elterjedni nem terjedt el széleskörűen.

A Loran megnyitása a civil használatra onnan fakadt, hogy a katonai helyzet-meghatározás terén komoly fejlemények zajlottak le az 1950-es és 60-as években. Az első az Inerciális (tehetetlenségi) Navigációs Rendszer, vagyis az INS megjelenése még a II. világháború idején (V2 rakéta), majd annak elterjedése és fejlődése. Ennek elve a jó öreg „Dead Reckoning”, vagyis a követlen számításos navigációra épül – csakhogy egy sor giroszkóp és/vagy gyorsulásmérő segítségével térben képes meghatározni a mozgásban beálló változásokat, és így meghatározni, hogy az adott kiindulási ponttól merre is vagyunk. Ez eddig szépen hangzik, de rögtön két komoly probléma is van vele.



A Concorde 01 inerciális navigációs rendszerének „agya”

Az egyik, hogy nagyon pontosan kell ismernünk, hogy honnan is indulunk, tehát egy külső forrásból (térkép, szextáns, műholdas navigáció, stb.) kell először a pozíciónkat meghatározni. A másik alapvető probléma, hogy az INS bizonyos szintű hibát követhet el, és így a navigáció pontossága romlik, méghozzá az idő előrehaladtával (sodródás) egyre nagyobb mértékben. Egy repülőgépre telepített INS rendszer például egy óra alatt nagyságrendileg 600-900 méteres tévedést követhet el. Éppen emiatt az INS rendszer első

sorban kiegészítő navigációs rendszer, ugyanakkor nagyon hasznos például rakéták, robotrepülőgépek, és persze repülőgépek esetében is.

Az INS rendszer legnagyobb haszonélvezője persze talán a tengeralattjárók voltak – ők eleve is csak a számított navigációra számíthattak –, de az inerciális navigáció a korábbinál egy nagyságrenddel pontosabb térbeli helyzetet tudott meghatározni.

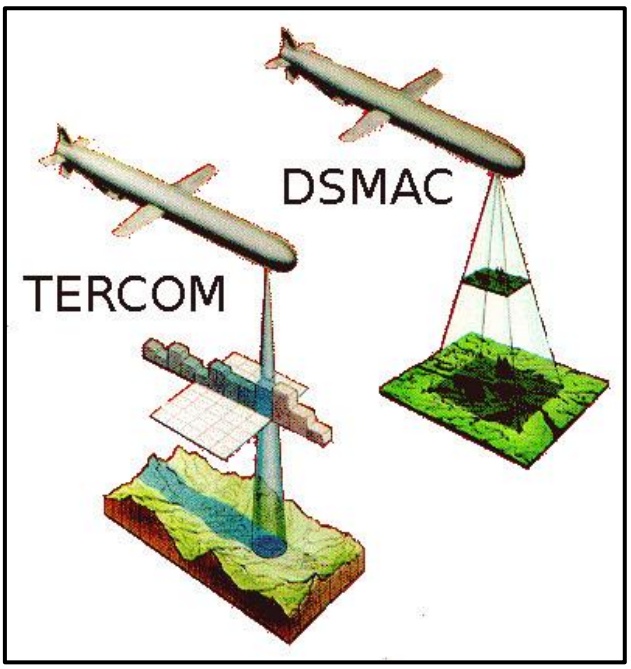
A tehetetlenségi navigáció lényege, hogy teljesen autonóm módon meghatározható a repülőgép pillanatnyi helyzete, ha a mozgás kezdőpontja ismert, amikor a navigációs rendszer már üzemel. A repülőgép helyzetét, sebességét, a repülőgép mozgásállapotának megváltozását (gyorsulás) tehetetlenségi érzékelők mérik. Gyakorlatilag olyan, mintha vakon vezetne valaki egy autót úgy, hogy nagyon pontosan méri az időt, majd a mért sebességből és gyorsulásokból folyamatosan számolná egy fejlett navigációs rendszer a pillanatnyi pozíciót. Elméletileg lehetséges, de van egy „apró" probléma, tökéletesen pontos mérés nincs, mindegyik mérést hiba terheli.

Korrekció nélkül alkalmazva felhalmozódó hibák miatt huzamosabb üzemre alkalmatlan a módszer, ha bizonyos célokra akarják használni. A valós pozícióhoz képest 1-2 óra elteltével több kilométeres hibát is produkálhatnak. Ez az óceánok vagy az északi sark felett átrepülő kereskedelmi utasszállítóknál bőven megfelelő pontosság, mert partot elérve a szárazföldi irányjelzők segítésével már könnyedén megtalálják a célállomást. Katonai gépek számára azonban ez kevés. A GPS rendszer segítségével kaphat a rendszer frissített navigációs adatot vagy terepkövető radarral ismert pozíciójú jellegzetes tereppontok ismerete alapján is korrigálható a rendszer „sodródása".

Az INS jelentősége akkor volt nagyon fontos a repülőgépek számára, amikor a GPS rendszer nem létezett és még nem épült ki teljesen. (Molnr Balázs kiegészítése.)

Az INS mellé viszont egy másik rendszer dukál, amivel időről időre ellenőrizni lehet, hogy valóban a megfelelő pozícióban vagyunk, és ha nem, akkor pontosítani kell azt, hogy aztán újra az INS-re támaszkodhassunk. Ez a hidegháborúban különösen a nagy hatótávolságú robotrepülőgépeknél volt igény – úgyhogy kifejlesztésre került egy új rendszer, amely a radar elvét használva a gép alatt elsuhanó táj kontúrjait figyeli, és ez alapján határozza meg, jó úton halad-e. A rendszer korai változatai persze igencsak szenvedtek az elektronika hiányosságaival, magyarul kevés volt a tárhely, és így csak egy-egy referenciapontot tudtak meghatározni, ahol a robotrepülőgép pontosíthatta a helyzetét, majd az INS alapján elindult a következő referenciaponthoz, majd a végén a célpont felé. A TERCOM (Terrain Countur Matching ~ Terepkontúr-összepárosítás) az egyre fejlődő elektronika és egyre nagyobb felbontású radarok segítségével a mai napig használatos a nagy hatótávolságú robotrepülőgépeknél, mivel zavarni nem lehet.

Persze a legnagyobb hibája a TERCOM rendszernek a rugalmatlansága volt – a korai rendszer gyakorlatilag csak úgy volt működőképes, ha az elejétől a végéig beprogramozzák az egész utat – így viszont az indítóállás pozíciója fix volt. Az 1950-es években készült robotrepülőgépeknél ez még elfogadható hátrány volt, vagy inkább kompromisszum volt, csakhogy jöttek a ballisztikus rakéták, és főleg persze a velük felszerelt tengeralattjárók elképzelése.



A TERCOM és az utód DSMAC rendszer működési elve, a TERCOM még csak a terep magassági kontúrját tudta megállapítani, a DSMAC már digitális nagy felbontású radarképet vetett össze a memóriájában lévő mintával

A ballisztikus rakéták esetében csak egy INS rendszerre volt szükség, amelynek felprogramozása sokkal egyszerűbb volt, mint a robotrepülőgépek TERCOM rendszere. Csakhogy a kiindulási pontot így is minél pontosabban ismerni kellett, bármikor és bárhol, így a Loran-C rendszer sem volt opció. A Amerikai Haditengerészet ezzel a dilemmával küzdött, mikor váratlan helyről kapott segítséget: az első szovjet műholdtól.

8.6. A műholdak korszaka

A Szputnyik új korszakot nyitott a tudományban, ennek az egyik első áttörése az volt, hogy két tudós (William Guier és George Weiffenbach) a Marylandben található Applied Physics Laboratory-tól (APL) a Szputnyik-1 adásának doppler-hatását figyelve megállapította a műhold pontos pályáját 1957 októberében. Főnökük, Frank McClure, a következő év márciusában az eredmények ismeretében felvázolta, hogy fordított elven is működhet a dolog, ha ismerjük a műhold pontos helyzetét – vagyis a műholdas navigáció elméletével állt elő.

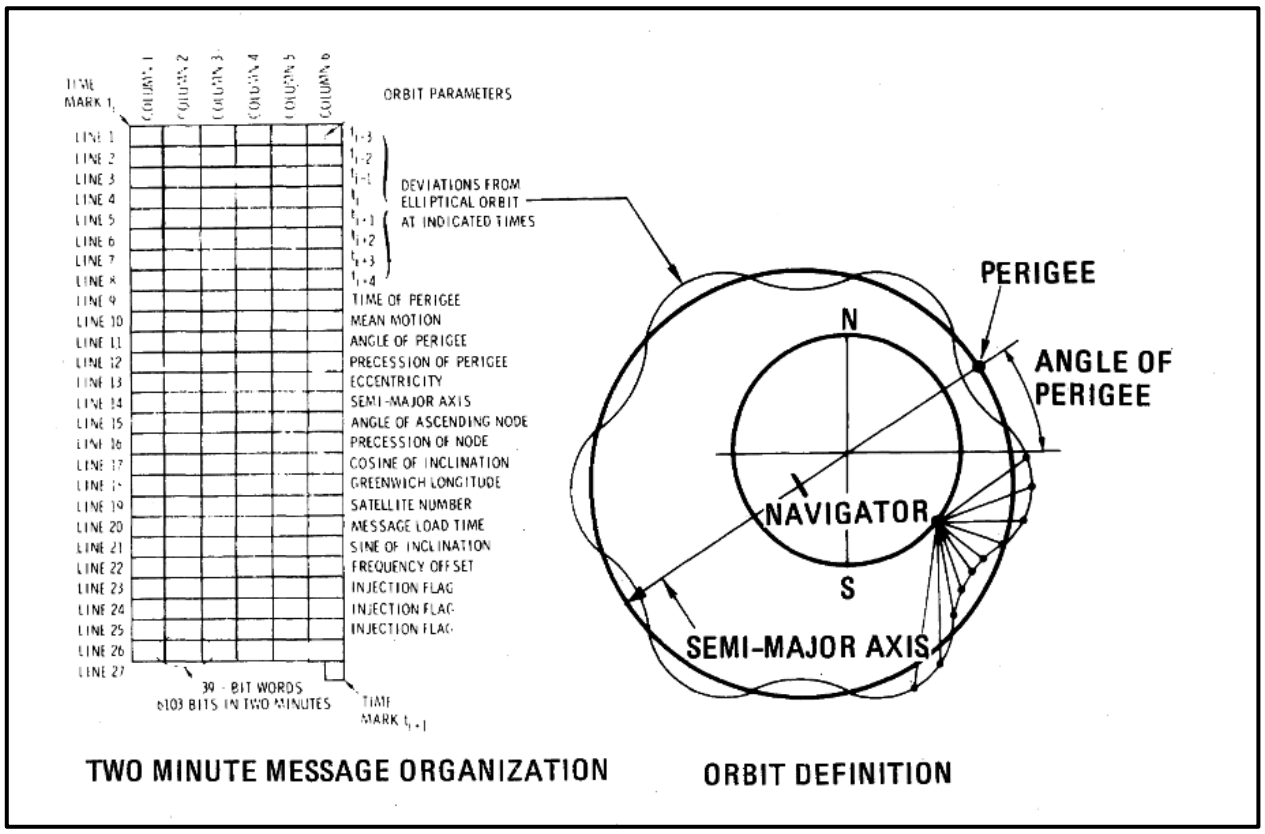
1958-ban elkezdődött tehát az új rendszer kifejlesztése, amely nem mellesleg a műhold-technológia kritikus fejlesztéseit is magába olvasztotta, hiszen alaposabban meg kellett ismerni a Föld gravitációs és mágneses mezejét, hogy a műholdak pályáját minél jobban előre lehessen jelezni. Szintén több információra volt szükség az ionoszféra jellemzőire és változásaira, hogy a rádiójelekre gyakorolt hatását jobban megismerjék. Mindezek mellett pedig a műholdak stabilizálását is meg kellett oldani a lehető legkisebb tömeg mellett. Az eredmények láttán az addig az ARPA (a DARPA elődje) által támogatott program átkerült az Amerikai Haditengerészethez, de a fejlesztés továbbra is az APL kezében volt.

A Transit-1B ellenőrzése a hordozórakétára való szerelése előtt

A kísérletek elég széles kört öleltek fel, például három közülük nukleáris energiaforrással, egész pontosan rádióizotópos termo-elektromos generátorral (RTG) készült (miután a harmadik nem állt pályára maradtak inkább a napelemeknél). A Haditengerészet (US Navy) eközben a hajókra telepítendő számítógépek fejlesztésébe is belefogott – egyszerűen azért, mert egyik meglévő számítógép sem fért át a tengeralattjárók búvónyílásán. Erre már csak azért is komoly energiát fordítottak, mert az egész program célja a Polaris ballisztikus rakétákkal járőröző tengeralattjárók pontos helyzetének meghatározása, mégpedig az elvárás szerint 0,1 tengeri mérföld (185 méter) pontossággal, és 4 óránként legalább egyszer. A pontosítások között az INS navigációval volt képes a helyzetének meghatározására, tehát effektíve a műholdas rendszer az inerciális navigáció korrekciójára szolgált.

A Transit néven ismert rendszer műholdjai mintegy 950-1200 km-es magasságú poláris pályán (vagyis az egyenlítőre merőlegesen, észak-déli irányban) keringenek. Két frekvencián sugároznak jelet, az egyik a 149,99 Mhz, a másik a 399,97 Mhz. A műhold két percenként adott le egy 6103 bites adatcsomagot, amely 39 bitből álló szavakat (WORD) alkotott, amelyeket 27 sorba és 6 oszlopba rendezve csoportosították. Ezekben a műhold a saját pozícióját is megadta, amelyet a Földi megfigyelő állomásokról folyamatosan ellenőriztek.

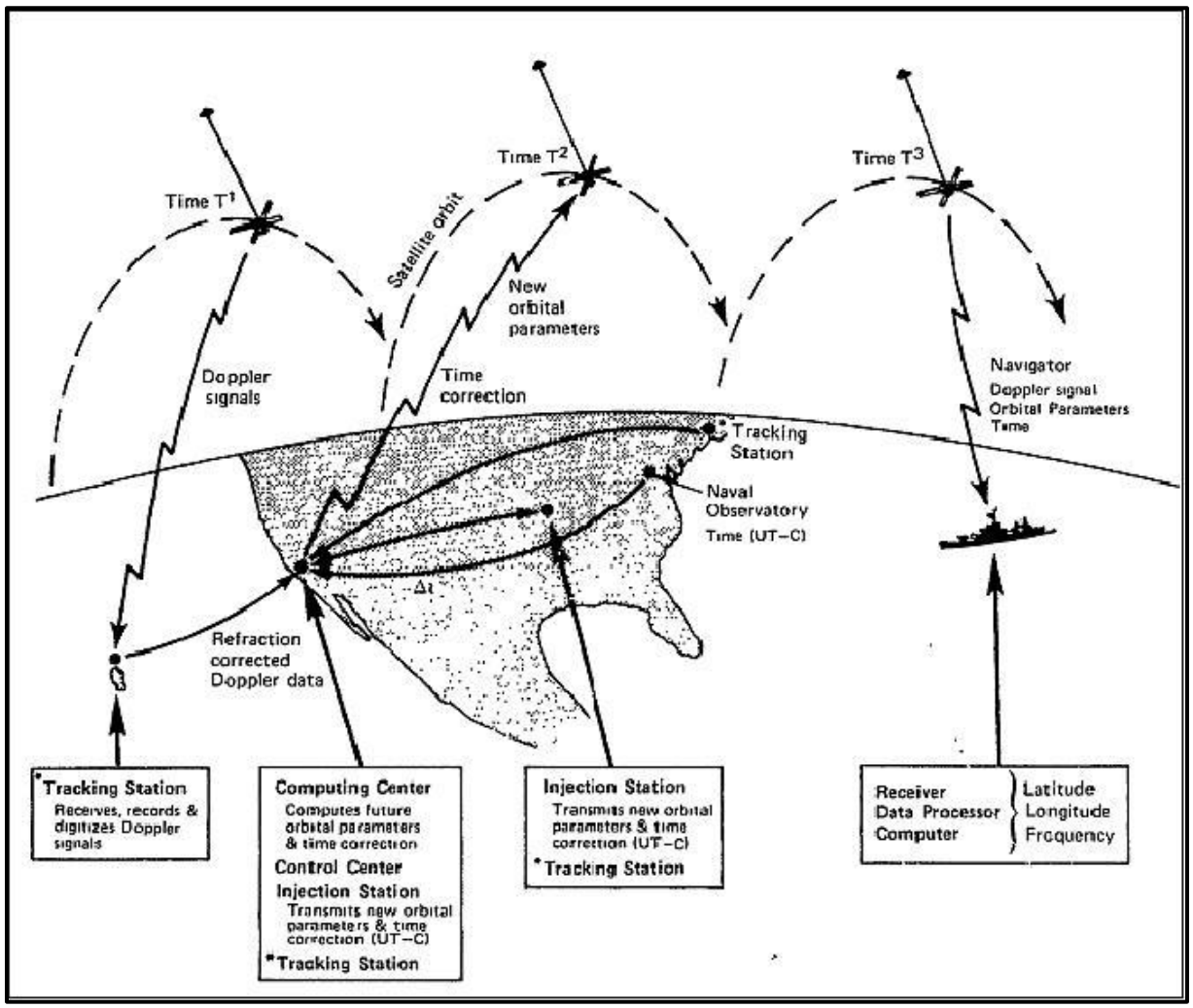
A doppler-hatást figyelembe véve lehetett a műhold pontos pályája alapján meghatározni, hogy merre is van a vevő egység saját pozíciója, nem mellesleg pedig viszonylag pontosan (mintegy 2 ezred másodperc pontossággal) megtudta az UTC-t (Univerzális Időt). Egyetlen frekvencián leadott jel is elég lenne, hogy a pozíciót relatíve pontosan meg lehessen határozni, ám mivel a légköri változók a két frekvenciára más-más módon hatnak, így a kettő közötti eltérést ki lehet átlagolni, így még pontosabbá téve a helyzet-meghatározást.



A Transit-O műholdak egyik két perces üzenetének felépítése és tartalma

A 11 kísérleti műholdból 4 műhold még a kijelölt pályát sem érte el, kettő pedig részlegesen tudta csak a feladatát teljesíteni, de az 1963. december 21.-én indított Transit 5BN-2 (a második RTG energiaforrással ellátott műhold) segítségével már a rendszer üzemképes volt, noha egy műhold értelemszerűen még csak igen esetleges lefedettséget nyújthatott. Az 1964 októberében felbocsátott Transit-O 1 (O mint Operational ~ üzemszerűen működő, az 'O' pedig az amerikai katonai ábécében az 'Oscar' megfelelője, így Transit Oscar-nak is nevezték őket) műholddal a rendszer hivatalosan is üzemképesnek lett nyilvánítva. Az elvárt lefedettséghez három működképes műhold kellett, ezt végül hat műholddal oldották meg – három működő, és három közel azonos pályán mozgó készenléti műholddal.

A rendszer nagyszerűen működött, csak hát a NAVY által gyártott műholdak minősége finoman szólva is csapnivaló volt, átlagos élettartamuk hetekben volt mérhető, így az elvárt lefedettséget (vagyis hogy 4 óránként bárhol is légy, ráláthatsz egy működő NAVSTAR műholdra) nehézkesen tudták biztosítani. A megoldás az volt, hogy az APL átvette a műholdak sorozatgyártását a Transit O-12-től kezdve, majd az – O18-tól kezdve kiadta az RCA-nak, és szigorú minőségbiztosítási eljárásokat dolgoztak ki, valamint a tervezésben visszatértek a KISS (Keep It Simple, Stupid ~ Legyen A Legegyszerűbb, (te) Hülye) megoldáshoz, vagyis annyira egyszerű legyen a műhold, amennyire az csak lehetséges. Az eredmény kézzel fogható volt: a Transit-O 12-től kezdve azok élettartama hetek helyett először hónapokban, majd pedig évtizedekben volt mérhető.



A Transit rendszer működési vázlata, Földi követőállomások figyelik a műhold adását. Amikor elhalad felettük, az eredményeket a központba továbbítják, ahol azokat kielemezve megállapítják, hogy van-e eltérés a várthoz képest. Ha igen, akkor a javított adatokkal töltik fel a műholdat a következő frissitéskor

Még a Transit rendszer nem is állt rendszerben, de közben párhuzamosan az amerikai légierő és az amerikai haditengerészet is dolgozott egy másik műholdas navigációs rendszeren, amely szemben a Transittal, folyamatos és 3 dimenziós pozíciót képes megadni, tehát nem csak a szélességi és hosszúsági fokot, de a magasságot is.

Az indok egyfelől az amerikai bombázók navigációja, amelyek nagy hatótávolságú robotrepülőgépeket indíthattak, mint az AGM-28 Hound Dog, de ahhoz, hogy a robotrepülőgép pontosan célba juthasson, először a helyzetüket kellett pontosan tudni – az AGM-28 Hound Dog INS navigációval bírt, és a pontosítás a jó öreg asztronavigáció, vagyis az égitestek alapján történt. Hasonló probléma volt a szárazföldi mobil rakétaindítók elképzelésével is – ezek, mivel nem fix pozícióban vannak, így nehezebben elpusztíthatóak az ellenség rakétái és robotrepülőgépei alapján, ugyanakkor ahhoz, hogy a saját rakétáikat pontosan a célba tudják juttatni, először a saját helyzetüket kell pontosan ismerniük, és méghozzá bármikor. A végső kívánság pedig maga az volt, hogy a rendszer képes legyen akár fegyverek irányítására is.

Fantáziarajz két Transit-O műholdról orbitális pályán, az 55-60kg tömegű műholdak négy napelemtáblával rendelkeztek, a kibocsátott gravitációs stabilizáló rendszer tartotta a műholdat fixen merőlegesen a Föld felszínére

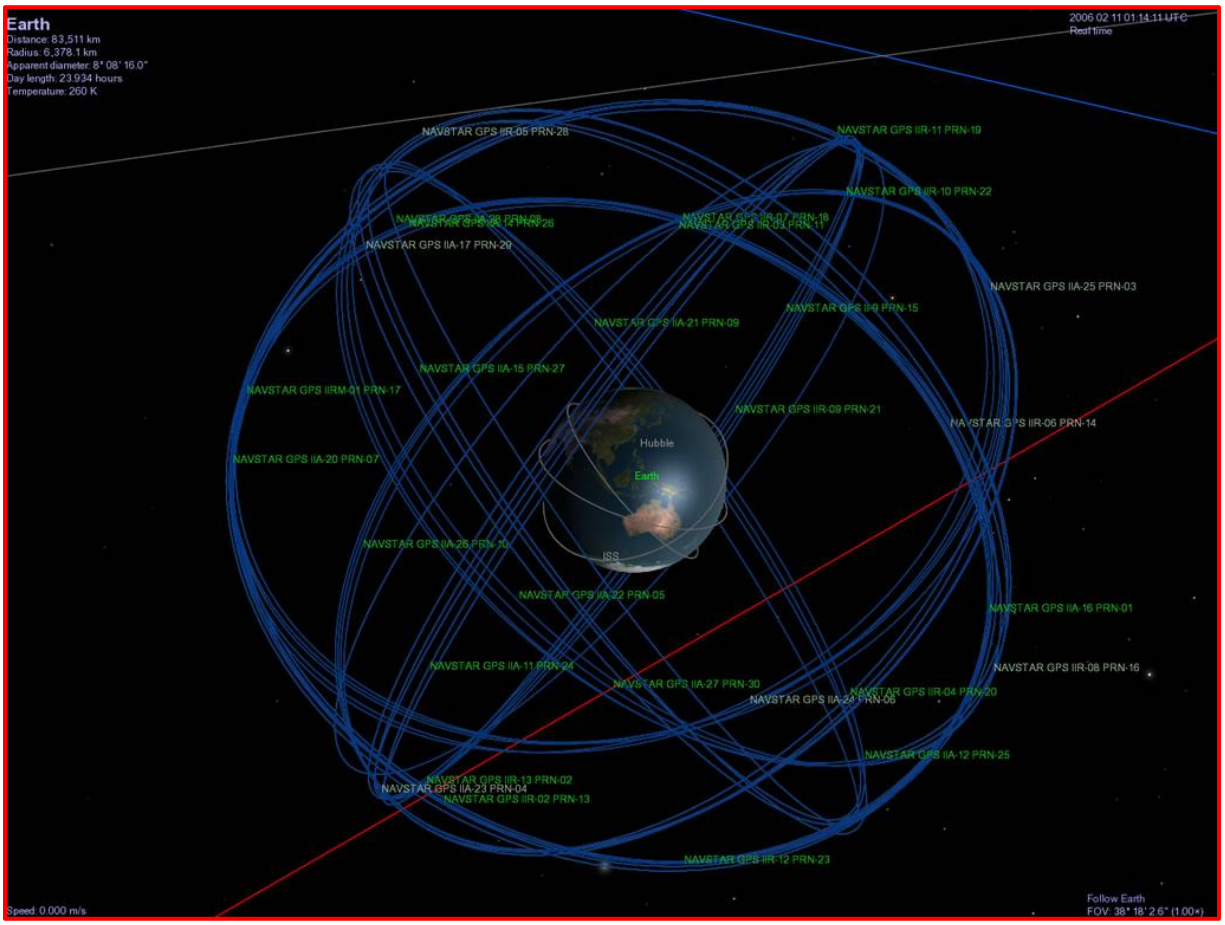
Az elképzelés alapelve a Gee illetve Loran-A/C rendszerhez hasonló, egy nagyon pontos órát kell a műholdakon elhelyezni, amelyek szinkronizálva vannak, és a műhold a saját azonosítója mellett az időt adja meg. Ha legalább három (de még jobb, ha minél több) jelet fogunk egyszerre, és ismerjük a műholdak pályáját, akkor a beérkező időadatok egymáshoz képest való elcsúszásából képesek vagyunk a helyzetünket kiszámolni. Kényes kérdés még a műholdak magassága és pályája: ha viszonylag kis magasságban keringenek a műholdak, ahogy a Transit esetén, akkor több műholdra lenne szükség, hogy az adott időben legalább 3-4 műholdra mindig ráláthassunk, ellenben a feljuttatásuk olcsóbb és a kisebb távolság miatt azonos adóteljesítmény esetén a fogott jel erősebb lenne, mintha nagyobb magasságban keringenének. A nagyobb keringési magasság előnye a kevesebb műholdra való igény. Még egy probléma volt, hogy a műholdak az egész Földön megfelelő lefedettséget biztosítsanak, ezért jobb, ha három, egymástól eltolt, viszonylag nagy dőlésszögű pályán keringek. A három pályán pedig egyenletesen van 9-9 műhold elosztva, így teljes a lefedettség.

A Timation 1 műhold egy festményen

Ez volt a haditengerészet Timation (Time Navigation, vagyis az Idő és a Navigáció szavak összevonásából létrehozott szóval jelölt) program alapelve, 27 db cirka 13 000 km-es körpályán keringő műholddal. Eközben azonban a légierőnek megvolt a maga programja, ugyan ezzel az alapelképzeléssel, de a világűrbe telepített órák helyett Földről sugárzott időadatok visszasugárzásával, ez Project 57 majd Project 671b néven futott, és 40 000 km magasan keringő 3 vagy 4 csoportban 5-5 db műholddal számolt.

A harmadik befutó az amerikai hadsereg volt, ahol három (vagy több) ismert pozíciójú helyről egy műholdra felsugárzott jellel egy negyedik, Földi pozíciót lehet meghatározni – ez volt a SECOR program. A SECOR keretében 13 műholdat bocsátottak fel 1963 és 69 között, a Timation két műholdja 1967-ben és 69-ben indult, ezek még csak technológiai kísérletként szolgáltak, kristály-oszcillátoros órákkal. Az áttörés 1973-ban következett be, amikor a USAF és a US NAVY leült, és összeolvasztotta a programjait egy közös, nagy pontosságú navigációs műholdrendszerbe, amely a Navstar, majd a Navstar-GPS (Global Positioning System) elnevezést kapta.

A Timation harmadik műholdja így 1974-ben már mint NTS-1 (Navigation Technology Satellite-1) indult a világűrbe, és vitt magával két Rubidium atomórát, majd 1977-ben az NTS-2 már két, még pontosabb cézium atomórát. Közben pedig kidolgozásra került a Navstar-GPS vázlata. A tervben 24 üzemelő és három tartalék műhold szerepelt, hat egyenlő távolságra eltolt, mintegy 20 200 km magasságú keringési pályán (mindegyik pályán 4-4 db műholddal). A teljesen kiépült rendszer segítségével általában 9, de legalább 5 műholdra mindig van rálátás, és 10 méteres pontossággal képes a GPS vevő meghatározni a helyzetet, egy milliomod másodperc alatt, bárhol a Földön vagy közvetlenül a felett. Ezek olyan adatok voltak, amelyek egészen elképesztőnek számítottak.



A GPS műholdak pályája 2006-ban, érdemes megfigyelni, hogy mennyire eltérő még azonos pályán keringő műholdak pályája is

A GPS műholdak első szériájának felbocsátása 1978-ban kezdődött meg, de a Block I.-es műholdak még csak a technikai fejlesztés céljából lettek felküldve. Noha velük már működőképes volt a rendszer (megj.: ez a széria mintegy 63°-os dőlésszögű pályára lett állítva, a későbbi műholdak pedig már 55°-osra), de csak esetleges lefedettséggel, és inkább a technológia életképességét és lehetőségeit vizsgálták ekkor még. 1985-ig 10 műholdat állítottak pályára (egy pedig nem érte el azt), majd 1989-től kezdve a Block II. széria a véglegesnek tekintett kialakításban indult a világűrbe. 1994-ben érte el a rendszer a hivatalosan üzemelő

státuszt, 24 aktív műholddal. A Navstar-GPS eredetileg katonai rendszer lett volna, de a tervezésekor már felmerült, hogy egy kevésbé pontos (párszáz méteres pontosságú, tehát a Loran-C-hez fogható), titkosítással nem rendelkező jelcsomagot elérhetővé tesznek a civil felhasználók számára. A hivatalos politikai döntés a KAL-007 esete után jött, melynél meghatározták, hogy a rendszer (korlátozott pontossággal) civil felhasználók számára is hozzáférhető lesz.

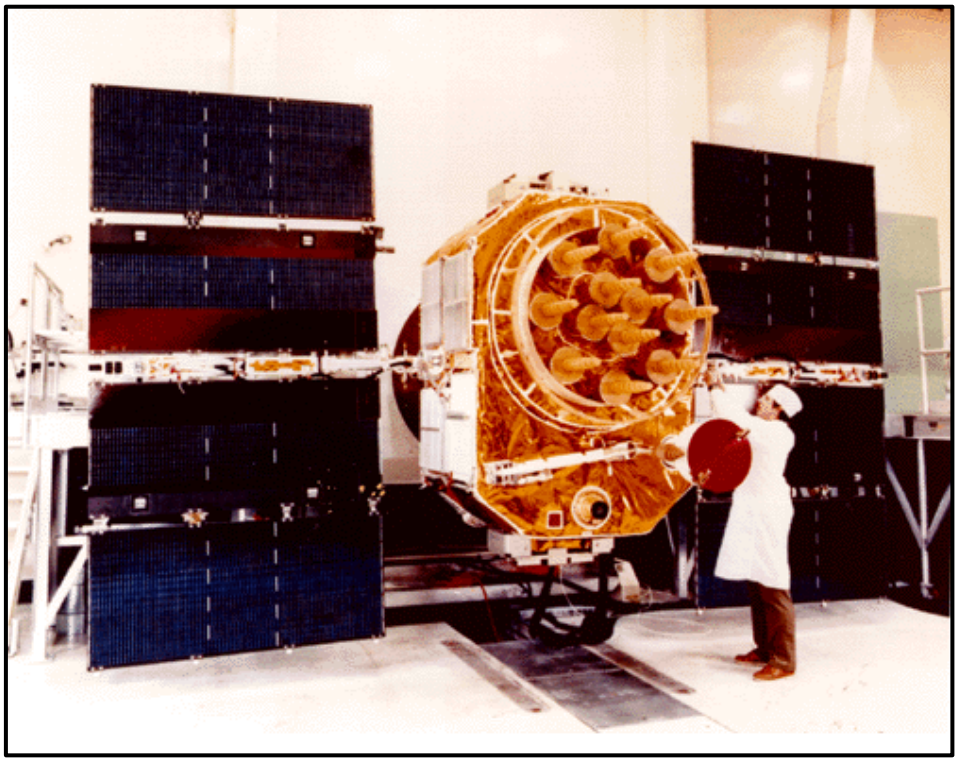
A Navstar eredeti felállásban ugyebár hat pályán, 24 aktív és három tartalék műholddal volt elképzelve, mikor ezt írom viszont 31 aktív és kilenc tartalék műhold kering éppen a fejünk felett, a megnövekedett létszám egyfelől nagyobb pontosságot, másfelől pedig nagyobb mozgásteret is ad az esetleges meghibásodások esetén. A Block II. műholdak eredetileg két frekvenciát használtak, az L1 (1575.42 Mhz) és az L2 (1227.6 Mhz), eredetileg az L1 a civil felhasználók számára hozzáférhető frekvencia. Hogy több műhold jelét vehessük azonos frekvencián, a kódosztásos többszörös hozzáférés (CDMA, Code Division Multiple Access) elvét használja fel, vagyis mindegyik adónak kell egy saját, egyéni PRN (Pseudo Random Noise ~ Véletlenszerű Pszeudozaj), amellyel az általa küldött adatot kódolja. Az egyéni PRN-ek segítségével lehetséges az adott jelet megkülönböztetni a többitől, jelenleg 32 PRN kód van kiadva a GPS rendszerben, tehát egyszerre ennyi műhold dolgozhat egyszerre. A kódokat a műholdak között lehetséges átadni, így a kivont vagy aktívból tartalékba helyezett műholdak azonosítója változhat.

Az L1 csatornán 1023 bit hosszúságú a PRN, a katonai L1 és L2 frekvencián feltehetően 10 a 14-diken hosszúságú, ami a titkosítás része. A Navstar műholdak a Block II óta a nukleáris robbanásokat is globálisan figyelik, ezek adatait az L3 frekvencián (1381.05 Mhz) sugározza.

A KAL-007 esete e szempontból érdekes mellékzönge, hiszen az Alaszkai Anchorage-ből felszálló Dél-Koreai Boeing-747-es utasszállító azért repült be szovjet légtérbe, mivel a személyzet valamiért a pusztán mágneses iránytű alapú 'HEADING' (irányszög) üzemmódban hagyta, 245 fokra beállítva az automata pilótát, a használni szándékozott 'INS' helyett. Az 'INS' rendszer az R20 légifolyosó útvonalára volt beprogramozva, amely a legészakiabb volt az öt akkori Észak-Amerikából Ázsiába tartó, 80 km széles légi folyosó közül.

Az eltérés a tervezett útvonaltól már több, mint 300 km volt, mikor először a Kamcsatka-Félsziget felett megsértette a szovjet légteret (itt négy MiG-23-ast küldtek fel, hogy elfogják a betolakodót, ám ez nem sikerült a nem megfelelően kiszámolt elfogási útvonal miatt), majd tovább haladva (immár több, mint 600 km-el eltávolodva eredeti útvonalától) ismét belépet a szovjet légtérbe a Szahalin-félsziget felett. Itt már három Szu-15TM és egy MiG-23 vadászgép várta a katonai gépnek gondolt betolakodót – miután pedig nem sikerült a 747-essel felvenni a kapcsolatot, illetve felhívni a figyelmüket magukra végül egy Szuhoj vadászgép két R-98-as rakétát indítottak rá, amely közül legalább az egyik felrobbant, és súlyosan megrongálva az utasszállítót annak végzetét okozta. Vagyis a gép végzetét nem direkt a navigációs rendszer hibája, hanem a személyzet figyelmetlensége okozta.

A KAL-007 tervezett (szaggatott piros vonal) és valós (folyamatos piros vonal) útvonala



Egy Navstar GPS Block IIA műhold előkészítése, kiálló tüske szerű antennák az L1 és L2 jelek adásáért felelnek, a jobbra alul látható, piros fedősapkával lefedett pedig a atomrobbantásokat figyelő érzékelő.

A Navstar GPS megalkotásával azonban a hadsereg kiengedte a szellemet a palackból. Eleve már tervezték egy civil csatorna meglétét, amelybe azonban meghatározott mértékű, véletlenszerű változót is tettek, így vízszintesen 100, függőlegesen 50 méteres pontosságot nyújtott volna csak, ez volt a Selective Availability (~kiválasztható hozzáférés). Ez katonai szempontból elégséges ahhoz, hogy az ellenfél precíziós fegyverei számára ne legyen megfelelő, illetve alapból elég pontos ahhoz, hogy például egy hosszújáratú civil utasszállító vagy tengerjáró hajó gyorsan, és a katonai rendszerek pontosságánál nem sokkal rosszabb rendszerhez férjen hozzá bárhol a világon, folyamatosan.

A probléma az volt ezzel, hogy igény volt pontosabb civil alkalmazásra (például kikötőkben, reptereken), ezért fix földi adótornyokat is lehetett felhúzni, amelyek a kapott Navstar L1 jeleket vizsgálva korrigálták azok tökéletlenségeit, és egy korrekciós jelet adtak le – ez volt a Differential GPS, amely a környéken lévő GPS vevők pontosságát 10 méteres szintre, vagy akár valamivel az alá is leszoríthatta. Csakhogy a Navstar adott még egy lehetőséget a hadsereg kezébe – ha kívánta, akkor egy-egy régióban konkrétan kikapcsolhatta a civil jelet, így csak a katonai GPS vevők lesznek használhatóak.

A GPS első komoly harci bevetése az 1990/91-es Öböl-háborúban történt, ahol a szövetségesek nagy hasznát vették a pontos helyzet-meghatározásnak és a pontos időmeghatározásnak. Az az apró probléma adódott viszont, hogy egyszerűen nem állt rendelkezése elég katonai GPS vevő, így a civil piacról szereztek be gyorsan egy nagyobb mennyiséget, és osztották szét a katonai vevővel nem rendelkezők között, és a hadműveletek időtartama alatt kikapcsolták az SA-t.

A civil ügynökségek, első sorban az amerikai Légügyi Hivatal (FAA) lobbizni kezdtek, hogy kapcsolják ki az SA-t, és tegyék elérhetővé a civil felhasználók számára is a teljes értékű GPS jeleket. Az FAA motivációja könnyen megérthető, hiszen egy stabil és megbízható GPS szolgáltatás mellett nincs többé szükség az országban szétszórt ezernyi VOR(/DME) antennára, így ezek üzemeltetésére és karbantartására se kell többet költeniük. A parti őrség pedig hasonlóan tehetett volna a Loran-A/-C rendszerrel. Végül 2000 május 1.-én hivatalosan is kikapcsolták az SA-t, ami után a Loran-C rendszer létjogosultsága végképpen megszűnt.

A Navstar GPS Block III megjelenésével (2017-ben indulna az első példány a világűrbe) némileg átalakulnak a csatornák is, a hagyományos L1 megmarad, azonban lesz egy L1C (Civilian) és az L2C is megjelenik. Az L1C és az L2C is első sorban nagyobb energiájú adást jelent, illetve a más GPS rendszerek (mint a Galileo) párhuzamos használatában segédkezik. Az L1C és az L2C használatával a pontosság 3 méterről 1 méteresre javul, illetve a jelek foghatósága és zavarvédettsége is egy fokkal jobb lesz. Az L4 (1381.05 Mhz) sorsa még bizonytalan, az ionoszféra hatásainak csökkentésére szeretnék felhasználni. Az L5 (1176.45 Mhz) a Safety-of-Life, vagyis a rendkívül nagy pontosságú adásokhoz használatos – az L1C, L2C és az L5 szimultán használatára képes GPS vevők pontossága 1 méter alatti lehet. Végezetül pedig a Block III műholdak már nem is rendelkeznek a Selective Availability képességével, így a folyamatos civil hozzáférés immár végképpen biztosított lett.

Persze a hadsereg számára használatos rendszer is javul, az irányantennák segítségével a GPS műholdak bizonyos régiók irányába a hagyományos jeleknél százszor erősebb jelet küldhetnek az úgynevezett M-code jelcsomaggal, ami nagyságrendekkel nehezíti meg a zavarását.

Ugyan csak röviden, de térjünk ki a GPS katonai alkalmazásának lényegi elemeire:

- Egységes idő ismerete bármelyik felhasználó által (hadműveletek, harcmozdulatok időzítése)
- Az egységek ismerik a pontos helyzetüket bármikor, bárhol, térben is.
- Az egységek akár automatikusan is továbbíthatják a pozíciójukat, ami egészen új szintre emeli a hadvezetés rálátását a harctéren történő eseményekre.
- Ezáltal a különféle tüzérségi, tengerészeti vagy légi támogató fegyverek bevetése sokkal precízebb lehet.

- Lehetővé válik olyan precíziós fegyverek bevetésére, amely a cél koordinátáit ismerve csak a GPS jelek alapján vezeti rá magát (éppen ezért a GPS jelek zavarása komoly figyelmet kap a kiemelt fontosságú objektumok védelménél).

Noha a fentiek az amerikai fejlődési útvonalat követik, a szovjetek nagyon hasonló utat jártak be. Náluk is az 1950-es évek végén formálódott meg az igény, és szintén a ballisztikus rakétákkal felszerelt tengeralattjárók minél pontosabb helyzetének megállapítása miatt. Az első műholdas navigációs rendszerük, a Ciklon azonban hosszadalmas késedelmet szenvedett, miután a műholdak pályáját nem tudták olyan pontossággal meghatározni, és amerikai konkurenseikhez képest a gravitációs anomáliák és a Föld nem tökéletes gömb alakja annyira inkorrekt eredményeket hozott az alkalmazott szoftverekkel karöltve, hogy a rendszer pontossága az 1967-ben felbocsátott első műholdakkal 3km körül mozgott, ami bő tízszeresen volt nagyobb, mint az elvárt.

Egészen 1972-ig tartott, amíg sikerült a problémákon felülkerekedni (noha egyes források szerint még ekkor is csak 1 kilométeres volt a pontossága), és ekkor már fejlesztés alatt állt a Parus / Ciklon-B műholdrendszer, amelynek első műholdja 1974-ben indult alacsony Föld körüli pályájára. A Parus rendszer nem csak navigációs, de egyfajta 'rádiós levelesláda' is volt amely adatokat és/vagy üzeneteket tudott továbbítani. A Parus rendszer pontossága már 100-300 méter körül mozgott.

A Ciklon és a Parus rendszer ugyanazon KAUR-1 „műholdalvázra" épült, így kinézetre szinte megkülönböztetni se lehetett őket.

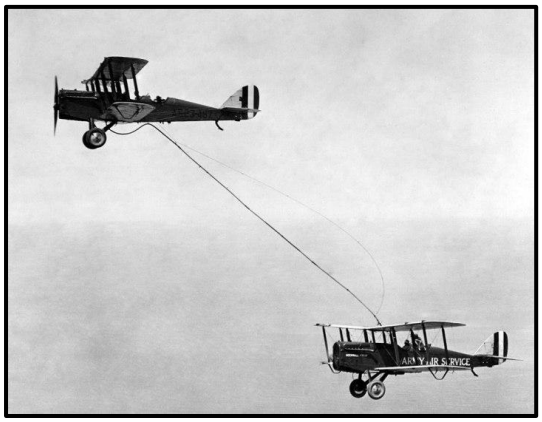
Természetesen az atomórák megjelenésével a szovjetek is nekiálltak a saját Navstar GPS rendszerüknek, amely a GLONASS névre hallgat. A cézium-atomórákra épülő műholdrendszer szinte tökéletes másolata a Navstar-nak, ugyanúgy eredetileg 24 műholdas rendszerként tervezték meg, és 10 méteres katonai alkalmazásra szánt pontosságot tudott. Ám a megfelelő sugárzásálló-komponensek hiányában az első műholdak élettartama mindössze 1 év körül mozgott, és csak nagyon nehézkesen tudták ezt 5 évre feltornázni. A rövid élettartam egyben azt is jelentette, hogy sokkal több műholdat kellett pályára állítani, illetve a rendszer teljes lefedettsége leromlott egy időben (pénzhiány miatt csúszott az új műholdak indítása). A GLONASS-M, majd –K1/-K2 szépen fokozatosan azonban orvosolta ezeket a hiányosságokat, és a GLONASS ma már a GPS-hez fogható stabilitású rendszer.

A műholdas navigáció egészen elképesztő szintig beleivódott már mai életünkbe, nem csak a mobiltelefonunk tudja ez alapján, pontosan hol vagyunk, de a pontos időt is meg tudja mondani egyben. Annyira, hogy ma már a Föld körül keringő műholdak helyzetének meghatározására is általánosan használják.

Katonai alkalmazása hihetetlen fontosságú, kezdve a repülőgépek vagy hadihajók navigációjától a precíziós fegyverek rávezetéséig. Pontosan emiatt viszont a nagyhatalmak egymással szembeni bizalmatlanságuk miatt saját rendszert akarnak. Az amerikai Navstar GPS mellett ott van az orosz GLONASS, a kínai BeiDou, illetve a civil rendszerként tervezett európai Galileo. Hogy ennyi műholdas rendszer van fent, kétségkívül előnyökkel is jár, hiszen még több műhold adatát lehet felhasználni a helyzet meghatározáshoz, így ha mind négy rendszert nézzük, a fél méter alatti pontosság is elérhető lesz a civilek számára.

A műholdas navigáció elterjedése még egy hozadékkal jár: ma már szinte mindenki csak ezekkel számol, az egyetlen, ezen kívül még valamennyire fejlettnek tekintett megoldás a tehetetlenségi elven alapuló INS navigáció, ami hasznos például ott, ahol időről-időre megszakad a műholdas jel (alagutakban közlekedő vasút, autó, víz alatt közlekedő tengeralattjárók, vésztartalék rendszer repülőgépek számára), és ezért ettől függetlenül is képesnek kell legalább ideiglenesen a pozíciójuk ismeretét biztosítani. Az olyan rendszereket, mint a VOR/DME vagy a Loran-C pedig már le is kapcsolták, avagy rövid időn belüli lekapcsolásukat tervezik.

9. Légi tankolás



A levegőben történő üzemanyag felvétel gondolata nagyon hamar, már az 1910-es években is felmerült és kísérleteket is végeztek. Több sikeres kísérleti összekapcsolást is végrehajtottak, de ezek kivitelezhetősége és megbízhatósága messze volt attól, ami elfogadható lett volna a széleskörű gyakorlati alkalmazáshoz. Baloldalon egy 1923-ban végrehajtott kísérlet látható.

A II. Világháború idején a repülőgépeket olyan nagy mennyiségben vetették be, hogy azokhoz képtelenség lett volna utántöltő gépeket biztosítani, ezért az ötlet továbbra is csak ötlet maradt, széleskörű gyakorlati alkalmazásra továbbra is várni kellett.

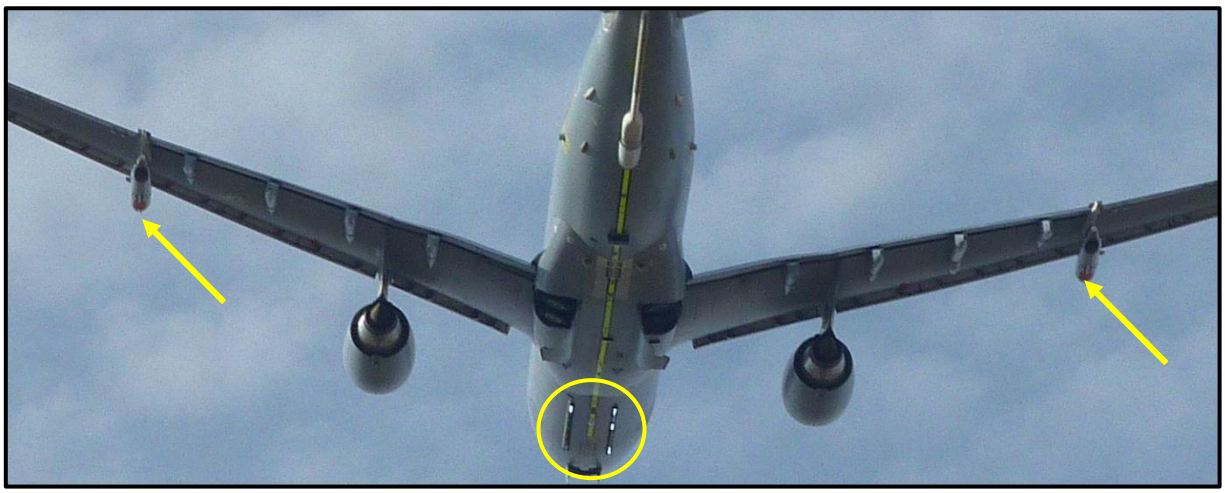
A Koreai-háború alatt kezdődött el az ötlet gyakorlatba történő átültetése, a konfliktus végére már gyakori műveletnek számított az amerikai vadászpilóták számára. Ekkor még átalakított B-29 bombázógépek voltak a tankergépek, de ezek a sugárhajtóműves gépek korában lassúnak bizonyultak és hamar leváltották őket. Ekkor még a „boom" rendszerű utántöltési módszer volt csak kidolgozva.[730]

Légi utántöltés Korea felett 1952, egy KB-29 és egy F-84E Thunderjet részvételével.

A US Navy és európai fejlesztésű vadászgépeken a hajlékony csöves/kosaras rendszert[731] alkalmazzák, az USAF a merevcsöves („boom") megoldást részesítette előnyben. Az előbbinek hátránya, hogy a pilótára hárítja a csatlakozási folyamat nehezét, a hajózónak az egész repülőgépet kormányozva kell a fix utántöltő csonkot beügyeskedni a kosárba. A merevcsöves megoldás[732] lényege, hogy az utántölteni kívánt gép csak stabil pozíciót vesz fel a tanker mögött. A megközelítést segítik a tanker alján, az orrészen található fények, főleg éjszaka. Ezen keresztül rádióforgalmazást mellőzve lehetséges a megközelítés végső fázisa. A két fénysor a következő oldali képen látható, bár sajnos nem túl jól.

A tankergépen helyet foglaló operátor az utántöltő csőre szerelt vezérsíkok mozgatásával és teleszkopikus meghosszabbításával csatlakoztatja össze a töltőcsövet az üzemanyagrendszer töltőnyílásával. Manapság a fejlett automata pilóta rendszerek megkönnyítik a levegőben történő üzemanyag felvételt. Az újabb gépeken az összekapcsolódás után az automata fedélzeti rendszer tartja helyén gépet, a pilótának szinte semmit sem kell csinálnia. A kis mozgásokat az utántöltő cső teleszkópos konstrukciója egyenlíti ki.

[730] http://www.theaviationzone.com/images/vintage/kb50/bin/kb29_01.jpg
[731] http://www.youtube.com/watch?v=ufOUxbLfyyM
[732] http://www.youtube.com/watch?v=uGC12ijtsBE



Az utántöltés segítő fénysorok, a szárny alatt a hajlékonycsöves rendszer konténerei.

A merevcsöves rendszer áttöltési sebessége nagyobb (1000 US Gallon/per = 3800 liter/perc), mint a kosaras-hajlékony csöves rendszeré, viszont egy tanker egyszerre csak egy gépet képes utántölteni. Vadászgépeknél a maximális értéknek nincs jelentősége, mert azok töltési sebessége jelenti a korlátot, nem a tankeré, de a hatalmas C-5 Galaxy vagy stratégiai bombázók tankolásakor már kihasználható.

Francia CF-135FR a csővégi kosaras toldalékkal. (Kővári László, 2012 Ostrava)

A hajlékony csöves rendszerrel, a nagyobb tankerekkel egyszerre akár két gép is utántölthető, viszont a rendszer áttöltési kapacitása kisebb. Mivel manapság még gyakran működik együtt az USAF és US Navy, vagy ezek akár más légierőkkel, ezért egy gépen szükség van mindkét rendszer együttes alkalmazására. Ez többféle módon oldható meg.

Az első az, hogy a szárnyak alá egy-egy konténert lehet felszerelni, abból lehetséges kiengedni a kosarat. A felső képen látható, hogy hajlékony csöves rendszerrel is fel van szerelve a tanker, a két nyíl mutatja a kosarak helyét visszahúzott pozícióban. Ilyenkor egy-egy gép a szárnyak mögött tankolhat, a merevcsöves rendszer megmarad középen. Persze egy ilyen manőverhez megfelelően gyakorlott pilóták szükségesek, mert a vadászgépek közel repülnek egymáshoz. A másik lehetséges megoldás, hogy merev cső végére is illeszthető kosaras toldalék szükség esetén. A harmadik módszer a legegyszerűbb, hogy a tankergép alapból képes mindkét módszerre, a boom mellett kiengedhető a töltőkosárral bír a tanker, lásd a lábjegyzetben levő linken, ahol egy KC-10 farok része látható.[733] A nagyobb tankereknél is a kosaras megoldás áttöltési kapacitásban kb. 60%-át éri el csak a merevcsöves módszerhez képest. A kisebb tankerek és buddy-buddy módszereknél a kapacitás sokszor csak az 800-1000 l/perc körül alakul.

[733] http://www.flickr.com/photos/fireattack/3988847912/sizes/z/in/photostream/

Elterjed módszer a „buddy-buddy” utántölthetőségi mód, bármelyik vadászgép képes utántölteni a másikat konténer segítségével, amennyiben ahhoz integrálták a gépekhez szükséges konténert. A US Navy Intruder tankergépei is ezzel a módszerrel operáltak, de az S-3 Viking típust is elláttak légi utántöltő feladatot kivonásuk előtt, és más típusok is rendelkeznek ezzel a lehetőséggel. A US Navy egyik legnagyobb problémája, hogy a Super Hornet flotta repült óráinak számottevő része ilyen tanker feladatok ellátására megy el, ami fajlagosam is nagyon drága pusztán a repült órákat nézve, ráadásul a gépek élettartamát is rohamtempóban eszik ahhoz képest, hogy mennyivel olcsóbban lenne képes ellátni ezt a feladatot egy szubszonikus típus.

A-6 Intruder ad át üzemanyagot Super Étendard gépeknek légiutántöltő konténer segítségével.

F-16C utántöltése merevcsöves rendszerrel. A felvétel az utántöltést végző személyzet operátor fülkéjéből készült.

A szovjet repülőgépek először alkalmazott utántöltési módszere meglehetősen furcsára sikeredett. Tu-16 bombázókból átalakított tankergépek tankoltak csapásmérő Tu-16 bombázókat. Amiatt volt furcsa, hogy a szárnyvégen volt az utántöltő csonk. Egy hosszú szondával összecsatlakozott a tanker és a bombázó, a bombázó ezt követően lassított és ezzel kihúzta a gépből a tömlőt, hogy tisztes távolból hajtsa végre az utántöltési folyamatot.[734]

[734] http://www.youtube.com/watch?v=Uh4DMmXOzmM

Tu-16 tanker változata, T-16 bombázót itat.

Ezt meglehetősen nehéz volt kivitelezni, mert az utántöltendő gép legkisebb irányváltoztatására a szárny (nagy fesztáv) nagy kitéréssel reagált és nem is a gép középvonalával kellett célozni, a pilóta viszont ott ült, emiatt előfordult, hogy több száz km alatt sem sikerült a csatlakozást végrehajtani. Mindezeken felül két ekkora gépet egymáshoz közel tartani nem gyerekjáték. A későbbi gépeken már sokkal gyakorlatiasabban oldották meg az utántöltést, gyakorlatilag átvették a nyugati hajlékony-csöves ‚megoldást.

IL-78 Midas és Tu-95/142 Bear összekapcsolódás előtt és összekapcsolódva.

Helikopterek légi utántöltése is lehetséges, de ezekhez lassabb repülőgépek szükségesek, jellemzően turbólégcsavaros meghajtású szállítógépek átalakított változatai, ezek képesek kellően lassan repülni az utántöltési művelet közben.

HC-130P Hercules utántöltéshez készülődik, egy különleges feladatkörű HH-60 (UH-60 modifikáció) helikoptert készül „itatni”.

A levegőben történő üzemanyag felvétel számtalan pozitív hatással jár akár a helikoptereket, akár a repülőgépeket nézve.

- A repülőeszközök abszolút hatótávolsága kitolható, olyan távolságok áthidalására is képesek leszállás nélkül ezzel a repülőgépek, amire máskülönben nem lennének képesek. Vadászgépekkel is lehetséges átrepülni akár óceánok felett, ha kitérő repterektől adott távolságon túl nem is távolodnak el. Csendes-óceáni repülésnél ezek sokszor nem állnak rendelkezésre, tehát lehetővé tesz olyan áttelepülést – mondjuk Hawaii és az USA kontinentális terület között – ami amúgy nem lenne lehetséges és alternatív módon lenne szükséges a gépeket szállítani.

  A levegőben történtő üzemanyag felvétel a bevetések maximális távolságának kitolására is alkalmas, olyan távolságban lehet operálni a repülőgépekkel, amire utántöltés nélkül egész egyszerűen képtelenek. Lényegében egy kis harcászati vadászgép is képes olyan távolságra elrepülni utántöltéssel, mint egy sokkal nagyobb úgy, hogy emiatt nem szükséges hatalmas mennyiségű üzemanyagot magával vinni és olyan nagyra tervezni, ami csökkentené annak egyéb harcászati képességeit, pl. manőverező képességét.

- A potenciális ellenséges fenyegetésektől távolabb levő támaszpontokról is végre lehet hajtani bevetéseket úgy, hogy nem kell számolni adott kategóriájú vadászgépek vagy vadászbombázók fenyegetésével. Például Angliába települt A-10 gépek támaszpontjait a VSz harcászati gépek közül csak a Szu-24 érhette el, ellenben légi utántöltéssel az amerikai gépek minden további nélkül képesek lettek volna elérni az NSZK-NDK határát.

- A rendelkezésre álló repülőgépek számát virtuálisan megnöveli azzal, hogy az őrjárat típusú bevetések esetén az őrjárati terület közbelében hosszabb időt (station time/loiter time) tölthet el a repülőgép. Tehát nem szükséges hazatérnie – sokszor meglepően rövid őrjáratozási idő után – hanem gyors tankolást beiktatva, akár több órát is őrjáratozhat egy vadászgép is.[735]

- Az őrjáratozás távolsága, az őrjárati terület távolsága a támaszponttól messze nagyobb lehet, mint légi utántöltés nélkül. Egy utántöltés nélkül 1,5 órás repülési idővel bíró gép esetén 800 km/h utazósebességgel számolva és fél óra őrjáratozással és biztonsági tartalékkal légi harchoz és egyéb műveletekhez legfeljebb 300 km-es távolságú őrjáratozási távolság lehetséges néhány perces harctevékenységgel. Ezzel szemben légi utántöltéssel akár 1-1,5 órás távolságban is lehetséges több órát őrjáratozni.

  Ezzel a módszerrel biztosítja és biztosította a repülőgép-hordozó csoportok védelmét US Navy. A légi utántöltés lehetővé teszi azt, hogy akár 250-400 km-re őrjáratozzanak a hordozótól a vadászgépek és nagy magasságban az F-14 + AIM-54 kombinációval (továbbá AWACS támogatással) ez azt jelentette, hogy az ellenség számára 600 km indítási távolságú hatalmas több tonnás haditengerészeti támadó rakéták indítása lett volna teljesen biztonságos művelet.

[735] *Extrém példa, 13,5 órás bevetés F-16-tal.* http://www.f-16.net/f-16-news-article4413.html

10. Vadászgépek generációs besorolása, költségeik, használatuk

10.1. Generáció besorolás

Különféle marketing anyagokban, szaksajtóban vagy akár laikus írásokban divatos és bevettnek számító gyakorlat hivatkozni a repülőgépek adott generációba tartozására. A probléma a generációs besorolással, hogy az a technikai fejlődés jellege miatt részben nehézkesség vagy lehetetlenné vált, illetve egyes cégek elképesztően vastag arcbőrt igénylő kijelentései miatt a ’90-es években a káosz még tovább nőtt. Nevezzük nevén a gyereket, a SAAB cég állítása, miszerint a Gripen volt a világ első 4. generációs vadászgépe minden szempontból, pontatlan és nevetséges állítás is volt.

Bár nincs hivatalosan elfogadott szempontrendszer a generációs besorolásra, ettől függetlenül mára kialakult valamiféle egységes szemlélet, ami műszaki és evolúciós szempontból kiállja a kritikus megközelítést is. A lent található generációs besorolás ennek rövid összefoglalása, illetve annak kiegészítése (részben a szerző kommentjeivel és megközelítésével).

1. *generáció*

Tagjai a legelső sugárhajtású vadászgépek, a II. világháború végén megjelenő – de adott esetben már frontszolgálatilag el nem jutó – vadászgépek. Ilyen volt például a német Me-262, az angol Gloster Meteor vagy az amerikai P-80 Shooting Star.

A II. Világháborúban, vagy rögtön a II. Világháború után elkészült gépeket (a szerző véleménye szerint) 0. generációsnak is lehet hívni, aminek több oka is van. Az első alapvetően műszaki és evolúciós megközelítésből fakad. Aerodinamikai megoldás terén egyes gépek semmi újat nem hoztak, csak az erőforrás lett eltérő légcsavaros benzinmotoros meghajtású repülőgépekhez képest. Ilyen pl. a P-80 vagy az a II. világháború utáni F-84 Thunderjet, az orosz Jak-15 és Gloster Meteor is, ezek mind egyenesszárnyú konstrukciók voltak.

Balra fent Me-262, jobbra fent P-80. Szemmel látható az eltérő aerodinamikai kialakítás.

Ezzel szemben a II. világháborús német Me-262 úttörő nyilazott szárnyú aerodinamikai kialakítása ellenére a megbízhatósága és élettartama miatt részben 0. generációsnak tekinthető. Ennek oka az, hogy a hadigazdálkodás és nyersanyaghiánynak köszönhetően hajtóművének tervezett élettartama mindössze 25 óra volt. (A Me-262 abban is előremutató volt, hogy axiál elrendezésű gázturbinát használt, míg más gépek radiális gázturbinát használtak, amik később a vadászgépeknél zsákutcának bizonyultak, mert azokkal a hangsebesség átlépése lehetetlen.) Ez az adott körülmények között megfelelt, de a Me-262-őt ez, és számtalan más konstrukciós hibája miatt nem volt egy lapon említhető a bár még szintén szubszonikus, de egészen más megbízhatóságot, teljesítményt és élettartamot jelentő II. világháború utáni, a korai ’50-es években szolgáló típusokkal együtt, mint például az amerikai F-86 Sabre vagy a szovjet MiG-15 vagy az angol Hunter.

Balra fent MiG-15, jobbra fent F-86 Sabre. Látható a gépek nagyon hasonló aerodinamikai kialakítása.

A felsorolt típusok közös jellemzője, hogy a fedélzeti elektronika, műszerezés és fegyverzet lényegében alig vagy egyáltalán nem tért egy a II. világháborúra jellemző színvonaltól, radar csak elvétve, legfeljebb céltávolságmérő volt a jellemző fejlődés a gépágyú eredményesebb használatához primitív ballisztikai mechanikus vagy elektromechanikus számítógéppel (inkább csak számológépnek voltak ezek nevezhetőek).

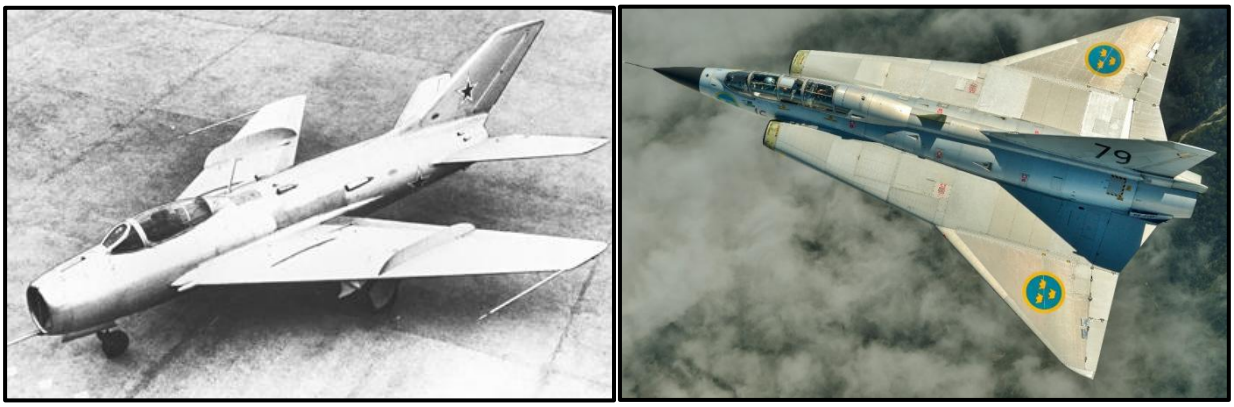
2. *generáció*

A második generációs vadászgépek markáns megkülönböztető jegye a korábbi generációval szemben a azok csúcssebessége, megjelentek az első szuperszonikus, vagyis hangsebességnél nagyobb sebességet elérő vadászgépek. Az 1. generációhoz hasonlóan itt is létezik valamennyire a kétszintűség. A korai 2. generációs vadászgépek bár hangsebesség feletti típusok voltak, de teljesítményben azért messze estek a 2. generáció későbbi képviselőitől, amik a hangsebesség kétszeresénél nagyobb csúcssebességet is képesek voltak elérni. Azt szükséges a repülőgépek csúcssebességénél megjegyezni, hogy harcászatilag legtöbbször elméleti képességet jelentett, mert a gépek fegyverzete és harcászati hatósugara is korlátozta ennek elérhetőségét vagy a hatalmas sebesség hasznosságát.

Nem mindennapi kötelék. Balra fent F-84F Thunderstreak (a Thunderjet nyilazott szárnyú változta), jobbra fent F-101 Vodoo, balra lent F-102 Delta Dagger, jobbra lent F-100 Super Sabre. Az F-102 kialakításán már felsejlik a szuperszonikus korszak „sláger terméke" a deltaszárny.

A 2. generációs vadászgépek első hullámát szovjet oldalon MiG-19, amerikai oldalon pl. az F-100 Super Sabre vagy az F-101 Vodoo képviselték. Mind a szovjet MiG-19, mind a fenti két amerikai típus kialakításán látszik, hogy átmenti típusok. A hangsebesség átlépéséhez a hajtóműveik már utánégetős kialakítású axiális gázturbinák voltak (a radiális turbinákkal szuperszonikus repülés kvázi lehetetlen), de az aerodinamikai megoldásaik lényegében a nagyobb sebességhez szükséges magasabb szárnynyilazásban és egyre vékonyabb szárnyprofilok megalkotásában merültek ki. Ezzel átléphető volt a hangsebesség, de ezen gépek csúcssebessége ritkán haladta meg az M1,3-M1,5 sebességtartományt és mindez csak azon az áron volt

elérhető, hogy a leszállási és felszállási úthossz illetve az alacsony sebességtartományban a gépek kormányhatósága sokszor botrányosan rossz volt.[736]



MiG-19. Látható, hogy az aerodinamikai kialakítás még mindig az MiG-15-ére hajaz, csak a szuperszonikus követelményeknek köszönhetően módosították, illetve a hajtómű már utánégetős üzemmódra is képes volt, az ezzel nyert extra tolóerővel volt átléphető a hangsebesség vízszintes repülésben. Jobbra fent a SAAB 35 Draken, egy teljesen új korszak tervezésének gyermeke.

A kétszeres hangsebességű vadászgépek az '50-es évek legvégén álltak hadrendbe, ahol nem csak a gépek csúcssebessége, de azok fegyverzetében és harcászati elektronikájában is komolyabb változtatások történtek. A fegyverzetbeli változás valójában már a szubszonikus gépeken is megtörtént, a világ első légiharc rakétájával elért légi győzelmet F-86 vadászgéppel érték el, de a légiharc-rakéták lényegében az '50-es évek végétől kezdve számítanak alapkövetelmények az első vonalbeli vadászgépeknél.

Ezen is lemérhető, hogy mennyire más szinten kezelték Vietnám támogatását az szovjetek vadászgépek terén. Amikor az SzA-75 Dvina légvédelmi rakéta-rendszert hajlandók voltak nagy mennyiségben is szállítani – Vietnám kb. annyi Dvina osztályt kapott, mint a teljes VSz tagállamok együttesen – ezzel szemben a '60-as évek végén is légiharc-rakéta nélküli MiG-17 vadászgépek alkották az északi vadászerők nagyobb részét a légiharc rakétával felszerelt MiG-21-gyel szemben.

A kétszeres hangsebességet elérő gépek korszakára igen jellemző volt a deltaszárny. Bár nem kizárólagosan csak ilyen szárnykialakítással rendelkező vadászgépek készültek, arányuk a korszakban felülmúlt minden más kialítást. Ilyen volt például a hidegháború ikonikus szovjet vadászgépe a MiG-21, az amerikai F-106 Delta Dart, de a helyi háborúkban rendkívül sikeres francia Mirage III is. Ennek ellenére a korszakban léteztek ettől a vonaltól elütő, teljesen más és rendkívül előremutató konstrukciók, mint például az F-5A Freedom Fighter,[737] de a deltaszárnyú konstrukciók között is volt igen egyedi, például a kettős nyilazású deltaszárnnyal rendelkező svéd SAAB 35 Draken.

A fent említett típusoknál lényegében szinte mindent a maximális sebesség elérésének rendeltek alá, ennek és a korszak színvonalának megfelelően légiharc fegyverzetük többnyire igen szerény volt, legfeljebb 4 db légiharc-rakéta, de inkább 2 db volt a jellemző, abból is csak a kis hatótávolságú infravörös rakéták. Tehát az a furcsa helyzet állt elő, hogy bár a gépek sebessége hatalmas volt, az uralkodó és elsődleges fegyverzet – főleg a háborús tapasztalatok függvényében – a gépágyúk maradtak még. Bár légiharc-rakéták már az szubszonikus F-86-os is megtalálhatóak voltak az '50-es évek végén az első MiG-21 változat, a MiG-21F irányított légiharc-rakéta nélkül állt hadrendbe sőt – és ez nem számított kivételesnek – a gép harcászati avionikája alig tért el a II. világháborús színvonaltól. Tehát a gépek repülési teljesítménye a

[736] https://www.youtube.com/watch?v=Q2qgKwndFW0 *Az F-100 kis sebességű kormányozhatósága és stabilitása miatt a videón katasztrófával végződő jelentet – már aki túlélte – hívták „Sabra Dance"-nek, vagyis Kardtáncnak.*

[737] http://www.aranysas.hu/cikk_harcias_kolasuveg.php

korszakban egészen elképesztően fejlődött, de annak kihasználhatósága erősen kérdéses volt, amit a vietnámi konfliktus be is bizonyított.

Balra fent a francia Mirage III, jobbra fent MiG-21F-13.

3. *generáció*

A generáció első képviselőjének legtöbben az F-4 Phantom II vadászgépet tekintik. Ennek több oka is volt. Ugyanúgy képes volt elérni a kétszeres hangsebességet, mint korábbi társai, azonban az F-4 terhelhetősége és vadászgépként is harcászati paraméterei (legalábbis papíron) messze meghaladták a korábbi generációét. Az F-4-en jelent meg a BVR légiharc képesség az AIM-7 Sparrow rakétával, amivel (papíron) a szemből közeledő célok esetén képes volt azokat látótávolságon túl megsemmisíteni, amire addig a pusztán infravörös rakétákkal akkoriban képtelenek voltak a vadászgépek.

További erénye az F-4-nek, hogy vadászgép konfigurációban (fegyverzettel) a repülési teljesítménye csúcskategóriás volt, azonban hatalmas mérete (az F-104 vagy MiG-21-gyel összevetve) hatalmas mennyiségű csapásmérő fegyverzet hordozását tette lehetővé, ami összemérhető volt a korszak dedikált haditengerészeti szubszonikus csapásmérőkével, az A-6 Intruderrel. Az A-6 jellemzően 2-2 db szárny alatti függesztési ponton (néha a törzs alatt is) hordozhatott 4 db 2000 fontos, vagy 4x6 db 500 fontos bombát. Az F-4 Phantom II képes volt értelmezhető harcászati konfigurációban hasonló mennyiségű bombafegyverzet hordozására úgy, hogy ráadásul az a légiharc fegyverzetet soha nem csorbította. Annak ellenére, hogy repülőgép-hordozóról üzemelő típusnak tervezték teljesítménye megjelenésekor nagyobb volt, mint a szárazföldi telepítésű vadászgépeké.

Balra fent légiharc konfigurációban az F-4, jobbra látható, hogy három függesztési ponton is hordozhat bombafegyverzetet úgy, hogy a légiharc fegyverzet csorbítatlan marad.

A fentiek következménye az, hogy korának csúcsvadásza volt az F-4 úgy, hogy szívbaj nélkül bevetető volt legalább „jóidős” csapásmérőként, mai szemmel nézve az első többfeladatú (multirole) vadászgépnek tekinthető. Bár bombafegyverzet vagy nemirányított levegő-föld rakéta hordozására a korszak minden

vadászgépe képes volt, az F-4 volt az első, ami ezt a dedikált vadászbombázók vagy akár közepes bombázókhoz közeli mennyiségben volt képes rá.

MiG-23M, szárnya alatt R-23R légiharc rakétával.

Francia Mirge F.1.

Az F-4-hez képes sokkal „nyápicabb” teljesítményű repülőgépeket is ide sorolnak, mint pl. a MIG-21 korszerűbb változatait (talán néha ok nélkül, hiszen BVR képessége azoknak sosem volt még a félaktív radaros R-3R rakétával sem), vagy a MiG-23-at. Európában a 3. generációt a svéd Viggen vagy pl. a francia Mirage F.1 képviselte. Ezek közös jellemzője, hogy mind bírt BVR képességgel félaktív radarvezérlésű légiharc rakétával, lényegében ez és az M2,0 csúzsebesség besorolás és fejlettebb harcászati avionikai alapján esnek bele a 3. generációba az utóbbi gépek.

A változtatható szárnyállású (variaszárnyú) gépeket is egyesek, mint generációs ugrást jelentő alkalmazásnak tekintik, bár ennek hosszú távú hozadéka erősen kétarcú volt és közel sem minden vadászgép rendelkezett ezzel a kialakítással, ami a vadászgépeknél végül zsákutcának minősült. Variaszárnyas típus például a MiG-23 Flogger.

Az első impulzus-doppler radarok megjelenése a gépeken erre a korszakra tehető, bár ezek képességei a mai radarokhoz képest rendkívül korlátozottnak tekinthető, de földi rávezetés vagy AWACS támogatás esetén már legalább elvi szinten lehetséges volt a BVR célleküzdés nem csak honi légvédelmi környezetben, de ennek sikeres végrehajtása a helyi háborúk tapasztalatai alapján rendkívül alacsony volt.

Generációs ugrásnak tekinthető az elektroncsöves technológiáról való átállás a félvezető technológiára az elektronikában, de ez sem volt általános. A MiG-25 Foxbat képes volt háromszoros hangsebesség elérésére is (bár ez tiltott üzemi tartománya volt, de képes volt rá, légiharc fegyverzettel M2,83 volt a plafon), mindezt ráadásul úgy, hogy nem variaszárnyas kialakítású volt. Ennek ellenére pusztán csúcssebessége miatt a MiG-25 nem volt más kategória a 3. generációhoz képest sőt, bizonyos szempontból azok egyes típusaitól is elmaradt.

Viktor Belenko 1976-ban Japánba történő dezertálását követően az amerikai szakértőknek lehetősége volt megvizsgálni a MiG-25P elfogóvadászgépet és megdöbbentve tapasztalták, hogy a félvezető alapú technológiához képest a gépet alapvetően még az elektroncsövet megoldások jellemezték, amikor ők már döntően félvezető technológiára számítottak.[738] A gép maximális sebessége hatalmas volt, azonban a harcászati vadászgépek jellemző magasságban a teljesítménye elmaradt a hagyományos vadászgépekhez képest, lévén teljesen más üzemi magasságra és sebessége optimalizálták a MiG-25-öt.

Látható, hogy már ebben a korszakban is kezd megbilleni a generációs besorolás mikéntje, de ennek koporsójába a szeget lényegében a hidegháború utáni események verték be.

4. *generáció*

Az igazi első képviselőinek az F-15 Eagle és F-16 Fighting Falcon vadászgépeket lehet tekinteni, de egyesek ide sorolják az F-14 Tomcat típust is annak ellenére, hogy bizonyos szempontból átmeneti és kényszerből összerakott vadászgép az F-111B hajófedélzetre szánt gép bukása után, aminek elsődleges feladat a flotta védelme lett volna haditengerészeti bombázók és azokról indított rakéták és robotrepülőgépek ellen.

Az F-14 Tomcat első „A” variánsa sok helyen még analóg megoldásokat alkalmazott az harcászati elektronika terén, fly-by wire vezérlést hírből sem ismerte. A TF-30 családhoz tartozó hajtóműve mind teljesítmény, mind a nagy állásszögű manőverek közbeni viselkedése miatt borzalmasan degradálta az F-14A változat repülési teljesítményét klasszikus vadászgép szerepben. A kabinból való kilátás sem volt összemérhető nemhogy az F-16-tal, de még az F-15-tel sem (az utóbbin is volt kabin keret, az F-16-nak merevítés nélküli buborék kabintetője van).

A variaszárnyas kialakításával az F-14 az „újhullámot” képviselte, de mint később kiderült ez zsákutca vadászgépeken az üzemeltetési, illetve élettartam problémák miatt, de az F-14-nél már felsejlett a jövő, ugyanis a „lifting body” koncepciót alkalmazták, ahol a törzs is számottevő felhajtóerőt generál a szárnyakhoz mérve, illetve a LERX is ennél a gépnél jelent meg először azon vadászgépeknél, amit hadrendbe állított az USA. (Az F-5-öt nem használták, csak agresszor szerepkörben.)

Az F-14-et inkább csak páratlan BVR képessége és egyéb, a 3. generációt meghaladó képességei miatt részben „tiszteletből” kezelik 4. generációsnak, de az F-14A változat inkább több kritériumon hasal el kritikus szemmel való értékeléskor, mint menne át azokon.

Az F-14B számottevően erősebb F110 típusú hajtóművével már sokkal közelebb esett az F-15/F-16 páros repülési teljesítményéhez, illetve összemérhető volt az F-18-cal, a „B” változatra már inkább mondható, hogy inkább több téren teljesíti a 4. generációra jellemző műszaki megoldásokat és képességeket, pl. az AWG-9 és AIM-54 páros is digitális technológiára váltott át. Az F-14D valóban többfeladatú Tomcat változat volt, és ki is használták ezt képességét.

Visszatérve a két légierős vadászgépre, az F-15 és F-16-ra. Mindkét vadászgép többfeladatos volt, annak ellenére, hogy mindkettőt alapvetően elődlegesen vadászgépnek tervezték, a csapásmérő képesség

[738] *Az eset után MiG-25 harcászati elektronikáját áttervezték és lecserélték, új típusváltozatot hoztak létre a MiG-25PDSz-t.*

megteremtése csak másodlagos volt.[739]A kabinból való kilátás is más dimenziót jelentett mindkét gép esetén, ezt kiemelten fontos szempontként kezelték.

Az F-16-nak eleinte semmilyen BVR képessége sem volt, ez talán sérti egyesek szemében 4. generációs besorolást, de ennek hiánya ellenére több olyan paraméterrel bírt, amik generációs ugrást jelentettek az elődökkel összevetve. A manőverező légi harcban mutatott teljesítménye, radarjának és bombacélzó rendszereinek minősége, passzív önvédelmi rendszere összességében messze a 3. generációs vadászgépek fölé helyzete az F-16A Block 1-et még akkor is, hogy pl. a MiG-23MF-fel összevetve nem volt BVR légiharc képessége.

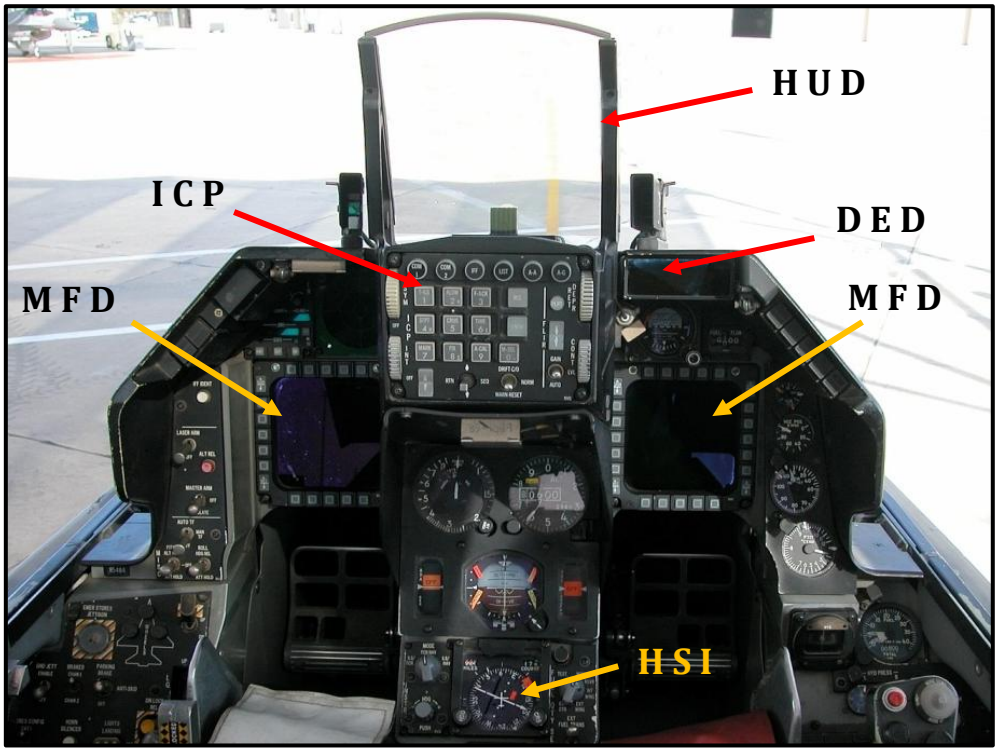
Mindkét típus kabinjának ergonómiai kialakítása úttörő volt a maga korában, azonban az első változatok kinézete még nem érte el a ma megszokott 4. generációs szintet, a kabinban és viszonylag sok elektromechanikus műszer és kapcsoló volt, de azok tagolása és elrendezése legalább már sokkal logikusabb volt az előző generációhoz képest.

F-15A kabinja. Bár a radar és a besugárzásjelzők nagyméretűek és jól látható helyen vannak, a kabint azért uralják az elektromechanikus kapcsolók és kijelzők.

[739] *Az F-15 csapásmérő-képességgel bír, amit azonban szinte soha nem használtak, a „not a pound to air to ground" szlogen, csak egy mítosz. Lásd a linkelt írásban. https://htka.hu/2012/12/04/mcdonnell-douglas-f-15-eagle/*
A sors fintora, hogy az F-16-ot főleg csapásmérő szerepben használták, és így is rendkívül sikeres típus lett, de a gép főtervezője erre azt nyilatkozta utólag, hogy ha tudta volna, hogy erre fogják használni, akkor máshogy tervezte volna meg.

F-16A Block 1 kabinja. A bal oldalt levő kijelző többfunkciós, de csak karakterek megjelenítésére alkalmas, nem a ma megszokott MFD.[740]

Többfunkciós kijelzők (MFD) nem voltak kezdetben sem az F-15 sem az F-16 pilótafülkéjében, az F-15C változaton ilyen kijelző „csak" a '80-as évek elején jelent meg. Az F-16 vadászgépeknél a Block 25 szériától kezdve változott meg radikálisan a kabin belső elrendezése és színvonala a '80-as évek közepétől és végétől. A mai modern vadászgépek kabinjainak belső elrendezése gyakorlatilag az F-16 Block 25 optimalizált, továbbgondolt leszármazottjainak tekinthetőek.[741] .



F-16C Block 50/52 pilótafülkéje.
(Apróbb eltérések vannak alkalmazó országonként a Block 50/52 és MLU változatok között)

[740] https://youtu.be/6SW7bhpmJuQ?t=2m12s
[741] https://www.youtube.com/watch?v=Aq5HXTGUHGI

F-16C Block 50/52 pilótafülkéje az előző oldalon látható. Középen a jellegzetes integrált kezelőpanel (ICP, integrated control panel), aminek megjelenítő felülete a (DED, data entry display) a két többfunkciós kijelző (MFD, multi functional display) a két oldalán, fő navigációs műszer (HSI, horizontal situational indicator) és felette a műhorizont. A ritkábban használt műszerek és kezelőszervek (panelek) körkörösen vannak elhelyezve a pilótafülke két oldalán. A HUD Head-up Display, [742] mérete is nagyobb lett, több adatot jelenített meg az elődökhöz képest. Az F-16 Block 40/42 változatokon az infravörös kamerák képét is fel lehetet vetíteni rá, emiatt tér el markánsan többi Sólyom változaton alkalmazottól.

A HOTAS[743] rendszer a 4. generáció gépein már alap-követelménynek számít. Ennek lényege az, hogy a leggyakrabban használt funkciók elérhetőek úgy, hogy sem a gázkarról, sem a botkormányról a pilótának nem kell levennie a kezét, manőverező légiharc közben ez igen fontos szempont.

Az 4. generációs besorolásnál alapvető követelmény az, hogy földháttérben repülő célok leküzdésének hatékonysága drámain haladja meg az előző generáció képviselőit. A nyugati gépek földháttérben repülő célok ellen nagyságrendileg hatékonyabban léphetek fel, mint a 2. és 3. generáció tagjai Vietnám ege felett, ez részben köszönhető a fedélzeti radaroknak, ami maguk a vadászgépek önálló célkeresési és célkövetési képességeit javította, illetve a gépek számára rendelkezésre álló új légiharc-rakétákat is (pl. AIM-9L a ’70-es évek közepétől, és AIM-9M a ’80-as évek elejétől.). A vietnámi konfliktus idején a földháttérben repülő célpontok szinte tökéletes biztonságban volt mind az infravörös mind félaktív rakétákkal szemben is, ami a USAF és US Navy csúcsvadászaival szemben a ’80-es évekre alapvetően változott meg.

A 4. generációs szovjet-orosz tagjai némi késéssel érkeztek, ami azt jelezte, hogy a Szovjetunió a technikai fejlesztés és anyagi lehetőségek terén egyre inkább leszakadt az USA iparával szemben. A Szu-27Sz és MiG-29 9.12 a ’80-as években orosz szemmel jelentettek generációs ugrást minden területen azonban a képességeik egyes tényezőket nézve még az 4. generáció amerikai belépő típusainak képességeit sem érték el (F-15A, F-16 Block 1), mikor azok után 8-10 évvel később álltak hadrendbe számottevő mennyiségben. Ekkor már az F-15A/C MSIP korszerűsítés program és F-16 Block 25 gyártása folyt.

Generációs előrelépést aerodinamikai kialakítás és abszolút repülési teljesítmény, hajtómű élettartam és megbízhatóság tekintetében értek el, de legfőképp az elsőben. A hajtóművek élettartama csak szovjet szemmel volt elfogadható, amerikai szemmel alacsonynak volt mondható, mind az RD-33, mind az AL-31-nek. A kortárs P&W és GE gyártmányú hajóművek harmadát-negyedét hozták, kb. 800 órát. Manőverező légi harcban a két új szovjet vadász teljesítmény-paraméterei azonban egyenrangúak az amerikai gépekével, ez vitathatatlan érdemük volt, ráadásul nem instabil, hanem semleges-stabil kialakítással érték el a szovjet tervezőmérnökök. Az elektronika és a fegyverzet azonban már más lapra tartozott.[744]

A kabin ergonómia és műszerezettség tekintetében kb. az F-15A színvonalát jelentették az új szovjet vadászok, azonban a két gép radarjának képességi nem voltak egy lapon említhetőek mondjuk az AN/APG-63-mal, de még a kisebb antennával rendelkező AN/APG-66-tal sem. A 4. generációnál alapvető volt a földháttérben való célleküzdés képessége mind közeli lég iharc, mind BVR légi harc esetén.

[742] http://www.youtube.com/watch?v=O6aAKwua7o8

[743] Hands On Throttle-And-Stick, http://falcon4.wikidot.com/avionics:hotas

[744] *Németország egyesítése után lehetőség volt az NDK fegyverzet tesztelésére. A Luftwaffe az MiG-29+R-27R párost nem tartották sokra, valahol az AIM-7F és AIM-7E-2 közé lőtték be képességeit. Ellenben a MiG-29+R-73 duó sisakcélzóval megspékelve, az elég mély benyomást tett rájuk. Ezeknek a tapasztalatoknak köszönhető, hogy a németek kihátráltak az AIM-132 ASRAAM programból, és a tolóerő-vektorált kormányzású IRIS-T programot elindították.*

A 4. generációs gépeken megjelennek a fejlettebb navigációs műszerek, a tehetetlenségi navigációs rendszereknél a mechanikus giroszkópokat leváltja a lézergyűrűs giroszkóp, pontosságuk nagyságrendileg javul az elődökhöz képest. A kiépülő GPS rendszer támogatásával a navigáció egészen új dimenzióba lép az amerikai vadászgépeken. Még ha teljes lefedettség nem is állt rendelkezésre mindig, a műholdak segítségével az navigációs rendszer sodródása frissíthető volt, nem csak jellemző tereppontok és térképező radar használatával lehetett korrigálni a tehetetlenségi navigációs rendszer hibáját.

A ’90-es évek közepétől kezdődik az igazi nagy változás és kavarodás a generációs besorolásnál. Ekkor jelenik meg nagyjából a 4+ és úgy kb. 10 évvel később a 4++ jelölés.

A 4+ generációs vadászgépeknél ez egyrészt a kabin modernizációját illetve újfajta kialakítását takarta az új típusoknál (Rafale, Gripen, Super Hornet). A digitális forradalomnak köszönhető fejlesztések is ekkor érik el a szolgálatban levő gépeket, korszerűbb és nagyobb teljesítményű fedélzeti számítógépekkel a meglevő hardverek képességei is jobban kihasználhatóak. (Pl. fedélzeti radaroknál.) Ekkor állt hadrendbe az új BVR közepes hatótávolságú légiharc-rakéta az AIM-120 AMRAAM. Az F-16C gépek a Block 25 szériától felfelé képesek (Block 15 OCU is) lettek az AIM-120 AMRAAM használatára, ezzel a típus harcértéke drámaian nőtt, képes lett BVR célleküzdésre, de nem is akárhogy, egyből csúcskategóriás rakétafegyverzetet kaptak.

A 4++ generáció elsősorban, hogy azok gépekre használatos, ahol eredetileg az 5. generációs vadászgépekre szánt fejlesztések is applikálták a 4. generációs vadászgépek aerodinamikai kialakítását megtartva. Ilyen például az F-16 Block 60 változata, ami AESA elven működő radarral, körkörösen figyelő infravörös MAWS érzékelőkkel, rendelkezik, de ide sorolható a F-18E/F Super Hornet, a francia Rafale legkorszerűbb változata, vagy az európai Eurofighter Typhoon Tranche 3 változata, ami immáron valódi többfeladatú vadászgép. (Bár még mindig mechanikus legyezésű radarral bír.) Nem csak az F-16, és a Super Hornet, de az F-15E család leszármazottai is a 4++ generáció tagjait erősítik, például a dél-koreai F-15K, a szingapúri F-15SG vagy a szaúdi F-15SA[745] változatok, és az F-15C/D erőteljes korszerűsítésével létrehozott F-15C/D Golden Eagle.[746]

Az újabb tervezésű vadászgépeken (Rafale, Gripen NG, Super Hornet) radarkeresztmetszet csökkentésére is tettek lépéseket azon ismeretek birtokában, amit az korábbi alacsony észlelhetőségű gépek tervezésénél és építésénél szereztek.

A Magyarország által lízingelt JAS-39C/D EBS HU Gripen változatok 4+ és/vagy 4++ generációsnak tekinthetőek egyes képességeiket vizsgálva.

A legújabb fejlesztésű orosz vadászgépek – ez lényegében a Szu-27 család[747] és annak leszármazottjait takarja – már bizonyosan elérik a nyugati gépek által képviselt 4+ generációt, egyes képességek területen viszont csak alulról vagy semennyire nem karcolgatják 4++ generációs szintet. Már a Szovjetunó összeomlásakor is komoly lépéshátrányban volt több területen is a szovjet-orosz kutatás-fejlesztés és az ipar az amerikaival szemben – ma már az európaival szemben is –, a MiG-29 9.12/9.13 és Szu-27Sz hadrendbe állításának körülményei már önmagukban is beszédesek, évtizedes lemaradásban voltak az USA-hoz képest.

[745] https://htka.hu/2014/03/01/f-15sa-ut-sivatagi-sasig/

[746] *Nem keverendő össze a T-50 Golden Eagle típussal. A jets.hu megszűnt oldalról Kővári Lászlótól a mellékletek között elérhető egy rövid ismertető a típusról.*

[747] *Mellékletek között Allesmor Obrannától elérhető egy rövid összefoglaló a Szu-27/30/35 típuscsalád tagjairól és azok evolúciójáról.*

A Szovjetunió szétesését követően az aktív radarvezérlésű R-77 légiharc soha nem érhette el a benne rejlő potenciált, ahogy az infravörös vezérlésű R-73/74 sem. Még 2017-ben is lényegében csak mutatóba van aktív radaros orosz légiharc rakéta, légvédelmi rendszer is csak fejlesztés alatt van ilyennel vagy hadendbe állítás alatt/küszöbén, amikor nyugaton az AIM-120 lassan 30. életévét tapossa.

Orosz fejlesztésű AESA radar még mindig (2017) prototípus stádiumban van, sériagépekbe építve nincs. Ezzel összevetve több száz az USA által kifejlesztett és gyártott vadászgépen vannak ilyen berendezések beépítve (Super Hornet, F-22A, F-15C/D Golden Eagle, F-16 Block 60, F-35 összes változata), mára már millió órás üzemeltetési tapasztalat gyűlt össze velük. A repülőgépek csapásmérő-fegyverzet is alig változott érdemben a hidegháború óta. A műholdas vezérlésű bombák elterjedtsége marginális, lényegben a hidegháború örökségét jelentő fegyvereket csiszolgatták. (Ez alóli kivétel az 3M-54 Kalibr / Klub manőverező robotrepülőgép család, de ez nem igazán a harcászati gépek fegyverzet, inkábba bombázóké.)

Összességében elmondható, hogy az orosz ipart részben még a hidegháború öröksége és (részben) az elérhető nyugati technológiák viszik előre, de olyasféle fejlődés, mint az USA repülőeszközeiben csak évtizedes késéssel történt meg és a különbség nemigen csökken az orosz repülőgép ipar és a nyugati között. Ennek egészen egyszerűen Oroszország gazdasági korlátai (is) az oka. Olaszország méretű GDP-vel még arányos borzalmasan szórva a pénzt is nehéz versenyre kelni az USA iparával szemben. Egyes szűk és számunkra kiemelt területen képesek voltak előre lépni és komolyabb fejlődést felmutatni, de ez nem a korszerű vadászgépeket lefedő szegmens. Ez az 5. generációs vadászgépek fejlesztésén is megmutatkozik.

5. *generáció*

Alapvető követelmény ebben a kategóriában az alacsony észlelhetőség geometriai kialakítás (stealth képesség, kis radarkeresztmetszet) által, tehát csak belső fegyvertérrel rendelkező repülőgéppel valósítható meg (a tudomány jelenlegi állása szerint) az alacsony észlelhetőség. Jelenleg nem ismeretes olyan módszer, ami lehetővé tenné, hogy külső függesztményekkel repülő gép alacsony észlelhetőségű legyen, vagy képes harcászati értelemben vett szupercirkálásra értelmezhető légiharc vagy csapásmérő fegyverezettel.[748] Ennek a geometriai kialakításnak mellékes következménye – illetve a korszerű hajtóművek teljesítményének – hogy lényegében minden alacsony észlelhetőségű vadászgép közepes és nagy magasságban utánégető használata nélkül képes hangsebesség feletti repülésre értelmezhető harcászati hatósugárral, ami egyetlen 4. generációs vadászgépről sem mondható el. (Lásd később.)

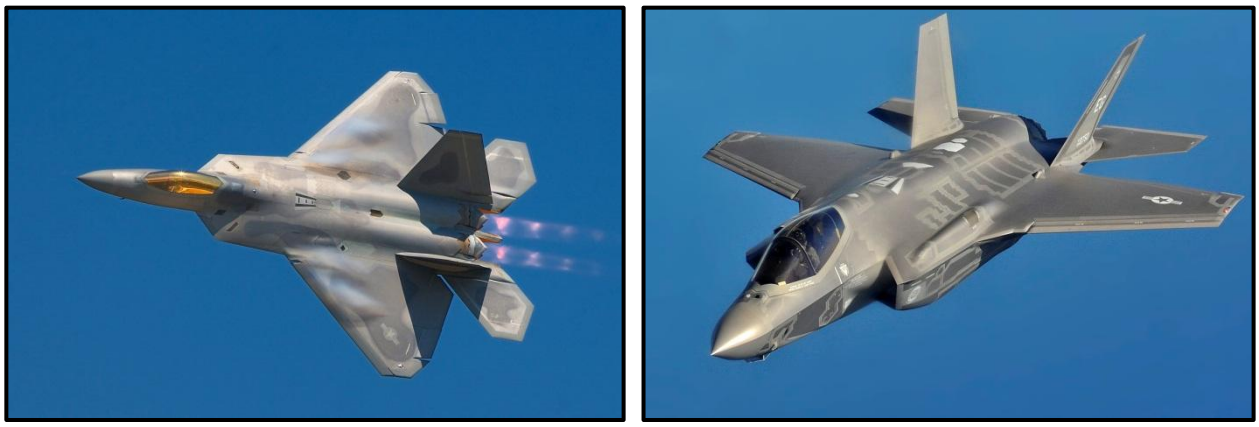
Elvárásnak tekinthető még az AESA elven működő radar, nagy hatótávolságú aktív radaros rakéta, MAWS, továbbá fedélzeti rendszerek magas fokú integráltsága, a 4. generációs vadászgépekét elérő vagy azt meghaladó repülési teljesítmény (tolóerő-vektorált hajtómű nem kritérium).[749]

Az 5. generáció első tagjának fejlesztése még a ’80-as években indult az ATF (Advanced Tactical Fighter) program kerestében az USA-ban, a cél az F-15 Eagle utódjának megalkotása volt, ami képes sikerrel szembeszállni (az akkor várhatóan) tömegesen megjelenő szovjet 4. generációs vadászgépekkel, amik elterjedése végül nem következett be olyan minőségben és mennyiségben a hidegháború vége és a Szovjetunió szétesése miatt. Az ATF programot ennek ellenére végigvitték, ennek eredménye lett a 2001-től szállított F-22A Raptor, aminek első ezrede végül 2005 decemberében érte el a bevethetőséget. A

[748] *Szupercirkálás (supercruise) terminológiát eredetileg a Lockheed Martin találta ki az YF-22 megalkotásának idejében. Ez utánégető használata nélküli M1,5 sebességet meghaladó cirkáló sebességet jelentett. Ekkora sebességet elérni utánégető használata nélkül a jelenleg hadrendben álló vadászgépek közül egyedül a Raptor képes, de ennek időtartama kb. 5-6 perc, ha ezt értelmezhető harcászati hatósugár fenntartása is szempont.*

[749] *Az F-35 ez utóbbi téren pl. nem teljesíti a klasszikus 5. generációs „követelményt”.*

programot azonban folyamatos kurtítások jellemezték és az eredetileg tervezett kb. 700 darabos mennyiség helyett végül csak 187 db széria gépet gyártottak le, a gyártás 2012-re befejeződött.



Balra fent F-22A Raptor, jobbra fent F-35A Ligthning II.

Jelenleg (2017) egyetlenegy valóban teljesen hadrafogható, aktív szolgálatban levő típus képviseli az 5. generációt, az amerikai F-22A Raptor. Az F-35 mindhárom változata esetén csak marketing/PR szintű hadrendbe állítás történt meg, legfeljebb aszimmetrikus hadviselés keretein belül lehetne használni azokat. Az F-35A teljes harcképességű hadrendbe állítása jelenlegi tervek szerint 2022 körül várható.

Az első orosz 5. generációs vadászgép technológiai demonstrátora a PAK-FA (T-50, balra képen) 2010. január 29-én szállt fel, azonban ez korántsem jelenti azt, hogy ezzel Oroszországág megkezdte volna öles léptekkel a felzárkózást az USA-hoz az 5. generációs harci gépek gyártása terén, inkább csak az első lépéseket tette meg. Az elmúlt 7 évben a teljes T-50 flotta – ez idáig összesen 9 példány készült – nagyjából 2000 órát (vagy még annyit sem) töltött a levegőben, az utolsó adat kb. 2 éves, akkor ez 1500 óra volt.

Ezt az óraszámot ráadásuk átmeneti hajtóművekkel és a fő végleges fedélzeti rendszerek beépítése nélkül (pl. az új radar) érte el. A technológiai demonstrátorok jelenleg használt AL-41F típusú hajtóműve az ’70-es évekből származó AL-31 leszármazottja, a Szu-35-ben használt hajtómű közeli rokona, nem a radikálisan új „30-as gyártmányú” hajtómű. Ez utóbbinak repülőgépbe építése 2016 végén 2018-ra volt tervezve, de ennek időpontja is teljesen bizonytalanná vált mára (2017). A társfinanszírozó India kihátrálni látszik a programból, ami az amúgy sem acélos fejlesztési tempót még inkább visszavetheti.

Fontos kihangsúlyozni, hogy a T-50 az technológiai demonstrátor, nem a jövendő sériagépek prototípusa, a jövőbeli típusjelzése Szu-57 lesz a tervek szerint. A T-50 nagyjából annál a fejlesztési lépcsőnél tart, ahol az F-22A Raptor elődje, az YF-22 volt 1991 után, csak némileg több repült órával. A különbség az, hogy az F-22-be már 1991-ben beépítésre került az General Electirc F110 vagy a Pratt & Whitney F100 hajtómű családjához képest generációs ugrást jelentő F119 hajtómű prototípusa sőt, még AIM-120-at is indítottak. (Ez inkább csak marketing okokból volt, nem valódi éleslövészet volt.) Az YF-22 első felszállása 1990. szeptember végén volt, az F-22A 2005 decemberében állt hadendbe, addig a már

USAF által üzemeltetett Raptorok 7200 órát repültek,[750] de ebben nem szerepelnek a korábbi tesztrepülések óraszámai. (Az első valódi szériagépek 2001 körül készültek el.)

További viszonyítási pontként az F-35 flotta repült óraszámai elég beszédesek azt nézve, hogy mekkora ráfordítást igényel egy valódi többfeladatú, multiszenzoros, 5. generációs vadászgép kifejlesztése. A legtöbbet repült F-35 példány több időt töltött már a levegőben, mint a teljes T-50 flotta sőt, van olyan pilóta, aki 1000 óránál többet repült már a típuson, még ha csak tesztelés céljából is.[751]

A teljes F-35 flotta – bár ez mindhárom változatot tartalmazza, amik nem azonosak és minden alkalmazó országét – repült órája 2016 februárjában meghaladta az 50 ezer órát, 2017 nyarán a 100 ezer órát. Ordító a különbség.[752] A Légierő által már átvett példányok óraszáma is meghaladta 2017 év végére a 36 ezer órát. Az USAF 136 db F-35A, a USMC 68 db F-35B, a US Navy 28 F-35C gépet vett át 2017 végéig.

Az USA számára legyártott F-35 [753] gépek egy része hardveresen és szoftveresen is olyan állapotban került leszállításra, amivel csak kiképzőrepüléseket lehet végrehajtani, de azt is csak korlátokkal. Erre azért került sor, hogy a fejlesztési csúszások ellenére az alacsony ütemű sorozatgyártás (LRIP) elindulhasson, a kötbérezést elkerülve a beszállítói lánc oldaláról.

Ez nem egyedi jelenség, az svéd JAS-39A/B flotta nagy része a C/D fejlesztés miatt is ezen a szinten rekedt meg, illetve az F-22 Raptorok közül is kb. 40-50 db gép csak kiképzésre használható. A probléma az F-35 esetén az, hogy ezeket a gépeket a terv szerint átalakították volna az életciklusuk alatt az mélyebb karbantartások során, de az öregedő géppark miatt olyan ütemű sorozatgyártása szükséges mindhárom változatának, ami miatt felmerült, hogy ezek a gépek mindörökre ezen a szinten rekednének meg. (Ez egyelőre csak egy felvetés.)

Az F-35 program korántsem problémáktól mentes (melyik radikálisan új és komplex rendszer esetén ment simán bármi is?), de a gépet ért kritikák nagy része – nem lehet szebben kifejezni ennél – inkább a „savanyú a szőlő" esete. Nehéz beismerni azt, hogy ennél sokkal kevésbé komplexebb és kevesebbet tudó gépeknél is komoly gondok voltak (vagy vannak), de a F-35-ben levő potenciált soha egyetlen 4++ generációs gép sem értheti el, azok alapvető kialakítása miatt.

Az F-35 program olyan médiafigyelemben zajlik, ami példátlan a vadászrepülőgép-fejlesztés történetében és manapság csak a negatív hírnek van hírértéke. Az F-15 és F-16 hadrendbe állítása során olyan problémák is eljöttek – F100 hajtómű körüli gondok[754] – amiért ma nagyjából a géppel együtt a tervezőiket is virtuálisan elásnák a föld alá azokat. Csak azokra a kutya nem emlékszik ma már és 30-40 év múlta stabilan működő napi üzemű gépeket hasonlítanak egy nem teljesen kész géphez elfelejtve azt, hogy a magas szintű rendszer integráció miatt már most többet tud az F-35 „intelligencia" terén, mint azok valaha is.

(Ezen a téren is voltak elhúzódó szoftveres problémák, a különböző érzékelők által gyűjtött adatok miatt előfordult, hogy kis elcsúszással egy célpontot több célpontként értékeltek a fedélzeti rendszerek.)

[750] http://www.safety.af.mil/Divisions/Aviation-Safety-Division/Aviation-Statistics/
[751] https://www.lockheedmartin.com/us/news/features/2017/Nelson1000Hours.html
[752] https://goo.gl/ZfcBxu
[753] http://www.pogo.org/straus/issues/weapons/2017/21-billion-worth-of-f-35-concurrency-orphans.html
[754] https://htka.hu/2012/12/04/mcdonnell-douglas-f-15-eagle/ *5.3. fejezet, 163. oldal.*

Az USA fegyveres erőinél szolgáló vadászgépek számára rendezett gyakorlaton az F-35 fedélzeti rendszerei egyszerűen kiszűrték légvédelmi rakéta-rendszereket imitáló célpontokat, amik a 4+ és 4++ generációs gépek számára megfelelő imitátorok és fenyegetésként jelennek meg a gép fedélzeti rendszerein. Az ilyesfajta hírek azok, amik kezdik megmutatni az F-35-ben lakozó potenciált.

Kína sem kíván lemaradni ezen a téren, gazdasági erejéhez mérten, az oroszoktól vásárolt technika tanulmányozásával nem csak a 4. generációs vadászgépek másolását, fejlesztését majd hazai gyártását kezdték meg – kezdetben igen erős orosz segítséggel, a hajtóműfejlesztési problémák miatt – de alacsony észlelhetőségű vadászgépek fejlesztésébe is belefogtak.

A J-20 (balra fent), 2011. január 11-én a J-31 (balra lent), 2012. október végén hajtotta végre első felszállását. A hajtóműfejlesztés és gyártás nehézségei miatt úgy tűnik, hogy repülési teljesítmény terén az F-22 és T-50-től eltérően alacsonyabb tartományt céloznak meg, de ezt leszámítva odáig „fajult" a helyzet, hogy a kínai 5. generációs vadászgépfejlesztés lendületesebbnek hat, mint az orosz.

Jelenleg nem eldöntött kérdés, hogy a jövőben a stealth kialakítású gépek hosszútávon mennyire alakítják át a légi harcászatot, de manapság lényegében minden nagyhatalom és komoly középhatalom ilyen gépek beszerzésével számol, akár import, akár saját fejlesztés keretében. Az alacsony észlelhetőség megjelenésre a digitális forradalommal együtt nagyon komolyban befolyásolta az infravörös és elektro-optikai felderítő rendszerek fejlesztését, de egyelőre messze nem jelenthető ki az, hogy ezek univerzálisan zárójelbe tennék a stealth gépek rádióelektronikai nehezen felderíthetőségének előnyét minden korábbi vadászgéppel szemben.

Néhány szó az 5. és 4. generációs gépek repülési teljesítményéről. Egyes 4+ vagy 4++ generációs vadászgép gépek marketing anyagában feltüntetik a szupercirkálás képességet, csak éppen finoman szólva nem objektíven, azt nevetséges marketing megközelítéssel alkalmazzák.

Az igaz, hogy egyes 4+ vagy 4++ generációs vadászgépek képesek átlépni a hangsebességet utánégető használata nélkül – pl. deltaszárnyú Rafale és Eurofighter Typhoon –, de mindössze 1,2-1,4 Mach körüli sebességről van szó, nagy magasságban (9-10 km), viszont csak minimális (kb. 30%) üzemanyaggal és minimális fegyverzettel (kb. 2 db légiharc rakéta), de inkább fegyverzet nélkül. Ennek harcászatilag értelmezhető előnye és hasznossága nincs.

Csapásmérő konfigurációban, vagy akár csak a póttartályok használata esetén – e nélkül lényegében vadászgép bevetésre sem indul – a függesztmények által jelentett nagyobb homlokellenállás és lerontott siklószám (nagyobb súrlódási légellenállás), illetve a drámaian megnövekedett hullámellenállás miatt (lásd területszabálynál) ez lehetetlen.

Sőt, bombákkal és póttartályokkal leterhelve még utánégető használatával is csak kínkeservesen képesek akár az M1,2 elérésre a 4. generációs vadászgépek közepes magasságban is perces nagyságrendű gyorsítással és olyan tüzelőanyag fogyasztással, ami ezt eleve értelmetlenné teszi.

Belátható, hogy az F-22A M1,5-et meghaladó szupercirkáló képességéhez, amire teljes légiharc fegyverzettel képes, ezek a kijelentések eléggé megmosolyogtatóak, az F-22 egészen biztosan képes hasonló sebesség elérésére akár csapásmérő fegyverezettel is, mert a 2 db 2000 font tömegű bombának a hatása a légiharc fegyverzethez képest a gép teljes tömegére néhány százalék, a vízszintes repüléshez szükséges magasabb állásszög különbség elhanyagoltató légellenállás növekedést okoz. (M1,78 a hivatalosan megadott maximális sebesség a szupercirkálásra)

A mai szemmel kőkorszaki F-111 is képes volt fegyverzet nélkül átlépni a hangsebességet kevés üzemanyaggal, de attól azt senkinek nem jutott volna akkor szupercirkálónak hívni vagy akár ma utólag...

10.2. Problémák a generációs besorolással

A probléma a generációs besorolásnál, hogy a ’90-es évek új vadászgépek beszerzése drámian visszaesett, inkább a meglevő géppark jelentős mértékű korszerűsítése vált trenddé azok, akik akkor már rendelkeztek 4. generációs vadászgépekkel.

Az ’50-es évektől kezdve egészen a ’80-as évekig kifejlesztett és hadrendbe állított gépeknél nagyjából minden lépcsőre igaz volt, hogy vagy a repülési teljesítmény terén történt a generációk között markáns előrelépés, ami adott esetben együttesen történt meg a harcászati elektronika képességeinek és/vagy alapvető gyártástechnológiájának és megbízhatóságának változásával.

Adódott a probléma mind marketing szempontból, (részben szakmai szemmel nézve is),[755] hogy például egy F-16C Block 40/42-őt hogyan különböztessenek megy frappánsan az első F-16A Block 1 változattól. Bár gépek első pillantásra tökéletesen egyformának tűnnek, képességeik mégis markánsan eltérnek, de ez csak a harcászati avionikának és új fegyverzetnek köszönhető. A Block 40/42 változat teljesítménye nemhogy nem jelentett olyan generációs előrelépést, mint az Block 1 volt az F-4 Phantom II vagy akár az F-5-höz képes, de kismértékben romlott is a megnövekedett tömeg és a konténerek (HTS, FLIR és lézeres célmegjelölő konténerek) légellenállása miatt, ha ki is akarták használni a gép új képességeit. Mind csapásmérő képessége, mind a légiharc képessége nőtt az F-16 új változatának, már BVR képességgel is rendelkezett az új radarnak és az AIM-120 megjelenésnek köszönhetően.

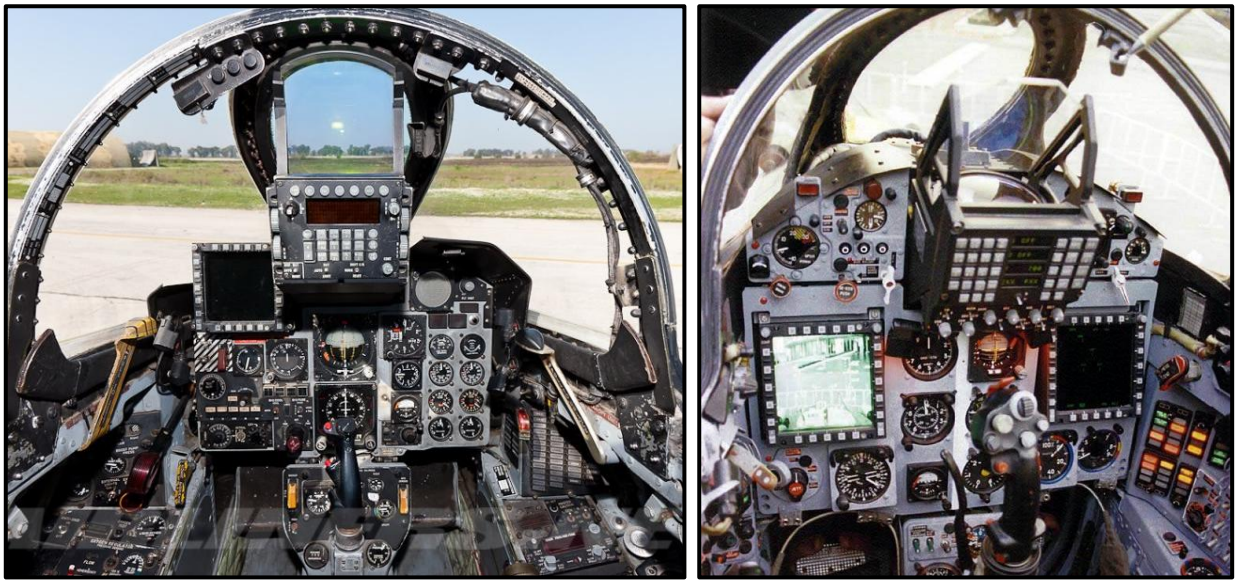
Tehát a példában szereplő Block 1 és Block 40/42 repülési teljesítménye szinte azonos, de mégis teljesen más harcértéke van a két változatnak. Akkor a Block 40/42 az 4. generációs gép, egy „kis plusszal”, így adódott az, hogy a 4+ generáció terminológia használata.

A probléma az, hogy a korszerűsítési hullám már annyira divatos lett, hogy a ’70-es években használt repülőgépeket is elérte, de azokat is igen változatos mértékben. A török F-4E Terminator 2020 olyan szintű korszerűsítésen esett át, ami harcászati avionikáját az F-16C/D Block 40/40/50/52 gépekkel teszi egyenértékűvé, illetve a kabinbelsőt is érintette a változás. Az F-4 repülési teljesítménye 3. generációs, de 4+ generációs jellemző elektronika van benne és ugyanazokat a csapásmérő és légiharc-fegyverzetet használja, mint az F-16C/D-k. Hová és hogyan kellene besorolni ezt a típusváltozatot? Vagy a szintén

[755] *A járatos szakembereknek a típusjelzés elvileg elégséges kéne, hogy legyen, hiszen azért szakember.*

korszerűsített görög F-4E AUP változatokat, amik szintén korszerűbb radarral és AIM-120 légiharc-rakéta használatára is képesek? Mi legyen akkor ez? 3+ generáció? 3++ generációs?

Sehol nem találkozni ilyen jelöléssel, ennek oka (valószínűleg) az, hogy ilyen gépeknek nincs piaca, hiszen azok tulajdonosai/felhasználói ezen utolsó hatalmas korszerűsítésekkel tolták ki a platformok használhatóságát évtizedekkel, nem továbbértékesítés céljából készültek.



Balra fent görög F-4E AUP kabinja, jobbra fent román MiG-21 LanceR.

Ugyanilyen példa a román MiG-21 LanceR [756]is. MiG-21MF vadászgépek korszerűsítettek szintén a ’90-es évek eleji F-16 Block 30/32/40/42 változatok szintjére, képessé váltak ezek is precíziós csapásérése lézervezérlésű bombákkal autonóm módon célmegjelölő konténer használatával. BVR légiharc képességük régen sem volt és a korszerűsítés után sem lett, ellenbe sisak display-jel is rendelkeznek. Integrálták az izraeli Python-3, francia R.550 Magic II és az orosz R-73 (AA-11) rakétát is, amivel a MiG-29-cel azonos nagy oldalszög indítási képességgel is rendelkezik. (Hasonló korszerűsítési csomagot dolgoztak ki a Kfir csapásmérő repülőgép számára is az izraeliek.)

Ugyanilyen problémás az amerikai AV-8B Harrier II kategorizálása. A típus már a kezdetektől fogva rendelkezik tolóerő-vektorálással, a gép fúvócsövei elforgathatóak, a Harrier helyből felszállni és leszállni (VTOL). [757]. Ettől 4. vagy 5. generációs lesz, mint a (csak 2D-s) [758] tolóerő-vektorált hajtóművel rendelkező F-22 vagy a szintén (elforgatott fúvócsövekkel) tolóerő-vektoráló Szu-30MKI? Szó sincs róla. Valójában a korai angol Harrier gépek még a 3. generációs követelményeknek sem feleltek meg, pl. nem volt bennük radar sem, légiharc képességük pusztán az önvédelemre korlátozódott, hiszen elsősorban csapásmérők voltak arról nem is beszélve, hogy szubszonikus típusról van szó, ami 1. generációs vadászgépekre jellemző. Hiába került végül a legkorszerűbb fejlesztett változataira korszerűnek mondható radar, ami AIM-120-szal a BVR légiharc képessége is biztosította vagy lett precíziós csapásmérő képessége, ettől a repülőgép repülési teljesítménye nem változott.

Célravezetőbb a vadászgépeket alapvető képességgel jellemezni és azt osztályozni aszerint, hogy azok melyik generációra jellemző / elvárt képességek, ezzel lehetnek a következők:

---

[756] http://jetplanes.blog.hu/2017/10/02/_minek_a_trabantba_szines_display_hat_ezert
[757] *vertical takeoff and landing*
[758] *Lásd később repülési teljesítmény bemutató fejezetben.*

- Radarkeresztmetszet. Az alacsony észlelhetőségű követelmény egyértelműen determinálja az 5. generációba tartozást.
- Repülési teljesítmény.
- Harcászati avionika színvonala (radar, lézeres célmegjelölő, sisakdisplay, stb.), önvédelmi rendszerek (MAWS, zavarótöltetek, integrált ECM, stb.), a gép.
- Fegyverzet mennyisége, minősége.
- Kabin ergonómia, információk megjelenítése, ember-gép kapcsolat minősége

Ezen alapvető képességeket logikusabb megvizsgálni, és eldönteni, hogy ez melyik generációra jellemző, ezek alapján lehet összképet kapni egy gép képességeiről. A MiG-21 LanceR 3. generációs vadászgépekre jellemző abszolút repülési teljesítménnyel bír. A vezethetőség szempontjából a digitális vezérlés ellenben kitolta a gép használhatóságát magasabb állásszög tartomány és kisebb sebesség felé, de ettől nem nő a tolóerő és nem lesz „erősebb" a gép.[759] A kabin műszerezettsége eléri a 4. és 4+ generációs színvonalát is (főleg a sisakdisplay-jel), de ettől pl. a kabinból kilátás nem sokat javult a fejlesztések ellenére sem.

További probléma, hogy a 4. generáció első és legfrissebb képviselő között – mondjuk egy F-16A Block és egy 2010-es gyártású Super Hornet között – sokkal nagyobb a különbség is lehet, mint mondjuk a 2. és 3. generációs gép vagy egy 3. és 4. generációs között egyes képességek tekintetében. Bizonyos dolgokban egy régebbi gép akár jobb is lehet.[760]

Laikusokat könnyen megtévesztheti az „üvegezett pilótafülke" (glass cockpit). A pilótafülkét az ilyen gépekben a többfunkciós kijelzők uralják, HOTAS rendszer természetesen van, de a gép többi rendszere és hozzá rendszeresített fegyverzet nem feltétlen ugorja át a magasabb generációs szintet jelképező képzeletbeli lécet. Egyes kínai gépek ilyen pilótafülkével rendelkeznek, pl. a J-8 legutolsó szériás változata. A kijelzés és kabin ergonómia önmagában nem jelent generációs ugrást, annak akkor van értelme, ha azoknak célja is van, kiszolgálják a fejlettebb felderítő és egyéb rendszerek igényeit. Ezért szükséges pl. az MiG-21 LanceR típuson a többfunkciós kijelző, hiszen a levegő-föld üzemmódban dolgozó radar és a lézeres célmegjelölő konténer képét is szükséges megjeleníteni.

Egy '80-as éveket képviselő Szu-27Sz vagy MiG-29 9.12 vadászgépbe is lehetne többfunkciós kijelzőket beépíteni, de ha azok ma már korszerűtlennek tekinthető radart és fedélzeti rendszereket szolgálnak ki, akkor ez önmagában nem vezet nagymértékű képesség növekedéshez. Az F-15C/D Gloden Eagle típus estén ennek pont fordítottja fordult elő. A Sas AESA radart és egyéb harcászati avionikai korszerűsítéseket kapott, de a pilóták elégedetlenek voltak,[761] mert véleményük szerint az 1 db többfunkciós kijelző és 1 db katódsugárcsöves radar megjelenítő (TV képernyő) elégtelen az új érzékelők képességeinek kihasználásához.

---

[759] *Autós példával az olyan, mint a vezetéstechnikai fejlesztések, mint pl. az automatikus parkolás, sávtartás vagy tolatóradar. Könnyeb az autóval bizonyos manővereket végrehajtani, de ettől nem tud se nem több terhet vinni, de az autó fogyasztása vagy csúcssebessége sem változik meg.*

[760] *Lásd a „Gondolatok.." írás 12. oldalát, az English Electric Lightning vadászgépről szóló részt.*

[761] *https://htka.hu/2012/08/20/elegedetlen-usaf-pilotak/*
http://aviationintel.com/update-on-the-f-15-golden-eagle-f-22-raptor-air-dominance-team/

10.3. Vadászgépek fejlesztési, üzemeltetési költsége, élettartama

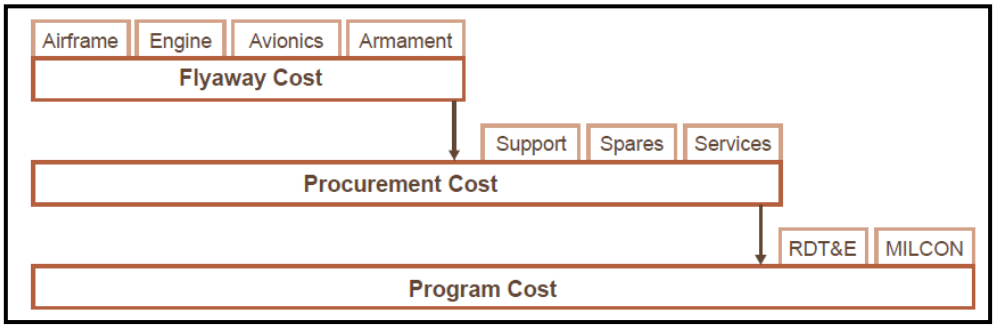
Ez a fejezet részben kakukktojás az összefoglaló eddig megközelítésével szemben, mert a repülőgépek árának közvetlenül a harcképességek nincs köze, de abból a szempontból mégis faktor, mert azok beszerzése és fenntartása meghatározza az adott összegből fenntartható flotta nagyságát. Ez viszont már kézzelfogható képességekké transzformálódik, ha őrjáratozási képességeket kell adott távolságban és számban megvalósítani és erre csak adott méretű flotta áll rendelkezésre.

Az eddig elhangozottak fényében valószínűleg nem lesz nagy meglepetés, hogy itt is nagy a kavarodás. Ez részben az adatok hiánya miatt van, egyes felhasználók erről nem szívesen osztanak meg információkat, nem minden országban átláthatóak és nyilvánosak ezek az adatok annyira, mint pl. az USA-ban.

A másik komoly tényező az, hogy nem mindenki azonos módon számolja a költségeket. Az repülőgépre vetített beszerezési és üzemeltetési költség az az adott ország számára kialkudott vételi ár, műszaki tartalombeli eltérések és a gépekkel vásárolt műszaki támogatás mennyisége és mélysége miatt elég jelentős szórást mutathat. A másik, ami nehezíti evolúciós szempontból a gépek árának megállapítását az infláció, illetve export esetén az éppen akkor érvényes USD árfolyam a vásárló ország valutája között, ha pl. az USA-tól szerezték be a gépeket.

Első lépésként ismerkedjünk meg az alapvető fogalmakkal. A harci repülőgépek kifejlesztése, technológiai demonstrátorok, prototípusok legyártása, illetve a berepülési program végrehajtása nagyon komoly összegeket emészt fel. A technológiai demonstrátor és/vagy prototípus gépek gyakran csak egy koncepciót testesítenek meg, a sorozatgyártás megkezdése előtt minden gépen kisebb-nagyobb változtatásokat szoktak végrehajtani. Lássuk ezt konkrét példákon keresztül.

Az F-22 típus esetén ezek a „kisebb-nagyobb” változtatások kb. 70%-át érintette a gépnek az YF-22 és az első F-22A Raptor között. Mire az első sériagépek gyártásáig eljutottak 2010 körüli USD értéken számolva nagyjából 40 milliárd dollárt költöttek el a programra, a gépek legyártásával a program kb. 65 milliárd dollárban került. A két összeg közti kb. 25 milliárd dollárból gyártották le a 187 db sériagépet. Ez azt jelenti, hogy attól függően, hogy csak a sériagépekért kifizetett beszerzési összeget (flyaway cost), a további termékfejlesztést és támogatást (procurment cost) vagy a teljes programköltséget (program cost) számoljuk ki, a gépek ára igen eltérő lehet. Az F-22 esetében a programköltséget nézve egy F-22 ára kb. 350 millió dollár volt, ha beszerzési értéket, akkor kb. 135 millió dollár. Nem kis különbség.



Ráadásul az is látható, hogy ha a fejlesztés viszi el a költségek döntő részét, akkor a gépek programköltségre vetített fajlagos ára a gyártási darabszámmal csökken. Ha 187 db helyett mondjuk 270 db Raptor készült volna – tegyük fel, hogy a gyártási költség azonos egy darab gépre, ami szintén nem igaz, mert pusztán a gyártás költsége is csökken nagyobb darabszám esetén – akkor a programköltség kb. 280 millió dollárra csökkent volna.

Ezen összefüggés miatt történhetett meg az, hogy az eredetileg 160 darabosra tervezett B-2 Spirit típus ára programköltségre vetítve eléri az egészen eszement kb. 3 milliárd dollárt, mert a gyártást a 20. példány átadását követően leállították.

A fentiek alapján látható, hogy a gépek ára részben virtuális, hiszen az éppen már legyártott gépek számától is függ. A fejlesztés során a gyártó egy adott darabszámú eladás és fejlesztési költségekkel számol, ennek függvényében van mozgástere az árképzésnél, illetve a profit bizonyos részének bukására. Az F-16 gyártásának megkezdésekor senki nem számított arra, hogy a különféle változataiból 4000-nél is többet fognak legyártani az idők során. Természetesen az újabb változatokat is ki kellett fejleszteni, de a platform maga egy idő után stabil alapot jelentett, aminek megtartásával sokat lehet spórolni.

Emiatt lehetséges az, hogy az inflációs hatásokkal és egyre fejlettebb berendezések ellenére is ár/érték arányban egyre kedvezőbb lehetett az F-16 család tagjainak ára, egyre jobb képességekkel. Az F-16A Block 1 beszerzési ára 1979-ben kb. 8 millió dollár volt,[762] ami mai áron kb. 25-30 milliós árat takar. Ezért csak buta bombázó és látótávolságon belüli légiharc képessége volt. Ehhez képest a később a sokkal fejlettebb változatok beszerzése során, amik már látótávolságon túli légiharc illetve precíziós csapásmérő képességgel is bírnak, még terméktámogatási csomaggal (support) együtt sem nagyon kerültek több az újabb Sólymok (természetesen inflációval korrigálva), mint 70 millió dollár.

Lengyelország 2003-ban 3,5 milliárd dollár értékben 48 db F-16 Block 52 változatú Sólymot szerzett be, tartalék hajtóművekkel, fegyverzettel, no meg a kiszolgáláshoz szükséges háttérrel, illetve kiképzéssel. Ez mai áron kb. 4,8 milliárd dollár, ami 100 milliós dolláros fajlagos költséget jelentene egy darab vadászgépre fajlagosítva. Csak a fenti lista alapján ez nem beszerzési költség (flyaway cost), hanem procurment cost jellegű. A repülőgépek mellett további szolgáltatások és hardver elemek együttesét jelentette egy időszakra vonatkozólag, illetve magát a fegyverzetet is.

Azt is figyelembe kell venni, hogy az újonnan rendszerbe állított gépek esetén nem csak magát a repülőgépeket kell megvenni, hanem a hozzá tartozó kiszolgáló infrastruktúrát is meg kell teremetni, ami lehetővé teszi az gép üzemeltetését. Ez jelenti mind a berendezéseket, mint a személyzeti állomány kiképzését is Nagyon nem mindegy, hogy 14 db (Magyarország és Gripen flotta), vagy például 48 db vadászgéphez kell kiépíteni a hátteret, egészen más fajlagos költségek jönnek ki ebből is.

Minden egyes generáció tagja egyre drágábbak lettek az azt megelőzőnél annak ellenére, hogy az alacsony ár mindig is célkitűzés maradt. Egy vicces történet, az F-14 típus rendszeresítése kapcsán esett meg. Egy felháborodott szenátor mondta az alábbiakat, amikor kiderült, hogy egy darab Tomcat akkor hatszor annyiba került, mint az akkori Phantom II változat.

„Ez az utolsó 20 millió dolláros vadászgép, amit a flotta rendszeresít!”

Ironikus, de lehet, hogy igaza lett, meg nem is. Ugyanis számszerű értéken tényleg drágábbak lettek az infláció miatt a vadászgépek, csak éppen nem szabad elfeledkezni az inflációs hatásról. A Tomcat 1970-es évek eleji 20 milliós árcímkéje a mai dollárárfolyamon számolva akár kb. 90-100 milliós összeget takar, és ez valószínűleg még nem a teljes programköltségre vetített ára az F-14-nek. Ma egy F-18E/F Super Hornet ennél jóval kevesebből elérhető az US Navy számára. Az F-14 relatíve drágább volt, mint a mai US Navy 4++ generációs csúcsvadászgép, holott a nagy összképet nézve az AIM-54 + radar félelmetes képességeit leszámítva sok olyan képességgel nem rendelkezett a Tomcat, amivel a Super Hornet igen.

[762] *Jeffrey Ethell,F-15 Eagle*

A fentiek alapján az látható, hogy a vadászgépek árára tűpontos értéket nem lehet mondani, hiszen lényegében a vásárló soha nem csak magukat a gépeket vásárolja meg egy új típus hadrendbe állításakor, hanem számtalan további járulékos költséget fizeti ki, ami ráadásul vásárlóként eltérő. Ezek miatt csak nagyjából lehet becsülni azt, hogy mit mennyire áraznak be.

Az új vadászgépek beszerzését követő kezdeti betanulási időszakot követően a támogatás és szolgáltatásokért fizetett összeg egyre kevesebb, mert a gépeket megvásárló ország jellemzően saját erőből képes már üzemeltetni a típust. A gépek ipari szintű nagyjavítása esetén viszont a kisebb üzemeltető jellemzően más országtól függenek, mert kevés repülőeszköz esetén ezt a képességet gazdaságosan fenntartani nem lehet. (A svéd tulajdonban levő Magyarország által lízingelt gépeket is Svédországban vetik alá a komolyabb műszaki hátteret igénylő időszakos, tervezett karbantartási munkáknak.)

Itt jutunk el az üzemeltetési költségekhez, ahol szintén elég nagy szórás és a marketing alapon történő ferdítések miatt, amik egyes esetekben már a hazudozás szintjét súrolják. Az üzemeltetési költségnél is hasonló tényezők vannak, mint a beszerzésnél, hogy ki mit számol bele. Az üzemeltetésbe valaki csak az alakulatnál jelentkező közvetlen költségeket, valaki az időszakos nagyjavítások sőt, akár még a flotta fejlesztésére költött összegeket is beleveszi. Ebből látszik az, hogy egyetlen esetben sem egészen fix ez a költség repült órára fajlagosítva különösen, ha az adott évben a flotta számottevő részét fejlesztik vagy küldik ipari nagyjavításra.

Az üzemeltetési költségeknél (micsoda meglepetés) megint csak a SAAB az, ami olyan szinten arcpirító marketing adattal szédíti a laikus közönséget, hogy arra nehéz szavakat találni. A Gripen NG fajlagos repóra költségére a gyártó 4700 USD/órát adott meg, ennek köszönhetően gyakorlatilag mindenhol ez az érték köszön vissza, miközben más vadászgépeknél lényegében 10-50 ezer USD/óra közötti értékek fordulnak elő. Nyilvánvaló, hogy itt nagyon nem azonos feltételek szerinti összehasonlításról van szó, ehhez egy nagyon egyszerű és gyors számítás is elégséges bizonyíték.

A kerozin ára. nagyjából 3 USD/US Gallon volt az elmúlt évtizedben, ami nagy átlagban, ami kb. 0,8 USD/liter árat jelent. A kerozin átlagos sűrűsége 800 kg/m^3, ez nagyjából 0,64 USD/kg árat hoz ki. A Gripen NG belső üzemanyag (tüzelőanyag) kapacitása kb. 3300 kg, ezen felül képes póttartályok hordozására is. A tüzelőanyag fogyasztás nagyon függ a bevetés jellegétől, manőverező légiharc gyakorlása alatt akár 20-30 perc alatt könnyedén „elfüstölhető” ez a mennyiség, de más bevetéseknél vagy egyszerű útvonalrepülésnél a 3300 kg belső kapacitás akár 1,5 órára is elegendő lehet. Tételezzünk fel átlagosan 3300 kg/óra fogyást, az élettartam során, ezzel túl sokat mellélőni nem lehet. (A magyar MiG-29-esek átlagos levegőben töltött ideje felszállásonként az 1 órát sem érte el sokkal magasabb üzemanyag mennyiséggel.)[763]

Tehát csak a megtankolása a Gripen NG-nek óránként kb. 2100 dollár fajlagos költséget jelent. Ez az összeg azt mutatja, hogy mennyibe kerülne a gép reptetése, ha soha nem romlana el semmi, egyetlen kopó alkatrésze sem lenne és soha senki egy ujjal sem nyúlna hozzá. Ez az, ami a népmese és tudományos fantasztikus könyvek lapjaira tartozó eset, a valóság ettől gyökeresen eltér. Teljesen nyilvánvaló, hogy ez az adat nem tartalmazza a szükséges infrastruktúra fenntartását, a rendszeres kisebb és mélyebb ellenőrzések és későbbi korszerűsítések költségét, amit bizony mások beleértenek a fajlagos repóra költségbe.

Bár a lent következő értékek erősen ökölszámok, de kijelenthető, hogy egyhajtóműves, szuperszonikus 4. generációs (akár 4+ vagy 4++) vadászgép fajlagos repóra költsége valahol 15-25 ezer dollár/óra táján van

[763] https://goo.gl/j75hs4

attól függően, hogy milyen megközelítéssel számol az ember. A „mindent bele” (az fejlesztések és ipari nagyjavítással) bőven a 20 ezer dollár/óra feletti érték adódik, az USAF a saját tulajdonú F-16C/D változatú vadászgépeit nagyjából ennyiből repteti. Kéthajtóműves, királykategóriát repülőgép esetén, mint az F-15E ez az érték valahol 35-40 ezer USD környékén van (szintén USAF adat).

Tekintve, hogy azon országokban, ahol ki is használják a vadászgépeikben rejlő lehetőségeket és azok hadrendből kivonása előtt akár 8-12 ezer órát (vagy a jövőben még többet) repülnek. Belátható, hogy mennyire fontos tényező az, hogy mennyire drágán üzemeltethető egy típus. Egy vadászgép élettartama során – normális üzemeltetési kultúrát feltételezve, ahol nem hagyják „szétrohadni” a flottát, lásd magyar MiG-29-esek vérlázító módon történő kezelése – a beszerzési árának akár 2-3-szorosát is rákölthetik egy vadászgépre.

A lízingelés/bérlés egy újabb, és egyre terjedőbb formája az üzemeltetések, főleg a kisebb országok számára vagy azon esetekben, amikor csak átmenetileg, áthidaló megoldásként beszerzett gépekről van szó. Áthidaló megoldásra példa Olaszország. A 2000-es években F-16,[764] előtte a Tornado ADV vadászgépeket béreltek az Eurofighter Typhoon program csúszása miatt. A békeidős légtérellenőrzéshez (air policy) szükséges típus beszerzését és a vadászgép fegyvernem kultúra fenntartását így oldották meg az új európai típus hadrendbe állításáig.

A lízing előnye, hogy ez áll legközelebb a „mindent bele” üzemeltetési költséghez, hiszen a költségek döntő hányadát – ha a szerződéssel üzemeltetési támogatás is párosul – tartalmazza a szerződésben szereplő összeg. Magyarország is lízingeli Svédországtól a JAS-39 EBS HU vadászgépeket. Ez azt jelenti, hogy gyakorlatilag csak a kerozint és a gépet üzemeltető magyar infrastruktúra tárgyi és személyzeti költségét kell a szerződésben szereplő áron felül kalkulálni. A lenti számítás nem tűpontos, de arra bőven megfelelő lesz, hogy lássuk, amit látni kell.

Magyarország 2003-ban 10 éves bérleti szerződést írt alá 16 800 bérelt repült órával, amit 2012-ben 10 évvel és megint csak 16 800 órával meghosszabbított. Az első tíz év költsége kb. 240 milliárd Ft, a második 10 évé 490 milliárd Ft volt. A költségek változása az inflációnak és a forint más devizával szembeni gyengülésének tudható be. 2012-es forint árfolyamon (220 Ft = 1 USD közelítéssel) a következő becsült értékek adódnak:

•Az első tíz évre 20 millió Ft/óra értéket kapunk, ami kb. 90 000 USD/óra.

•A második tíz évre 15 millió Ft/óra értéket kapunk, ami kb. 70 000 USD/óra.

Szó se róla, az eredmény több mint sokkoló, ráadásul ebben még a fent említett Magyarországra eső tételek nem szerepelnek, de ezek nagyságrendje csak néhány ezer USD/óra. Természetesen a gépek üzemeltetési hátterét is ki kellett építeni, de ezek nem indokolják ezt a magas fajlagos költséget.

A gépek fegyverzetének ára is egy külön szerződés tárgyát képezi, tehát nem attól lett annyira drága a Gripen, hogy a fegyverzet beszerzésnél fogott vastagon a ceruza. A fent említett fajlagos költségek takarják azt, hogy mennyibe kerül kiépíteni a képességet és azt fenntartani, csak a hordozó gépet figyelembe véve. Vagyis sajnos még azt sem, mert azzal összevetve, amikor az adott ország tulajdonában vannak a gépek, még hiányzik egy „apróság”.

[764] http://www.f-16.net/f-16_users_article10.html

Ugyanis ennyi pénz leszurkolása után Magyarország még 20 év után sem lesz a gépek tulajdonosa. Tehát, ha 20 éven túli szolgálati idővel számolunk, akkor a fenti fajlagos költségekre még rárakódik a gépek maradványértékének az ára, amennyiben megvásároljuk azokat, egy jelenleg nem meghatározott (vagy titkosított) összegért.

Még, ha eltekintünk az borzalmasat zuhanó Forint árfolyam és egyéb hatásoktól, akkor is belátható az, hogy mennyire drága, ha egy ország politikai-védelmi kultúrája ennyire alacsony és szétzilált és ilyen módon szükséges biztosítani azt, hogy a gépek a MiG-29-es flottához hasonlóan ne amortizálódjon le rövid úton.

A repülőeszközök esetén azok korát/igénybevételét alapvetően kétféle módon ítélik meg, naptári évek és repült óraszám alapján. Még akkor is, ha egy repülőeszköz egyetlen órára sem száll fel a naptári üzemidő alapján annak nagyobb mélységű karbantartása és javítása szükségesség válthat, ha a gépet nem konzerválták le, amennyiben a felhasználó betű szerint követi a gyártó üzemeltetési utasítását.

A repülőeszközöket alapvetően egy repült óra mennyiségre tervezik becsült, tapasztalati úton már ismert terhelési minta alapján, hogy milyen gyakran használják manőverező légiharc gyakorlására azokat, milyen gyakran csapásmérésre, stb.

A 4. generációs vadászgépekről elmondható, hogy nyugaton már a ’70-es évek elején és végén is kb. 6-8 ezer repült órára tervezték a gépeket, amivel a náluk megszokott pilóta éves repült óraszámmal legalább 20-25 évig hadendben maradhattak gépek. A repülőgépek szerkezetének utólagos megerősítése ettől függetlenül nem szokatlan jelenség, hogy azok eredeti élettartama kitolható[765] vagy csak elérhető legyen...

A linken szereplő F-16 vadászgép 27 év alatt érte el 9500 repült órát, ez évi 350 órás átlagot jelent úgy, hogy a mélyebb karbantartás és korszerűsítések alatt a gép nem repül, tehát egyes években a valós igénybevétel ennél magasabb is lehet. Még, ha ezt 2-3 pilóta is repüli le egy gépen, akkor is figyelemreméltóan magas éves repült óraszám adódik ki pilótaként, lásd később.

Az újabb tervezésű 4+ és 4++ generációs vadászgépeknél jellemzően magasabb élettartammal számoltak már, hiszen ma már ismert trend, hogy a vadászgépek korszerűsítése a jellemző, maga a sárkányszerkezet akár 30-40 éves is lehúzhat szolgálatban. Ennyi naptári év alatt akár bőven 10 ezer repült óra feletti igénybevétel is elképzelhető, főleg amerikai szintű flotta kihasználtság esetén. Az F-15E Strike Eagle (’80-as évek végi tervezés) terezett élettartam eredetileg 16 ezer óra volt, ami az eddigi tapasztalatok alapján kitolható akár 50-100%-kal is. Adott korszerűsítési csomagok nem egy esetben részleges vagy akár szinte teljes körű strukturális felújítást is takarnak. Ilyen volt például az A-10C program, ahol a gépek új szárnyakat kaptak, de az F-15C Golden Eagle változat is csak szerkezeti felújítással képes arra, hogy még további évtizedeket töltsön el aktív szolgálatban.

A Szovjetunióban ezzel szemben a 4. generációs vadászgépek első képviselőinek az élettartama lényegesen alacsonyabbra lett belőve, a MiG-29 9.12 változat esetén mindössze 2400 órára, alig magasabb, mint a 3. generáció tagjainál.[766] (Ezzel az élettartammal az USAF kb. 10 év alatt repülné ki a gépek élettartamát.) Azt hozzá kell tenni, hogy a Szovjetunióban is érvényesültek valamennyire a piacgazdasági

[765] http://alert5.com/2017/11/29/misawas-f-16-clocks-9500-hours/

[766] *A negatív rekorder ezen a téren a MiG-23, amit eredetileg csak 1800 órás üzemidőre terveztek. Ahol ma hadrendben áll és repül a típus, ott ezt valószínűleg már meghaladták, tehát ezen is látszik a szigorúság. Ez azonban nem jelenti azt, hogy a tervezett élettartamon túl nem üzemeltethetőek a repülőgépek, csak ez bizonyos kockázatok, felvállalásával jár...*

hatások. Az élettartam és időközi nagyjavítás értékek sokszor igen túlzóan voltak előírva, hiszen gyártónak részben érdeke volt, hogy a gépek további gyakori „törődést” kapjanak ipari nagyjavítás képében, amiért az állam vaskosan fizetett. A német újraegyesítést követően immáron a Luftwaffe kötelékében üzemeltetve a MiG-29 9.12 típust az orosz üzemeltetési utasításban előírt üzemidő mellett azt tapasztalták, hogy pl. a hajtómű nagyjavítás egyáltalán nem szükséges. Számtalan országban repül szovjet-orosz repülőgép a tervezett eredeti naptári vagy repült órában meghaladó értékkel.

A repülőeszközök tervezett élettartama tehát adott estben csak „iránymutatás”, de további ráfordításokkal, nagyjavításokkal és az üzemeltetési utasítástól való eltérés esetén – garancia ez esetben ugrik, a repülőgépeknél is van ilyen – a névleges értékeken túl is üzemben tartható egy repülőgép vagy helikopter.

10.4. Vadászgépek repülésbiztonsági mutatói, hadrafoghatóság

A fentiekben szó esett már az üzemeltetési költségek alapjairól továbbá arról, hogy egy repülőgép elméleti szolgálati ideje mennyi időre és repült órára terjedhet ki nagyságrendileg. Azonban az „öregkor” nem minden repülőgépnek adatik meg, egyeseket bizony hamarabb eléri a végzetük, vagyis megsemmisülnek balesetekben vagy katasztrófákban.

A repülőgépek fejlődése során a baleseti statisztikák jellemzően javuló trendet mutatnak, bár egyes továbbfejlesztett gépek esetén a tömegnövekedés és romoló leszállójellemzők ennek némileg ellen dolgozhattak, de az egyes generációs során a javuló trend igaz maradt a nagy összképet nézve.

A repülőgépeknél jellemzően a repült órákra fajlagosított veszteséggel szokás azok biztonsági mutatóit vizsgálni, mert ez jobban kifejezi a használattal arányos veszteséget, mint pusztán azt nézni, hogy adott naptári év vagy időszak alatt a hány darab vagy a teljes legyártott flotta mekkora része veszett oda. Értelemszerűen, ha a technikát sokat használják és repülnek a gépekkel még a gyakorlott pilótákkal is időarányosan több gép veszhet oda. A veszteségeket jellemzően [megsemmisült repülőgép/100 ezer óra] fajlagos mérőszámmal adják meg.

A ’40-es, ’50-es és ’60-as évek erőltetett fejlesztési ütemében, sokszor kiforratlan típusok hadrendbe állítása és üzemeltetése mai szemmel egészen elborzasztó statisztikákat eredményezett. Ezeknél nem volt ritka a szolgálatuk elején az 50-100 gépveszteség százezer órára fajlagosítva a szolgálatuk elején, de a flotta teljes szolgálata ideje alatt is senki szeme nem akadt fent azon, ha 30-50 gépes átlag jött ki. (F-86 Sabre – 25,65) (F-80 Shooting Star – 40) Ez az egészen magas veszteségi arány azt jelenette, hogy a Szu-9-es típus rövid szolgálati ideje alatt a legyártott gépek kb. 2/3-a semmisült meg.

Ez a sokkal jobb fajlagos mutatóval rendelkező gépeknél is bekövetezhetne elvben, csak a különbség az, hogy még intenzívebb használat esetén is sokszoros idő szükséges ehhez. 2017-ig az USAF összesen 335 db F-16-ost vesztett el. Ez első látásra olyan bődületes mennyiség, ami ép ésszel nehéz felfogni, hogy békeidőben az USA a teljes jelenlegi (2017) Magyar Légierő által használt vadászgép mennyiségének kb. 24-szeresét vesztette el. Persze ehhez 38 évnyi szolgálat kellett és mindezt 2230 db leszállított gépből vesztette el.[767] 38 év alatt a flotta mindössze 15% veszett oda balesetekben. (Látni fogjuk, hogy ez egyáltalán nem rossz érték.) Látható, hogy önmagában az elvesztett repülőeszközök száma önmagában nem mérvadó, ezért célszerűbb használni a repült óráka

[767] http://www.f-16.net/f-16_users_article23.html

A megfelelő háttérrel és hozzáállással üzemeltetett 4. generációs vadászgépekből évtizedes szolgálati múlttal nagyjából 1-4 db veszik oda 100 ezer repült óraként.[768] Ezt a szintet nem egy 4. generációs vadászgépet üzemeltető ország nem képes elérni, ennél lényegesen rosszabb mutatókat produkálnak. Az USAF F-15 és F-16 flottája kb. 30 éves szolgálati múltra fajlagosítva éri el ezt a statisztikai átlagot. Az USAF ezen két típusának repülésbiztonsági mutatóit megnézve az is látszik, hogy még 30+ év szolgálat után előfordulnak kiugró évek ehhez az átlagoz képest is pozitív és negatív irányba is.

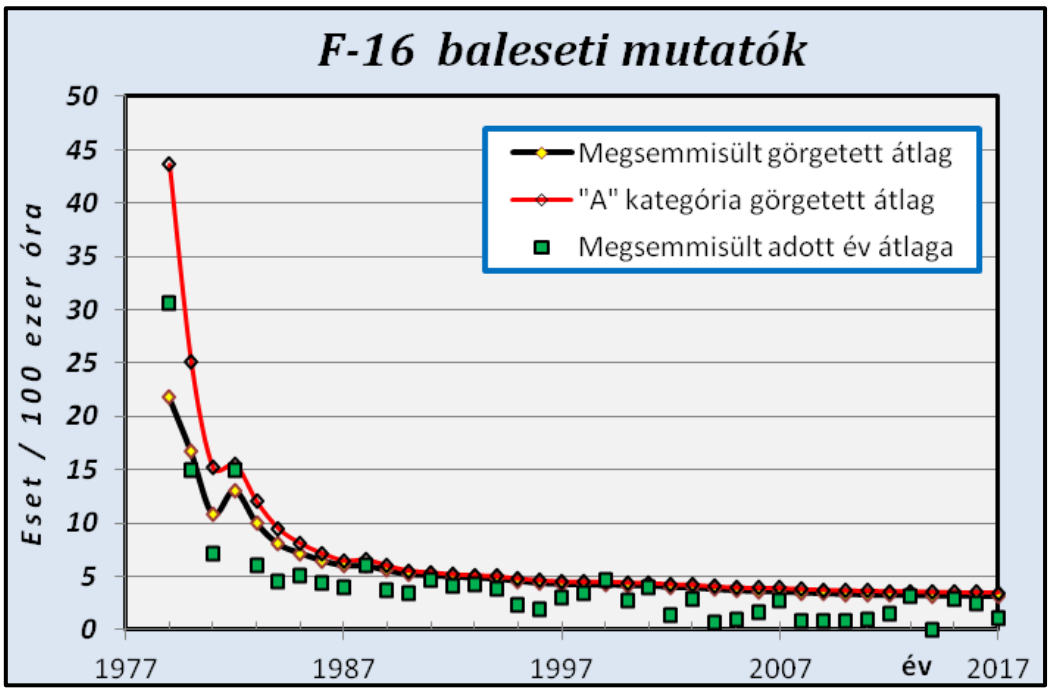
Az USAF F-16 flotta repülésbiztonságai adatainál azt látjuk, hogy 2004-ben 343 ezer repült óra mellett 3 db repülőgép semmisült meg, amivel abban az évben 0,53 gépveszteség/100 ezer óra fajlagos mutató érteket értek el. Ezzel szemben 2013-ban 190 ezer repült óra mellett 6 db F-16 veszett oda, ami 3,16 gépveszteség/100 ezer óra értéket hoz ki. Látható, hogy még ilyen hatalmas mennyiségű repült óra mellett is egy évet vizsgálva a statisztikai hullámzás nagy. 5-10 éves periódusokra végezve el a számítást mozgó átlaggal – tehát a 30 éves szakszóból pl. az 1-5. vagy 17-22. éve közötti időszakot véve – vagy akár a teljes flotta repült óraszámra és összes elveszett gépre számolva az ilyen statisztikai kilengések eltűnnek. Nemcsak hogy kiszűrhetőek az ilyen statisztikai kilengések, de egyfajta trendvonal is kirajzolódik ezzel.

Természetesen egy repesemény nem feltétlenül jár a repülőgép megsemmisülésével, a kár mértéke különböző lehet. Az USAF besorolása szerint az „A” osztályú balesetek vagy katasztrófák közé azokat az eseményeket sorolják, ahol az anyagi kár meghaladja a 2 millió USD értéket, vagy a repülőeszköz elvesztésével járnak. Akkor is ide sorolandó az esemény, ha az a személyzet egy tagjának halálával vagy lebénulásával, illetve további szolgálatra alkalmatlanná válással jár, még ha a repülőgép nem is semmisül meg vagy szenved komoly kárt. (Ilyen lehet például, ha egy kétfős személyzettel rendelkező repülőgép madárral ütközik és a személyzet egyik tagja belehal az esetbe, de a pilóta leszáll sérült géppel.) A „B” osztályú eseménynél az anyagi kár 200 ezer és 2 millió USD közötti és a személyzet legalább egy tagjának részleges bénulásával vagy további szolgálatra alkalmatlanná válásával jár az eset.

A következő oldali diagramon látható az USAF F-16 flottának 100 ezer órára eső „A” osztályú repesémnyek, illetve a a gépek megsemmisülésének gyakorisága. Annak ellenére, hogy 2000-es évektől kezdve nem ritka az olyan év, ahol a 100 ezer órára eső gépveszteség 1 alatt van, ennek ellenére a kezdeti magasabb időszak átlaga még évtizedekkel később is érezteti a hatását. (1979-ben 30,6 gépveszteség 100 ezer óra, de még 1980 és 1982-ben is 14,9 gépveszteség/100 ezer órás átlag volt.)

A diagram jelentéstartalma tehát az, hogy a legnagyobb üzemeltető esetén ahogy gyűlt a géppel az üzemeltetési tapasztalat egyre kevés fordultak elő rejtett műszaki hibák, amik a gépek sérülésével vagy elvesztésével jártak, az öregedő géppark ellenére a biztonság folyamatosan javul. Ez azonban azt is jelenti, hogy azok, akik később szereztek be F-16-ost, azok élvezhetik ezen tapasztalatok előnyét, hiszen a típus gyermekbetegségeit tartalmazó életszakaszt át lehet ezzel ugorni.

[768] http://www.safety.af.mil/Divisions/Aviation-Safety-Division/Aviation-Statistics/ *Az USAF statisztikája elérhető a bal oldali oszlopokban. Az utolsó 5, 10 és teljes szolgálati idő alatti fajlagosítva a megsemmisült, illetve A és B osztályi eseményeket, illetve az adott évek mutatói is láthatóak, amin látszik, hogy az évek és flotta repült óra növekedésével hogyan csökkent az elvesztett gépek és pilóták száma fajlagosan.*



USAF F-16 flotta fajlagos repülésbiztonsági mutatói, megsemmisült és A osztályú események gyakorisága 100 ezer repült órára fajlagosítva a flotta szolgálati idejét nézve. Az átlagolás az adott évig összegyűlt repült óra és összes eset számbavételével készült.

Érdekes módon a kéthajtóműves F-15 és az egyhajtóműves F-16 fajlagos mutató között a teljes élettartam átlagolva nincs hatalmas szakadék, ami a korszerű hajtóművek üzembiztonságát mutatja. Az F-15 esetén – ez tartalmazza az A/B/C/D és a csapásmérő E változatot is – a veszteségi mutató 1,9/100 ezer óra, addig az F-16-nál ez 3,08/100 ezer óra. Az F-15-nél azonban igen erősen felfelé torzító hatás az, hogy az F-15E csak a '90-es évek elején állt nagyobb számban hadrendbe és a teljes darabszám kb. 200 gép, a repórák döntő részét az egyfeladatos, pusztán légifölény vadászként használt változatok produkálták. Ezek nem repültek alacsonyan ellentétben a csapásmérő feladatokra is használt F-16-tal szemben, ami okozhat némi statisztikai eltérést.

Típus	Gyártmánykód	Db	Szolgálatban állt	Össz. rep. óra	Össz. leszáll.	NATO-kód	SZU katonai kód	Megjegy
MiG-15	50	124	1951-1956	13 870	n. a.	Fagot	I-300	
MiG-15	50	5	1951-1956	–	–	Fagot		földi gé
MiG-15bisz	55	104	1952-1975	74 396	n. a.	Fagot		
UTI MiG-15	10	49	1951-1976	51 575	n. a.	Midget		
MiG-17PF		12	1956-1973	15 593	26 385	Fresco		
MiG-17F		20	1956-1957	540	n. a.	Fresco		
MiG-19PM	65	12	1960-1974	9783	n. a.	Farmer D	SZM7/2M	
MiG-21F-13	74	80	1961-1981	67 643	107 781	Fishbed C	Je-6T	
MiG-21PF	76	24	1964-1989	37 409	56 977	Fishbed D	Je-7	
MiG-21MF	96	50	1971-1997	83 207	137 886	Fishbed J	Je-7M	
MiG-21bisz A	75A	15	1975-1997	18 728	31 755	Fishbed K	Je-7bisz	
MiG-21bisz AP	75AP	47	1976-2001	69 885	118 576	Fishbed K	Je-7bisz	
MiG-21U-400	66	12	1965-1987	29 500	54 500	Mongol A	Je-6U	
MiG-21U-600	67	6	1967-1987	–	–	Mongol B	Je-6U	
MiG-21UM	69	27	1971-2001	41 676	80 591	Mongol B	Je-6UM	
MiG-23MF	23-12	12	1979-1996	16 409	24 635	Flogger B		
MiG-23UB		4	1979-1996	4468	8294	Flogger C		
MiG-29B	9-12	22	1993-2010	12 800	20 034	Fulcrum A		
MiG-29UB	9-51	6	1993-2010	5018	8626	Fulcrum B		
Összesen		626+5		552 500				

*a 66-os és a 67-es típus adatai közösen számolva

Természetesen nem minden üzemeltető képes a fentiekben bemutatott szintű biztonsági mutatókat elérni még 4. generációs kéthajtóműves vadászgépekkel sem. Ez igaz főleg akkor, ha kisebb flottával, kevesebb tapasztalattal és alacsony repült órával bíró pilótákkal forráshiányosan kell a légierőnek ellátnia feladatát. A feszített üzem és rutintalanság a repülésbiztonságra különösen káros hatással van. Érdemes megnézni, hogy a Magyarországon hadrendben állt típusok hogyan teljesítettek ezen a téren. Az előző

oldali táblázatban láthatóak a Magyarországon valaha hadrendben állt sugárhajtású vadászgépek összesített repült óraszámai, a lenti összesítő az elvesztett gépek számát tartalmazza. A táblázat csak a harci változatok adataival számolt a kétüléses gyakorló változatokéval nem.

Típus	*Beszerzett mennyiség [db]*	*Veszteség [db]*	*Flotta relatív veszteség [%]*	*Szolgálati idő [év]*	*Repült óraszám [óra]*	*Fajlagos veszteség [gép/100e óra]*
MiG-17PF	12	1	8	17	15 593	6,4
MiG-19PM	12	3	25	14	9 783	30,7
MiG-21F-13	79	29	37	20	67 643	42,9
MiG-21PF	24	7	29	25	37 409	18,7
MiG-21MF	50	9*	18	26	83 207	10,8
MiG-21bisz A	15	7	47	22	18 728	37,4
MiG-21bisz AP	47	13	28	25	69 885	18,6
MiG-23MF	12	3	25	17	16 409	18,3
MiG-29B (9.12)	22	3	14	17	12 800	23,4

A Magyarországon hadrendben állt sugárhajtóműves vadászgépek repülésbiztonsági mutatói. (*) A MiG-21MF esetén egyes források alapján 11 gép veszett oda, a statisztikát számottevően nem befolyásolja, azzal 13,2 adódik ki.

A fenti számok alapján kijelenthető, hogy Magyarországon a légierő nagyjából az adott generációra jellemző repülésbiztonsági mutatókat képes volt hozni az összes típus, kivéve a MiG-23MF és MiG-29 9.12 esetén. A MiG-21 változatok statisztikája folyamatos javulást mutat a Bisz változatokig, ellenben a MiG-23, de elképesztő módon a MiG-29 esetén nem sikerült jelentős fejlődést felmutatni.

Igaz, hogy a MiG-23 csak egyhajtóműves gép és 3. generációs vadászgép, de hasonló vagy korábbi korszakból származó F-105, F-5 és F-4 típusokétól[769] messze elmaradnak a hazai repülésbiztonsági mutatók. Mind a MiG-29, mind a MiG-23 esetén igaz, hogy bemutató repülések közben vagy azok során felkészülve vesztek oda a gépek olyan időszakban, amikor a megfelelő repült óraszám és/vagy felkészülés nem feltétlen volt ehhez adott. A MiG-29-es típussal 1998-ban Rácz Zsolt alezredes, a MiG-23-as típussal 1990 Soproni Károly őrnagy zuhant le és haltak repülőhalált. Még ezeket az eseteket levonva sem javul lényegesen a statisztika, 15,6 illetve 12,2 lesz a MiG-29B és a MiG-23MF estén.

F-104G Starfighter repülőgépről szolgálati idejének egy nagyon rövid szakasza miatt a NSZK légierejében ráragadt az „özvegycsináló” gúnynév, mert olyan sok gép veszett oda balesetekben és katasztrófákban, pedig inkább csak rossz sajtója volt a gépnek. Azt tudni kell, hogy az F-104 eredetileg nagysebességű elfogóvadászgépnek készült (lásd a 2.4. fejezetben), de az NSZK által F-104G változat alacsonytámadó csapásmérő szerepkörben (is) volt használatos, ami magasabb kockázatú repüléseket jelent.

[769] http://www.safety.af.mil/Divisions/Aviation-Safety-Division/Aviation-Statistics/ *A historical data részben.*

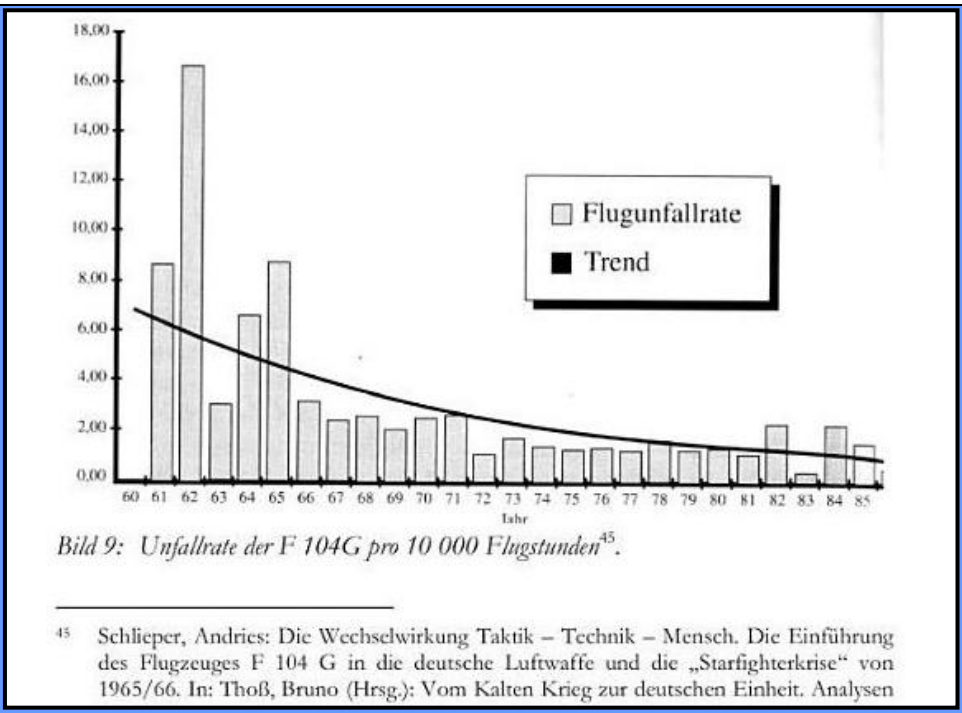


Bild 9: Unfallrate der F 104G pro 10 000 Flugstunden[45].

[45] Schlieper, Andries: Die Wechselwirkung Taktik – Technik – Mensch. Die Einführung des Flugzeuges F 104 G in die deutsche Luftwaffe und die „Starfighterkrise" von 1965/66. In: Thoß, Bruno (Hrsg.): Vom Kalten Krieg zur deutschen Einheit. Analysen

A fenti ábrán a 10 ezer órára fajlagosított gépveszteségek láthatóak, tehát a 100 ezer órára fajlagosítás esetén ezek tízszerese a kapott érték. a szolgálatának 1., 2. illetve 4. és 5. éve volt elborzasztó, ahol 60-160 elvesztett gép/100 ezer órás statisztika mutatóval rendelkezet a típus. Ez tényleg tolerálhatatlanul magas. Azonban a diagram a történet későbbi részét is felfedi, amivel természetesen a bulvársajtó már nemigen törődött.

A kezdeti problémás időszak után a veszteségi mutató beállt a nagyjából a fajlagosan 15-20 gépveszteség tartományba, továbbá a csökkenő baleseti gyakoriság trend végig megmaradt a flotta teljes repült óra mennyiségére számolva. A '70-es évek második felétől nagyjából a magyar MiG-21PF és F-13 változatok közötti tartományban volt az F-104G, ami tekintve a gép feladatkörét összehasonlítva az esetek nagy részében csak vadász feladatokat repülő magyar MiG-21-esek mutatójával már egyáltalán nem mondható rossznak.

Minden repülőeszköz esetén igaz az, hogy élettartamuk során nem minden esetben röpképesek vagy hadrafoghatóak. Egy vadászgép képes lehet felszállni és bizonyos feladatok gyakorlására megfelel, de ettől nem feltétlen hadrafogható. Egy MiG-29B-vel lehetséges a műrepülést gyakorolni működő radar vagy besugárzásjelző nélkül is, de csatába indulni ezek nélkül nem lehet, ha az embernek nincsenek öngyilkos hajlamai.) Azt, hogy egy adott időszakban a gépek hány százaléka képes harcfeladatot végrehajtani hívjuk hadrafoghatóságnak.

Békeidőben a magukat komolyan vevő légierők esetén megfelelő politikai támogatással (ami anyagi hátteret jelent) képesek hosszútávon fenntartani akár 70-80%-os hadrafoghatóságot, háborús időszakban feszített üzemmel rövid időszakra vonatkozólag akár 90%-ot is. Amennyiben ennél tartósabban alacsony a hadrafoghatóság, akkor az több dolog indikátora is lehet. A megfelelő források biztosításának hiánya, az öregedő géppark egyre nehezebb szervízelése, stb. Ezeken időlegesen lehet segíteni azzal, hogy az aktív állomány csökken és a repülőgépek egy részét kannibalizálják, hogy a flotta további része röpképes és/vagy hadrafogható maradjon, de hosszútávon nem ez az üdvözítő gyakorlat.

Az következő oldali táblázatban a USAF repülőeszközeinek hadrafoghatósági mutatói láthatóak típusonként 2014 és 2016 között. Látható, hogy ott sincs kolbászból a kerítés... A költségvetési

megszorítások és az öregedő 4. generációs vadászgépek a 10-20 évvel ezelőtt megszokott 75-85%-os tartományt nagyjából 10%-kal taszították lentebb.

Aircraft	FY16 active inventory	FY 16 average age of fleet	FY 16 mission capable rate	FY 15 mission capable rate	FY 14 mission capable rate
A-10 Thunderbolt II	283	35.0	74.1%	76.8%	75.1%
AC-130U Spooky	16	25.3	81.2%	83.4%	83.1%
B-1B Lancer	62	28.7	51.6%	47.0%	47.7%
B-2A Spirit	20	21.7	51.1%	55.9%	56.9%
B-52H Stratofortress	75	54.4	73.9%	72.2%	73.5%
C-130H Hercules	217	27.5	73.1%	73.8%	72.7%
C-130J Super Hercules	107	7.7	78.7%	79.8%	80.9%
C-17A Globemaster III	222	12.6	85.1%	85.1%	85.6%
C-5M Super Galaxy	38	29.5	67.9%	69.0%	66.4%
CV-22B Osprey	49	4.4	60.0%	55.8%	59.3%
E-3B Sentry (airborne warning and control system)	16	38.0	69.2%	74.0%	76.5%
E-3C Sentry	4	33.4	75.9%	78.7%	76.6%
E-3G Sentry	11	35.4	79.3%	82.9%	83.4%
E-8C Joint Surveillance Target Attack Radar System	16	15.4	73.3%	76.4%	72.1%
F-15C Eagle	212	32.0	71.2%	70.7%	73.2%
F-15D Eagle	24	32.5	59.9%	64.2%	72.9%
F-15E Strike Eagle	220	23.9	72.9%	71.3%	76.2%
F-16C Fighting Falcon	793	25.2	73.2%	73.7%	74.4%
F-16D Fighting Falcon	156	25.9	69.0%	70.7%	71.8%
F-22A Raptor	187	8.5	60.2%	67.4%	72.7%
F-35A Lightning II	96	2.0	65.0%	67.9%	NA
HH-60G Pave Hawk	98	25.8	67.3%	76.9%	73.5%
KC-135R Stratotanker	387	54.5	74.1%	75.4%	75.7%
KC-135T Stratotanker	54	56.1	75.7%	76.1%	77.1%
MC-130H Combat Talon II	7	27.9	66.1%	75.8%	69.6%
MC-130J Commando II	35	2.5	86.7%	89.5%	88.3%
MQ-1B Predator	129	8.9	91.8%	92.1%	91.3%
MQ-9A Reaper	188	4.1	88.5%	88.4%	86.1%
T-1A Jayhawk	178	21.5	62.0%	67.3%	72.0%
T-38A Talon	53	49.5	80.1%	79.8%	81.6%
T-38C Talon	498	48.7	60.8%	62.7%	59.6%
T-6A Texan II	444	10.5	66.7%	60.9%	67.1%
UH-1N Huey	63	43.3	80.4%	82.9%	83.2%
Totals & averages, above aircraft	4,958	27.1	71.5%	72.4%	73.5%
Total fleet (100 Aircraft Mission-Design Series)*	5,447	27.0	72.1%	73.1%	73.7%

*Mission-capable rates take into account all Air Force aircraft, except those airframes for which complete data were unavailable.
Source: Air Force

10.5. A technika és az ember

A fentiekben bemutatott repülő óra mennyiség és naptári élettartamokból kihámozható, hogy a repülőgépek átlagosan egy évben élettartamuk során mennyi időt töltenek el levegőben. Azonban egy repülőgépen nem csak egy személyzet szolgál, adódik tehát a kérdés, hogy mekkora éves repült óraszám mellett lehet gyakorlottnak nevezni egy vadászgép vagy helikopter személyzetét.

Egy repülőeszköznek pusztán az alapszintű biztonságos, rutinszerű üzemeltetése és repülése megkövetel egy minimális szintű repült óra mennyiséget, e feletti mennyiség esetén lehet a pilótát magára a légiharcra, csapásmérésre, légi tankolásra, stb. felkészíteni és kiképezni.

A hidegháború alatt a többfeladatú vadászgépekkel az USAF kötelékében nem volt ritka a 200 órát meghaladó éves repült óraszám, az egyfeladatos vadászgépek (pl. F-15) pilótái ennél kevesebbet repültek, kb. évi 140-150 órát. Ahogy a repülőgép és a szimulációs módszerek is fejlődtek egyre több minden volt gyakorolható szimulátorban, nem csak vészhelyzeti eljárások, hanem akár harcászati fogások is, jóval olcsóbban, mint a vadászgéppel felszállva. Ez, illetve a hidegháború megszűnte okozott némi általános repült óra csökkentés még az USA-ban is, de általánosságban elmondható, hogy a magát komolyan vevő légierők pilótáinál legalább az évi 100 repült óra az a szint, ami felett gyakorlott pilótáról lehet beszélni, amit legalább ennyi szimulátoros gyakorlat egészít ki.[770]

A kevesebb repült óra vezetett oda még az USA-ban is, hogy a többfeladatú vadászgépek pilótái is specializálódni kezdek, már nem minden pilóta jártas maximálisan vagy egyáltalán minden téren. Az USAF F-16 pilótáinak egy része pl. nem gyakorolja a SEAD fogásokat, más századoknál ellenben meg a manőverező légiharc lehet hangsúlyosabb, stb. A linken[771] elérhető adatbázisban F-16 pilótáknál látható, hogy időszakonként és országonként mennyire szór a pilóták által repült óraszám. Az USAF pilótái jellemzően 4-6 év alatt összegyűjtenek 1000 repült órát, azonban az európai NATO pilótáknál azért látszik a hidegháború utáni törés.[772]

Elmondható, hogy a hidegháború alatt a keleti blokk pilótái az USA/egy NATO országok repült óra mennyiségnél kevesebbet vagy számottevően kevesebbet repültek. A magyar pilóták visszaemlékezéseit olvasva kiviláglik, hogy akár rendszerváltás előtti vagy utáni időszakkal együtt nézi az ember 100-120 éves repült óra felett nemigen voltak pilóták.

Ez a Magyar Légierőben is így van, a kevés rendelkezésre álló repóra miatt a Gripen állománynak csak egy része van csapásmérő feladatokra és JTAC-kel történő együttműködésre kiképezve sőt, nem képes a teljes állomány, ahogy levegőben történő üzemanyag felvételre (légi tankolás) sem.

[770] https://htka.hu/2012/12/14/ostrava-2012-nato-day/
A beszámolóban egy F-15 pilótával készített beszélgetés összefoglalója is megtalálható.

[771] http://www.f-16.net/pilots.html

[772] http://www.f-16.net/pilots-profile29.html *1988-1992 között 1000 repült óra,*
http://www.f-16.net/pilots-profile165.html *Igaz, hogy áthelyezték más pozícióba a pilótát, de látható a hidegháború utáni repült óraszám csökkenés. A teljes 28 éves karrier alatt 4000 óra F-16-on még így is szép 142 óra/éves átlagot hoz ki. Természetesen ezek csak kiragadott példák – a dán pilóta karrierje egyáltalán nem átlagos –, de egy nagy „masszából" teljesen véletlenszerűen*

A Magyar Légierő baleseti statisztikáinál látható adatsorok érdekessége, hogy azok segítségével jó becslést kaphatunk arra vonatkozólag, hogy a magyar pilóták mennyit repültek évente a hadrendből már kivont típusokkal. Részletesebb adatokkal, a lenti számítási módszerrel a következőket kapjuk:[773]

- Minden egyes repülőgép esetén meghatározásra került a gépek szolgálati éveinek száma.
- A teljes flotta szolgálati évei kerültek összegzésre.
- A flota által repült teljes óraszámot osztottuk el az évek számával, ebből adódik ki az egy repülőgép által egy évben átlagosan repült óraszámok, amik a lenti táblázatban láthatóak:

MiG-17PF	*MiG-19PM*	*MiG-21F-13*
73	70	74
MiG-21PF	*MiG-21MF*	*MiG-21bisz A*
80	79	73
MiG-21bisz AP	*MiG-23MF*	*MiG-29B (9.12)*
80	86	43

Éves repült óra mennyiség egy repülőgépre fajlagosítva.

A fenti táblázat azt mutatja, hogy egy repülőgép mennyi időt töltött levegőben évente, de azt is figyelembe kell venni, hogy a légierőkben több pilóta szolgál, mint ahány repülőgép van. (Ideális esetben olyan 1,5-szer több pilóta van, mint repülőgép.)

A táblázatban szereplő értékek alapján csakis arra a megállapításra lehet jutni, hogy a repült óraszám tekintetében finoman szólva nem tartoztak a magyar pilóták a világ élvonalába, átlag alattinak is legfeljebb a MiG-21PF és MiG-23MF közötti korszak tekintető. A MiG-29-es korszakra a katasztrofális jelzőnél szebb szót nehéz találni.

Érdemes referenciaként a hidegháború alatti olasz vadászrepülőgépeket, a MN potenciális ellenfelét megvizsgálni azonos mérce szerint. Az Olasz Légierő az F-104 Starfighter különféle változataiból 359 darabot állított hadrendbe 1962-tól kezdve. 1997-ig 137 darabot vesztett el ezekből, mialatt a gépek 928 000 órát töltöttek a levegőben nagyjából 35 év alatt. (A gépek összesített szolgálati évei 7113 évet tesznek ki)

Ezzel a megközelítéssel élve 130 órát[774] repültek átlagosan egy F-104-gyel évente. Ez számottevően több, mint a rendszerváltás előtti legjobb korszak. Még egy másodvonalas vadászgépekkel operáló nem túl gazdag európai NATO ország vadászpilótái is kb. 60%-kal repültek többet.

[773] *A számításokat Hpasp készítette.*
[774] *928 000 óra/7113 év = 130 óra.*

11. Repülési teljesítmény, aerodinamika, hatósugár

11.1. Bevezetés

A vadászgépek repülési paraméterei és képességei kapcsán gyakran hajmeresztő téveszmék köszönnek vissza az rengeteg helyről, a fejezet célja részben ezek cáfolata, illetve egy nagyobb átfogó gép adása arról, hogy milyen tényezők befolyásolják a repülőgépek, gyorsulását, alapvető helyváltoztató képességüket és kormányozhatóságukat, vagy manőverező képességüket.

A mellékletek között megtalálható *Pilótasuli* cikksorozatban a legalapvetőbb aerodinamikai tulajdonságok és néhány apróbb dolog ismertetve van, ennek kiegészítése történik, de nem belemenve nagyon tudományos mélységekbe. A mélyebb természettudományos okfejtés az olvasók nagyobb részének valószínűleg nehezen értelmezhető. Az összefoglaló igyekszik a minimum minimumára szorítkozni, de ez a fejezet, ahol legalább középiskolás fizikai ismeretek szükségesek, vagy adott estben ennél több is, hogy a komplex tényezők összejátszása és azok következménye megérthető legyen. (A legelemibb jelenségek magyarázatának is oldalakat lehetne szentelni.)

A fejezet egyik legfontosabb célja annak felvázolása, hogy egye források által túlzottan használt tolóerő-tömeg arány, szárnyterhelés és egyéb rémesen pontatlan, cserébe csak a valóság egy igen kis szeletét leíró fajlagos értékek mennyire pontatlanok. A repülőgépek repülési teljesítményének bemutatásához ennél azért lényegesen komplexebb adatsorok és alapvető ismeretek szükségesek, ha az ember legalább az egyik repülő képességeiből akar egy másikat becsülni (extrapolálni.)

(A fejezetben felhasznált diagramok többsége a *Ray Whitford Design for Air Combat* című könyvéből származik. Aerodinamikáról bővebben egész viszonylag könnyen értelmezhető és használható anyag érhető el lenti linkeken. Természetesen az Interneten ma már elképesztő mennyiségű és mélységű aerodinamikai oktató anyag érhető el ingyenesen.[775])

11.2. Tolóerő

Első lépésben vizsgáljuk meg a hajtóművek által leadott tolóerőt, aminek nagysága alapvetően befolyásolja a repülőgépek által elérhető gyorsulást, emelkedő illetve forduló képességeket, tehát a manőverező képességet.

A repülőgép hajtóművek tolóerejét a források jellemzően csak a fékpadi tolóerő értékkel mutatják be, ami egyetlen mérőszámos mutató, ráadásul több tényező miatt torzít és alapvetően fals információkat szolgáltat egy repülőgép repülési teljesítményéről.

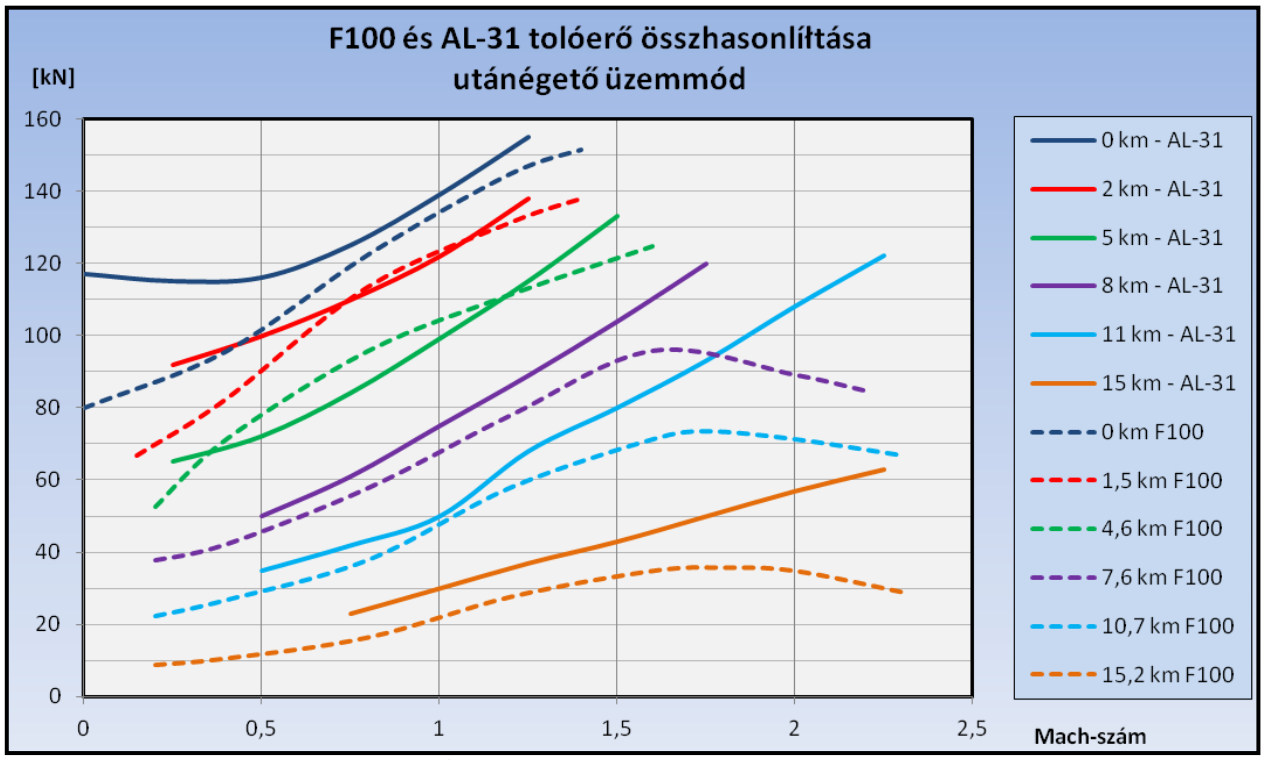
Első lépésben az probléma az egy mérőszámos fékpadi tolóerő értékkel, hogy nem a repülőgépbe épített tolóerő (teljesítmény) értékek mutatják, mert a repülőgép szívócsatornájának hatása hiányzik, a fékpadi mérések során e nélkül mérik a tolóerőt.

A második fontos tényező az a környezet, amiben a repülőgép halad, vagyis a légkör. Annak sűrűsége és hőmérséklete nem állandó még tengerszinten sem, nemhogy eltérő repülési magasságon, a magassággal csökken a levegő sűrűsége és hőmérséklete is.

[775] https://www.slideshare.net/solohermelin/9-fighter-aircraft-avionicspart-ii
https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/short.html

A harmadik fontos tényező a repülőgép haladási sebessége. Belátható, hogy ha a repülőgép adott sebességgel halad előre, akkor a szívócsatornához képest a beáramló levegőnek relatív sebessége van, ami növeli a beáramló levegő tömegét – sőt, akár elősűríteni is képes azt –, amitől függ a tolóerő, tehát a hajtómű által leadott tolóerő még adott tengerszint feletti magasság és hőmérséklet esetén sem állandó, ha a repülőgép eltérő sebességgel repül.

A következő oldali diagramon látható az F-15A F100-PW-100, illetve az Szu-27Sz AL-31F hajtóművének tolóerő görbéi, vagy szakszerűbben tolóerő karakterisztikái, a diagramon a következők látszanak:



Az F-100-PW-100 és AL-31F[776] tolóerő összehasonlítás magasság és sebesség függvényében.

- Az F100 hajtómű fékpadi tolóereje utánégető nélkül maximálgázon 65,36 kN (6665 kg / 14 670 font,) utánégetővel 106,0 kN (10 810 kg / 23 830 font). Ehhez képest a diagramon 0 km/h (Mach 0) sebességénél tengerszinten kb. 17 500 font a tolóerő. Tehát a fékpadi értékhez képes számottevően, 27%-kal kisebb annak ellenére, hogy csak a szívócsatorna okozza ezt az eltérést.

- A repülési sebességnek mennyire drámai hatása van a tolóerőre, tengerszinten hangsebességnél (Mach 1) a tolóerő 30 000 fontra nő, ami a fékpadinál is 25%-kal magasabb érték nemhogy a tengerszinten álló helyzetben mérthez képest, aminél 71%-kal (!) magasabb.

- Az AL31 fékpadi tolóereje utánégetővel 134,6 kN (13 740 kg /30 300 font), a diagram szerint álló helyzetben kb. 26 000 font.

- Az AL-31 és F100 hajtómű karakterisztikái között alapvető eltérések vannak. Az F100 tolóereje magasságtól függetlenül Mach 1,5 sebességig nő, ezzel szemben az AL-31 esetében kismagasságon egy ideig csökken és csak Mach 0,5 felett kezd növekedni, viszont kis sebességen a fékpadi tolóerőhöz képest az F100-zal összevetve arányaiban kisebb a tolóerő-csökkenés.

[776] http://www.leteckemotory.cz/motory/rd-33/

A fentiek alapján valószínűleg érthető az, hogy a laikusok által használt tolóerő/tömeg arány miért nem kifejező már önmagában sem. Magát a tolóerő nagyságát sem írja le kellően pontosan, illetve azt is kifelejti a számításból, hogy a tolóerőnek milyen ellenállást kell legyűrnie. Nem csak a repülőgép tehetetlensége számít, hanem annak légellenállása is. Ezek együttes kombinációja határozza meg az adott helyzetben elérhető maximális sebességét, illetve a gyorsulást is, amik adott esetben nem összefüggő fogalmak.

Az F-15 és MIG-25 típusok tolóerő/tömeg aránya nagymértékben eltér, az F-15-é meghaladja az MiG-25 típusét, emiatt az F-15 gyorsulása 10 km alatt felülmúlja az szovjet repülőgépét. Ezzel szemben a MIG-25-tel elérhető maximális csúcssebesség nagy magasságban teljes légiharc fegyverzettel is M2,83, miközben az F-15A 4 db kisebb, a törzshöz simuló AIM-7 légiharc rakétával éppen csak képes M2,0-őt elérni, de ennek huzamos tartására képtelen, harcászati hatósugara még légtankolással és nagy magasságú őrjáratozásból indított nagysebességű elfogással is messze elmarad a MiG-25-ösétől.

Ez egész egyszerűen a fentiekből (is) ered. A két repülőgépet teljesen más sebesség és magassági tartományra optimalizálták, ennek köszönhetően nem csak a hajtóművek tolóerő-karakterisztikája, de a repülőgépek légellenállása is teljesen eltérő. A MiG-25 végsebessége hiába nagyobb, ettől a gyorsulása mégis kisebb sőt, kismagasságon a repülési teljesítménye lényegében minden más kortárs vadászgépét alul múlja. Manőverező légiharcra gyakorlatilag teljesen alkalmatlan a MiG-25, nagysebességű elfogásban azonban sem sebesség sem hatótávolság terén sem akkor, sem ma nincs párja pusztán a repülési teljesítményét nézve.

Emiatt volt az, hogy az F-15 Streak Eagle, az F-15A módosított változata az emelkedési rekordok felállítása [777] során a MiG-25 speciális módosított változatának korábbi rekordjait messze felülmúlta annak ellenére, hogy csúcssebessége sokkal alacsonyabb, mint a MiG-25-é, csak éppen gyorsulása a rekordok számára fontos sebességi tartományban mégis felülmúlta azét. Az F-22A Raptornak hatalmas tolóerő/tömeg aránya van, de nem szabályozható a szívócsatornája, így utánégetővel Mach 2,2 az elérhető csúcssebesség, tehát még az F-15A is felülmúlta ezen a téren M2,4 csúcssebességével függesztmények nélkül. Utánégető használata nélkül Mach 1,8-ra képes az F-22, csakhogy a relatíve kevés üzemanyagkészlete miatt a szupercirkálást (Mach 1,5 feletti tartós utánégető nélküli sebesség) mint olyat, kb. 200-250 km keresztül tudja csak tartani az Raptor (ez nagyjából 5-6 perc repülési idő.)

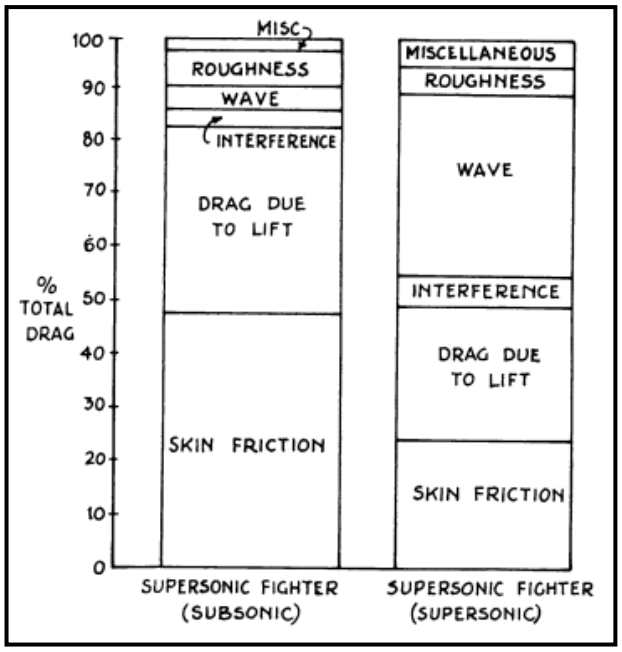
A tolóerő/tömeg arány pontatlansága a civil repülőgépeknél is bemutatható, ezekre jó példa a Concorde és a Tu-144D. Át is adnom a szót ezen a ponton Allesmor Obranának:

A Concorde számára szükséges volt arányaiban minimális utánégetés a Mach 2,1 eléréséhez és azt tartani tudta több, mint 5000 km-en, utánégető nélkül, míg az utóbbi úgy repült ugyanilyen gyorsan, hogy nem is volt neki utánégető fokozata. Ez a két repülőgép jókora méretű és tömegű, ennek megfelelően igencsak szerény tolóerő/tömeg arányú gépek voltak. A legtöbb nagy sebességre tervezett gép amúgy is szerény tolóerő/tömeg arányú, lásd MiG-25, MiG-31, vagy SR-71, netán az XB-70-es.

[777] https://htka.hu/2012/12/04/mcdonnell-douglas-f-15-eagle/ *6.1. fejezet, 185. oldaltól.*

11.3. Légellenállás, hullámellenállás, területszabály

A repülőgépek légellenállását alapvetően több fő tényező határozza meg, ezek a következők:

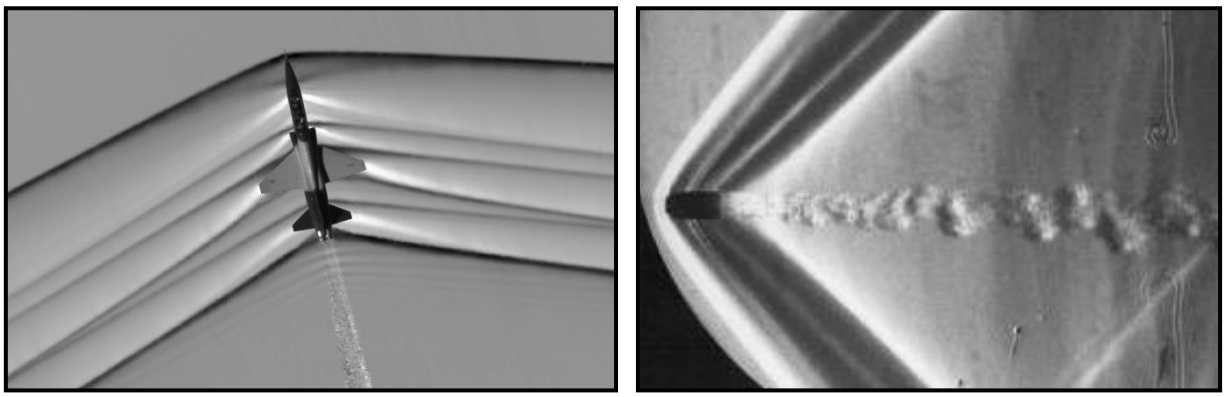


- A repülőgép homlokfelületéből és alakjából adódó légellenállás.
- A repülőgép felületén ébredő „súrlódás” típusú (frikciós) légellenállás.
- Interferencia ellenállás. A repülőgépen levő függesztményeknek és függesztő-berendezések külön-külön légellenállása kisebb, mint adott esetben adott konfigurációban együtt a közös, indukált légellenállása. (Például egy autó esetén a tetőcsomagtartó és az autó együttes légellenállása nagyobb, mint külön-külön.)
- A repülőgép állásszögéből eredő további légellenállás (0 fokos állásszög mellett is lenne légellenállás a repülőgépnek, de így még vízszintes repülése sem lenne képes, lásd később.)
- Hullámellenállás, ennek kifejtését lásd később. Ez transzszonikus és szuperszonikus tartományban válik hangsúlyossá.

A fentiek eloszlása vízszintes repülési közben jellegre egy átlagos szuperszonikus vadászgép esetén szubszonikus sebesség, illetve szuperszonikus tartományban a jobbra, a fenti diagramon látható. Az ábrán látható arányok a nagyságrendek érzékeltetésére vannak, de ez erősen függ az adott repülőgéptől és annak hordozott fegyverzetétől, ami nagyban befolyásolja a légellenállás abszolút értékék, illetve annak arányát is az különböző tényezők között.

A hullámellenállás kifejtése kicsivel bővebb magyarázatot érdemel, mert ezáltal lesz érthető, hogy miért a hatalmas repülési teljesítménybeli különbség az alacsony észlelhetőségű ás hagyományos vadászgépek között, amik kizárólag külső függesztési pontokon képesek függesztmények hordozására.

A hajók esetén is alapvetően két részre lehet bontani azok áramlási ellenállását. A frikciós és alakból adódó ellenállás, illetve a hullámellenállást. A hajóknál a hullámellenállás növekedés látványosan látszik, ez a sekélyvízi hullámterjedés, a víz sűrűsége illetve viszkozitásából adódik, a hajó orránál és a hajótest mellett elhaladó és leváló hullámokon. A levegőben haladó járművek esetén is létezik ez jelenség – hiszen a levegő is közeg, benne is van a zavarásnak terjedési sebessége, ez a hangsebesség, ami tengerszinten kb. 340 m/s –, azonban ez csak nagyobb sebességnél, a hangsebességhez közeledve, illetve azt átlépve válik hangsúlyossá. (Ez végtelenül leegyszerűsített és pontatlan analógiája a valóságnak, de a célnak megfelel. A vízfelületekben a hagyományos hullámok terjedési sebessége 1-2 nagyságrenddel elmarad a nyomáshullámok, vagyis a vízben érvényes hangsebességtől, ami kb. 1500 m/s.)

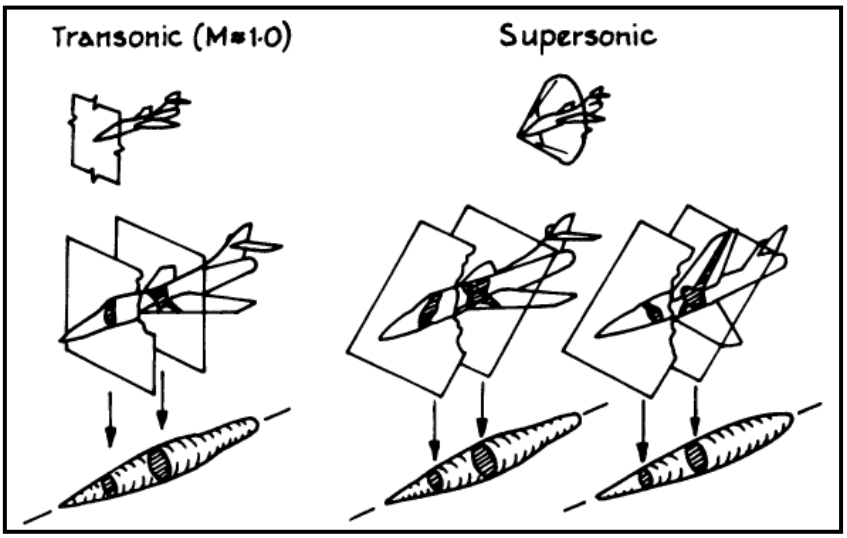


Lökéshullám-rendszer a T-38 Talon szuperszonikus iskolagép és egy lövedék között. A lövedék esetén láthatók a tárgyról leváló örvények. Az T-38 esetén figyelemreméltó, hogy nem csak az orr körül, hanem a repülőgép éles határfelületein is lökéshullámok képződnek.

Repülőgépeknél a hullámellenállás alapvetően két fő tartományban játszik kritikus szerepet, illetve marad domináns. A hangsebességhez közeledve, amikor a lökéshullámok még függőlegesek, illetve a hangsebesség elérésekor és azt meghaladva, amikor a repülőgép körül kialakuló lökéshullám-rendszer kúp alakot formáz meg a repülőgép körül. Ezek a hullámok Schlieren-optika[778] segítségével vizuálisan megjeleníthetőek. Hangsebesség felett a lökéshullám kúpszöge[779] csakis a haladási sebességtől függ.

Amikor a lökéshullám eléri a szárny belépőélét, akkor komoly vezethetőségi és stabilitási problémák jelennek meg, ezért ezt jellemzően igyekeznek elkerülni. Ez igaz a hajtómű szívócsatornák esetén is, tehát ez a határ részben kijelöl a repülőgépek maximális sebességét annak ellenére, hogy adott esetben pusztán tolóerő és a légellenállás paraméterek ellenére nagyobb csúcssebesség is elérhető lenne.

A hullámellenállás fontosságával először az F-102 Delta Dart esetében találkoztak, amikor a szuperszonikusra tervezett repülőgép még a hangsebességet sem volt képes átlépni. Ennek oka az volt, hogy akkor még ismeretlen területre tévedtek, ekkor fedezték fel alapvetően a hullámellenállás jelentőségét és azt, hogy milyen tényezők befolyásolják. Ennek eredménye lett a „területszabály”[780] felismerése.



A szubszonikus és szuperszonikus területszabály alkalmazása.

[778] https://www.youtube.com/watch?v=BsIabrtezIQ
https://www.youtube.com/watch?v=YMfUP8lx0FU
[779] https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/machang.html
[780] https://hu.wikipedia.org/wiki/Ter%C3%BCletszab%C3%A1ly

Röviden összefoglalva, a hullámellenállást a repülőgép hossz mentén (áramlási főirány) változó keresztmetszet-változása határozza meg a lökéshullámok által kimetszett szeleteknek megfelelően. Mivel a lökéshullám kúpszöge változik a sebességtől függően ez azt jelent, hogy repülőgépek hullámellenállása azok formájától és a sebességtől is függ. A cél egy idealizált forma elérése, ami meghatározza a hullámellenállás minimumát, minden ettől való eltérés növeli az hullámellenállást. A lenti ábrán látható, hogy hogyan kell elképzelni adott forma esetén ezen „szeletek” elkészítését.

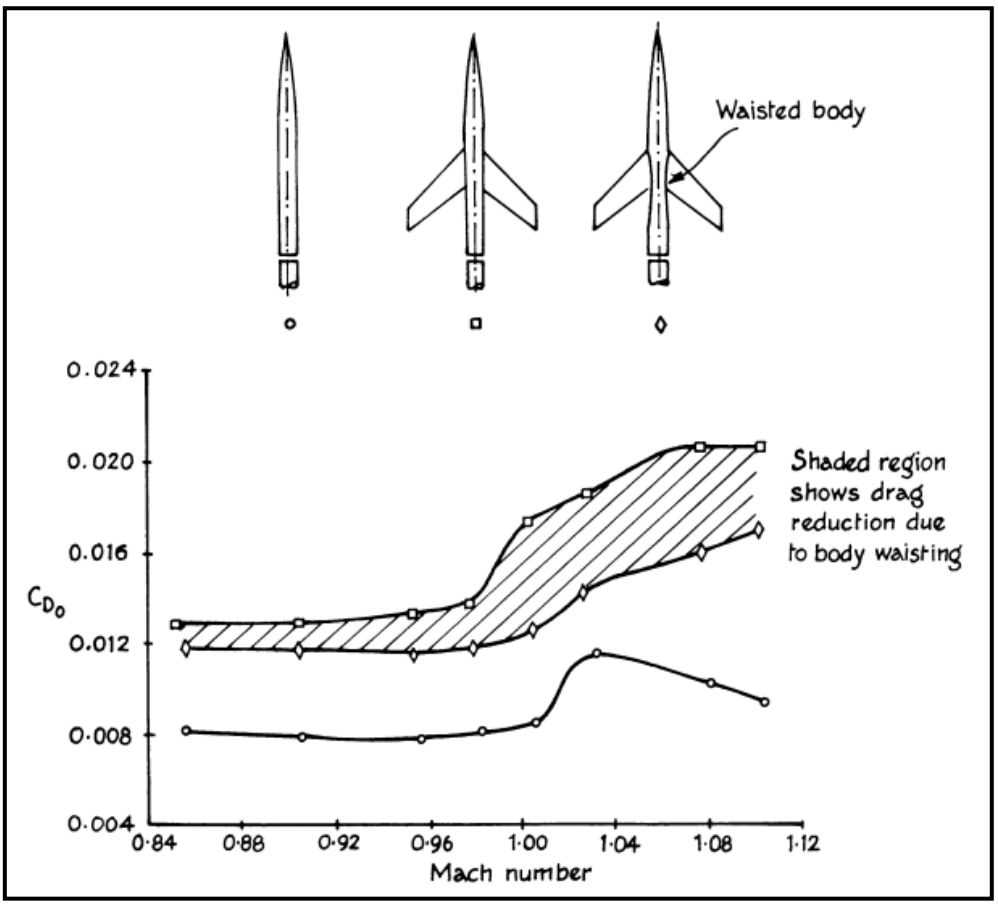
Néhány szó arról, hogy mi is az a lökéshullám. A repülési sebesség fokozódásával a repülőgép orrán/szárnyán/éles/kiemelkedő pontjain egyre jobban összenyomódó légréteg, ami hangsebességnél és fölötte speciális réteget képez. A különleges optikával készült fotókon látható lökéshullám vonalában lesz összenyomhatatlan a levegő, ami durván megváltoztatja a repülőgép jellemzőit ha a nem merőleges lökéshullám bekerül a szívócsatornába, rákerül a szárny belépőélére.

A merőleges lökéshullám után viszont a légáramlat sebessége mindig hangsebesség alá csökken, de itt nő a legjobban a nyomása. Ezt használják ki a szívócsatornában, ahol a küppal/áramlásterelőkkel olyan lökéshullám-rendszert alakítanak ki, amely az áramlásra merőleges lökéshullámban végződik, így már a kompresszor előtt komoly légsűrítés keletkezik, ezt hívjuk dinamikus elősűrítésnek.

Ha ez a mesterséges lökéshullám-rendszer pl. rossz irányú áramlás, vagy örvénylés miatt megszűnik, összeomlik, akkor keletkezik a pompázs. Ez szabálytalan nyomáslüktetés a szívócsatornában és a kompresszorban, ami akadályozva a hajtómű levegőellátását teljesítmény és fordulatszám-csökkenést okoz, a szívócsatornában pedig a nyomáslüktetés akár a belső borítást is letépheti. Ezért van az, hogy szuperszonikus sebesség tartományban annak ellenére, hogy felhajtóerő bőven rendelkezésre állna, adott állásszög feletti tartomány tiltott, ami lényegében maximális túlterhelési korlátot is jelent.

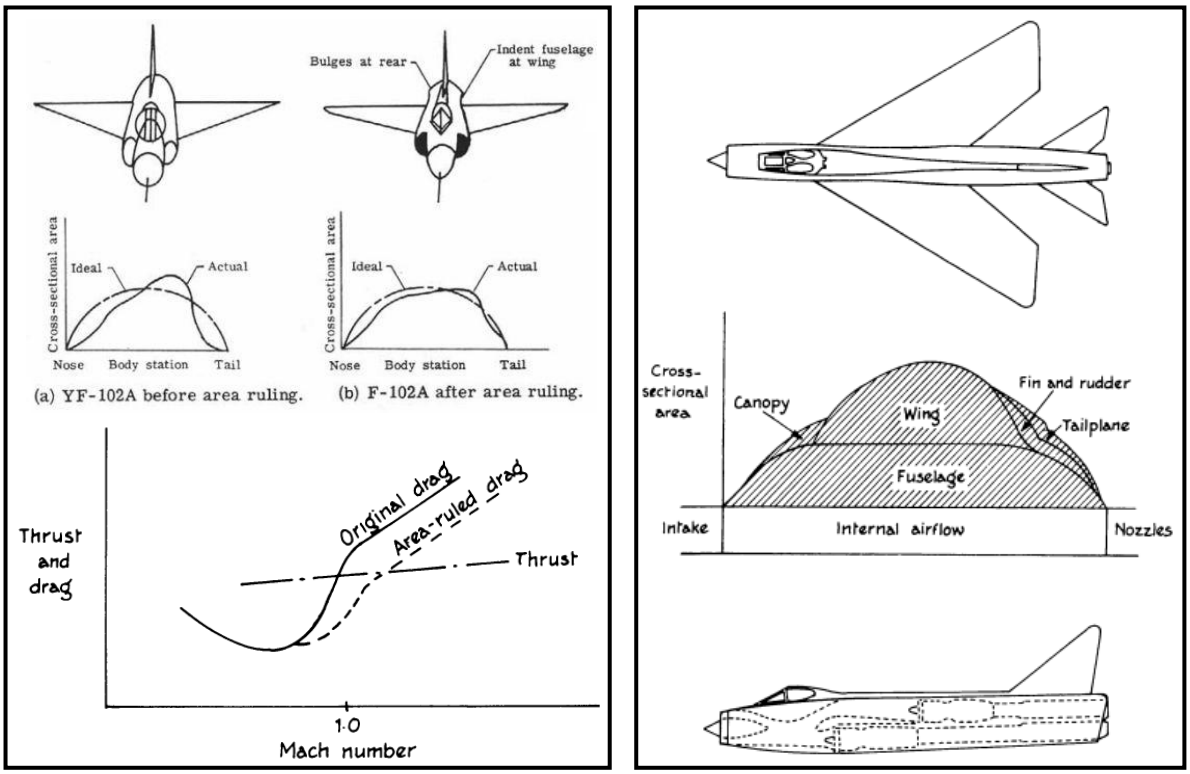
Mivel kezdetben a hajtóművek tolóereje szerény volt (a mai és 4. generációs hajtóművek fajlagos mutatóihoz képest), ezért a hullámellenállás minimalizálását az Mach 1-1,2 sebességtartományra lőtték be, hogy a gépek egyáltalán képesek legyenek átlépni a hangsebességet.

Az F-102 és F-5 esetében ennek nyilvánvaló jelei a törzs elkeskenyítésnél látszanak, amivel azt érték el, hogy a szárnyak által megjelent keresztmetszet növekedést kompenzálták ki, ezzel közelebb lett a keresztmetszet eloszlása az idealizált formához képest. A lenti ábrán látható, hogy a légellenállás tényező hogyan alakul a lövedékformájú, a szárnyas lövedékforma, illetve a szárnyas lövedékforma, de immáron elkeskenyített középső rész esetén. A légellenállás akár 25-35%-kal is csökkenthető adott sebességtartományban.

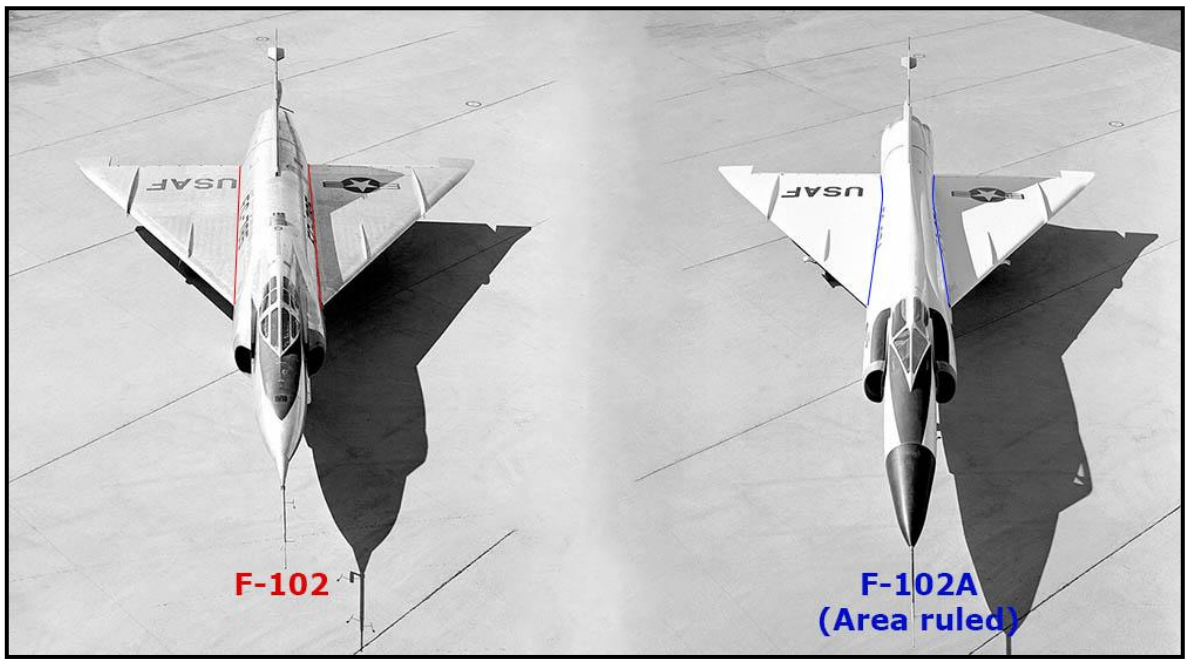


A törzs-szárny átmenet elkeskenyítésének hatása a hullámellenállásra.

A területszabály miatt van az, hogy még a légharc-rakéták függesztése is számottevően csökkenti a repülőgépek által elérhető maximális csúcssebességet, mert a területszabály által meghatározott hossz menti keresztmetszet eloszlást teljesen tönkreteszi, ezáltal a hullámellenállást drámain megnöveli.

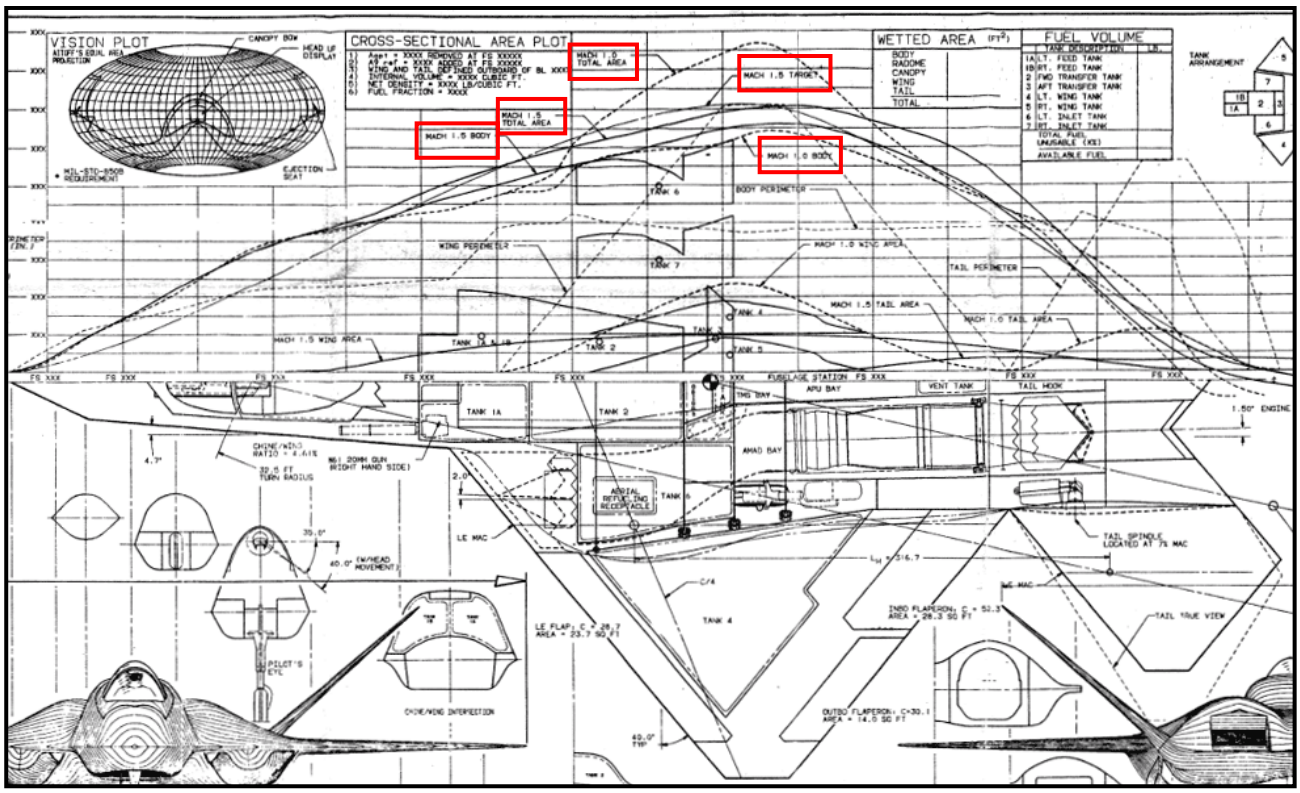


A területszabály alkalmazása az F-102 Delta Dart elfogóvadászgép esetén (balra). English Electric Lightning vadászgép keresztmetszet-eloszlása a törzs mentén. (Ismeretlen Mach szám mellett.)



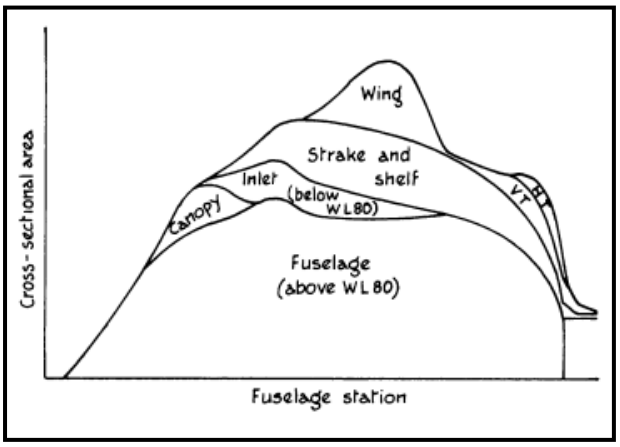
Az eredeti és a területszabály alkalmazása utá áttervezett F-102 között különbség a törzs-szárny átmenetnél hangsúlyos a különbség.

A függesztmények miatt a repülőgép felülete is nagyobb lesz, tehát még a frikciós ellenállás is nagyobb, illetve maga a repülőgép keresztmetszete (homlokfelülete) is nő, tehát még azonos légellenállás-tényező (alaktényező, formatényező) mellett is minimum lineárisan nőne a felülettel a repülőgép légellenállása a felület növekedésével arányosan. A fent felsoroltak miatt azonban a függesztményekkel felületével közel sem lineárisan csökken a repülőgépek maximális sebessége hangsebesség közelében és felette, de még hangsebesség alatt sem (Lásd később majd konkrét példán keresztül is.)



Az YF-23 keresztmetszet eloszlása hossz mentén az ideálishoz viszonyítva M1,0 és M1,5 esetén.

Az YF-23 technológiai demonstrátor repülőgép rajzán[781] látszik a területszabály alkalmazása és figyelembe vétele, a rajz felső részén látható az adott Mach szám esetén kijelölt ideális és a repülőgép formája által megvalósított keresztmetszet eloszlás. (cross section are plot). Az alacsony észlelhetőségű vadászgépek külső függesztmény nélkül repülve ezért képesek hangsebesség feletti vízszintes repülésre közepes és nagy magasságban utánégető nélkül, mer azok alapformája ehhez (is) lett optimalizálva (az F-22 estén hangsúlyosan, az F-35 esetén nem volt cél, de még így is képes M1,2-őt elérni.)



A 4. generációs vadászgépek esetén is figyelembe vették a területszabály hatását, azonban nem volt kiemelt szempont. A vadászgépek már erőből is képesek voltak áttörni a hangfalat és típustól függően fegyverzet nélkül még fix szívócsatorna kialakítással (F-16) is képesek elérni a hangsebesség kétszeresét.

Azonban a 3. és 4. generációs eltérő tervezési alapfilozófiájának hatása az, hogy szuperszonikus tartományban nagy magasságon és hosszabb idejű repülések esetén a 3. generáció típusa egyes tartományban felülmúlják utódaikat, amelyik típusoknál a manőverező légiharc képességek voltak a hangsúlyosabbak. A hatalmas, ám harcászatilag nem kihasználható elméleti M2,0-M2,4 sebességtartományt – M2,4-re képes az F-15A/B/C/D – nem az optimalizált aerodinamikai kialakítással, hanem a manőverező légiharc által meghatározott hatalmas tolóerővel érik el.

A nagy különbség az, hogy míg manőverező légi harcban az utánégető használata nem folyamatos és hosszú időtartamú, ezzel szemben a gyorsítás nagy magasságban perceket vesz igénybe M2,0 sebességhez minimális vagy 0 db légiharc rakétával. Emiatt olyan rövid harcászati hatósugár adódik ki a 4. generációs vadászgépek esetén, hogy a harcászatilag kihasználható maximális sebesség még légiharc konfigurációban is kb. M1,3-M1,4, de csak a legerősebb, legjobb (abszolút)[782] repülési teljesítményű vadászgépek esetén.

11.4. A repülőgép pályája

Ahhoz, hogy megértsük, hogy a repülőeszközökre (repülőgépre és rakétákra, a helikopterekkel nem foglalkozik az összefoglaló) milyen erők hatnak vízszintes repülés közben, fordulóban, emelkedés vagy süllyedés közben ezekkel kombinálva fordulókkal szükséges azok pályája, sebességének, illetve ezek közötti összefüggések ismerete. Ennek magyarázatáshoz első körben némi középiskolai mechanikai ismeretekre van szükség.

Egy körpályán haladó testnek (tömegpontnak) is van gyorsulása még, ha egyenletes szögsebességgel is halad egy középpont körül. A gyorsulás a lent látható már ismertetett összefüggéssel számolható. (Ez abból adódik, hogy a sebesség az vektor és nem skalármennyiség, tehát a sebességvektor irány megváltozása az sebesség komponens megváltozását jelenti a körpálya irányára merőlegesen minden időpillanatban. A sebesség megváltozása viszont gyorsulást jelent.)

$$\boldsymbol{F = m * a}^{783} \rightarrow \boldsymbol{a = \frac{F}{m}} \quad \boldsymbol{ezzel} \quad \boldsymbol{a_{cp}} = \frac{\boldsymbol{v_{cp}^2}}{\boldsymbol{R}} = \frac{\boldsymbol{F_{cp}}}{\boldsymbol{m}} \rightarrow \mathrm{F} = \frac{\boldsymbol{v_{cp}^2}}{\boldsymbol{R}} * \mathrm{m}$$

[781] http://yf-23.net/Pics/F-23A/F-23A%20EMD%20dwg%201500.gif *Mellékletek között is megtalálható.*
[782] *Az abszolút szó értelmének kifejtését lásd később.*
[783] *Newton II. törvénye. F =m*a. Newton valójában nem ebben a formában fogalmazta meg ez az összefüggést, de számtalan esetben ez a forma célszerű és használható.*

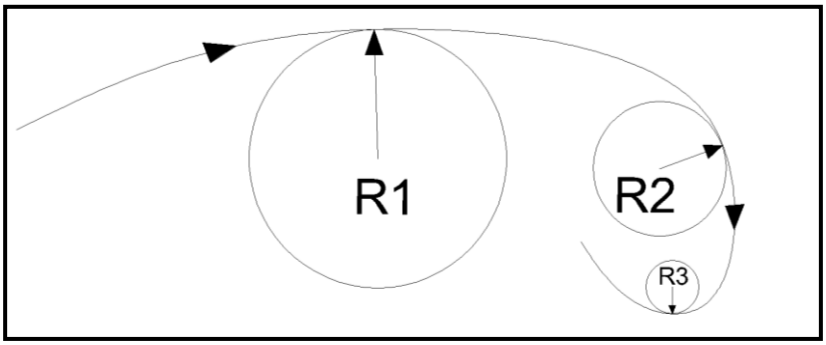
Ahol:

a	**centripetális gyorsulás**	**[m/s^2]**
v	**sebesség**	**[m/s^2]**
m	**tömeg**	**[kg]**
F	**erő**	**[N]**
R	**kör és/vagy görbületi sugár**	**[m]**

A körpályán, állandó sebességgel haladó testre ható gyorsulást nevezzük centripetális gyorsulásnak, ami négyzetesen arányos a sebességgel és fordítottan a sugárral. Ebből az következik, hogy a repülőgépet mint elemi tömegpontot kezelve, az minél nagyobb szögsebességgel, vagyis szűkebben fordul egy adott állandó haladási sebességgel, annál nagyobb a gyorsulás, vagyis az ahhoz szükséges erő, amit biztosítani kell.

Azonos fordulósugár esetén kétszer nagyobb a sebességnél az ahhoz szükséges erő négyszeres lesz, hiszen az erő négyzetesen arányos a sebességgel. Mindkét fenti esetben a repülőgép (vagy rakéta) tömegével arányos szükséges erő. Kétszer nagyobb tömegű gép esetén azonos sebesség és sugár esetén kétszer nagyobb erős szükséges a fordulóhoz.

A probléma az, hogy egy repülőgép vagy rakéta ritkán repül tökéletes körpályán és/vagy állandó (kerületi) sebességgel. Amennyiben felrajzoljuk egy légiharc-rakéta vagy repülőgép által lerepült pályát manőverezés közben –lásd következő oldali egyszerűsített ábrát –, akkor észrevehető, hogy ha az nem is körpályáról van szó, de mintha változó sugarú körívek viszont felfedezhetőek lennének. Matematikai nyelven a pályának az adott pontban érvényes görbülete, adott pontokban meghatározható simulókörök sugarával írható le.[784] Ezek sugara adja meg nem körpálya esetén az adott pontban érvényes görbületi sugarat, amivel használható a fent bemutatott összefüggés a gyorsulásokra állandó centripetális sebesség esetén.



Egy elképzelt forduló manőver és annak pályája. Ez a pálya adódhat úgy is, hogy állandó sebesség mellett egyre nagyobb túlterhelésű fordulót hajt végre a repülőgép, de úgy is kijöhet, hogy folyamatos lassulás mellett bár a forduló szögsebesség csökken, de a kisebb sebesség mellett mégis kisebb fordulósugár adódik ki a kisebb centripetális sebesség miatt. (A valóságban nem ennyire eltérőek az arányok, lásd később konkrét példán.)

A fenti ábrán nincs megjelölve a függőleges irány, tehát a repülőgép fordulásához szükséges eredő erő adott esetben lehet nagyobb és kisebb is, lásd később a repülőgépre ható erők bemutatásánál.

A szakirodalomban a fordulók során a centripetális gyorsulásból eredő túlterhelést „G-erőkként” szokás jellemezni, tehát hogy a normál gravitációs gyorsuláshoz képes a repülőgépet és a pilótát hányszor nagyobb erő, vagyis gyorsulás terheli. A gravitációs gyorsulási együttható 9,81 m/s^2, am jó közelítéssel 10. Tehát egy 300 m/s (1080 km/h) sebességgel haladó 5G-s fordulót végrehajtó repülőgép centripetális gyorsulása

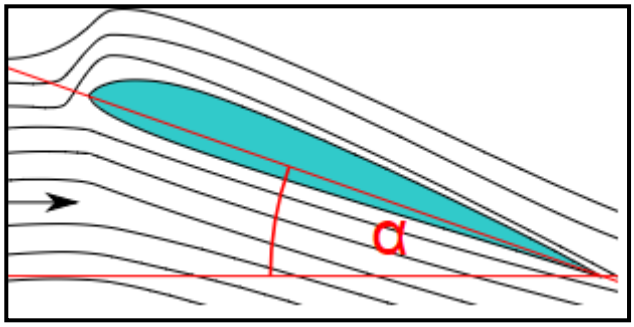
[784] https://hu.wikipedia.org/wiki/G%C3%B6rb%C3%BClet https://goo.gl/55bSy9

kb. 50 m/s^2. A feni összefüggéssel kiszámolható, hogy a fordulósugár ebben az esetben állandó sebesség esetén 1800 méter.

11.5. A repülőgépre ható erők, a repülőgép helyzete

A fentiekben láthattuk már azt, hogy milyen erő képes gyorsítani a vadászgépet (hajtómű tolóereje vagy a gravitáció), és milyen erők lassíthatják (légellenállás, fordulóhoz szükséges gyorsítás miatti lassulás vgy a gravitáció) de azok nagysága és jellege a repülőgép adott helyzetében nem ismert, az eddig pusztán elemi tömegpontként volt kezelve. A repülőgép viselkedését csak elemi tömegpontként kezelve nem lehet leírni, a saját három tengelye körüli mozgásának és helyzete is alapvető tényező a repülőgép haladási irányával és sebességéhez képest. A lenti képen keresztül egyszerűen belátható a kérdés legalapvetőbb hatása. A fotó alapján eldönthető a repülőgép haladási iránya?[785] A piros nyíl irányában repül? Netán a sárga irányában és emelkedik? Hatalmas különbség van a két helyzet között, aminek leírására az állásszög használatos. (Bólintási szög az, hogy a gép orra a vízszintes képest mekkora szöget zár be, a bólintási szög és haladási szög közötti eltérés lényegében az állásszög a szárny belépőélet véve referenciának.)

A legfontosabb fogalom, amivel első lépésként szüksége megismerkedni az állásszög. Többféle állásszög[786] létezik, ebből általában a geometriai a használatos, mert ez az, ami könnyen mérhető és szemléletes. (Természetesen a szélcsatorna kísérletek és a számítógépes modellezés által az indukált állásszög is figyelembe vehető a tervezés és a repülőgép üzemeltetés kidolgozásakor, de mivel ezt mérni nem tudják az repülőgép üzemeltetési korlátja mindig geometriai állásszögben van kifejezve.)



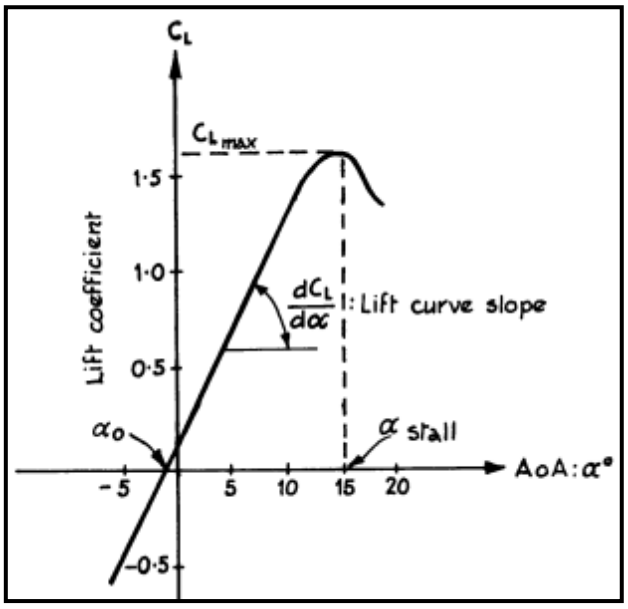
A geometriai állásszöget a repülőgépek szárnyprofiljának húrjához képest határozzuk meg. A szárnyprofil húrja a belépőél és kilépőélt összekötő egyenes, ennek bezárt szögét mérik a zavartalan közeg relatív áramlási sebességéhez képest. Ez látható balra az ábrán. (Áramvonalakkal van szemléltetve a szárnyprofil körüli áramlási irány.)

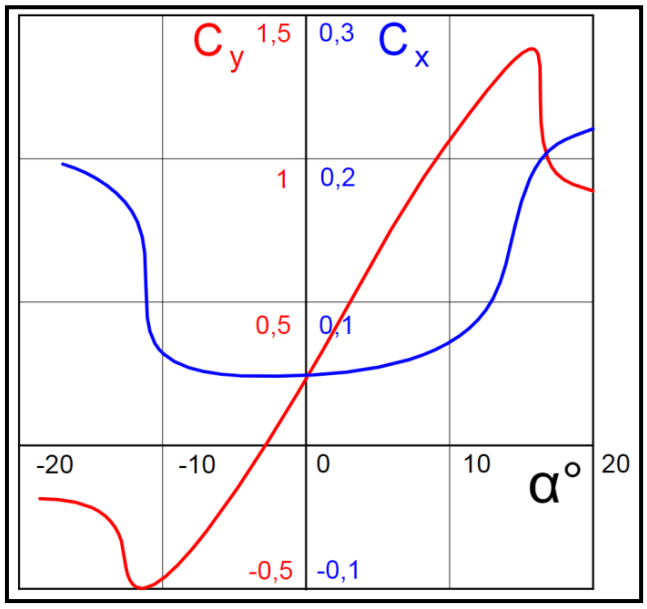
A szárny alakja az ábrán csak illusztráció, a szárnyprofilok ennél lényegesebben vékonyabbak vadászgépeken, pusztán az szárny íveltségének bemutatása a cél. A korai szuperszonikus repülőgépek szimmetrikus szárnyprofillal készültek, azok nem termeltek felhajtóerőt 0 fokos állásszög mellett

[785] *Egy szakértő szem alapos vizslatás után meg tudná tippelni a vezérsíkok helyzete alapján, a kép és a kérdés felvetés lényeg nem ez.*

[786] https://hu.wikipedia.org/wiki/%C3%81ll%C3%A1ssz%C3%B6g
http://fullfly.hu/download/aerodinamika.pdf 35.
http://www.ulhdv.hu/index.php/dokumentumok/112-a-repueles-alapelvei-a-felhajtoer-keletkezese

A szárnyak és a repülés alapvető működési elve, hogy az ívelt testek körül az áramlási sebesség eltérő lesz, ezáltal nyomáskülönbség jön létre, ez a nyomáskülönbség biztosítja a szükséges felhajtóerőt. A felhajtóerő generálisa viszont mindig légellenállással is jár ezért szükséges a hajtómű tolóereje, hogy a felhajtóerő folyamatosan biztosított legyen. (Nagyon leegyszerűsítve a fizikát. A léghajók és hőlégballonok a repülőgépekkel ellentétben 0 m/s relatív légsebesség esetén is képesek repülni.)





Szárnyprofilok jellemző (átlagos) felhajtóerő- és ellenállás-tényező diagramjai.

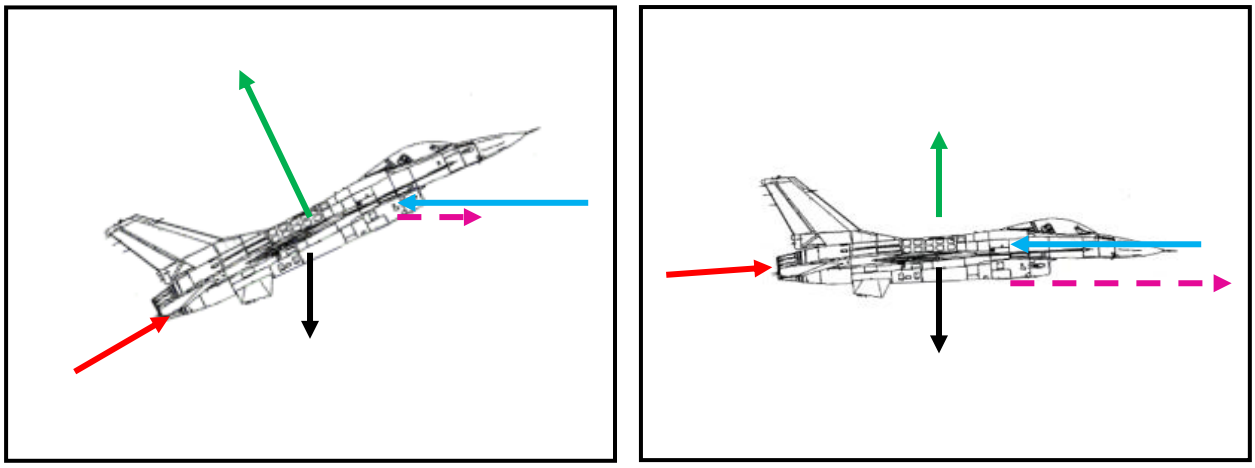
A fenti két ábrán átlagos szárnyprofilok felhajtóerő-tényezői (balra fent) (C_L vagy C_y) és ellenállás-tényező (C_D vagy C_x) láthatóak.[787] Növekvő állásszög (α) mellett egyre nő a felhajtóerő nagysága, mert egy ponton túl nemhogy nő, de esik a felhajtóerő nagysága (bal felső ábra.) A jobb felső ábrán az is látható, hogy az állásszög növekedésével a légellenállás-tényező is nő a felhajtóerő-tényező mellett, de a kettő hányadosa ettől függetlenül a kritikus állásszögig kedvező marad. A felhajtóerő-tényező és légellenállás-tényező hányadosa a siklószám.

A tényezőknél sokszor csak a pozitív állásszögekhez tartozó tartományt ábrázolják, mert az esetek túlnyomó többségében ennek van szerepe, de ettől még a viselkedés negatív tartományban érvényes marad. A diagramon az is látható, hogy 0 fokos állásszögnél is van már némi felhajtóerő, tehát nem szimmetrikus szárnyprofil látható rajta. Bár a 0 fokos állásszögnél termelődik felhajtóerő, de ez nem elégséges a vízszintes repüléshez ezért a repülőgépek még vízszintes repülés esetén is mindig valamekkora állásszöggel repülnek, még ha az csak néhány fokos is.

A fenti diagramokból az következik, hogy a repülőgépek mindig valamekkora állásszöggel repülnek, aminek mértéke attól függ, hogy egy adott tömegű repülőgéppel, adott sebességnél a pilóta milyen manővert hajt végre. Vízszintes repülés közben tehát a repülőgép valójában, még ha csak kis szöget is, de bezár a vízszintes iránnyal. Az, hogy mekkora állásszöggel repül a repülőgép vízszintes haladás (sebességvektor) esetén az annak tömegétől, a felhajtóerőtől és tolóerőtől is függ. Emiatt lehetséges, hogy egy vadászgép kis sebességen (200-250 km/h), de nagy állásszöggel repülve adott esetben ugyanakkora hajtómű fordulatszámmal repül (a tolóerő nem ugyanaz ezekben az esetekben, hiszen az sebességfüggő,

[787] *Az L = lift (felhajtóerő) és a D = drag (légellenállás) angol szóra utalnak, magyar nyelvű szakirodalomban használatos a C_f és C_e tényezők is.*

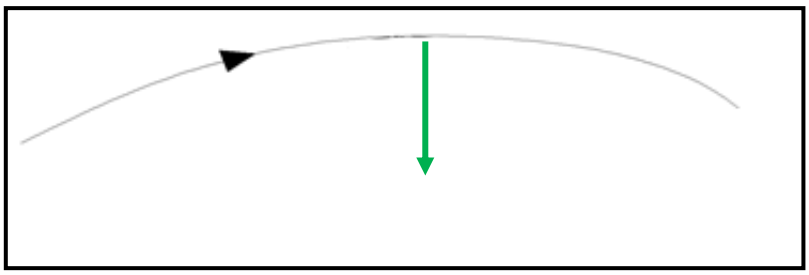
azonos magasságon azonos gázkar beállításnál eltérő a tolóerő),[788] mint mondjuk akár 600-800 km/h sebességgel haladva. A lenti ábrán érhető meg, hogy ez mitől lehetséges. A tömör nyilak jelölik az erőket. A felhajtóerőt (zöld), tolóerőt (piros), gravitációs erőt (fekete) és légellenállási erőt (kék), a repülőgép haladási iránya mindkét esetben vízszintes, ezt jelöli a szaggatott nyíl (magenta).



A repülőgépre ható erők eltérő állásszögek esetén.

A hajtómű tolóereje magasabb állásszög esetén kisebb mértékben tolja a haladási irányba a gépet, ellenben felhajtóerőt nagyobb mértékben fejt ki (függőleges és vízszintes komponensekre bonthatóak az erők, hiszen vektorok, ez igaz az összes erőre). A magasabb állásszög miatt a repülőgép légellenállása számottevő a kis sebessége ellenére, tehát viszonylag nagy tolóerő mellett sem képes kitolni magát ebből a helyzetből. Nagyobb gáz adásával azonban az állásszög elkezd csökkenni, ahogy a repülőgép sebessége nő és végül azonos hajtómű fordulatszám esetén is nagyobb sebesség és kisebb állásszögön állandósulhat a repülőgép sebessége.

A fenti ábra alapján az is látható, hogy pusztán felhajtóerő növelése által az eddig tömegpontként kezelt gép nem tudna fordulni, hiszen az megtartaná helyzetét, amennyiben a felhajtóerő a repülőgép súlypontján haladna keresztül. (Ez soha nem történik meg pontosan, de viszonylag közel van a felhajtóerő hatásvonala a súlyponthoz.) Tehát ahhoz, hogy a repülőgép fordulót legyen képes leírni felhajtóerő termelése mellett magát a repülőgépet is forgatni kell kereszttengely körül is (lateral axis a következő oldali ábrán), hogy az állásszöget létrehozták és fenn is tartsál a forduló alatt, az állásszög növelésével érik el azt, hogy vízszintes repüléshez képest a repülőgép forduljon.

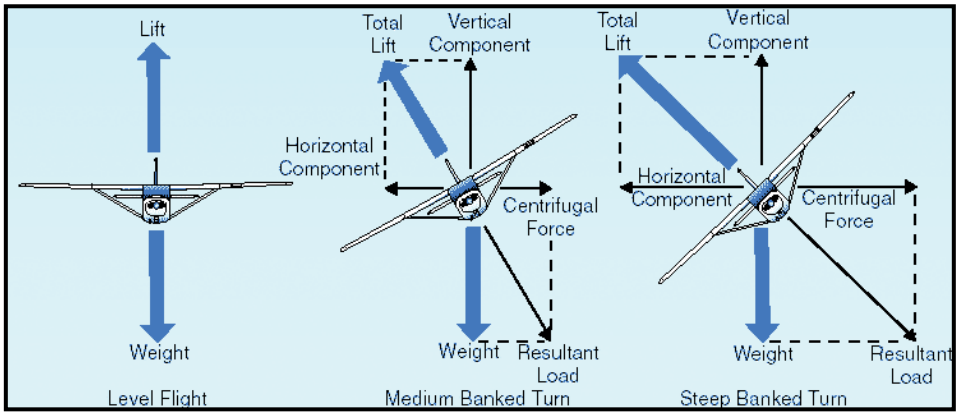


Felülnézetben a fenti pályán mozgó repülőgépnek tehát a zöld erő irányába mutató erőt kell létrehoznia. Ha a fenti pályán a görbületi sugarak ismertek és a gép tömege, akkor az ehhez szükséges erő kiszámítható. A repülőgép állásszögének növelésével hatalmas felhajtóerő hozható létre, de az a szárnyprofilja nagyjából merőleges irányú. Ez azt jelenti, hogy a felhajtóerő vektorát a kell „beforgatni”, emiatt szükséges fordulóban a repülőgépek bedöntése. A fenti ábrán látható zöld erő vektor a leni ábrán levő total lift (teljes

[788] https://htka.hu/2012/12/04/mcdonnell-douglas-f-15-eagle/ *Bővebben a hajtómű vezérlésről a 60. oldaltól a kék keretes részben.*

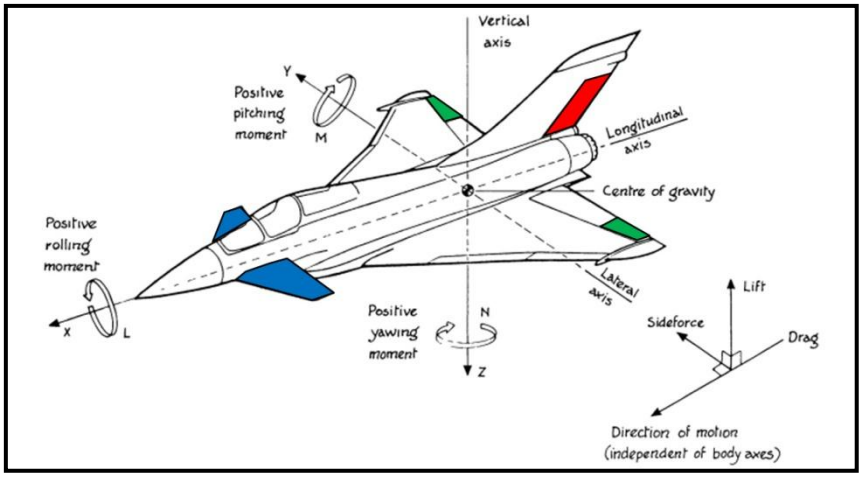
felhajtóerő) forduló irányú komponense. A lenti ábra alapján az látszik, hogy minél szűkebb és/vagy gyorsabb forduló elérése a cél annál nagyobb bedöntési szög szükséges, amiben egyre nagyobb állásszöggel repül a repülőgép.

Vigyázat, ez nem jelenti azt, hogy nagymértékű bedöntési szög esetén nem lehet kisebb túlterhelésű fordulót végrehajtani, a beöntési szög és a felhajtóerő maximuma együttesen határozzák meg adott sebességnél elérhető legnagyobb forduló szögsebességet. Tehát 80 fokos bedöntés esetén kis állásszöggel is lehetséges akár 9G, akár 7G fordulót is létrehozni, csak a vezérsíkok kitérítése más, ha az állandó magasságot kívánjuk tartani. A lábjegyzetben látható videón (1:14-től) az látjuk, hogy azonos bedöntési szög esetén a 9G túlterheléssel megkezdett fordulót néhány másodperc után 7G-re mérsékli a pilóta úgy, hogy a bedöntési szög nem változott, majd újra 9G-re növelte. [789] A különbség természetesen az, hogy eltérő állásszöggel repül a gép, tehát a saját tengely körüli forgás szögsebesség (bólintó irányban) is megváltozott, ahogy a haladási irány, a repülőgép sebességvektorának megváltozása is.



A repülőgép az állásszögének, illetve a saját térbeli helyzetének, a saját három tengely körüli kormányzása megváltoztatására használja a repülőgép szárnyain levő kormányfelületeket, ezek a következőek, lásd a lenti ábrán is:

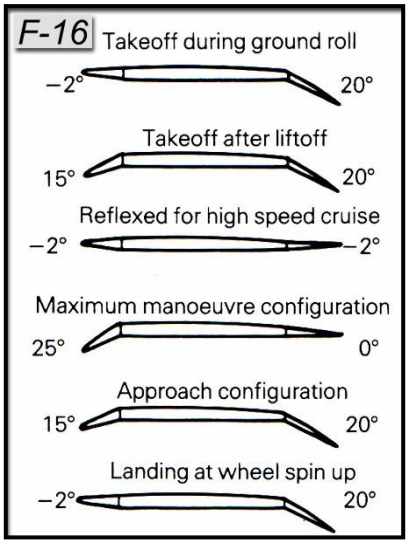
- a hossztengely körül forgást, az orsózást (roll) csűrőkormányokkal (aileron) (zöld)
- a függőleges tengely körüli forgást, a legyezőmozgást (yaw) az oldalkormányokkal (rudder) (piros)
- kereszttengely körüli forgást, a bólintást (pitch) a magassági kormányokkal/stabilizátorokkal (elevators) lehetséges (kék)[790]



[789] https://youtu.be/eXaPfUs6sQw?t=1m13s
[790] https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/UEET/StudentSite/dynamicsofflight.html
http://ze-engineer.blogspot.hu/2010/06/airplane-control-surfaces.html

Egyes repülőgépeken az magassági kormány és csűrőkormányok összevontan működnek, ilyenkor elevon-ról beszélünk (az elevator és aileron szavak összevonásából ered a megnevezése). Jellemzően a deltaszárnyú és csupaszárny gépeknél használatos ez a kialakítás. A fenti ábrán az Eurofighter Typhoon repülőgép látható, ahol a hagyományos repülőgépekkel ellentében nem a repülőgép farok részén, hanem az orrnál található a magassági kormány, ami „kacsa vezérsík" (canard) kialakítású.

Ez az funkció összevonás féklapok (flap) és oldalkormány (aileron) esetén is lehetséges, ekkor „flaperon" megnevezés használatos.



A fent felsorolt három kitéríthető kormányfelületen túl további szárnymechanizációval is rendelkezhetnek a repülőgép, ilyen a fékszárny (flap), orrsegédlap/orrsegédszárny (leading edge flap/slats)[791] illetve törzsféklap (airbrake). A törzsféklap a legegyszerűbb, egyszerűen arról van szó, hogy kisebb-nagyobb lapokat kitolva növelik meg a repülőgép légellenállását, erre szükség például leszálláskor lehet szükség.

Szintén kis sebességen vagy leszálláskor is használatos az orrsegédszárny, ami kitolja a vékony profilú szárnyak üzemi tartományát, késleltetve a leválást és az átesést, amikor a repülőgép eléri a kitikus állásszöget, de a fékszárnnyal ellentétben az orrsegédszárny nagy sebességű, nagy túlterhelésű nagy állásszögű manőverek közben is ki lehet térítve.

Ha a mozgó rész szárnyprofil-alakú akkor slat/orrsegédszárny elnevezés a pontos a magyar terminológiában, ami attól eltér az flap/Krueger flap, lehajló belépőél, orrsegédlap. Minden számítógép vezérlésű gépnél a mozgó részek be vannak lőve a lehetséges optimális pontokra, de attól még a nevük az, amit az ősidőkben kaptak, és a fékszárny, féklap, ívelőlap, orrsegédszárny még mind a 30-as évek találmányai.

A flap-nak azért nincs szabványosított magyar műszaki megnevezése, mert mikor ezt kitalálták (talán a Crusaderen volt először) akkor Magyarország „kissé" elszakadt a nyugattól, és először magyar gépen a MiG-23-on volt ilyen műszaki megoldás. A kutya se foglalkozott vele, hogy van valami, aminek nálunk neve sincs, orrsegédszárnynak titulálták, holott nem szárny-profilozású, hanem ugyanaz mint az F-16-on.

(Molnár László kiegészítése.)

[791] *A „flap" hidraulikus munkahengerekkel működtetett, a „slat" az aerodinamikai erők hatására „esik" ki magától a szárnyból vagy nyomódik vissza a helyére a légerők által, a Me-109 vadászgépek volt ilyen. Nagysebességű vadászgépeken csak hidraulikus munkahengerekkel mozgatott orrsegédszárnyt használnak.*

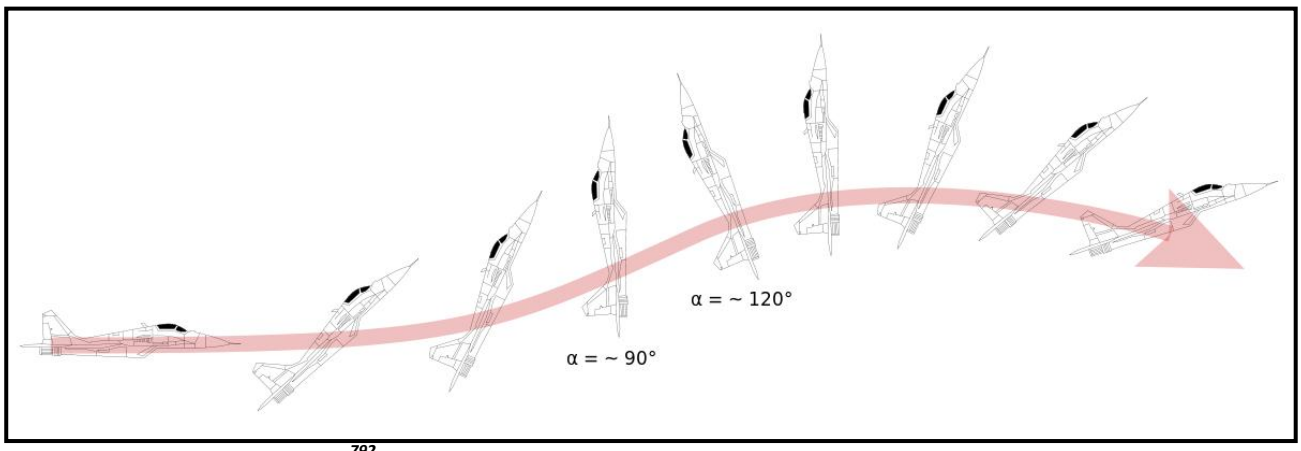
Balra fent látható az F-16-on nyitott állapotban a törzsféklapok (sárga), illetve a szárnyak belépőélein lenyitva az orrsegédszárnyak (piros). Jobbra a fékszárny nyitott helyzetben (fehér), a fékszárnytól kintebb található csűrőkormány (narancssárga).

A szuperszonikus gépek első generációi kis relatív vastagságú, szimmetrikus szárnyprofilokkal repültek, amelyek legnagyobb vastagsága nagyjából a húrhossz felénél volt. Ezek kritikus Mach száma magasabb volt, mint a hagyományos profiloké. A fő cél inkábba hangsebesség feletti ellenállás tényező csökkentése és a leválásmentes áramlás biztosítása volt a szuperszonikus sebességtartományban

Az erősen mechanizált szárnyú vadászgépek – pl. F-16, Szu-27 – éles belépő élű profilokat alkalmaznak. Az ilyen profilok kritikus állásszöge a kúpos szárnyhoz képest kicsi, s ennek megfelelően az elérhető maximális felhajtóerő tényező is erősen állásszög limitált. A nagy állásszögű aerodinamikai tulajdonságok drasztikus javítását az automatikusan működő orrsegédszárnyak használatával érik el.

Amikor működik az automatika, akkor az F-16 maximális állásszöge 26 fok, azonban, ha bármilyen okból működésképtelen és fix helyzetben van, akkor a maximális állásszög mindössze 10 fok. A Szu-27 esetébenez az érték 30 fok és 12 fok. (Farkas Gábor kiegészítése.)

A 4. generációs vadászgépek függesztmény nélkül is legfeljebb 26-40 fok körüli állásszöggel képesek repülni, csak ezen tartományon belül őrzik meg három tengely körüli kormányozhatóságukat. Csak kis sebességek esetén lehet a légerők miatt tartósan magas állásszöggel repülni, nagyobb sebesség esetén már sokkal kisebb állásszögekkel is elérhető a repülőgép túlterhelhetőségének a maximuma. (Az állásszög lehet pusztán a sebesség okán is korlátozva.)



A Kobra manőver[792] során a repülőgép haladási irányi és bólintási szöge jelentősen eltér.

[792] https://youtu.be/b-VNSJMiNt0?t=14s

A fentiek következménye az, hogy lehetséges a repülőgépet gyorsabban forgatni (bólintani), mint amekkora a forduló szögsebessége, ennek eredménye például a Kobra manőver, amikor repülőgép haladási irányához képes extrém nagy állásszöggel haladhat a repülőgép egy rövid ideg, akár 90-120 fokot is elérheti. Ez nem tartós üzemi tartomány, ez csak tranziens állásszög.

Elmondható, hogy az esetek többségében, amikor tartósan meghaladja bármely három tengely körüli forgása a repülőgépnek a haladási iránnyal az nem kívánatos eset. Ez jellemzően kis sebességeknél következik be, de akár kis, akár nagy sebességnél ez tartós, akkor a repülőgép irányíthatatlanná válik. Az ilyen helyzetekből nagyon nehéz kivezetni a repülőgépet főleg nagyobb magasságon, ahol a légkör ritka. Ennek oka az, hogy akkor és olyan változó légerők hatnak a repülőgépre, hogy kis sebesség mellett a pilóta érdemben nem tud beavatkozni a repülőgép három tengely körüli forgás megszüntetésébe, mert egész egyszerűen a repülőgép tömegéből és forgási sebességéből adódóan a perdültéből adódó mozgási energia csökkentése nem lehetséges.[793]

A nagy állásszögű viselkedések vizsgálatakor ezért a kísérleti gépeket biztonsági okokból nagyméretű fékezőernyővel látják el, hogy a gép elvesztésének kockázatása nélkül vizsgálhatóak legyenek a nagy állásszögi viselkedési paraméterek, még ha az a repülőgép aerodinamikájának megváltoztatásával lehetséges is csak. Lásd a lenti képen illetve a lábjegyzetben található videón.[794]

Összefoglalva, a vízszintes repüléshez és a fordulók végrehajtásához szükséges felhajtóerőt a szárny – és számottevő mértékben a vadászgép törzse is a 4. generációs vadászgépektől kezdve –– állítja elő annak üzemi tartományán belül, de a szükséges állásszög előállítása és a repülőgép három tengely körüli helyzetének vezérlése a kormányszervekkel, illetve a hajtómű tolóerejének változtatásával történik.

A kormányszervek illetve az orrsegédlap és egyéb elemek működtetése ma már számítógép-vezérelt, a repülésvezérlő szoftvereket igen bonyolult helyzetekre is fel kell készíteni, ellenben ezek megléte sokat segíthet a pilóták munkáján, nagymértékben segíthetik a repülőgépek vezethetőségének megtartását, megakadályozva egyes helyzetekbe kerülést, a pilóta parancsainak felülbírálásával, illetve kritikus helyzetben a megfelelő kormányszerv kitérítést is segíthetik. Hibás működés esetén komoly problémákat okozhatnak...[795]

[793] https://youtu.be/ZpxD6n9ZWyQ?t=3m51s
https://youtu.be/Rv9YC-qaNYo?t=2m7s
[794] https://youtu.be/ZpxD6n9ZWyQ?t=31s
[795] https://www.youtube.com/watch?v=faB5bIdksi8

11.6. Fajlagos paraméterek

A laikusok által két nagyon gyakran használt fajlagos mutató a tolóerő/tömeg arány, illetve a szárnyterhelés. Az előbbiről már szó esett korábban is, annak pusztán már jellege miatt is pontatlan a 11.2. fejezetben leírtak miatt. A fentiek alapján azonban látható, hogy a másik faktor, amiért igen pontatlan az a légellenállás, ami számtalan tényezőtől is függ. Lehet két vadászgép tömege megközelítően azonos igen hasonló tolóerő/tömeg aránnyal, de ha ez az egyiknél igen eltérő függesztménnyel, tehát nagyon eltérő légellenállással és hullámellenállással valósul meg, akkor azok gyorsulása és maximális sebessége is nagyon eltérő lehet annak ellenére, hogy a fékpadi paraméterekkel kifejezett tolóerő/tömeg arány mit mutat. Attól, mert egy repülőgép tolóerő/tömeg aránya azonos vízszintes repülésben a csúcssebessége és gyorsulása még megfelelő lehet, ahol a gravitáció hatása jóval kevésbé számít, mint függőleges manőverek végrehajtása közben.

A másik gyakran használt fajlagos mutató a szárnyterhelés, ami lényegében a repülőgép tömege és szárnyfelületének hányadosából eredő érték. Azt mutatja meg, hogy úgymond mekkora feladat elé állítja a repülőgép tömege annak aerodinamikai kialakítását, hogy mennyi felhajtóerő termelése szükséges 1 m^2-re vetítve vízszintes repüléshez. Ez persze azt is jelenti, hogy nagyobb túlterhelésű fordulók esetén a magasabb szárnyterhelésű repülőgépek (elvileg) előbb fogynak ki a „szuflából”, mint a kisebb szárnyterhelésűek, hiszen adott siklószám és állásszög korláton túl nem növelhető a felhajtóerő adott sebességnél.

A probléma ezzel a mutatóval, hogy a feladat nagyságát fejezi ki, de azt nem, hogy a repülőgépet milyen sebesség tartományra és mire optimalizálták, tehát hogy mennyire hatékonyan hajtja végre a feladatot. A másik még komolyabb probléma vele, hogy a 4. generációs repülőgépek megjelenése óta a törzs is számottevő arányban vesz részt a felhajtóerő termelésben nagy állásszögeknél.

Tehát még a szárnyfelületet adott estben meghosszabbítva a törzsre nézve sem kapunk reális képes arról, hogy mekkora is a repülőgép azon felülete, ami effektíven részt vesz a felhajtóerő előállításában. A régi vadászgépek esetén – pl. MiG-21 vagy F-102 – a törzs és szárnyak jellemzően erőteljesen elkülönültek egymástól, de az F-14, F-15. F-16, F-18, MiG-29, Szu-27, az 4. generációs európai vadászgépek vagy éppen az F-35 esetén erről szó nincs. Nagyobb állásszögeknél a manőverező légiharc jellemző tartományában a MiG-29-nél a törzs adott esetben a teljes felhajtóerő akár 30-35%-áért felelős. Persze a törzs felülete nagyobb, mint a szárnyaké, tehát az kisebb hatásfokkal működik, de még ezzel is számottevő felhajtóerőt generál, ami sehol nem jelenik meg ezzel az egyszerű fajlagos értékkel számolva...

Ki lehet számolni ezeket tetszőleges konfigurációban repülő repülőgépek esetén, de értelme nem sok van, annyira jelentéstartalom nélküli, hiszen a felhajtóerő- és ellenállás-tényezőnél az is szerepet játszik, hogy milyen függesztménnyel repül egy gép. Tehát lehet azonos szárnyterhelése két repülőgépnek adott tömeggel úgy, hogy teljesen más állásszög korlátjuk és felhajtóerő tartalékuk van.

11.7. A repülési teljesítményt bemutató diagramok, adatok

11.7.1. Repülési sebesség definiálása

A fentiekben bemutatott tényezők ismeretében belátható, hogy egyetlen adott pontban és pillanatban is kiszámolni a repülőgépre ható erők nagyon nem egyszerű feladat még mérnökök számára sem. A pilótáknak a repülőgépek üzemeltetéséhez, az azzal való repüléshez, harcászati fogások kidolgozásához és bevetések megtervezéséhez könnyen és gyorsan értelmezhető adatsorokra van szükségük. Ezen igények miatt határozzák meg mérésekkel és számításokkal a gépek repülési teljesítményét és azok üzemeltetési korlátait bemutató diagramokat és táblázatokat. Ezek diagramokból annyi féle eltérő ábrázolási móddal rendelkező van, mint égen a csillag, ezért csak a legjellemzőbb diagramok bemutatása és ezok értelmezésével foglalkozik ez a fejezet.

A repülési teljesítmény megértéséhez első körben szükséges a közeg ismereté, amiben a repülőgépek üzemelnek, ez pedig a légkör. A légkör hőmérséklete és sűrűsége a magassággal emelkedve csökken, ami drámai módon befolyásolja a repülési teljesítményt. Ennek megértéséhez szükséges megismerni a különféle módon definiált sebességéket, amik nagyban megkönnyítik a helyzet értelmezését a pilóták számára is. A repülőgépek haladási sebességét több féle módon lehet meghatározni és mérni a következők szerint.

GS Ground Speed, földfelszínhez képesti haladási sebesség. A gép haladási sebessége és a szélsebesség különbözete.

TAS True air speed, légsebesség. A változó sűrűség és a levegő összenyomhatóságából származó hatások korrigálva vannak, de a szélsebesség nem. Látható, hogy szél esetében a GS és a TAS nem egyeznek meg, mert pl. oldalirányban eltéríti repülőgépet az oldalról fújó szél, de hátszél esetén a repülőgép a földhöz képest nagyobb sebességgel halad, annak ellenére, hogy a körülötte áramló levegő

(Erős hátszél esetén így lehetséges elvileg hangsebesség számszerű értékénél gyorsabban repülni a földhöz viszonyítva anélkül, hogy a repülőgép valóban átlépé a légsebesség szerinti hangsebességet. [796] Tehát a GS elérheti kellően erős szél esetén a hangsebesség értékét, de a repülőgép körüli légsebesség, a TAS annak közelében sincs.
Fordított esetben kellően erős szél esetén az is előfordulhat, hogy az ultrakönnyű és vitorlázó repülőgépek elemelkednek 0 közeli vagy akár negatív földhöz viszonyított sebességgel is, [797] mert akkora a szélsebesség talajszinten is, hogy elegendő felhajtóerőt termelnek a földön álló helyzetben is. Extrém viharos/szeles időben ezért viszik be lehetőleg zárt helyre ezeket a gépeket, repülnek át máshova vagy kötözik/nyűgözik le azokat.)

CAS[798] Calibrated air speed, műszer szerinti repülési sebesség. Ez a sebesség lényegében a gépre ható aerodinamikai erőkkel van kapcsolatban, nem korrigált sebesség. A magasság emelkedésével azonos földhöz képesti sebesség (GS) vagy azonos TAS/Mach-szám esetén a CAS egyre kisebb a ritkább levegő miatt.

[796] https://goo.gl/pQqBwZ
[797] https://www.youtube.com/watch?v=b_WmjWAGkLI
[798] http://www.hochwarth.com/misc/AviationCalculator.html *A linken levő cellák kitöltésével adott magasságon számolható a TAS-CAS és a Mach szám.*

A CAS tehát az a repülőgépen ébredő erőkkel van kapcsolatban. Azonos CAS esetén, a repülőgép szárnyain kvázi ugyanakkora felhajtóerő ébred azonos állásszögnél. Ez a megközelítés igaz a légellenállásra is. Tehát a TAS a navigáció számára fontos, hogy mért szélsebesség esetén számolható legyen a GS, a CAS viszont a manőverező légiharc szempontjából fontos, mert sokkal szemléletesebben jelzi a pilóta számára a repülőgép vezethetőségének és manőverező képességének a határait.

Mekkora a különbség a CAS és TAS között és hogyan lehet ezt kiszámítani? Néhány konkrét példák keresztül kerül bemutatásra ezt. Nézzük meg például 350 csomó (648 km/h) CAS sebességnél a TAS-t és Mach számot 100 méteren, illetve kb. 9 000 méteres repülési magasság esetén. A következő oldalon található diagram ennek meghatározására szolgáló diagram. (Szélcsenddel számolunk az egyszerűbb példa kedvéért.) A szükséges lépések ehhez a következők:

1. ***Az vízszintes (x) tengelyről a repülési magasságig felvetítjük a CAS értékét, jelen esetben 350 csomótól a '30' jelű görbéig. (30 = 30 ezer láb = 9,14 km)***
2. ***Az első pont metszéspontját vízszintesen vetítjük a Mach szám függőleges (y) tengelyéig, M0,9 sebesség értéket kapunk.***
3. ***15 fokos tengerszinti hőmérséklet esetén meg vannak adva az adott magasságban érvényes légköri hőmérsékletek jobbra lent, 30 ezer lábon ez -44 Celsius fok.***
4. ***A kettes pont vízszintes görbéjével a -44 fokos interpolált vonal metszéspontját megkeressük és függőlegesen levetítjük a TAS értékig, ami jelent esetben. kb. 535 csomó (990 km/h)***

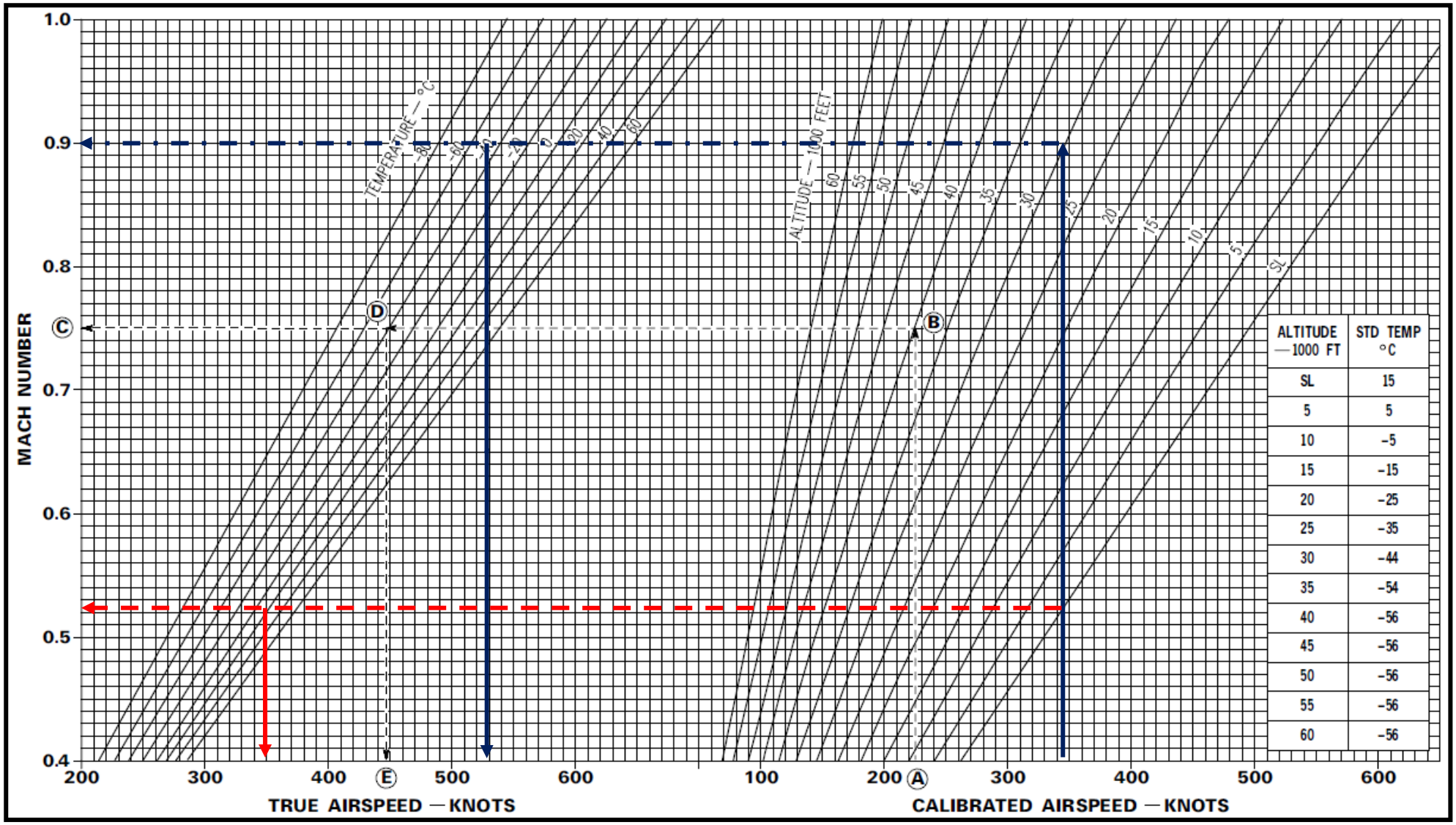
Tengerszinten a 350 CAS = 350 TAS csomó sebesség, a Mach szám 0,52. Ez tehát azt jelenti ahhoz, hogy a repülőgép azonos felhajtóerőt hozzon létre ahhoz tengerszinthez képest számottevően gyorsabban kell repülni, egészen hangsebesség közelébe kell már repülni 9 km magasan.

Ugyanezen metódussal látható, hogy a földközelben 500 csomós (926 km/h) sebesség (CAS = TAS) 30 000 láb (9,14 km) magasságban már bőven hangsebesség felett (M1,23) haladási sebességet jelent (TAS 730 csomó = 1351 km/h).

A CAS és TAS közötti különbség fontos a navigáció és a manőverező légiharc megértéséhez. A navigáció számára az a fontos, hogy a földhöz képest mekkora sebességgel halad a gép, a manőverező légi harc és a repülőgép csúcssebessége szempontjából nagyon fontos, hogy a gépre milyen aerodinamikai erők hatnak.

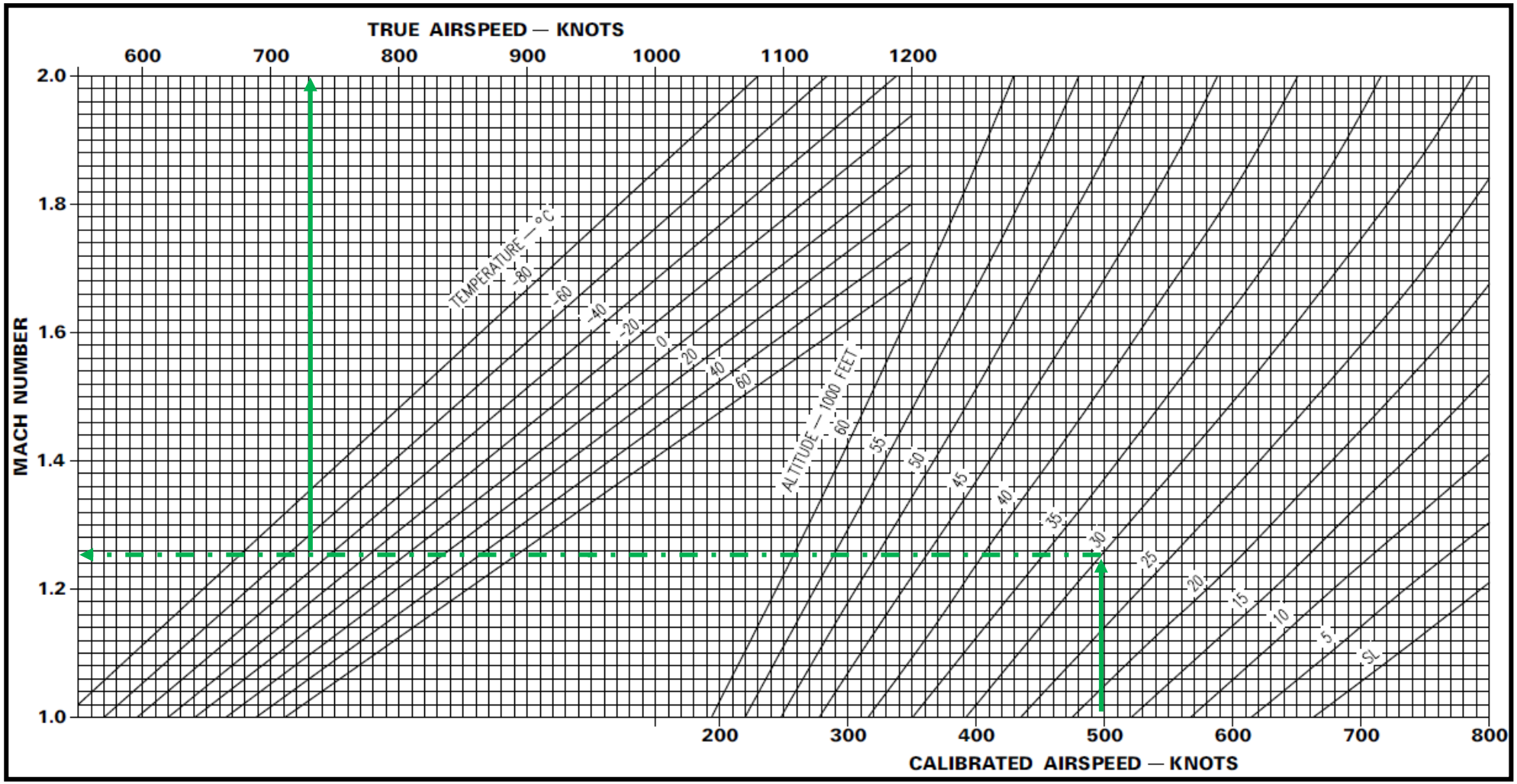
A fenti összefüggés miatt lesz a következőkben megérthető, hogy azonos tömegű és konfigurációjú repülőgép esetén miért és hogyan csökken a repülési teljesítmény. A magasság növekedésével csökken a CAS állandó TAS esetén, ami azt jelenti, hogy egyre kisebb túlterhelésű forduló állítható elő ráadásul úgy, hogy a hajtómű tolóereje is csökken. Tehát a magasság duplán „súlyosbítja" a helyzetet. A későbbiekben látni fogjuk, hogy emiatt a hatás miatt zajlott a légi harcok kb. 90%-a vadászgépek között 25 000 láb (kb, 7,5 km) alatt, mert afelett egyszerűen eufemizmus valódi manőverező légi harcról beszélni a szó klasszikus értelmében. A legerősebb vadászgépek teljesítménye is drámaian csökken ezen magasság felett a tengerszinti, de még a közepes magassági tartományhoz képest is.

A TAS-CAS átszámítására nem csak a lenti diagram használatos, annak praktikussága miatt esett a rá a választás a jelenség bemutatására. Ilyen diagramok használata ma már részben idejétmúltnak tekinthető a számítástechnika fejlődése miatt. A fent kapott eredmények az előző oldali lábjegyzetben található online kalkulátorral is ellenőrizhetők, annak használata gyorsabb. A táblázatok használata pusztán érdekességként, illetve a kalkulátor program helyességét bizonyítandó kerültek be az összefoglalóba.



ALTITUDE —1000 FT	STD TEMP °C
SL	15
5	5
10	−5
15	−15
20	−25
25	−35
30	−44
35	−54
40	−56
45	−56
50	−56
55	−56
60	−56

350 csomós (M0,52) tengerszinti CAS sebesség 30 ezer lábon 535 csomó TAS (M0,9).



500 csomós (M0,75) tengerszinti CAS sebesség 30 ezer lábon 730 csomó TAS (M1,23).

11.7.2. Fajlagos teljesítményfelesleg, diagramok típusai

A repülőgépek repülési teljesítményét bemutató diagramok adott jellemzők kihangsúlyozására készültek, egyetlen diagram vagy adatsor segítségével nem lehetséges a repülőgépek minden jellemzőjét ábrázolni, ennek oka az, hogy túl sok tényező befolyásolja azt. A repülőgép tömege, légellenállása – ezek az általuk hordozott fegyverzettől és egyéb függesztményektől függenek – a repülési magasság, sebesség, hajtómű teljesítménye, stb.

A diagramok többsége ezért néhány paraméter változtatásával mutatja be a teljesítmény változásának egyes jellemzőit, minden mást értéket fixen tartva. Az általában fixen tartott paraméterek a repülőgép tömege, légellenállása, tehát egy adott konfiguráció és üzemanyag mennyiségből számolható tömeg és légellenálláshoz adnak meg adatsorokat a manőverező képességre maximálgáz illetve utánégető hajtómű teljesítményre, az ezek közötti értékek interpolálhatóak/becsülhetőek.

A lenti bemutatásra kerülő diagramok tartalmának megértéséhez szükséges ismerni a specific excess power (fajlagos teljesítményfelesleg, a továbbiakban P_s) fogalmat, ez alapvető fontossággal bír, a teljesítmény leírásának alfája és ómegája.

A fajlagos teljesítményfelesleg fogalom megalkotása során azt vették alapul, hogy a bármelyik repülőgép összehasonlítható legyen az adott repülési helyzetben egy másikkal egyetlen (fajlagos) értékkel, ami megmutatja, hogy az adott helyzetben a repülőgép képes növelni helyzeti- vagy mozgási energiáját vagy sem. A P_s érték megmutatja azt, hogy az adott energiaszinten levő gép – mozgási és helyzeti energiájának összege – mennyire gyorsan képes változtatni az energiaszintjét az adott helyzetben. Pozitív érték esetén képes emelkedni és/vagy gyorsítani, negatív érték esetén lassul vagy süllyedni szükséges a sebesség megtartásához, ez az érték pillanatról pillanatra változhat.

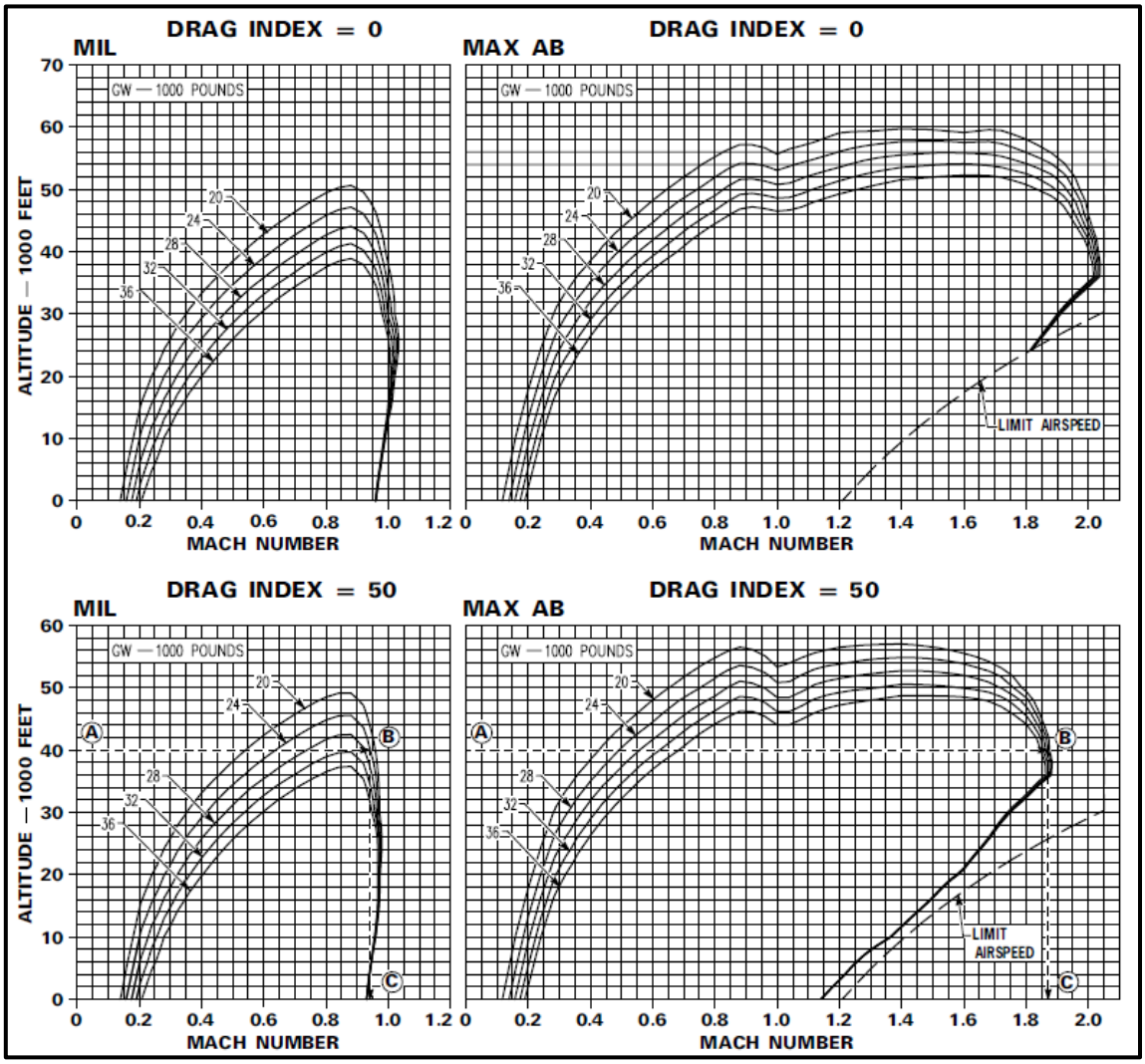
A P_s kiszámításához minden pillanatban ismerni kell a gép pályáját, a rendelkezésre álló tolóerőt, a gép légellenállását, a szárnyakon (és a törzsön) ébredő felhajtóerőt, a gép állásszögét, bólintási szögét, pillanatnyi tömegét, pillanatnyi magasságát, a környezeti levegő sűrűségét és hőmérsékletét. Tehát a P_s nem fékpadi tolóerő és egyéb statikus értékekből számolt fajlagos érték, az adott repülőgép hajtómű-, légellenállás és állásszög karakterisztikáját is figyelembe veszi, tehát semennyire sem torzít, de emiatt borzalmasan sok bemenő adatot igényel. (A berepülési program során a repülőgép teljesítményének feltérképezése is zajlik, ehhez nem kevés repült óra és speciálisan felműszerezett repülőgép szükséges.)

Azonban a fáradozás megéri, mert egyetlen fajlagos érték az eredménye, ami az adott pontban egyértelműen megmutatja, hogy mire képes a repülőgép egy adott manőverben/helyzetben. Összehasonlításkor, amelyik gépnek az adott helyzetben nagyobb a P_s értéke, az abban a helyzetben nagyobb abszolút teljesítménnyel rendelkezik. Pont.

Abszolút teljesítmény alatt értjük a gyorsulást, emelkedő képességet és minden hasonló mennyiségi módon leírható paramétert. Azt azonban a diagramok nem fedik fel, hogy a repülőgép három tengely körüli kontrollálhatósága, vagyis vezethetősége milyen vagy azt, hogy pl. a hajtómű mennyire pompázsveszélyes.

Az F-14A esetén egyes helyzetekben a P_s értéke meglepően közel esik a sokkal erősebb F-15A és F-16A-hoz, azt azonban nem mutatja meg egyetlen repülési teljesítmény diagram is, hogy a manőverező légi harc során egyik fordulóból a másikba történő átmentet illetve a hajtómű teljesítményének szabályozhatósága mennyire jó vagy rossz, ami például a korai F100-PW-100 vagy a TF30 hajtóműcsalád esetén probléma volt.

A CAS-TAS-Mach szám, a légerők illetve a fajlagos teljesítményfelesleg megismerése után értelmezhetővé válnak a diagramok. Első lépésben ismerkedjünk meg a repülőgépek 1G túlterhelés melletti repülési teljesítményét leíró diagramokkal. Lent látható az F-16CJ típus 1G túlterhelés melletti maximális sebességet bemutató görbeserege.[799] A repülőgépek által elérhető maximális sebességet és magasságot adott feltételekkel jellemzően a lentihez hasonló diagramon ábrázolják. A feltételek a következők jelen esetben:



- DI (drag index), légellenállás tényező = 0. Ez azt jelenti, hogy a függesztmény nélküli esetet mutatja be. A DI = 50 esetén már minimális mennyiségű függesztmény található a gépen. Ennek hatása látható az elérhető kisebb maximális sebességben.
- A MIL feliratú részen a maximálgázon (military thrust), a MAX AB a teljes utánégető (maximal afterburner) hajtómű teljesítmény mellett elérhető sebességek láthatók.
- A vízszintes tengelyen a sebesség (Mach-szám) szerint látható, függőlegesen a magasság van ábrázolva
- A görbékhez húzott 36, 32, 28, 24, és 20 számok a gép tömegét jelzik x1000 fontban, tehát a 20 az 20 000 ezer font (kb. 9000 kg) tömegű F-16-ost jelent.

Az előző oldali diagramokat alapvetően három zóna határolja le, ezek a következők:

[799] *T.O. GR1F-16CJ 1-1*

1. A diagramok bal oldalán az adott magasságban érvényes átesési sebesség, ahol a repülőgép már nem képes maximális állásszög esetén sem a vízszintes repülésre. Ez a 11.5. fejezetben, a 730. oldalon látható nagy állásszögű eset fenntarthatatlan határhelyzetét mutatja. Mivel a magassággal adott TAS/Mach szám esetén csökken a CAS ezért van az, hogy a magasság értékével a minimális sebesség nő.

2. A görbék felső része, a repülőgép tömegének növekedésével egyre kisebb maximális magasság érhető el adott sebességen. Ennek magyarázata egyszerű, a repülőgép által termelhető felhajtóerő nem változik adott magasság és sebesség esetén, tehát nagyobb tömeg esetén a ritkább légkör miatt csak kisebb magasság érhető el. A görbe maximális magassági értéke a repülőgép maximális elméleti szolgálati csúcsmagassága. Ennek az elvi értéknek a harcászatilag értelmes maximális magassághoz vajmi kevés köze van reális fegyverzet konfiguráció esetén is, nemhogy a függesztmények nélküli értéknek, amikor a gép semmiféle fegyverzett nem hordoz. (Lásd később.)

   A szolgálati csúcsmagasság/statikus magasság* azt az értéket takarja, ahol a repülőgép még kb. 1,5G túlterhelésű fordulót képes végrehajtani, tehát még kormányozható marad. Egyenes vonalú repülés esetén valójában még kismértékben tudna emelkedni, de ennek semmiféle gyakorlati jelentősége nincs, igazából a szolgálati csúcsmagasság elvi értékének sincs.

3. A görbék jobb oldala a repülőgépek által elérhető maximális sebességet mutatja. Igen szemléletesen látszik a repülési magasság és az utánégető használata közötti különbség. Hiába csökken a hajtóművek teljesítménye a magassággal – lásd 11.2. fejezetben – a légellenállás csökkenése számottevőbb, ezáltal nagyobb maximális sebesség érhető el. *Figyelem, ez nem jelenti azt, hogy a repülőgép vízszintes repülésben adott sebességtartományban nagyobb magasságban jobban gyorsul*. A maximális sebesség és gyorsulás nem összefüggő tényezők. Egy kisebb maximális sebességű repülőgép gyorsulása is lehet jobb M0,8-M1,2 tartományban, mint egy M2,0 vagy akár M3,0 maximális sebességű vadászgépé. (Lásd már említett MiG-25 kontra 4. generációs vadászgépekét.)

   A limit airspeed vonal adott magasságon azt jelenti, hogy az mesterséges korlát torló nyomás vagy más ok miatt, pusztán „tolóerőből" elérhető lenne nagyobb sebesség is. Ez főleg alacsony magasságon számít főleg, ha a repülőgép nagyobb magasságban repülve már nagyobb sebességet ért el, mint a kisebb magasságon megállapított maximális érték, majd azt követően süllyed. Így elérhet akkora sebességet, ahol a tolóerő még gyorsítaná a gépet, azonban a gép szerkezeti szilárdságának (vagy hajtóművének) megóvása érdekében az már tiltott zónának számít.

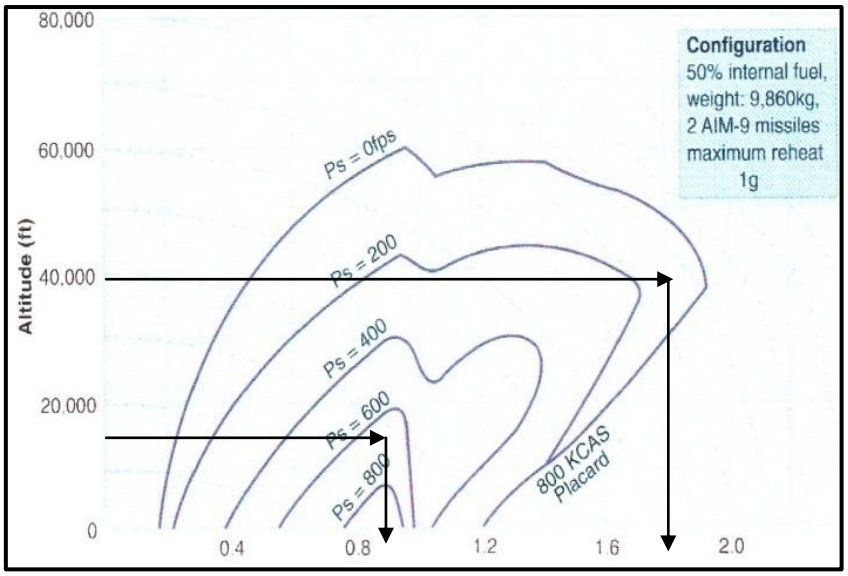
** A Streak Eagle rekord repülései során[800] a szolgálati csúcsmagasságot messze meghaladó magasságra emelkedett a repülőgép. A linkel található leírás alapján azonban látható, hogy szó nincs statikus magasságról. A rekordrepülések során dinamikusan emelkedtek. Ezt azt jelenti, hogy adott magasságon a csúcssebesség, vagy ahhoz közeli értékre gyorsultak, mert az repülőgép megszerzett lendületét felhasználva lényegében egy idő után már ballisztikus pályán emelkedett a repülőgép, aminek három tengely körüli kormányozhatósága egy idő után meg is szűnik sőt, akár a hajtóműve is leállhat.*

Tehát az ilyesfajta emelkedésnek semmiféle harcászati jelentősége nincs, pusztán a repülési rekordok hajhászásakor hajtanak végre ilyen manővereket. Harcászati konfigurációban még a statikus csúcsmagasság közelébe sem emelkednek a vadászgépek, nemhogy dinamikusan ugrásokat hajtsanak végre. Harcászati előnnyel ez amúgy sem jár, a repülőgépek hatósugara is lényegében a nullához közelítene.

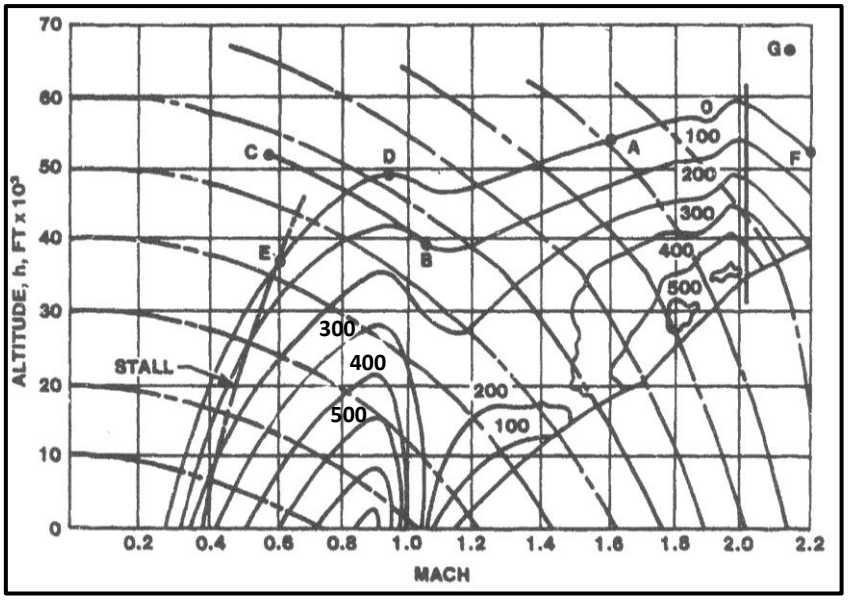
[800] https://htka.hu/2012/12/04/mcdonnell-douglas-f-15-eagle/ *6.1. fejezet, 185. oldal.*

A fenti diagram tehát megmutatja azt, hogy vízszintes repülés esetén mi a repülőgép maximálisan lehetséges üzemi tartománya, de azon belül azt már nem mutatja meg, hogy adott pontokban mekkora a teljesítmény felesleg (P_s) értéke, hogy mekkora mértékben képes a repülőgép emelkedi és gyorsulni. A lent látható két diagram a fentihez hasonló 1G helyzetre vonatkozó határokat vázolja fel, azonban már a P_s izo-görbékkel („szintvonalakkal”) együttesen ábrázolva.

Az angolszász irodalomban a P_s értékek láb/másodperc, az európai irodalomban m/s értékben vannak ábrázolva. Azt mutatják be, hogy az adott pontban mekkora maximális emelkedési sebességre lenne képes még a repülőgép. Ez egyben azt is jelenti, hogy a Ps érték nagysága a vízszintes gyorsulási képességet is leírja részben.



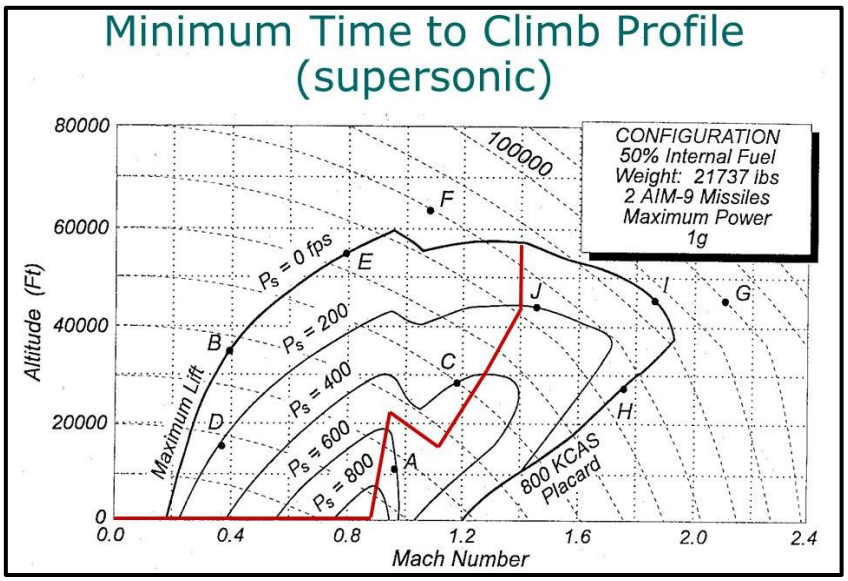
Sebesség-magasság repülési teljesítmény-tartomány (performance envelope) görbék 1G, vízszintes repülésnél F-16A esetén, 2 db AIM-9 rakéta és 50% belső tüzelőanyag mennyiségnél, 9860 kg (21 700 font) tömeg mellett.



Sebesség-magasság repülési teljesítmény-tartomány (performance envelope) görbék 1G, vízszintes repülésnél F-104 esetében (jobb). (Valószínűleg fegyverzet nélkül ismeretlen tömeg esetén.) Érdekessége a diagramnak, hogy megmutatja, hogy az F-104 mennyivel optimalizáltabb volt nagysebességű elfogásra. 40 000 láb magasságban M1,8 sebességnél P_s = 400 láb/sec, ehhez képest F-16A esetén ez a tartomány a P_s = 100 táján van. A manőverező légiharc jellemző tartományában (Mach 1 és kisebb sebességek 25 000 láb alatt) ezzel szemben az F-16 messze felülmúlja az F-104-et. 15 000 láb magasságon M0,85 sebességnél a P_s kb. 670 láb/sec, az F-104-nél kb. 480 láb/sec.

Látható, hogy kis sebességnél a P_s = 0 vonal határolja le a területet, ahogy ezt a repülőgépre ható részben bemutatásra került. A repülőgép nem képes sem emelkedni, sem kitolni magát ebből a helyzetből, adott esetben magasságvesztéssel lehetséges már csak gyorsulni adott tolóerő esetén is. Azonban a gép ahogy gyorsul M0,8-ig úgy jut el a P_s = 800 vonalig, ami azt jelenti, hogy a repülőgép úgy gyorsul, hogy a legnagyobb gyorsulása szubszonikus tartományban van, majd szuperszonikus tartományt elérve hirtelen letörik. A P_s = 800 és P_s = 600 láb/sec vonal közötti kis távolság mutatja ezt. Ennek oka a 11.3. fejezetben említett hullámellenállás drámai mértékű növekedése, ami adott gépnél adott magasságban „lecseng” és ismét megnő a P_s izo- vonalak közti távolság, de végül a maximális sebességnél is eléri a P_s = 0 értéket. Ez azt jelenti, hogy a repülőgép vízszintes repülés esetén nem gyorsul már tovább, de lendületből emelkedésre képes. Természetese ez esetben lassul.

A lenti diagram segítségével lehet meghatározni akár emelkedési rekordhoz, akár nagysebességű elfogáshoz a leggyorsabb emelkedéssel járó szuperszonikus profilt, a cél a maximális Ps értékekhez közeli értékek megtartása végig a repülés alatt, a lenti ábrán piros görbével ez látható.



Maximális emelkedési sebességű szuperszonikus elfogási profil F-16 vadászgéppel 2 db légiharc-rakétával 50% belső tüzelőanyag mennyiségnél, 9860 kg (21 700 font) tömeg mellett. A görbe elméleti, csak szemléltető funkciója van, hiszen 50% belső üzemanyaggal nem száll fel repülőgép és nem tartja meg azt végig az emelkedés során, de közelítő becslés adható az optimális emelkedési profilra.

Tehát felszállás után a vadászgép gyorsít M0,8 sebességéig majd meredek emelkedésbe kezd,[801] 20 000 láb magasság felett kismértékben süllyed és sebességet gyűjt (figyeljük meg, hogy a piros görbe merőleges a P_s = 400 és P_s = 600 közötti tartományban a P_s = 400 vonalra, tehát a gyorsulás gradiense itt a legkedvezőbb), majd újra emelkedésbe kezd.

A fenti diagramokból a gyorsulására nem lehet közvetlen értékeket leolvasni, ehhez a repülési kézikönyvek jellemzően táblázatos formában több paramétert figyelembe véve adják meg a gyorsulási értékeket. A túloldalon egy példa látható erre.[802] A táblázat értékeiből az adott sebességről adott sebessége gyorsításhoz szükséges idő, távolság és szükséges üzemanyag mennyisége látható eltérő tömeg és légellenállás (DI = drag index) esetén. Az előző oldalon említett gyorsulás növekedése is látható a táblázatokból.

[801] *P_s =800 láb/sec = 244 m/s emelkedési sebesség, a repülőgép haladási sebessége M,85 = 290 m/s. Ezekkel az értékekkel és szögfüggvények használatával a sebességek vetületéből kiszámolható, hogy 57-60 fokos az emelkedést hajt végre a vadászgép.*

[802] *T.O. GR1F-16CJ 1-1 A DI meghatározásának a módja a kézikönyvben található, nem részletezem itt.*

MAX AB Accelerations — 20,000 Feet

DATA BASIS FLIGHT TEST **CONDITIONS:** **ENGINE F100-PW-229**

• STANDARD DAY TEMPERATURE (–25°C)

NOTE: REFER TO SECTION V FOR AIRSPEED LIMITATIONS.

			TIME (SEC)/DISTANCE (NM)/FUEL (LB)					TEMP EFFECT FACTOR	
	KIAS	MACH	GW 20,000 LB	24,000 LB	28,000 LB	32,000 LB	36,000 LB	+20°C	–20°C
DRAG INDEX = 0	200	0.44	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	1.00/1.00/1.00	1.00/1.00/1.00
	250	0.55	6/0.5/44	7/0.6/54	8/0.7/66	10/0.9/80	12/1.0/97	1.08/1.12/1.09	0.92/0.88/0.93
	300	0.65	11/1.0/86	13/1.2/106	16/1.5/128	19/1.7/153	22/2.1/182	1.08/1.12/1.10	0.92/0.88/0.93
	350	0.75	15/1.5/129	19/1.9/158	23/2.3/189	27/2.7/224	31/3.1/264	1.08/1.13/1.11	0.92/0.88/0.93
	400	0.85	20/2.1/172	24/2.6/211	29/3.1/252	34/3.6/296	40/4.3/346	1.09/1.14/1.11	0.92/0.88/0.93
	450	0.95	24/2.7/220	29/3.3/268	34/4.0/319	40/4.7/373	47/5.4/434	1.11/1.16/1.11	0.92/0.88/0.92
	500	1.05	28/3.5/280	34/4.3/341	41/5.1/405	48/6.0/473	56/6.9/547	1.14/1.20/1.13	0.91/0.87/0.92
	550	1.14	33/4.5/352	41/5.5/427	48/6.5/506	56/7.5/590	65/8.7/681	1.18/1.25/1.17	0.90/0.85/0.91
	600	1.24	38/5.5/431	47/6.7/524	56/8.0/620	65/9.3/722	75/10.6/831	1.23/1.32/1.22	0.88/0.83/0.89
	650	1.34	44/6.8/526	54/8.2/637	63/9.7/754	74/11.3/876	85/13.0/1007	1.30/1.43/1.30	0.86/0.80/0.87
	700	1.45	51/8.4/649	62/10.2/786	73/12.0/929	85/13.9/1078	98/15.9/1236	1.44/1.63/1.45	0.83/0.77/0.84
	750	1.56	59/10.5/813	72/12.7/983	85/15.0/1159	98/17.4/1344	113/19.9/1539		0.79/0.72/0.80
	LIMIT SPD KIAS/MACH		72/14.2/1091	88/17.2/1316	103/20.2/1547	120/23.3/1791	138/26.7/2049	1.92/2.22/1.93	0.72/0.63/0.71
			800/1.68	800/1.68	800/1.68	800/1.68	800/1.68	0.93/0.93	1.00/1.00

			TIME (SEC)/DISTANCE (NM)/FUEL (LB)					TEMP EFFECT FACTOR	
	KIAS	MACH	GW 20,000 LB	24,000 LB	28,000 LB	32,000 LB	36,000 LB	+20°C	–20°C
DRAG INDEX = 50	200	0.44	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	1.00/1.00/1.00	1.00/1.00/1.00
	250	0.55	6/0.5/44	7/0.6/55	9/0.7/67	10/0.9/81	13/1.1/99	1.08/1.12/1.09	0.92/0.88/0.93
	300	0.65	11/1.0/88	13/1.2/108	16/1.5/131	19/1.8/156	23/2.1/186	1.08/1.12/1.10	0.92/0.88/0.93
	350	0.75	16/1.6/132	19/1.9/162	23/2.3/194	27/2.8/230	32/3.2/271	1.08/1.13/1.11	0.92/0.88/0.93
	400	0.85	20/2.2/178	25/2.7/217	29/3.2/259	35/3.8/305	41/4.4/357	1.10/1.14/1.11	0.92/0.88/0.93
	450	0.95	24/2.9/229	30/3.5/279	36/4.1/332	42/4.9/389	49/5.6/452	1.11/1.17/1.12	0.92/0.88/0.92
	500	1.05	30/3.9/305	37/4.7/371	44/5.6/441	52/6.5/515	60/7.5/596	1.16/1.23/1.16	0.90/0.86/0.91
	550	1.14	37/5.2/402	45/6.3/489	54/7.4/579	63/8.6/675	73/10.0/779	1.25/1.34/1.24	0.88/0.83/0.89
	600	1.24	45/6.7/517	54/8.1/628	64/9.6/743	75/11.2/865	87/12.8/996	1.38/1.52/1.38	0.85/0.80/0.86
	650	1.34	54/8.7/674	66/10.6/816	78/12.5/964	90/14.5/1121	104/16.7/1288	1.87/2.21/1.96	0.81/0.75/0.82
	700	1.45	69/12.2/945	83/14.8/1141	98/17.4/1346	114/20.2/1563	132/23.2/1794		0.74/0.66/0.73
	750	1.56	108/22.6/1734	129/26.7/2053	151/31.1/2388	175/36.1/2775	203/41.7/3209		0.56/0.46/0.51
	CMBT SPD KIAS/MACH		142/31.7/2426	168/37.2/2845	195/42.9/3282	224/49.0/3757	251/54.7/4196	0.99/0.91/0.81	0.51/0.43/0.49
			757/1.58	757/1.58	758/1.58	758/1.58	757/1.58	0.87/0.86	1.06/1.06

			TIME (SEC)/DISTANCE (NM)/FUEL (LB)					TEMP EFFECT FACTOR	
	KIAS	MACH	GW 22,000 LB	26,000 LB	30,000 LB	34,000 LB	38,000 LB	+20°C	–20°C
DRAG INDEX = 100	200	0.44	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	1.00/1.00/1.00	1.00/1.00/1.00
	250	0.55	6/0.5/50	8/0.7/62	10/0.8/75	12/1.0/91	14/1.2/111	1.08/1.12/1.09	0.92/0.88/0.93
	300	0.65	12/1.1/100	15/1.4/122	18/1.7/146	22/2.0/175	26/2.4/209	1.08/1.12/1.10	0.92/0.88/0.93
	350	0.75	18/1.8/150	22/2.2/182	26/2.6/217	31/3.1/257	36/3.6/303	1.09/1.13/1.11	0.92/0.88/0.93
	400	0.85	23/2.5/203	28/3.0/245	33/3.6/291	39/4.2/341	46/4.9/399	1.10/1.15/1.12	0.92/0.88/0.93
	450	0.95	28/3.3/265	34/4.0/319	40/4.7/376	47/5.5/439	55/6.3/510	1.12/1.18/1.13	0.92/0.88/0.92
	500	1.05	37/4.8/381	45/5.8/457	53/6.8/538	61/7.9/626	71/9.2/724	1.24/1.34/1.25	0.89/0.84/0.89
	550	1.14	49/7.1/547	59/8.5/656	69/9.9/772	81/11.5/895	93/13.2/1031	1.51/1.70/1.54	0.84/0.79/0.84
	600	1.24	64/10.1/778	77/12.1/931	90/14.2/1093	105/16.4/1266	121/18.8/1454		0.78/0.72/0.78
	650	1.34	97/17.5/1344	116/20.8/1597	136/24.4/1870	158/28.3/2171	183/32.7/2508		0.63/0.55/0.60
	CMBT SPD KIAS/MACH		139/27.2/2089	162/31.5/2421	185/35.9/2753	209/40.2/3089	234/44.6/3428	1.00/0.94/0.84	1.18/1.29/1.48
			662/1.37	662/1.37	661/1.37	661/1.37	660/1.37	0.88/0.88	1.15/1.16

DI = 0 és 24 000 font tömeg esetén vizsgáljuk meg a 200-300 csomó és 350-450 csomó közötti gyorsulási értékeket. 200-300 csomó között (13-0) = 13 másodperc szükséges a gyorsuláshoz, ezt (1,2-0) = 1,2 tengeri mérföld alatt teszi meg a gép és közben eléget (106-0) 106 font kerozint. (Piros mezők értékeinek különbsége.) 350-450 csomó között a szükséges gyorsulás ideje (29-19) = 10 másodperc, ezt (3,3-1,9) = 1,4 tengeri mérföld alatt teszi meg és eközben eléget (268-158) = 110 font kerozint (Zöld mezők értékeinek különbsége.) A táblázat 20 000 láb repülési magasságra és maximál utánégető hajtómű teljesítményre vonatkozik, ezek állandók minden esetben.

A fenti táblázat könnyen megállapíthatóvá teszi azt,hogy azonos konfiguráció (függesztmények légellenállása) mellett, de eltérő üzemanyagszint estén mennyire változik a gyorsulás. DI = 100 esetben az

F-16CJ két póttartály, 4 db AIM-120 légiharc-rakétát és elektronikai zavarókonténert hordoz. Feltételezve, hogy a póttartályokat nem oldják le –ezt csak nagyon indokolt esetben teszik – a fenti táblázatokkal meghatározható, hogy eltérő üzemanyag mennyiséggel mennyire tér el a gyorsulás. BVR légiharc esetén fontos tényező a vízszintes gyorsulási képesség, hogy azt követő ugrásból vagy pusztán nagyobb indítási sebesség miatt messzebbre „hajíthatja" el a légiharc rakétát a nagyobb sebességgel és magassággal rendelkező vadászgép.

A fenti konfiguráció esetén F-16CJ üres tömege 20 200 font, a felhasználható belső tüzelőanyag mennyisége 7100 font – tehát ennél több van a tartályokba töltve, ennek műszaki okai vannak, egy tartály nagyon nehezen szívható üresre –, 1 db 370 US gal befogadóképességű póttartály 2500 font kerozint fogad be. A lenti táblázatban három esetet hasonlítunk össze:

1. 34 000 font tömeg, a fenti fegyverzettel, a póttartályok ledobása nélkül, 9000 font üzemanyaggal. (citromsárga)
2. 30 000 font tömeg, a fenti fegyverzettel, a póttartályok ledobása nélkül, de csak 5000 font üzemanyaggal. (barna)
3. 32 000 font tömeg, a fenti fegyverzettel, a póttartályok ledobásával, 7000 font üzemanyaggal. (A két póttartály üresen egyenként 500 font tömegű.) (rózsaszín/magenta) Ez alsó becslést jelent, mert kicsit nagyobb tömeg jön ki, mert a teljes elérhető maximális kerozin mennyiséggel, a különbség néhány százalék, nem jelentős, a lényeg így is látszik.

F-16CJ gyorsításhoz szükséges paraméterek 20 000 láb (6,1 km) magasságban				
		1	2	3
Teljes tömeg	[font]	34 000	30 000	32 000
Fegyverzet tömege	[font]	kb. 3000	kb. 3000	kb. 3000
Üzemanyag tömege	[font]	kb. 9000	kb. 5000	kb. 7000
DI (drag index, légellenállási tényező)	[-]	100	100	50
Gyorsításhoz szükségesi idő	[sec]	74	64	55
Gyorsításhoz szükségesi távolság	[tmf]	13,3	11,6	10,7
Gyorsításhoz szükségesi idő üzemanyag	[font]	1009	876	816

F-16CJ vízszintes gyorsulásának vizsgálata. Az oszlopok színei az előző oldali táblázatnak megfelő cellákéval azonos.

A fenti táblázatban látható értékek alapján kiviláglik, hogy a BVR légiharc kezdeti fázisában mennyire hangsúlyos az F-16 esetén a póttartályok megléte. Még 2000 fonttal nagyobb tömeg esetén a '3'-as változatnál számottevően kedvezőbb gyorsítási értékek adódnak, nemhogy az '1'-es esettel összemérve, ahol a tömeg és a légellenállás is nagyobb. Mindegyik esetben az látható, hogy egyszerű gyorsítási manőver, ami nagyságrendileg 1 percig tart a teljes tüzelőanyag mennyiség kb. 8-10%-nak felemésztésével járt. A vadászgépek maximális teljesítményük leadására csak rendkívül korlátozott ideig képesek. Ezért igen fontos tényező légi harc esetén, hogy ki mekkora távolságra képes elrepülni a támaszpontjaitól és mennyi ideig képes harctevékenységet folytatni, ezért is fontos például a légi utántölthetőség képessége.

Az utóbbi idők konfliktusai alapján ez vezetett oda, hogy a minél nagyobb üzemanyag-kapacitás nagyon fontos tényező lett. Az Etiópia és Eritrea közötti vívott háborúban is a sokkal nagyobb harcászati hatósugárral rendelkező Szu-27-es gépek emiatt dominálták a légteret a MiG-29-esekkel szemben, mert ők dönthették el, hogy mikor és hol szállnak harcba. Azonos fegyverzettel és harcászati avionikával rendelkező vadászgépekről van szó, a Szu-27 egyetlen számottevő avionikai előnye a radarantenna nagyobb mérete és érzékenysége

A fenti diagramok és táblázatok segítségével tehát nagyvonalakban felvázolható egy repülőgép maximális sebesség, emelkedő képesség és gyorsulási paraméterei (az amerikai gyártású vadászgépek esetén ilyen táblázatok és görbék rendelkezésre állnak, de nem minden gép esetén publikus a teljes tartomány), azonban a manőverező légi harc nem csak emelkedésből és vízszintes gyorsulásokból áll. A vadászgépek fordul és kombinált emelkedő képességének meghatározásához eltérő diagramok célszerűek.

A manőverező légiharcon belül a fordulóharc alapja az, hogy milyen gyorsan és/vagy milyen szűken tud egy replőgép fordulni. E kettő feltétel ellentmond egymásnak, más sebességnél fordul egy vadászgép a leggyorsabban, a legnagyobb szögsebességgel,[803] illetve más sebességnél fordul a legszűkebben.

Hiába fordul gyorsabban egy vadászgép nagyobb sebességnél, a sebességből adódóan a fordulósugár nagyobb lesz. Ellenben, ha lassabban repül pont fordított lehet a helyzet, kisebb forduló szögsebesség ellenére is a fordulósugár lehet kisebb, tehát szűkebb lehet a forduló. Olyan nincs, hogy azonos sebességgel, azonos túlterheléssel egy gép szűkebben fordul, mint a másik. (Ezért van az, hogy a lent látható diagramban a fordulósugár és sebesség görbék izo-vonalak.)

Szűkebben fordulni csak úgy lehetséges azonos sebességű és azonos tömegű gépek esetén, ha a fordulóhoz szükséges felhajtóerő maximuma az egyik gép számára magasabb, tehát nagyobb túlterheléssel repül. Ez csak akkor lehet állandósult forduló szögsebesség (sustained turn rate, STR),[804] ha ehhez kellő tolóerő is rendelkezésre áll. A legnagyobb átmeneti forduló szögsebesség (instantaneous turn rate, ITR) az a felhajtóerő alapján elérhető maximális forduló szögsebesség, de erre csak pillanatokig képes a repülőgép, mert ahhoz hatalmas negatív Ps érték tartozik. Tehát vízszintes repülés esetén a gép gyorsan lassul, de még süllyedés közben is, adott esetben lényegében csak leborítás közben képes ezt fenntartani néhány másodperce a repülőgép akár 200 m/s-nál (650 láb/s) is gyorsabban süllyed.

Az is fontos tényező, hogy a forduló közben, hogy eközben mekkora teljeseítmény tartaléka van, tehát hogy eközben lassul, gyorsul, állandó a sebessége, de a fenti gondolatmenet megfordításának jelentése, a vadászgép adott esetben egy manőverre csak süllyedésben, vízszintes repülés közben, vagy akár még emelkdés közben is képes az adott manőverre. Itt jön be újra a P_s érték fontossága.

A lent következő diagram a fentiek során tapasztalt rengeteg változó miatt egy adott tömegű és légellenállású gépre vonatkozik, jelen esetben 22 000 font tömeg, DI = 150, 15 000 láb magasságban, maximális utánégetővel, F100-PW-229-es hajtóművel repülő F-16CJ repülőgép paramétereit mutatja be. A diagramon a következő izo-vonalak láthatók, ezek a repülőgépektől független izo vonalak, tehát pusztán a sebesség és fordulósugár együttese határozza meg őket:

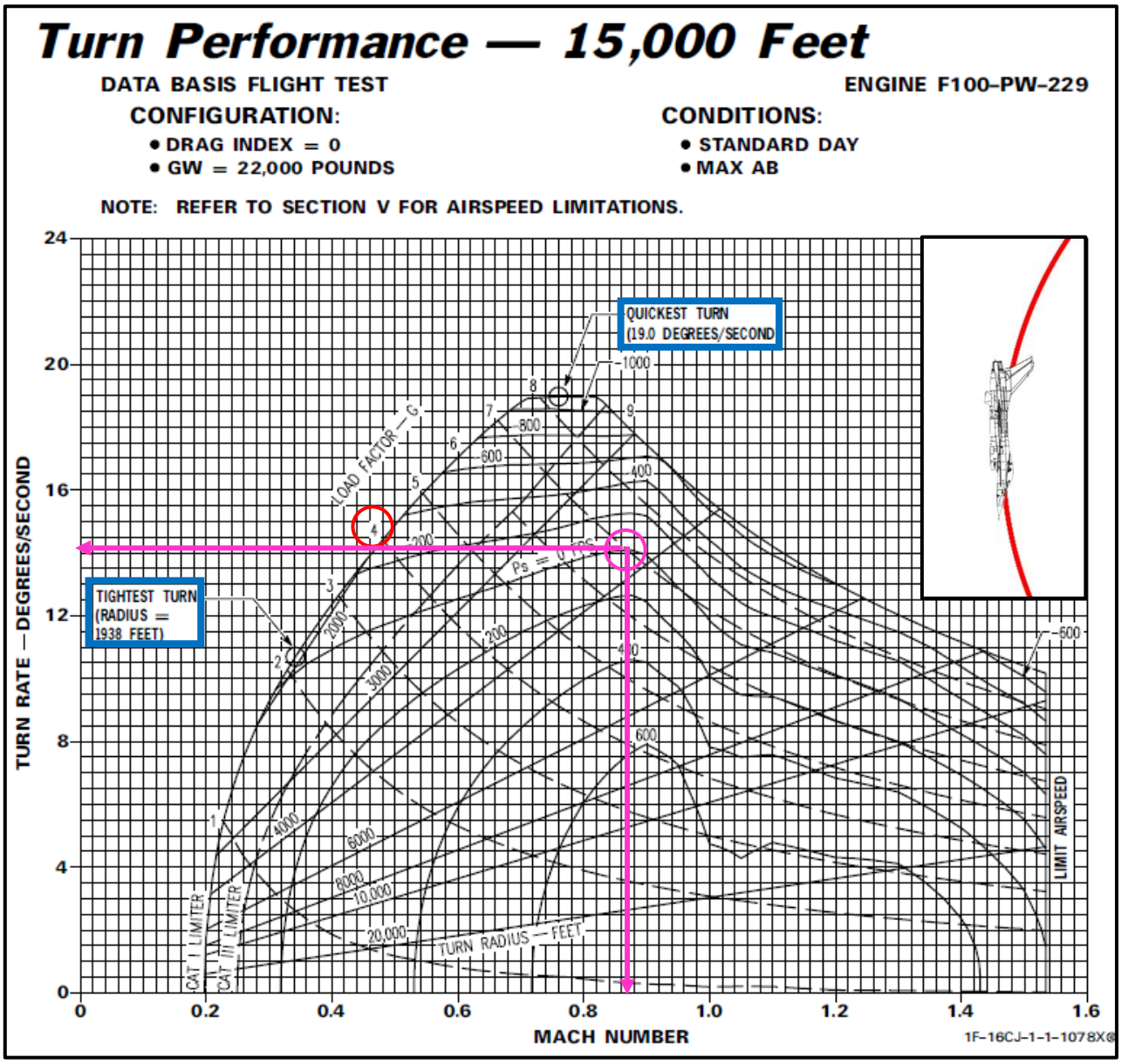
- *TURN RADIUS* , fordulósugár lábban
- *LOAD FACTOR*- G, a túlterhelési mértéke, 1G ~ 10 m/s^2 centripetálisgyorsulás
  (piros karikánál az görbék értékei)

A fent felsorolt két görbe metszéspontjaiból látható az, hogy adott fordulósugár esetén a sebesség növekedésével egyre nagyobb túlterhelésű forduló szükséges, a *TURN RADIUS* görbén balról jobbra mozogva egyre magasabb értékű *LOAD FACTOR* metszetek adódnak. Ez fordítva is igaz. Adott *LOAD FACTOR* görbén balról jobbra mozogva a sebesség növekedésével a *TURN RADIUS* görbe metszetek egyre nagyobb fordulósugarat adnak.

[803] *Ezt az angolszász terminológia„corner speed”névvel is szokta emlegetni.*

[804] *Az ezzel a szögsebességgel végrehajtott teljes, 360 fokos fordulót szokás „maximum performance turn” névvel illeti az angol terminológia. Ez természetesen adott magasságra és függesztmény konfigurációra igaz.*

A diagramon szereplő P_s értékek és a diagram szélét jelentő vonalak és értékek mutatják meg azt, hogy a különböz sebességtartományban a fenti állandó paraméterek mellett mekkora forduló szögsebesség érhető el vagy tarható fent. (A diagram szerkesztett, a légkör hőmérsékletéből adódó korrekciós táblázatot nem tartalmazza, mert azt most nem vizsgáljuk, standard légkörre vonatkozik a diagram.) A diagramon a következők láthatóak:

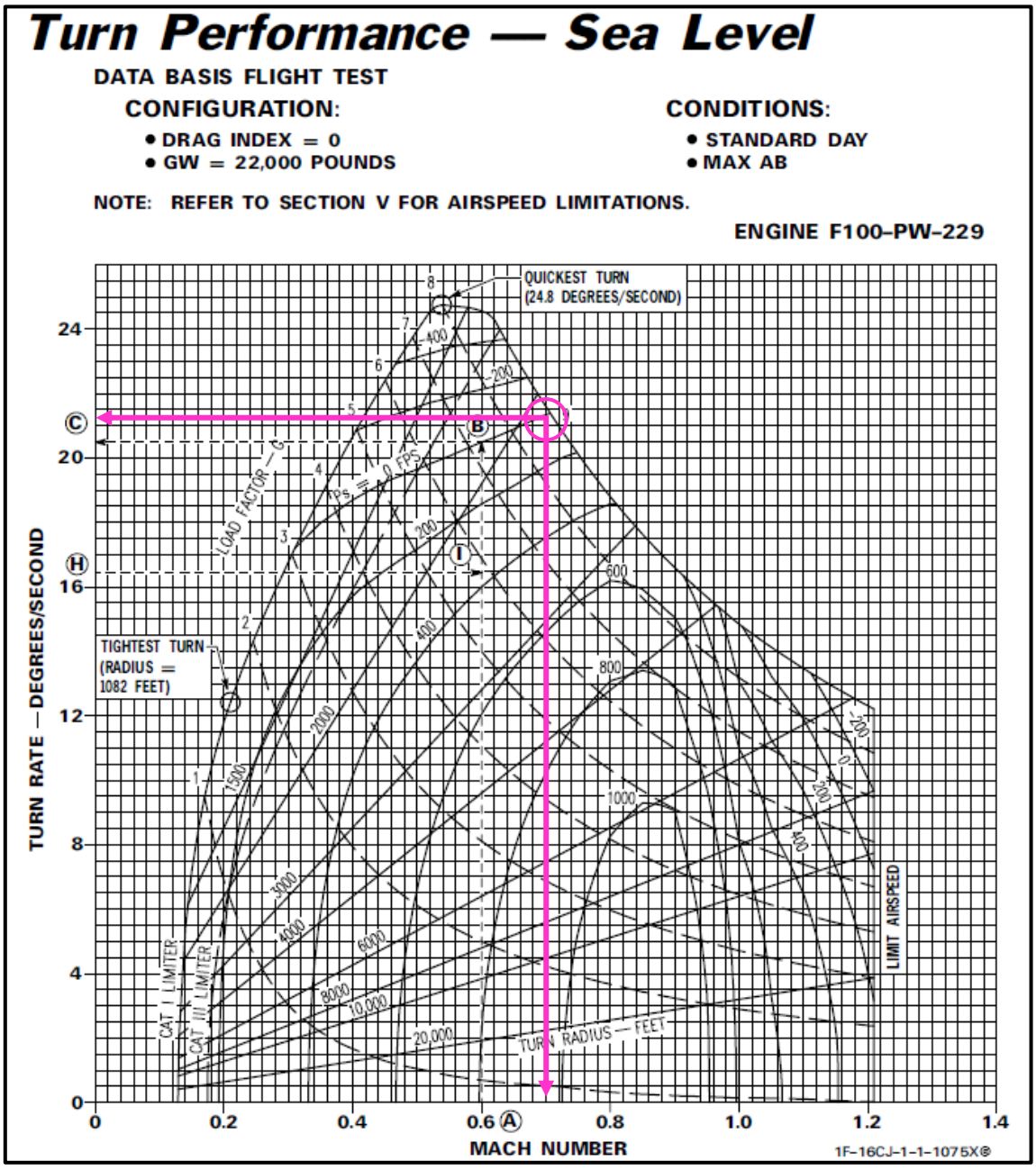


- A legszűkebb forduló *(TIGHTEST TRUN RADIUS*) 1938 láb (590 méter), erre kb. M0,33 sebességnél, kb. 2,2G túlterhelésű manőverrel képes az F-16CJ, a forduló szögsebesség kb. 10,5 fok/sec és ezt képes tartani is, kicsivel a P_s = 0 FPS (feet/sec = láb/sec) vonal felett van.

- A leggyorsabb forduló (QUICKEST TURN), 19 fok/sec, erre kb. M0,78 sebességnél, kb. 8,3G túlterhelésű fordulóban képes, de ezt nem képes tartani az F-16CJ, mert a P_s értéke -800 láb/sec alatt van. Ez azt jelenti, hogy ezt akkor éri el a gép, ha egy leborítást hajt végre és éppen függőleges helyzetben süllyed leborítás közben. (Lásd a diagram sarkában jobbra fent.) Ez tényleg csak egy pillanatig érvényes érték, nem releváns, mert amíg a forduló korai szakaszán van és azután, hogy elhagyja ezt a pontot a gép erőteljesen lassul.

- A legnagyobb állandósult forduló szögsebesség (STR) kb. 14 fok/sec, kb. M0,85 sebességnél, ez az, ahol a P_s = 0 izo-görbének a maximális értéke van a forduló szögsebességet nézve. Ez azt jelenti, hogy a egy teljes 360 fokos kör forduló idejére kvázi állandónak tételezve fel a tömeget a szükséges idő kb. 26 másodperc. Hát nem túl acélos a tengerszinten elérhető értékekhez képest.

  Függesztmények nélkül, azonos tömeggel 21,5 fokos forduló szögsebesség érhető el (lásd lenti diagramon), amivel egy 360 fokos forduló kb. 17 másodpercig tart számításba véve a bedöntési időt is. A fordulósugár kb. 2200 láb (670 méter). Tengerszinten az átmeneti forduló szögsebesség eléri a 24,8 fok/másodpercet.

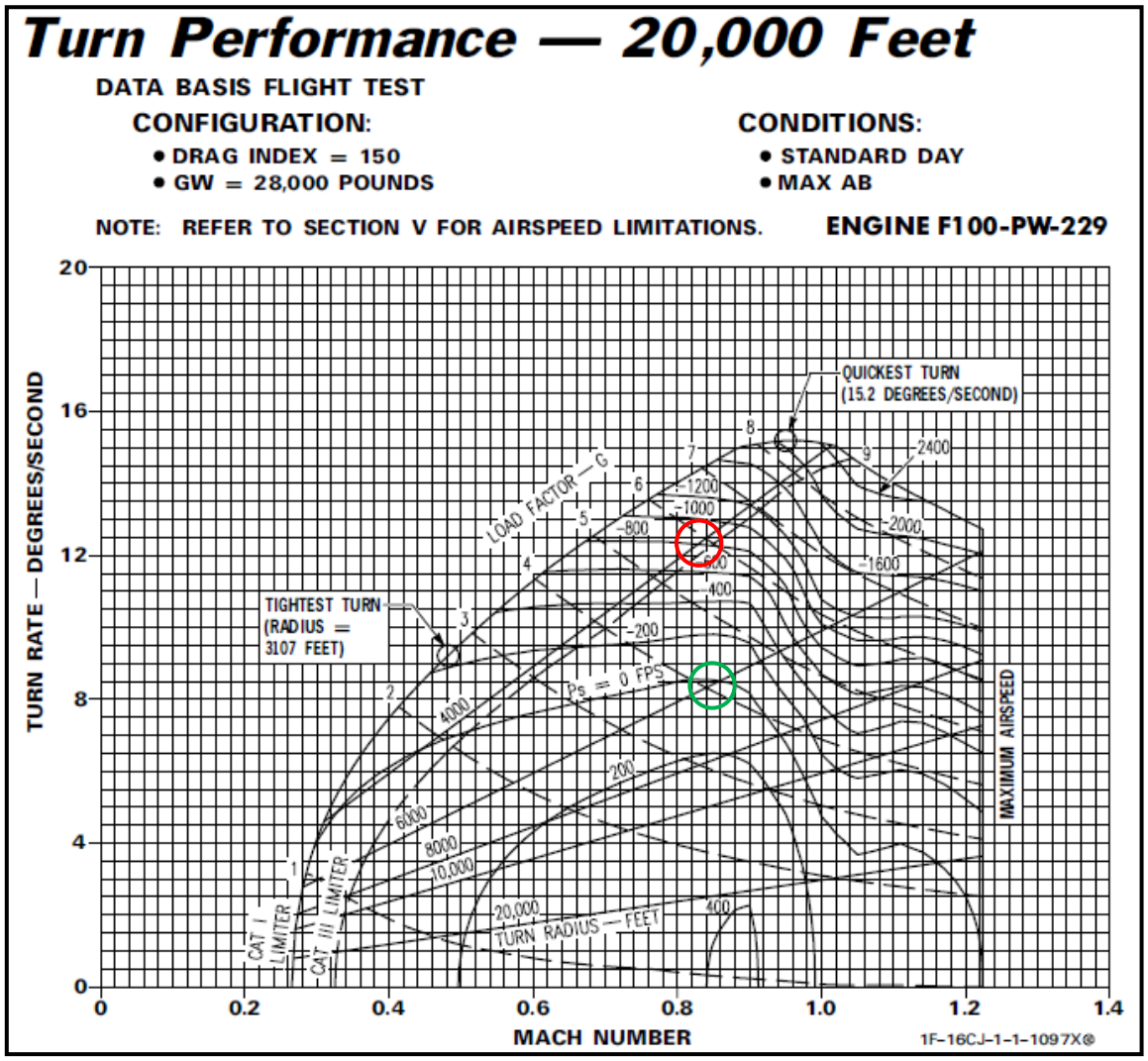


F-16CJ manőverező képessége tengerszinten, DI =0, 22 000 font tömeg, maximális utánégő hajtómű teljesítmény, standard légköri viszonyok mellett.

A forduló szögsebességet magasság, az abból adódó változó hajtóműi teljesítménye, a maximális állásszög (vagyik a felhajtóerő további növelése), illetve a repülőgép sárkányszerkezetéből adódó megengedett maximális túlterhelés korlátozhatja le. Ez utóbb gyakorlatilag csak tengerszinten vagy 1-2 km

magasságig fordulhat elő, mert értelmes harcászati konfiguráció mellett ezt képtelenek fenntartani a gép sőt, akár még pillanatokra előidézni sem lehet.

A két oldallal ezelőtt látható diagramon (15 000 láb magasságon) az állásszög és a hajtómű tolóerje korlátozzák le a manőverező képességet, hiszen a 9G LOAD FACTOR értéket, a repülőgép (névleges) strukturális korlátját képtelen nemhogy pozitív, de még 0 közeli P_s értékekkel elérni az F-16CJ. Ehhez képest tengerszinten levő teljesítményt bemutató diagramon az látszik, hogy 9G túlterhelést széles tartományban képes az F-16CJ „végtelen” ideig fenntartani, csak a pilóta „G tűrőképessége” és a tüzelőanyag korlátozza csak az ésszerűen végrehajtható nagy túlterhelésű manőverek hosszát. Továbbá az is látszik a P_s értékekből, hogy akár 9G feletti manőver is kitartható lenne hosszabb ideig pozítív vagy 0 P_s értékkel, átmeneti forduló szögsebességgel pedig messze meghaladható a 9G túlterhelés.[805]



F-16CJ manőverező képessége tengerszinten, DI =0, 22 000 font tömeg, maximális utánégő hajtómű teljesítmény, standard légköri viszonyok mellett.

Lássunk még egy konkrét példát egy reális, csapásmérő konfigurációban repülő F-16CJ esetén. DI =150, 28 000 font tömeggel, utánégető teljesítménnyel, az ehhez tartozó diagram az előző oldalon látható. A fenti tömeg és DI érték nagyjából 2 db légihac-rakéta, 2 db üres póttartály, 1 db elektronikai zavarókonténer, 2 db 1000 font tömegű bomba és egy lézeres célmegjelölő konténer esetén igaz, kb.

[805] *A stukturális limit rövid ideig átléphető szükséghelyzetben, de az nem következmények nélküli. Magyar MiG-21bisz vadászgépbe is húztak bele 11-12G körüli terhelést, aminek eredménye maradó alakváltozás volt a sárkányszerkezetben és selejtezni kellett a gépet.*

3000 font tömegű üzemanyaggal, tehát akkor már igencsak el kéne hagyni a harci zónát... Ennek ellenére a következők olvashatóak le a diagramról:

- A maximális reálisan előrhető forduló szögsebesség a Ps = -800 FPS körül van, ez a leborítás esete függőleges helyzetben, ami alig 12 fok/sec.[806] (piros kör)

- A maximális állandósult forduló szögsebesség (Ps = 0 vonal) kb, 8 fok/sec, ami M0,8-M0,9 tartományban képes elérni a gép,a fordulósugár 6000 láb, ami kb 2 km. (zöld kör)

- A CATI és CAT III limiter görbék állászög korlátozást jelenthetnek adott konfigurációban, ez tömegtől és DI-től is függ, illetve függesztési asszimetriától is

Ezzel és a korábban bemutatott diagramokkal nagyjából képet kaphatunk arról, hogy hol húzódnak a 4. generációs vadászgépek teljesítmény-korlátai. Nem áll rendelkezésre minden repülőgépről teljes repülési teljesítményt leíró diagramja, de a repülőnapok fegyvertelen vagy néha súlymaketekkel végrehajtott repülési teljesítménye és egyéb elérhető alapján viszonylag jó közelítő képet lehet kapni a repülőgépek közötti erősorrendről és repülési teljesítményük csökkenéséről az F-16CJ (Blocok 50/52 52+) adatai alapján, extrapoláció (becslés) lehetséges műszaki és természettudományos alapokon.

Függesztmény nélküli konfigurációban a csúcskategóriás vadászgépek teljesítménye között marginális eltérés van. Csúcsakategória alatt az F-16, F-15, Szu-27, MiG-29, Eurofighter Typhoon típusokat, ezek alatt helyezkedik el egy „fél szinttel" a francia Rafale, majd még egy féllel az F/A-18 Hornet, és az F/A-18 Super Hornet és a JAS-39 Gripen abszolút paraméterek terén. (Tehát nem a három tengely körülik kormányozhatóság, hanem a P_s értéket nézve.) Kihangsúlyozandó a függesztmény nélküli konfiguráció.

A kérdés az, hogy a repülőnapokon tengerszinten, 50% vagy kevesebb üzemanyaggal bemutatot lenyűgőző repülési teljesítményből mit őriznek meg a magasság és a hordozott fegyverzet növelésével az egyes típsuok. Ez alapvetően két faktortól függ, a repülőgépek tömegétől maximális üzemanyag mennyiség mellett szint (hogy értelmes hatósugár mellett vizsgáljuk azokat), továbbá azok homlokfelületének nagyságától. Ennek oka igen egyszerű.

Tegyük fel, hogy az F-16CJ a Szu-30MKK és mondjuk az F-15K (GE F110 hajtóművel)[807] függesztmények nélkül közel azonos teljesítményre képesek, tehát a légiharc jellemző tartományában a P_s értékek között nincs 5-10%-nál nagyobb eltérés átlagosan. Tehát itt azonosak. Amikor azonban a vadászgépekre egyre komolyabb tömegű és légellenállású fegyverzet kerül, akkor a realtív homlokfelület-növekedés, illetve a relatív tömegnövekedés a nagyobb méretű repülőgépek számára kisebb sőt, a hullámellenállás miatti hosszmenti keresztmetszet eloszlást is (ha nagyjából jó helyen vannak a függesztmények) kevésbé befolyásolják, tehát a hullámellnállás is kevésé romlik a nagyobb vadászgépek esetén. Ennek következménye az, hogy ha elfogadjuk a tengerisznti azonos teljesítményt és a hajtómű tolerő-karakterszikája nem vészesen különböző, akkor a nagyobb tömegű és méretű vadászgépek többet őriznek meg a repülési teljesítményből, annak hatása kisebb.

---

[806] *Számomra érthetetlen, hogy a QUICKEST TURN miért szerepel a diagramon akkora értékkel, amekkorával, mert annyira elméleti, hogy szerintem nincs jelentősége. Még függőlegesen süllyedve is brutálisan lassulna a repülőgép, ez kvázi előidézhetetlen helyzet. A saját megközelítésem az, hogy -800 vagy -1000 FPS feletti értékeket nem veszem figyelembe, mint tartományt, mert lényegében semmilyen módon nem képesek rá reális haci helyzetben a vadászgépek.*

[807] *Az USAF F-15E gépek F100-PW-220 illetve -229 változatú hajtóművel repültek, az exportált F-15E-ből kifejlesztett típusok egy része gépek F100-PW-229 vagy a F110-GE-129 hajtóművel rendelkeznek. A GE hajtómű számottevően erősebb mindkét PW hajtóműhöz képest.*

Egy F-16CJ számára 2 db 2000 fontos bomba és 4 db légiharc-rakéta az komoly mennyiségű függesztmény, ezzel szemben egy F-15E-nek ez nem komoly tétel. Az F-16CJ 50% tüzelőanyaggal kb. 24 000 font tömegű és ezt növeli meg a fenti fegyverzet további kb. 5500 font tömeggel. Ehhez képest az F-15E (és azok leszármazottai törzshöz simuló üzemanytartályokkal (gyakorlatialg soha nem használják enélkül az alkalmazók) tömege 43 000 font, amihez képest az 5500 font nem jelentős növekedés. Persze ennek a repülési teljesítmény megőrzési képességnek szó szerint komoly ára van. A kéthajtóműves 4. generációs vadászgépek számottevően drágábbak egyhajtóműves társaiknál.

Egyszerűbb és hétköznapibb analógiával élvel. Ha létezne olyan 2 tonnás tömegű kisbusz, aminek teljesítménye azonos egy bőven 1 tonnánál könnyebb Forma 1 versenyautóval és mindkettő tetejére rögzítenek egy hűtőgépet szállítás céljából, akkor melyik teljesítménye csökkenne erőteljesebben? Természetesen a Forma 1 autóé. (Vagy lehet F1 versenyautó helyett egyszerű kétszemélyes személyautó is példa.)

A különbség az, hogy a harci repülőgépek esetén ilyen tömegkülönbségű repülőgépek esetén megvalósítható azonos függesztmény nélküli teljesítmény, csak ennek nagyon komoly ára van. Nem véletlenül született meg az F-16 az F-15 mellé...

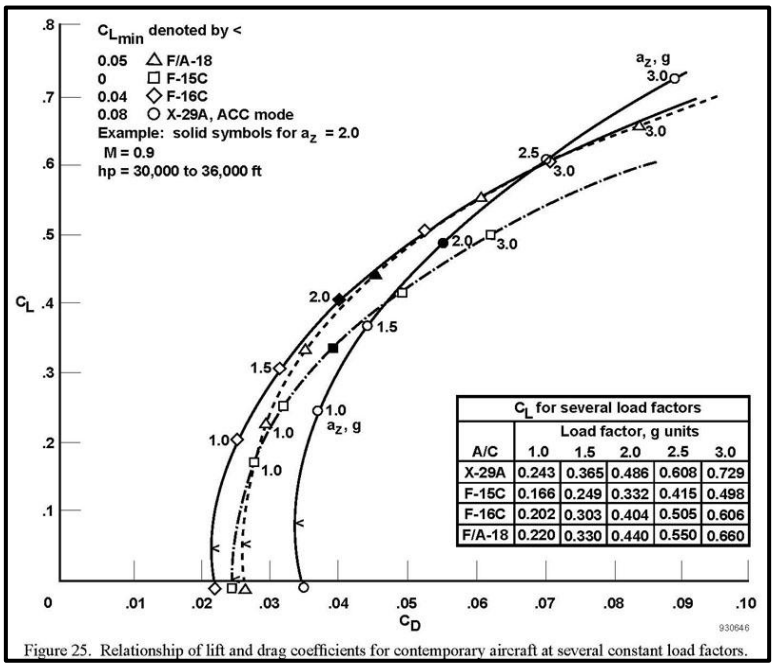
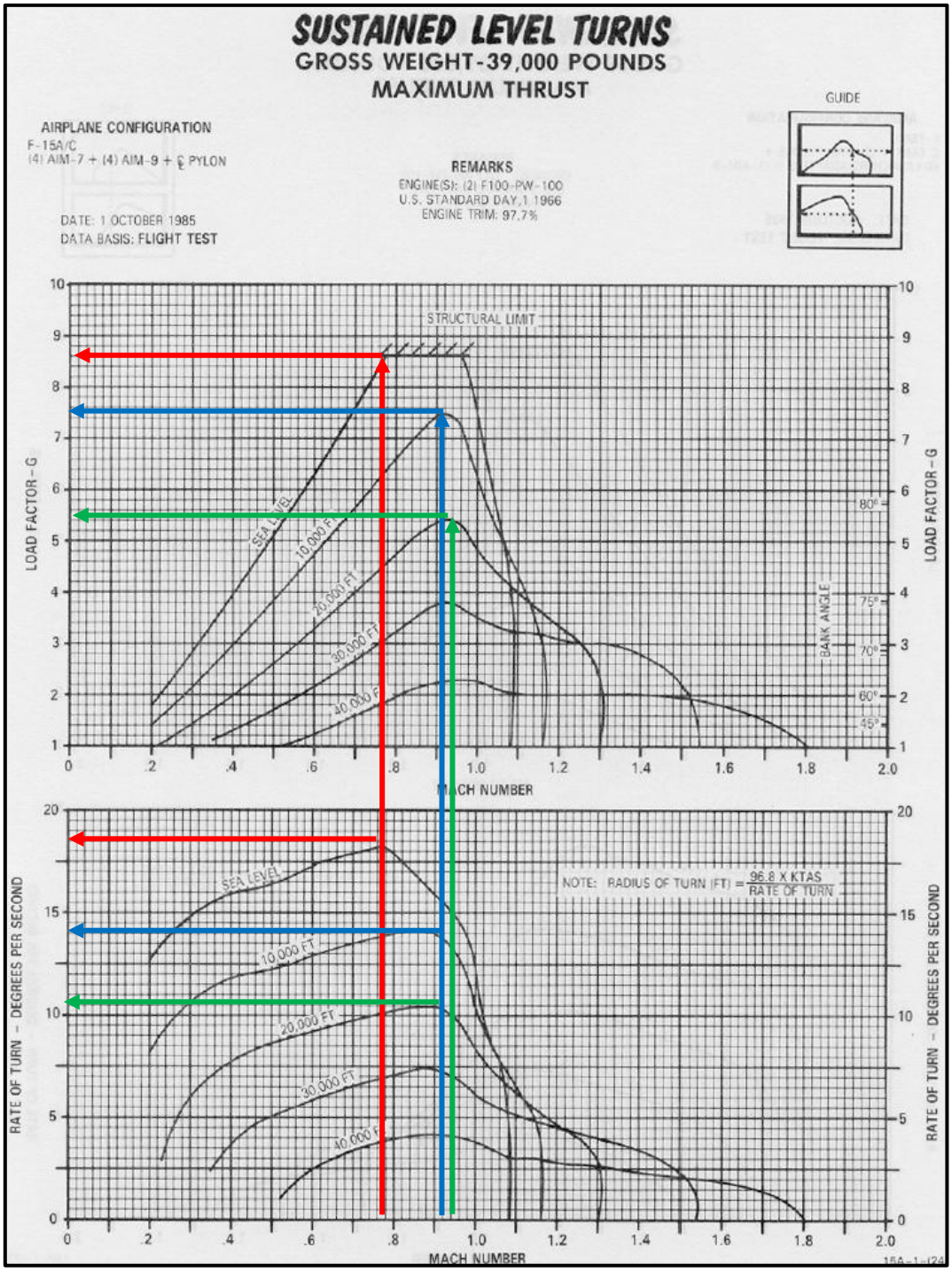


Figure 25. Relationship of lift and drag coefficients for contemporary aircraft at several constant load factors.

A fenti feltételezést aerodinamikai oldalról részben megtámogatja a fent látható diagram, amin az F-18, F-16 és F-15 (a kísérleti X-29-cel egyetemben.) gépek felhajtóerő- és ellenállástényező értékei látszanak, M0,9 sebességnél, 30 000 láb magasságban 1 és 3G túlterhelsű tartományban függesztmények nélkül. A tényezők meglepően közel esnek egymáshoz. Ha feltételezzük, hogy a a 4. gereációs gépek maximális felhajtóerő-tényezői közel esnek egymáshoz magasabb túlterhelésű manőverekben, nagyobb állásszögek esetén is, akkor ez sem okoz drámai eltérést. (30 ezer láb magasságban 3G túlterhelésű forduló elég magas állásszöget jelent az F-16C-nél, pusztán a vízszintes repüléshez kb. 4 fokos állásszög szükséges.)

Korábban már említve volt, hogy legtöbbször a repülőgépek repülési teljesítményről csak egyes pontok leírása (pl. adott tömeg, fegyverzet és sebesség mellett állandósult szögsebesség adott magasságon), vagy ennél kicsit szélesebb tartományban az állandósult szögsebesség értékek állnak rendelkezésre. Ezek az esetek a P_s = 0 láb/sec pontok vagy vonalak a fent bemutatott fordulási jellemzőek leíró diagramokon.

A lenti diagram az F-15C Eagle vadászgép állandósult szögsebességét ábrázolja[808] maximális légiharc-fegyverzet (4+4 db AIM-7 és AIM-9), 39 000 font tömeg – ez kb. 50% üzemanyag mennyiséget jelent[809] – maximál utánégető hajtümű üzem mellett.



A magasság szerint paraméterezett görbék a fenntartható (STR) szögsebességet mutatja, tehát az adott magasságban és sebességben a P_s = 0 értékhez tartozó forduló szögsebességet ábrázolják, ami az F-16CJ diagramjain szintén látható görbe, de ebben az esetben a túlterhelés és forduló szögsebesség külön diagramokon került ábrázolásra. A fordulósugár számítása is látható a diagramon: 96,8*TAS (csomóban)/forduló szögsebesség = fordulósugár (lábban).

[808] *TO 1F-15A-1 (1984-es kiadás)*

[809] *Üres tömeg feltöltött állapotban 29 000 font, a rakéták tömege 4x500 + 4x200 = 2800 font + függesztők tömegével marad kb. 6500 font, ez a 13 500 font belső üzemanyag kapacitának kb.*

A diagramról leolvasható, hogy teljes légiharc fegyverzetben – még a nagyobb légellenállású AIM-7-tel az AIM-120-hoz képest – tengerszinten 18 fok/sec állandósult forduló szögsebességre képes (M0,78, piros nyilak), 10 000 láb magasságban (kb. 3 km) 14 fok/sec (M0,92, kék nyilak), 20 000 láb magasságban 10,5 fok/sec (M0,95 zöld nyilak.)

Az F-16CJ pilóta üzemeltetési kézikönyvében (T.O. GR1F-16CJ 1-1, mellékletek között megtalálható) levő, a fent bemutatott forduló és emelkedő képességet leíró görbékkel összehasonlítható az F-15C ezen, és más konfigurációra vonatkozó diagramokkal lehet egzaktul összehasonlítani a repülési teljesítményeket, illetve extrapolációval azért tehetőek igen jó becslések. Sajnos az összehasonlításhoz szükséges teljesítménygörbék vagy bármiféle, legalább egyes potokra vonatkozó adatok nagy része nem publikus, azzal kell bérni, ami a nem beavatottak számára elérhető és ezekből lehet becsléseket tenni.

A fent ismertetettTAS-CAS-magasság és tolóerőkarakteriszika ismeretében a figyelmes olvasó ezen a ponton valószínűleg már kezdi kisakkozni, hogy a vadászgépek nagyobb magassában jellemzően nem vívnak komoly manőverező légiharcot, mert fizikailag nem képesek rá. Még a legerőteljsebb gépek tolóereje is harmatossá válik 7-8 km felett a komoly manőverek végrehajtásához, ezen felül a ritka levegő miatt nagy állásszöggel kell a fordulókat végrehajtani, ami igen gyors sebességvesztéshez vezet, ami legfeljebb süllyedéssel elhet kompenzálni, tehát 8-10 km magasságból hamar lesüllyednek a gépek 3-5 km közé.

Nem véletlenül, hogy a ’60-es évek óta a légiharcok kb. 95%-át 8 km-es magasság alatt vívták. A fentiekben példaként használt F-16CJ póttartályok nélkül, légiharckéta nélkül 30 ezer láb magassgában, M0,8-M1,0 sebességtartományban kb. 50% belső tüzelőanyaggal legfeljebb 8 fok/sec állandósult szögsebességre képes, kicsit több tüzelőanyaggal és 4 darab AIM-9 légiharc-rakétával ez legfeljebb 7-7,5 fok/sec érték. Ez a forduló szögsebesség mindössze 2,5-3G túlterhelésű fordulókat és 2,5-3,5 km-es fordulósugarat takar. Ez „kecses légibalettnek” még elmegy, de közel sem az a kőkemény manőverező légiharc, amire közepes és kis magasságban képesek a mai korszerű vasmadarak és amit repülőgnapokon kis magasságon bemutatnak, a demó repüléseken látott szűk fordulók és hirtelen gyorsításokra nem képesek a vadászgépek nagy magasságban még légiharc konfigurációban sem, nemhogy csapásmérő bevetésen.

A teljesítmény hiányában a légiharc-rakéták elleni védekező manőverek végrehajtása nehézkes, bár a rakéták manőverező képessége is értelemszerűen csökken, de hogy a kettő csökkenése közti arány mekkora, az már érdekesebb és nehezen megválaszolható kérdés a számtalan faktor miatt. Kisebb magasságon a NEZ és DLZ is összenyomódik, tehát a repülőgépek a gyorsabban végrehajtott fordulókkal még jobban is megváltoztatják ezeket, mint nagyobb magasságban lassabban fordulózva.

Az utazósebesség szempontjából a nagy magassának nincsen káros hatása, sőt a magasság növekedésével a gépek fajlagos fogyasztása egyre jobb egy pontig, amikor már túl nagy állásszöggel repülés szükséges. (Az üzemanyag kifogyásával a gazdaságos utazómagasság nő.) Kisebb a hajtóművek tolóereje, viszont a légellenállás is kisebb.

A teljesítménye a vadászgépeknek a következő fő tényezőktől függ, amik a manőverező képesség, tehát manőverező légiharc alapját képezik:

- a gép tömege és légellenállása
- repülési magasság
- repülési sebesség
- rendelkezésre álló tolóerő (magasság és sebességfüggő)
- maximális engedélyezett/ lehetséges túlterhelés nagysága
- maximális állásszög
- az adott repülőgép sajátos aerodinamikai jellemzői

Összefoglalva, a manőverező képesség, a repülőgép, sebesség-, magasság- és irány-változtatásra való képessége tetszőleges kombinációban.

A fordulósugár azt mutatja, hogy mekkora helyen, vagy milyen kis „térfogatban" képes a gép az adott manőverre, a forduló szögsebesség mutatja, hogy mennyire gyorsan képes haladási irányát megváltoztatni egy repülőgép.

A P_s érték azt mutatja, hogy adott helyzetben (sebesség, magasság, tömeg, fegyverzet), milyen energia változás árán képes a repülőgép a manővert megvalósítani. Pozitív érték esetén képes emelkedni és/vagy gyorsítani, negatív érték esetén lassul a repülőgép a manőver végrehajtása közben vagy süllyedni szükséges a sebessége megtartásához.

A fentiekben bemutatott diagram típusok tényleg csak a legalapvetőbb harcászati paramétereket fedik le, repülőgépek üzemeltetési kézikönyveiben olyan mennyiségű és eltérő célokat szolgáló diagram és táblázat található, hogy azok felsorolása is sok lenne, a teljesség igénye nélkül néhány:

Felszállási úthossz és fékezési távolság, optimális emelkedéshez és süllyedéshez, hajtóműleállás esetén optimális süllyedéshez, maximális hatótávolsághoz számításához diagramok és táblázatok. Maximális oldalszél és függesztmény aszimmetria esetén engedélyezett limitek, minimális leborítási és zuhanásból kivételi magasságot ábrázoló diagramok, stb.)

11.8. Tolóerő-vektorálás (TVC, thrust vector control)

Az oroszok által exportált vadászgépeket leszámítva csak az F-22-őn található tolóerő-vektorálásra képes hajtómű, de az Szu-30/35 családon alkalmazott vektorálási képességgel ellentétben, a tolóerő csak függőleges irányban téríthető ki.

Szu-30MKI gépen a tolóerő-vektorálásra képes hajtóművek mozgása.[810]

A Szuhoj családon sem valódi 3D-s tolóerő vektorálásra képes hajtómű található, azonban azokat elforgatva beépítve oldalirányú erők kifejtésére is képesek. Ezzel szemben az orosz MiG-29 OVT[811] (megrekedt prototípus szinten) vagy az amerikai kísérleti X-31[812] repülőgépen valódi 3D vektorálásra képes hajtóművet építettek be. Számtalan kísérleti gépen – adott esetben már hadrendben álló vadászgépen teszteltek ilyen hajtóműveket, de ennek ellenére nem tekinthető elterjedt megoldásnak a tolóerő-vektorált hajtómű. Ennek oka azok komplikáltsága és korlátozott haszna, vagyis ár/érték aránya megkérdőjelezhető.

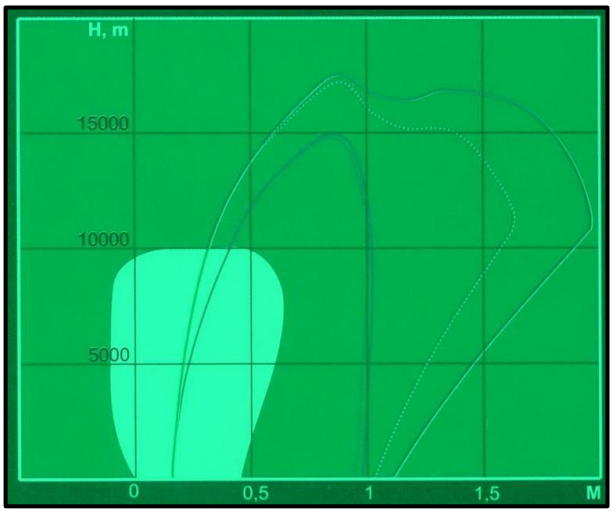
(Az európai Eurofighter Typhoon vadászgéphez készült tolóerő-vektorált hajtómű, de anyagai okokból fel sem merülhetett annak megrendelése, amerikai vadászgépeken is csak az F-22 Raptor rendelkezik ilyen megoldással.)

Első körben tisztázni szükséges, a tolóerő-vektorálás (TVC) nem növeli a repülőgépek abszolút repülési teljesítményét, tehát az előző fejezetben ismertetett esetekben a P_s értékét nem növelik meg. A TVC szerepe az előző oldali lábjegyzetben látható kis sebességű és nagy állásszögű manővereknél jelenik meg, lehetségessé válik a repülőgép orrát nagy szögsebességgel forgatni tetszőlegesen három tengely körül annak ellenére, hogy a repülőgép haladási iránya nem változik meg. A TVC fő és lényegében egyetlen képessége az, hogy kis sebességek esetén a három tengely körüli kormányozhatóságát javítja a vadászgépeknek.

[810] https://www.youtube.com/watch?v=hYi1e4pOQJw
[811] https://youtu.be/BdVJPZAKAQE?t=1m1s
[812] https://www.youtube.com/watch?v=YA8QXenJzgA

Ez a ’60-as és ’80-as években vívott légi harcok tapasztalatai során csábító lehetőséget vázolt fel, nevezetesen azt, hogy közeli manőverező légi harc esetén lehetővé válik a szűk oldalszög indítási tartománnyal bíró infravörös vezérlésű légiharc-rakéták eredményesebb használata, az ellenfél fölé kerekedni azzal, hogy sokkal hamarabb érhető el befogás, illetve kis sebesség esetén lehetséges az ellenfél fordulókörén belül maradni.

A probléma ezzel az elképzeléssel az volt, hogy mire sikerült kifejleszteni az ehhez szükséges hajtóműveket, addigra a nagy oldalszög-eltérítéssel (HOBS képesség) rendelkező sisakcélzós/sisak display-es légiharc rakéták megjelentek és elterjedtek, ezzel lényegében szinte kinullázva ennek a módszernek a kecsegtető lehetőségeit. Egyszerűbb és olcsóbb nagy szögeltérítésre képes infravörös érzékelő és a légiharc-rakéták hajtóművét tolóerő-vektorálttá tenni.



A tolóerő-vektoráló rendszer üzemi tartománya a Szu-30 család repülőgépein. M0,5 sebesség alatt kikapcsol a rendszer.

Míg a repülőgépek esetén a tolóerő reális harcászati helyzetben a tolóerő/tömeg arány ritkán éri el az 1:1 értéket is, ezzel szemben kis hatótávolságú infravörös légiharc-rakéta esetén ez az arány 10:1 is lehet, tehát nem csak a tengely körül képes forgatni a légiharc rakétát a rakéta hajtóműve, hanem annak pályáját is komolyan befolyásolja azzal, hogy már kis sebességnél, közvetlenül indítás után a célpont felé képes gyorsítani a rakétát.

A vadászgépek esetén 30 fokos kitérítésnél ellenben a tolóerő számottevő része elveszik, ami szükséges lenne mondjuk az állandó forduló szögsebesség fenntartásához, azonban a repülőgép haladási sebességvektorának megváltoztatásában a hatása marginális. Egy 25 tonnás harci tömegű Szu-30 családba tartozó vadászgép esetén M0,5 sebesességnél az AL-31 hajtómű leszármazottai nagyságrendileg egyenként kb. 80 kN tolóerőt adnak le, két hajtómű esetén ez összesen 160 kN. 30 fokos kitérítéssel ennek felhajtóerő irányba eső komponense 80 kN. A 25 tonnás gép súlya vízszintes repülés esetén 245 kN. Látható, hogy a gép súlyához képest mennyire marginális a TVC által szolgáltatott plusz forduló irányú erő komponens, néhány tized G-t jelent, cserébe a TVC nélküli esethez képest a gép haladási sebességének megtartásához szükséges erő 160-ról 138,5 kN-ra csökken. (Szögfüggvények és középiskolás matematika szükséges ennek igazolásához.)

A másik probléma a légi harcok jellemző sebességi tartománya és magassága. Lehet, hogy szemkápráztató[813] azok a kis sebességű és kismagasságon végrehajtott manőverek repülőnapokon, de azok harcászati hasznossága nulla. A légi harcok jellemzően hangsebességhez közeli sebességtartományban zajlanak, ahol a rendszer egyáltalán nem is működik annak korlátai miatt.

A rakéták előli manőverezés és kitérés alapja – lásd következő fejezetben – a számított ütközési pont minél nagyobb és gyorsabb áthelyezése. Ezen az, hogy a vadászrepülőgép saját tengelye körül pörög-forog, de lényegében haladási sebességvektora változatlan semmit nem segít sőt, a TVC csak abban a sebességtartományban dolgozik, ami alapvetően kedvezőtlen a légi harcok során.

[813] https://www.youtube.com/watch?v=2k_jpB3plsg

Ha egy vadászgép lelassul és elveszti mozgási energiájának (sebességének) nagy részét, akkor csak hosszú idő alatt képes újra növelni azt, még akár utánégető használatával is különösen közepes magasság vagy annál nagyobb magasságú légi harc esetén, vagy adott esetben magasság feláldozásával, annak mozgási energiává alakításával lehet gyorsítani. Ez egész egyszerűem életveszélyes minden olyan esetben, amikor nem 1 km-en belüli 1:1 elleni légi harcról van szó. Az esetlegesen beavatkozó vadászgépek által indított rakéták ellen a kis sebesség miatt a tolóerő-vektorálást használó gép lényegében védtelen, hiszen komoly kitérő manőverre és reagálásra képtelen.

Az USA is vizsgálata nem csak leszállási úthossz és vezethetőséget javítható képességeit, de nem látták a rendszerben azt az átütő erőt, [814] amiért érdemben megérné foglalkozni ezzel. A szomorú igazság az, hogy mára annyira másodlagossá vált az abszolút repülési teljesítmény egy ponton túl fokozása, hogy az egyszerűen nagyobb tolóerejű hajtóművek beszerzésére sem fordítanak pénzt,[815] nemhogy TVC képességgel bíró hajtóművek utólagos beépítésére. Ennek töredékéből megvalósítató a régi hajtóművek selejtezése és leírása nélkül a HOBS képességű légiharc-rakéták hadrendbe állítása.

Ez alapján kijelenthető, hogy az oroszok által gyakran használt szupermanőverező képesség pont olyan marketing „rizsa”, mint amit a SAAB cég tolt a ’90-es években az „világ első 4. generációs vadászgép” kijelentésével. A repülőgépek harcászati értelemben vett hasznos képességeit lényegében nem tolja ki a TVC-re képes hajtómű, csak szinte teljesen elképzelhetetlen esetekben, ami miatt nem éri meg az egész történet. (1v1 légiharc és nem HOBS képes ellenfél ellen a „pörgés-forgásnak” van értelme, de csak akkor, ha más közeli légi harc alakult ki. Az odáig való eljutás meg sokszor önmagában kudarc és annak jele, hogy valami bizony el lett rontva, mert az mindenki számára veszélyes.[816]

A repülésbiztonsági mutatókat javíthatja azon esetekben, amikor irányítását elvesztett repülőgépeket lehetséges olyan helyzetből is könnyedén kivezetni – például lapos dugóhúzó – , ami más esetben végzetes lehetne, de ennek gazdasági oldal látszik kérdésesnek. Pl. az USAF baleseti statisztikája nem indokol ilyen fejlesztést sem. Nagyságrendileg 2 millió repült óra alatt alig néhány gép veszett el pilótahiba után, amikor már nem volt lehetséges visszanyerni a repülőgép feletti irányítást.[817] Ez soha meg nem térülő beruházás lenne.

---

[814] http://www.codeonemagazine.com/f16_article.html?item_id=163

[815] *USAF-nál az F-15C/D vadászgépek mai napig F100-PW-220 hajtóművekkel repülnek sőt, a nehezebb F-15E flotta kb. fele is, csak a másik fele kapta meg az erősebb -229 P&W hajtómű változatot. F110-GE-129 hajtóművel csak az export F-15E változatok része repül annak ellenére, hogy az összes fenti változat képes lenne befogadni szívócsatorna oldaláról a GE hajtóművet „csak” a gépek törzshátsórészének átépítése lenne szükséges. (Ezt Szaúd-Arábia meglépte.)*
A US Navy Super Hornet és Growler flottája számára elvégezték az F414 hajtómű kb. 18%-kal nagyobb tolóerejű változatának fejlesztési munkáit már 10+ éve (F414 EPE), de senki nem mutatott érdeklődést a projekt iránt, még a svédek sem, pedig a Gripen NG számára sem lenne hátrány plusz tolóerő.

[816] https://htka.hu/2010/11/14/gondolatok-a-legi-harcaszatrol/ *AIMVAL/ACEVAL tesztek tapasztalatai, 20. oldal.*
https://htka.hu/2012/12/04/mcdonnell-douglas-f-15-eagle/ *AIMVAL/ACEVAL tesztek tapasztalatai, 159. oldal.*

[817] https://htka.hu/2012/12/04/mcdonnell-douglas-f-15-eagle/ *170. oldaltól az bemutatott esetek alapján illetve,* http://www.safety.af.mil/Portals/71/documents/Aviation/Aircraft%20Statistics/F-15.pdf *repült órák alapján.*

12. Fenyegetések és ellenlépések

12.1. Légiharc-rakéták

Az itt következő két lista korántsem teljes, de viszonylag jó képet adnak a leggyakoribb és legnagyobb számban gyártott vagy élesben már használt harceszközökről.

Típus	Vezérlés	Megjegyzés
AA-2A (R-3Sz)	*infravörös*	csak hátsó fél-légtérből indítható, AIM-9B másolata
AA-2-2 (R-13M)	*infravörös*	nitrogén hűtésű szenzor
AA-2C (R-3R)	*félaktív radar*	csak hátsó fél-légtérből indítható a kis HMZ és közeledési sebesség miatt
AA-3 (R-98TM)	*infravörös*	csak hátsó fél-légtérből indítható
AA-3R (R-98RM)	*félaktív radar*	
AA-6 (R-40T)	*infravörös*	csak hátsó fél-légtérből indítható
AA-6R (R-40R)	*félaktív radar*	
AA-7 (R-23T)	*c infravörös*	csak hátsó fél-légtérből indítható
AA-7R (R-23R)	*félaktív radar*	CW megvilágítás
AA-8 (R-60)	*infravörös*	*korlátozottan szemből is indítható az R-60M változat*
AA-9 (R-33)	*félaktív radar*	*szimultán célleküzdés a MiG-31 Zaszlon PESA radarjával*
AA-10A,C (R-27R,ER)	*félaktív radar*	*kombinált SARH + MCU/MCG vezérlés*
AA-10B,D (R-27E,ET)	*infravörös*	*szemből indítható, MCU/MCG nincs*
AA-11 (R-73)	*infravörös*	*szemből indítható, sisakcélzó MiG-29/Szu-27 családon, tolóerő-vektorált hajtómű*
AA-12 (R-77)	*aktív radar*	
AIM-9 (kivéve AIM-9C), Rb-74	*infravörös*	*L,M, S,X és utolsó szériás P-4 változatszemből is indítható, X változatnál tolóerő-vektorált hajtómű*
AIM-7/ Skyflash / Rb-71	*félaktív radar*	*kvázi-szimultán célleküzdés AIM-7M változattal F-15C/D gépekkel, CW megvilágítás M változat előtt*
AIM-54A/C	*aktív radar*	
AIM-120, Rb-99	*aktív radar*	
R.530D	*félaktív radar*	
Mica EM	*infravörös*	*tolóerő-vektorált hajtómű*
Mica IR	*infravörös*	*szemből indítható, kombinált vezérlés, MCU (?) + végfázisos IR, valószínűleg sisakcélzóval együttműködhet, tolóerő-vektorált hajtómű*
R.550 Magic II	*infravörös*	*korszerűsített változata szemből is indítható*
IRIS-T	*infravörös*	*szemből indítható, sisakcélzóval együttműködhet, tolóerő-vektorált hajtómű*
ASRAAM	*infravörös*	*szemből indítható, sisakcélzóval együttműködhet*
PL-2	*infravörös*	
PL-5C	*infravörös*	
PL-5E	*infravörös*	
PL-8	*infravörös*	*Python 3 licensz*
PL-12	*aktív radar*	*kezdetben félaktív újabb változata aktív radaros*
Pyhton-3/4/5	*infravörös*	*szemből indítható, sisakcélzóval együttműködhet a az utolsó két változat*

12.2. Szárazföldi vagy hajóra telepített légvédelmi rakéta-rendszerek

Lásd az 6. fejezetben az adott rendszerek bemutatásánál.

12.3. Ellentevékenységek lehetséges módozatai

Az ellentevékenységek lehetséges módjai az alábbiak lehetnek, különféle rendszerek elleni védekezési módok részben megegyeznek vagy átfedésben vannak.

I. Az indított rakétát kinematikailag olyan helyzetbe kell hozni, hogy az ne legyen képes a célpontot elérni. Ennek két alapvetően eltérő módja van:

   1. A célpont megpróbál a rakéta elől elmenekülni, a rakéta mozgási energiája (sebessége) idővel a légellenállás miatt csökken, a rakéta egyszerűen nem lesz képes utolérni a célt miután a rakéta hajtóműve nem működik tovább. A manőver nem túl bonyolult, egyszerűen megfordul a célpont úgy, hogy a cél a háta mögött (6 óránál) legyen. (Persze ez esetben a légvédelem részben eléri célját, hiszen a támadó bevetés folytatását megakadályozta, legalábbis egy időre.)

      Ez a védekezési mód félaktív rakéták és régi rádió-parancsközlő vezérléssel rendelkező légvédelmi rakéták ellen lehet hatásos igazán, mert az indításról azonnal jelzést kap a megtámadott, a besugárzásjelző által. Ez a menekülés kombinálható függőleges manőverekkel, a rakéta a hajtóművének kiégése után az erőteljesen lassul, míg a repülőgépek hajtóműve folyamatosan képes tolóerőt biztosítani.

   2. A megfelelő pillanatban végrehajtott intenzív manőver segítségével a rakétát olyan manőverre kel kényszeríteni, amit nem képes végrehajtani vagy a nagy túlterhelésű fordulóban a sebessége még intenzívebben elkopik és nem éri utol a célpontot, vagy a kettő együttes hatása, hogy a forduló során lassuljon le annyira, hogy képtelen legyen követni a célpontot.

   3. Az első kettő kombinációja. Az indítás után megfordul a célpont, ahogy a rakéta közelebb ér, a mozgási energiája annyira lecsökken, hogy egy kitérő manőverrel képes a célpont lerázni a rakétát.

Fontos megjegyezni, hogy légiharc-rakéták manőverező képessége hasonló, ahogy a repülőgépeknél bemutatásra került, kisebb sebességen és ritkább levegőn képességeik romlanak. Lehetséges, hogy a célt még utoléri a rakéta, de a végfázisban végrehajtott védekező manővert már feltétlen képes lekövetni.

II. A vadászgép manőverező képességének kihasználásán felül lehetséges olyan ellentevékenységet folytatni, ami a célpontra indított rakéták vezérlőrendszereinek érékelőit vagy azok rávezető állomásait zavarja meg. Ezek használata kombinálható a I. pontban felsorolt módszerekkel. A lehetőségek a következők:

   1. Aktív elektronikai zavarás (ECM) használata.

   2. Passzív zavarás, csalik szórása a gépe épített zavarótöltet szórókból – infracsapda és/vagy dipólköteg a rakéta típusától függően – esetleg vontatott csali használata.

3. Földháttérben való repülés, ha indítást vagy csak lehetséges fenyegetést tapasztal a pilóta, célszerű lehet a fenyegetésekhez képest ilyen pozíciót felvenni.

4. Beaming manőver, de ez csak doppler radarok ellen hatásos. (Régebbi gépek és radarok ellen ez nem ér semmit, de mivel ezek

Természetes a II. pontban leírtak is kombinálhatóak egymással, sőt az I. pontban felsorolt manőverekkel is. A probléma

Korántsem 100%-os biztonsággal megállapítható, hogy pl. egy rakéta utoléri-e a célpontot vagy sem, vagy ki tudja manőverezni a célpont. Lehet közben elektronikus zavarást is alkalmazni. Ahogy távolodik a célpont a radartól, a távolság növekedésével a gyengébb visszavert jel miatt a különféle zavaró hatások egyre hatékonyabban működhetnek.

12.4. Védekező manőverek

Bevezetőnek csak annyit, hogy a különféle filmekben látott manőverek nagy részét el lehet felejteni, azok nagyrészt bugyutaságok, semmi közük a valósághoz. (Ahogy a rakéták viselkedésének sincs.) A manőverezéssel való kitéréssel a rakéták elől három alapvető tényezője van:[818]

1. Legyen megfelelő sebesség és tolóerő annak végrehajtására.

2. A közeledő rakéta sebessége legyen megfelelő, vagyis minél kisebb, de legalábbis annyira, hogy a manőverezéshez szükséges tartalék ne álljon kellő mértékben rendelkezésre.

3. A megfelelő időzítés.

Ha ezek közül csak egyik hibádzik, már az is romba döntheti a próbálkozást. Az 1. pont szükséges feltételeinek keresztbe tehet, ha a veszély a „semmiből” érkezik, tehát meglepetésszerű a rakétaindítás, am csökkenti a reagáláshoz rendelkezésre álló időt, pl. megfelelő sebességre gyorsulást vagy a megfelelő alap helyzet felvevését a rakétához képest.

A 2. pontnál komoly faktor, hogy a legmodernebb rakéták elképesztő manőverekre képesek, ha üzemel a hajtóművük, mert tolóerő-vektorálással is rendelkezhetnek. Gyakorlatilag nemigen lehet elképzelni olyan helyzetet, ahol a még tolóerő-vektorált hajtóművel rendelkező légiharc-rakéta elől pusztán manőverezéssel kitérjen egy vadászgép, ha a rakéta hajtóműve még üzemel.

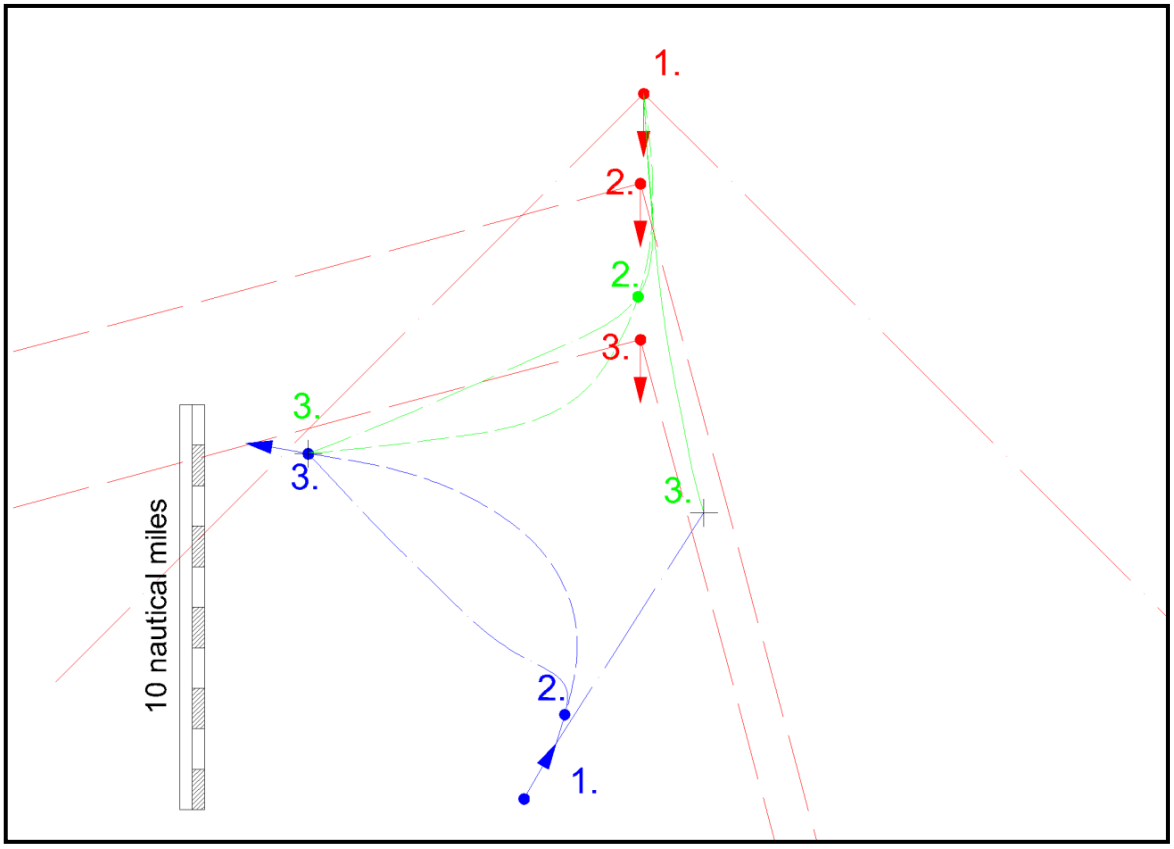
A 3. pont megvalósítása azért nehéz, mert a klasszikus hidegháborús légvédelmi rakéta-rendszerekkel ellentétben a korszerű rakéták passzív szakasza sokkal hosszabb, amikor azok hajtóműve nem üzemel, tehát nem húznak füstöt a rakéták. A pilótáknak számtalan esetben fogalmuk sincs arról, hogy mikor hajtsák végre a kitérő manővereket.

A manőverezéssel történő kitérésnél a cél alapvetően az, hogy rövid idő alatt a számított ütközési pont annyira és olyan gyorsan áthelyeződjön, hogy a rakéta ne legyen képes a rakéta elérni a célpontot, vagy ne legyen képes nagy túlterhelésű fordulóval a rakéta a számított ütközési pontot elérni. Helyzettől függően ez lehet lehetetlen feladat, vagy könnyen kivitelezhető is.

[818] https://www.youtube.com/watch?v=gkWKMAzy2bM

A lent bemutatott esetek a korábbi változatból maradtak bent, mert nem volt idő videó anyagot készíteni a kiadás idejéig sőt, a fejezet átírása is kutyafuttában történt. Később várható videó anyag ezen fejezet könnyebb értelmezéséhez, több példával is.

A következő ábrákon a legegyszerűbb esetek vannak ábrázolva a BVR légiharc- rakéták elleni kitérések lehetséges módozatai. Az ábrák nem tűpontosak, de jellegre nagyjából helyesek.



Az ábrán levő jelek magyarázata a következő.:

A számok jelentik azt, hogy az adott időpillanatban a vizsgált objektumok éppen hol vannak. A kék az a célba vett gép, a zöld az indított rakéta, a piros a rakétát indító gép színe. A számok az adott időpillanatot jelentik. A piros szaggatott vonalakkal határolt rész egy olyan gép radarjának látószögét jelzi, ami ± 45 fokban lát előre, de a zóna kitéríthető, így a radar rálát a célra. Az ábrázolt távolság csak becslés és szemléltető jellegű, hogy nagyságrendileg legyen mihez viszonyítani. A számított találkozási pont a kereszttel jelzett pont.

A példa nagyon leegyszerűsített, az alábbi feltételezésekkel éltünk a helyzet felvázolásánál:

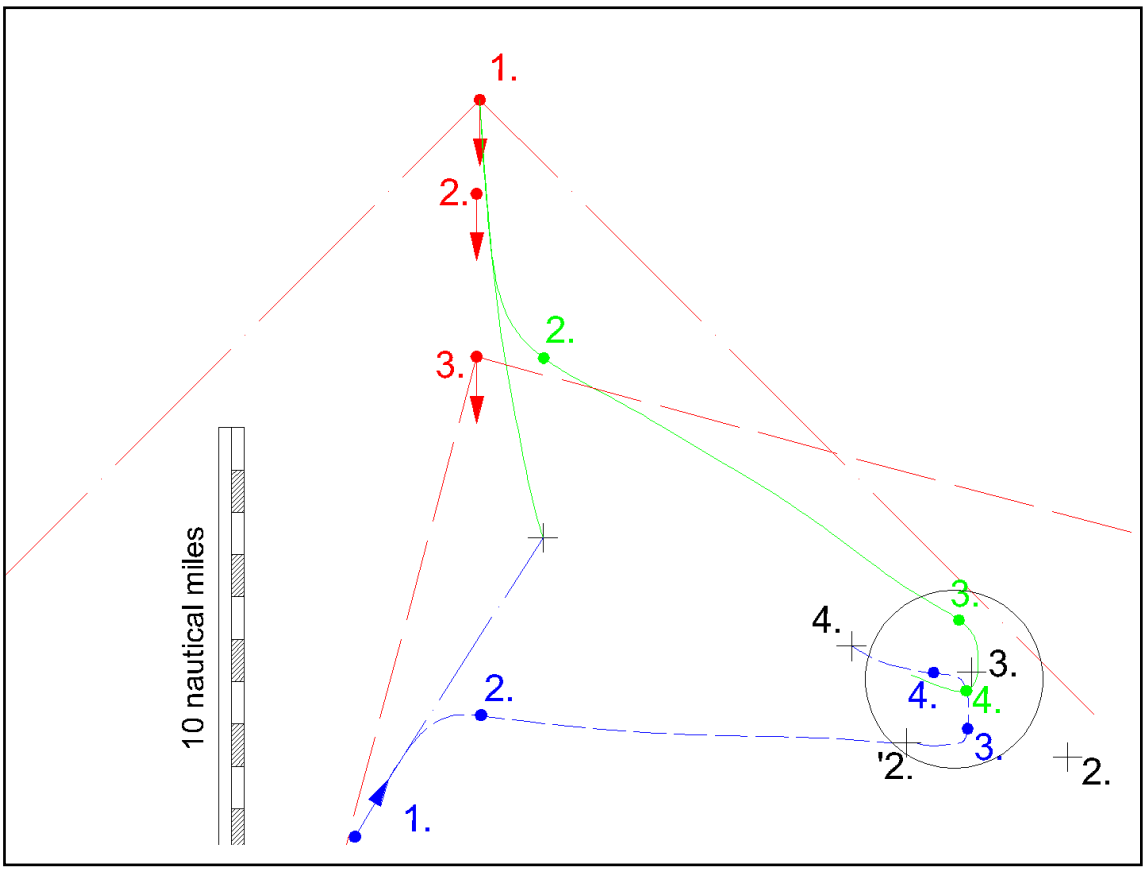
- Az indító és a célgép kb. azonos magasságon van, ami legyen mondjuk kb. 5 km. A rakéta legyen egy AIM-7M Sparrow, tehát félaktív radarvezérlésű rakétafenyegetésről van szó, az besugárzásjelző indítás után ideális esetben azonnal jelezni fog célgépen, ha annak felbontása, érzékenysége és egyéb paraméterei megfelelőek.
- Az indító repülőgép nem folytat manővereket.
- A célgép csak irányt változtat, magasságot nem, a sebességet is tételezzük fel nagyjából állandónak.

Ez esetben az ábrán az következő dolgokat láthatjuk.

- Az indítás pillanatában a gép az 1. pontban van és egyenesen repülve tovább a rakéta gond nélkül eltalálná a célt, az előre kalkulált pontban (kereszt), ez a célpont számára ez a nemkívánatos eset.
- A második esetben – sűrűbben szaggatott kék vonal – a cél egy elnyújtott fordulót hajt végre. Mivel ezt lassan csinálja a célpont, ezért a rakétának bőven van ideje az áthelyeződött találkozási pont felé manőverezni magát,mindezt szerény G terhelés mellett teheti ezt meg, mikor még működik a rakéta hajtóműve. A célt ez esetben is eléri, de már kevesebb mozgási energiával. Ez a túl lassú és forduló esete,a rakéta képes könnyedén lekövetni.
- A harmadik eset furcsasága az, hogy rögtön reagálva egy gyors és nagy túlterhelésű fordulóval gyakorlatilag ugyanaz a találkozási pont hozható össze, mint a 2. esetben. A rakéta mivel itt még messzebb van a céltól a beavatkozás pillanatában a céltól még könnyebben leköveti a találkozási pont áthelyeződését és a hajtóműve is bőven működik még ekkor. Teljesen lényegtelen a nagy túlterhelésű manőver, mert az időzítés nem megfelelő.

Mi a tanulság? Nem mindegy, hogy milyen fordulót és mikorra időzít a pilóta. A célba vett gép számára a kedvező eset a következő ábrán látható, ami egyben olyan pozíciót is eredményezhet, ami a végén a megtámadott gépet is támadó pozícióba hozhatja.

A lenti eset jellemzően akkor alkalmazható, ha a megtámadott gép félaktív vezérlésű rakétája kisebb hatótávolságú, vagy a megtámadott gép nem is rendelkezik BVR fegyverrel, míg a támadója igen, vagy a támadó gép rendelkezik aktív légiharc-rakétával, de a célgép nem. Az utolsó esetben csak akkor hasznos, ha a célgép köteléktársa is a közelben van és az ábra szerint a „kékek” vannak létszámfölényben.



Az ábrán azt mutatja, hogy a célba vett gép szinte azonnal reagál a fenyegetésre. Némi gyorsítás után beaming manővert hajt végre,közben akár dipólköteget szór ki és lesüllyed, mondjuk 3 km-es magasságba, hogy földháttérbe kerüljön.

Tételezzük fel, hogy ezek az ellenlépések nem sikeresek vagy elfogy a passzív zavaró töltet. Ekkor a gép a 2. pontban van, a rakéta is leköveti a fordulót. Ekkor a beaming manőver azt jelentené, hogy végig 3 óra irányában kellene tartani a célt, tehát folyamatosan enyhe fordulóban kellene lennie a megtámadott gépnek. Ez viszont ez a rakéta számára kinematikailag előnyös lenne.

Tegyük fel, hogy célpont inkább tovább gyorsít, de nem fordul meg, nem próbál elmenekülni úgy, hogy a támadó hozzá képes 6 óra irányában legyen, mert a megtámadott pilóta közel akar kerülni a célhoz, hogy manőverező légiharcra kényszerítse vagy a rakéta kimanőverezése után ő is rakétát indítson. Azt az estet, ha a gép nem gyorsítana a ’2’. találkozási pont mutatja, pusztán szemléltetés végett. Látható, hogy a találkozási pont áthelyeződik, gyorsítás esetén.

Akkor megint válasszuk szét a további lehetséges esetet ettől a pillanattól fogva. Elképzelhető olyan eset is, hogy a rakéta nem éri utol a célt. Ez pl. történhet azért, mert a célgép ezek után felemelkedik, akár 7-8 km magasra is. Ez azért hasznos, mert még maximál utánégető használatával sem éri meg egy idő után tovább gyorsítani vagy vízszintesen repülni, mert a légellenállás annyira nagy, hogy a védekező pilóta nem nyer ezzel plusz sebességet, nem fog áthelyeződni a számított találkozási pont és a rakéta helyzeti és mozgási energiájának összege nem csökken eléggé. Ilyenkor érdemesebb lehet emelkedni, mert a rakéta hajtóműve ilyenkor már kiégett, de mivel a számolt találkozási pont alacsonyabban volt, a rakéta is az alacsonyabban levő, tehát sűrűbb légrétegek között haladhatott szerencsés esetben. Ez már eleve jobban lefékezte, de a hajtómű kiégése után egy ilyen védekező manővert követően még lendületből fel kellene kapaszkodnia. Na, ez már lehet, hogy bőven sok a rakétának…

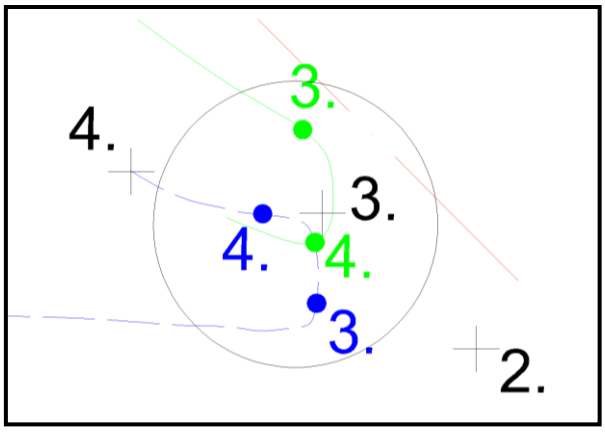
Ezért érdemes a módszert azzal kombinálni, hogy amikor megfordul a védekező fél, akkor ezt úgy teszi, hogy magasságot sebességre váltja. Az indítási utáni kritikus szakaszban, mikor a rakéta a leggyorsabban közelít, akkor a védekező gép gyorsan sebességet gyűjt, ezzel gyorsabban lehet fordulni – lásd a diagramokon a forduló szögsebesség és P_s értékek közötti összefüggést – és mindeközben a rakétát is az sűrűbb légrétegbe lehet kényszeríteni, hiszen a számított találkozási pont is alacsonyabban lesz, és afelé halad.

A csúcssebességet, vagy ahhoz közeli sebességet gyorsan eléri a gép és abban az időtartamban, mikor a rakéta a leggyorsabb a védekező fél is az. Miután a rakéta hajtóműve kiégetta fent leírt felkapaszkodás jöhet. Persze ennek időzítése nagyobb távolság esetén csak becsülhető, hiszen nagyon nagy távolságból nem látni a füstöt még akkor sem, ha erősen füstöl a rakéta.[819] (10-15 km indítási távolságnál égháttérben a régi légiharc-rakéták füstje elméletileg látható, a légvédelmi rakéták még vastagabb füstcsíkja néha még ennél is messzebbről.)

A fennmaradó eset arról szól, hogy a célgép nem ezzel próbálkozik, hanem a rakéta mozgási energiájának tetemes részének „ledarálása” után egy jól időzített gyors fordulóval a rakétát is hasonlóra kényszeríti. A forduló lehet olyan is, hogy emelkedés közben történjen, ekkora a forduló közben még intenzívebben fogy a rakéta mozgási energiája. A forduló közbeni számított találkozási pont áthelyeződés a

[819] *A régi légi harc- és légvédelmi rakéták úgy füstöltek, mint egy gyárkémény, igazság szerint orosz rakéták még ma is... Az amerikai légiharc rakéták mára gyakorlatilag már füstmentesnek nevezhetőek, de érdekes módon a legújabb légvédelmi rakétáknál a füstmentes hajtóműveket valamiért nem alkalmazzák.* http://www.youtube.com/watch?v=vnWpJZkvq0o

3. és 4. pontok szerint történik. Jól látható, hogy a relatív áthelyeződése a találkozási pontnak, nagyon drasztikus, de ebben az esetben a kulcs az időzítés, amit viszont nehéz megoldani, hiszen a hajtómű kiégése után a rakéta kvázi láthatatlan és az aktív radaros rakéta pontos MCU/MCG esetén csak a becsapódás előtti néhány másodpercben kapcsolja fel a radarját.



A cél az, hogy a rakétát minél szűkebb ívű és minél hosszabb ideig tartó manőverre kényszerítse a védekező fél, mert így veszít erőtejesen a mozgási energiájából vagy olyan szűk íven kellene fordulnia a találathoz, amire esetleg nem is képes. A rakétának viszont gyorsabbnak kell lennie, mint célpontnak, hogy utolérje, ezért a rakétának nagyobb túlterhelésű manővert szükséges végrehajtani, mint a célpontnak, tehát jobban lassul, és ha már a passzív szakaszban van, és nincs tolóerő, akkor a manőverek tényleg drámaian felemésztik a rakéta sebességét.

Látható, hogy nagyon nehéz megítélni azt a repülőgépek fedélzetéről, hogy mi történik és utólag kiértékelni a légi harcok eredményét. A gyakorló légi harcok nyomon követésére még a '70-es években hozták létre a lábjegyzetben látható műszeres követő rendszert, amivel utólag tetszőleges nézőpontból és idő beállítással visszanézhető a gyakorló légi harcok menete és kiértékelhetőek azok.[820]

Érdekesség, hogy a Top Gun című filmben a rendszer '80-as évekbeli változata látható, ami nem csak makett és trükk felvétellel operált, hanem valószínűleg az igazi. A két videó alapján beazonosíthatóak a kezelőpultok egyező részei és a megjelenítők kinézete is igen hasonló.[821] *Természetesen ma már ennél messze korszerűbbek és fejlettebbek ezek a rendszerek is.*

12.5. Védekező manőverek, a manőverező légiharc élettani hatásai

Amit szükséges megemlíteni, hogy korlátlan ideig fenntartani nagy pozitív és negatív túlterhelésű fordulókat nem lehetséges – főleg magas ismétlésszámmal és gyors felfutásokkal – mert az emberi szervezet ezt nem tolerálja.[822] A nagy nehézségi gyorsulás/túlterhelés hatására a fejből a végtagok felé áramlik a vér. A szív segítség nélkül már kisebb túlterhelés környékén sem (~4-5G) képes fenntartani az elégséges vérkeringést az agy számára. Minél tovább tartja fent a pilóta a nagy túlterhelésű fordulót, annál drasztikusabbak a következmények. Először a perifériás látás szűnik meg, kialakul a „csőlátás" – szokták

[820] https://www.youtube.com/watch?v=e_hE7Unievk
[821] https://www.youtube.com/watch?v=f5MOgcpUdQI
[822] https://youtu.be/NylGtZQElVE
A videó elején pozitív túlterhelésű manőver látható, majd a vízszintes 180 fokos forduló idején a terhelés láb – fej irányú, azaz negatív túlterhelésről beszélhetünk. Ha a gép

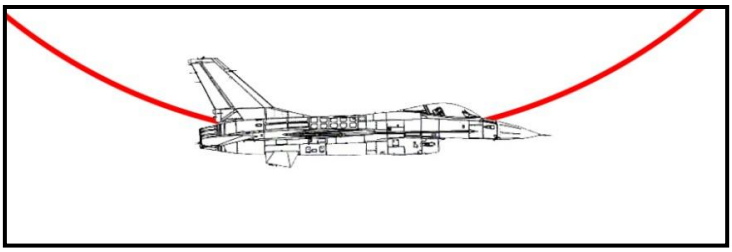
azt is mondani, hogy a pilóta beszürkül – az agyban fellépő oxigénhiány miatt. Egy idő után az ítélőképesség is csökken és végül a pilóta elájul.[823]

A túlterhelés által okozott fiziológiai hatások ellen a G ruha[824] némi védelmet nyújt, de csodákra az sem képes. A ruha működési elvének a lényege az, hogy levegővel[825] feltölthető üreges részek vannak a ruhában, amibe nagy túlterhelésű fordulók idején a fedélzeti rendszer levegőt pumpál. Ezáltal összeszorítja az ember végtagjaiban található izmokat és ezáltal ereket, így kevésbé engedni a vért az agyból kiáramlani, ezzel érezhetően kitolható az eszméletvesztés és képességcsökkenés határa. Megfelelő tréninggel és gyakorlással szintén kitolható nagy G terhelés elviselésének ideje, ezt centrifugában végzett gyakorlatokkal lehetséges,[826] megfelelő testhelyzet felvételével és különleges légzéstechnika alkalmazásával a G tűrés javul.

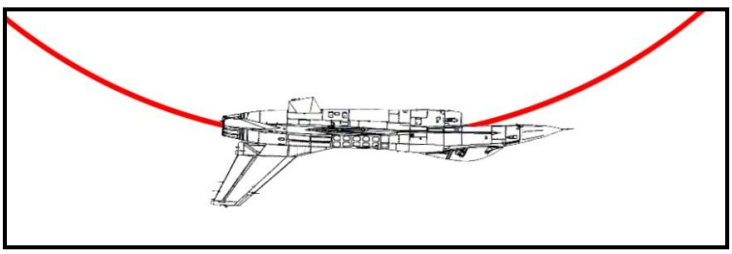
G ruhával és tréninggel a jó fizikumú vadászpilóták – ezért különösen fontos a jó egészség és kondíció – vadászpilóták kb. 4G-s túlterhelést lényegében szinte korlátlan ideig kibírnak. Egy átlagember G ruha nélkül egy 5G-s fordulóban is viszonylag hamar, akár már 10 másodperc után is elájulhat.

Egyéntől függően a G ruha a nagy túlterhelésű zónában olyan hatást ér el, mintha pilótát 2-3G-vel kisebb túlterhelésnek tennék ki, ennek segítségével. 8-9G-s kitartott fordulók 15 másodpercig is elviselhetővé válik súlyos látóképesség vagy ítélőképesség csökkenése nélkül. (Magas ismétlésszám esetén ez az érték csökken.)

Az fent említett esetekben a túlterhelés pozitív irányú, tehát a pilótára ható erő fej-láb irányú. Ellenkező est is elképzelhető, láb-fej irányú erőm, ez a negatív túlterhelés. Ebben az esetben „vöröslátás” alakulhat ki, a vér az agyba tódul. Ez ellen szinte semmiféle védelem nincs, a G ruha ekkor is felfúvódhat, de hatása lényegesen gyengébb, mint pozitív túlterhelések esetében. A negatív túlterhelés hatására szélsőséges esetben akár agyvérzés is kialakulhat, de a szem kapillárisainak bevérzése jóval ezelőtt bekövetkezik. Ilyen túlterhelésnél már a -3 vagy -4G is nagyon komoly terhelésnek számít és jóval kevesebb ideig tarható fent, mint akár egy +8-9G-s túlterhelés.



Pozitív túlterhelésű manőver, piros a repülőgép pályája, a centripetális gyorsulás fej-láb irányú.



Negatív túlterhelésű manőver, piros a repülőgép pályája, a centripetális gyorsulás láb-fej irányú.

[823] http://www.youtube.com/watch?v=TJi1vi9XHWY&feature=fvw
http://en.wikipedia.org/wiki/G-LOC
[824] http://airbase.blog.hu/2017/02/01/egi_ruhatar
[825] *Vízzel működő G ruha is van/volt, de a levegős rendszer a gyakoribb.*
[826] https://youtu.be/Yjg6mRFzZzE

A fent említett mindkét estben a közös, hogy a túlterhelés tengelye azonos, csak az iránya más a tengelyen. Az ember mell-hát irányban tartósan jóval többet elvisel mint fej-láb, vagy láb-fej irányban. Az ilyen túlterhelések mértéke messze elmarad a fej-láb vagy láb- fej irányétól, egyszerűen a gép hajtóművei nem képesek akkora mértékben gyorsítani a gépet, mint amit a manőverek okoznak fel-láb vagy láb-fej irányban, 1,5 G nagyságú mell-hát irányú gyorsulás is már kirívóan nagynak számít.

13. Irányított rakéta-fegyverzetek eredményessége és azok korlátai

13.1. A légvédelem és a légiharc gyakorlati tapasztalatai

A fejezet a II. világháború utáni konfliktusok légvédelmi és légi harcairól nyújt egy nagyon rövid, a statisztikák egy töredékének értelmezését lefedő összefoglalót a veszteségekről, a fegyverek hatékonyságáról és a harceljárások használatáról. A fejezetet Cifka Miklós készítette Hpasp és Molnár Balázs által gyűjtött anyagok alapján.

Sajnos nincs tökéletesen megbízható forrás és egymással tökéletes átfedésben levő források. Sok esetben még kibogozni is nehéz a források adatait, sokszor nem részletezik azokat, így sziszifuszi munka összevetni és megtalálni, mikor melyik miért hibázik. de erre néha lehetőség sincs. A következőkben bemutatott adatok más anyagokban olvasottaktól esetlegesen eltérhetnek, de nagy általánosságban kimondhatjuk, hogy az eltérések marginálisak a teljes képet nézve.

A fejezet csak a merevszárnyú gépekre vonatkozó veszteségeket elemezi, ezzel nem a forgószárnyas gépeket fontosságát szeretnénk kisebbíteni, egyszerűen a fellelhető adatok és a légvédelmi rendszerek általános elemzését tekintve így kaphatunk némileg tisztább képet.

13.1.1. Vietnami háború (1962-1973)

A Vietnami háború felidézésekor elsődlegesen a légi harcok szoktak előkerülni, amiről „szívesen” beszélnek a hadtörténészek. Holott a valóság az, hogy a harci cselekményben odaveszett gépeknek csak töredéke veszett oda légi harcban. A lenti táblázatban az amerikai, pilóta vezette merevszárnyú gépveszteségek láthatóak. A reptér elleni támadások sor a földön álló gépek veszteségeit takarja, ezeket általában tüzérségi vagy szabotázs akciók miatt pusztultak el. A másik pedig a nem-harci veszteségek, amelyek műszaki hiba, pilótahiba miatt bekövetkezett gépveszteségek[827]:

Veszteségek:	*1962*	*1963*	*1964*	*1965*	*1966*	*1967*	*1968*	*1969*	*1970*	*1971*	*1972*	*1973*	*Σ*
Légiharcban	-	-	-	5	14	27	12	-	-	2	30	-	**90**
Észak-Vietnami vadászgépek száma*	0	0	53	75	72	40	25	50	70	120	145	170	
Légvédelmi rakéta által	-	-	-	13	35	62	12	-	1	7	72	3	**205**
Bevethető légvédelmi osztály**	0	0	0	8	28	44	44	44	44	44	44	44	
Csöves légvédelmi- és kézifegyverek tüze által	7	14	33	245	413	397	377	266	154	81	141	12	**2140**
Bevethető AAA-k száma*	1000	1200	1500	2500	6500	7200	5000	3500	3000	2200	1500	1500	
Reptér elleni támadásban	-	-	5	13	6	31	59	21	2	3	5	-	**145**
Nem-harci veszteségek	3	13	30	119	169	213	198	178	106	55	59	15	**1158**
Amerikai bevetések száma***	?	?	?	132 596	291 153	359 226	416 140	352 434	245 690	177 958	244 215	21 121	

A vadászgépek és a légvédelmi ágyúk száma megközelítőleges, az adott év végén
****A bevethető Dvina osztályok száma (Hpasp gyűjtése)***
*****Összes (pl.: Laosz és Kambodzsa felettiek is) bevetésszám, 1962-64 között nincs megbízható adat***

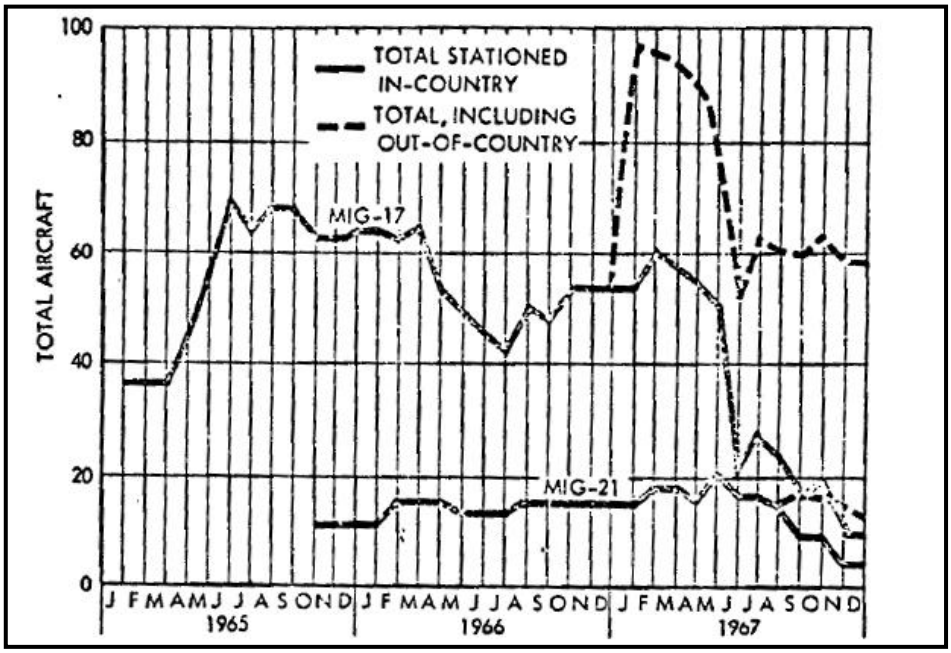
[827] *Források: Vietnam Air Losses 1961-73*
Отчет комиссии Главкома ПВО Анализ боевых действий ЗРВ Вьетнамской народной армии
Боевые действия войск ПВО и ВВС Вьетнамской народной армии в декабре 1972 г"

A táblázatban található számokból először is nyilvánvalóvá válik, hogy a sokat emlegetett légiharcok valójában elenyészően kevés, mindössze 90 darab gép elvesztésért felelnek. A légvédelmi rakéták már több, mint kétszer annyi gép lelövéséért okolhatók, de még a földön is több repülőgép pusztult el, mint Vietnami vadászgépektől. A legtöbb gépet viszont légvédelmi ágyúk, gépágyúk, illetve kézifegyverek tüze miatt vesztették el, leginkább a kis magasságban végrehajtott légi támogatató bevetések közben. Ami még mindenképpen figyelemre méltó, a nem-harci veszteségek magas száma. A roppant mennyiségű bevetés miatt ez önmagában nem meglepő, ám a végső számokat tekintve elgondolkoztató, hogy az elpusztult gépek mintegy harmada valójában nem is ellenséges tevékenység miatt került leírásra…

A Tet Offenzíva során, 1968-ban a Tan Son Nhut légibázison megsemmisített RF-4C felderítőgép maradványai

A veszteségek viszont még mindig nem adnak egyértelmű képet, ehhez szükséges annak vizsgálata, hogy Észak-Vietnám milyen erővel és eszközökkel szállt szembe az amerikai légitámadásokkal szemben.

Összesen 93 db Dvina komplexumot szállítottak le 1965 és 1972 között, ezzel szemben Észak-Vietnam vadászgépek terén 1964-65-ben csak a szubszonikus MiG-15UTI (ezt csak kiképzésre) és MiG-17F és PF (valamint kínai J-5) gépekből kapott összesen hozzávetőleg 150 példányt. Az első szuperszonikus sebességre képes, rakétafegyverzetű MiG-21F-13 vadászgépek csak 1966 áprilisában érkeztek meg, 1968-ban MiG-21PF/PFL, majd 1969-ben kínai MiG-19P másolat J-6-osok (56 db) és végül 1972-ben a PFM alváltozat is. Összesen mintegy 150 db MiG-21 változat került leszállításra. Az amerikai veszteségek közül 28 gépet MiG-17, 5 gépet MiG-19 (e két típus akkor és ott csak gépágyúfegyverzettel rendelkezett) és 57 gépet MiG-21-esek lőttek le, az utóbbiak döntő többségében R-3Sz (AA-2A Atoll) légiharc rakétával érték ezt el.



A Dvina és a vadászgépek összevetése a költségek terén is érdekes, egy MiG-21F-13 ára hozzávetőleg 3,5 millió rubel volt, addig egy Dvina osztály 9,5 millió rubel, egyetlen V-750 rakéta pedig 217 ezer rubel. A vadászgépeknél a későbbi változatok értelemszerűen drágábbak, de a teljes összeg is feltehetően másfél

milliárd rubelnek megfelelő összeg alatt maradt még a rakéták és a kiképzés költségével együtt is. Viszont ha a Dvina árát beszorozzuk 93-al (kb. 912 millió rubel), V-750-ét pedig 7909-el (kb. 1 milliárd 716 millió rubel), azért levonható az a következtetés, hogy a légvédelemi rakéta-rendszerekre nagyjából másfélszer-kétszer annyit fordítottak, mint a vadászgépekre. Csakhogy ezen felül Észak-Vietnám ezres nagyságrendben alkalmazott csöves légvédelmi tüzérséget, amivel a veszteségek döntő részét okozták. Egy 57 mm-es Sz-60 légvédelmi ágyú ára az 1960-as évek elején 178 ezer rubel, a rendszer által mellette használt SzON-9 radarrendszer ára pedig 402 ezer rubelbe került. (VSz országokban egy Sz-60 légvédelmi ezred 4 db radarral rendelkezett, minden 6 db löveggel rendelkező üteg egy darabbal.)

Szükséges figyelembe venni, hogy 1968 március 31-től először a 19-dik hosszúsági foktól északra, majd november elsejétől egész Észak-Vietnam felett leállították a bombázást, amit csak 1972-ben újítottak fel ismét, ez jól látható a légvédelmi rakéták eredményeiből is.

Ha már annyit emlegetik a légi harcokat, érdemes megnézni a levegő-levegő rakéták eredményességét, ugyanis itt kerültek először nagyobb számban bevetésre.

Rakéta	*Indítás*	*Találat*	*Megsemmisített*	*Sikeresség*
AIM-4B/D Falcon	54		5	9,2%
AIM-7D/E/E2 Sparrow	612	97	56	9,1%
AIM-9B/D/E/G/J Sidewinder	454		80	17,6%

A R-3Sz rakétáról nincsenek megbízható információk – a különféle források alapján az összes Vietnami légiharc-győzelem mintegy 40-50%-ért lehetnek felelősek, és Sidewinder-ek összesített eredményességének kb. felét tudták hozni (vagyis hozzávetőleg 8-9%-ot).

A legnagyobb negatív meglepetés az USAF és az US NAVY számára a Sparrow rossz szereplése volt, a rakéta tesztelésekor még 80-90%-os találati arányt tapasztaltak, és még a harci körülmények között is 60%-os eredményességet vártak. A rossz eredményekért alapvetően több tényező is felelt, első sorban az, hogy rövid úton csak vizuálisan azonosított cél ellen engedélyezték a rakétaindítást az rádió alapú barát-ellenség azonosítás (IFF) megbízhatatlansága miatt. Viszont mikor ennyire közel értek az ellenséghez, a Sparrow már messze nem optimális körülmények között volt indítható.

Ennek problémának a lereagálása az AIM-7E2 alváltozat kifejlesztése volt, amelyet jobb manőverező képességgel ruháztak fel. A tényezők között jelentős volt a megbízhatatlanság, illetve a személyzet nem megfelelő kiképzése, amely miatt olyan feltételek mellett indítottak rakétát, amelynél a találat esélye szerény vagy akár zéró volt.

Az Amerikai Tengerészgyalogság F-4B vadászbombázói Da Nang repterén 1966 januárjában

A Falcon rakéták alapvetően rossz hírnévnek örvendtek a lassú célbefogás, a kis robbanófej és az egyes változatai még közelségi gyújtóval sem rendelkeztek. Mind az öt légi győzelmet, amelyet Falconal értek el, az a közelségi gyújtós AIM-4D változatnak volt köszönhető. Az USAF azonban rövid úton követte az Haditengerészetet és Tengerészgyalogságot, a vadászgépeiken a Sidewinder légiharc-rakétát rendszeresítették a Falcon helyett rövid időn belül. A Sidewinder bizonyult a legsikeresebb típusnak, ami részben a harceljárásoknak, részben a (viszonylagos) megbízhatóságának volt köszönhető.

A légvédelmi rakéták esetén érdemes szemügyre venni azt is, hogy mennyit számít az, hogy a kezelő személyzet képzettsége (és motiváltsága) illetve, hogy milyen ellen-tevékenységeket folytat az ellenfél.

1965-66-ban az SzA-75 Dvina komplexumokat szovjet személyzet kezelte, majd 1966-67-től vietnámi személyzet vette át azt, a szovjetek a továbbiakban már csak kiképzőként és tanácsadónként maradtak jelen. Az első időkben a Dvina meglepően hatékony volt, mivel az amerikaiak nem voltak rá kellően felkészülve.

Az alatta felrobbanó V-750 rakéta okozta végzete egy RF-4C-nek megörökítve

1966-tól kezdve mind a zavarókonténerek, mind a besugárzásjelzők elterjedtek, jelentősen növelve a harci gépek túlélési esélyét. Megjelentek a dedikált, légvédelmi állásokra csapást mérő vadászbombázók (Wild Weasel) gépek eleinte még csak irányítatlan rakétákkal, 1966-tól AGM-45 Shrike rakétákkal

felszerelve, ami ugyan jelentősen hatékonyabb fegyvert adott a pilóták kezébe, de finoman szólva nem bizonyult „csodafegyvernek.” 1967 márciusától 1968 márciusáig 931 Wild Weasel bevetésben 1146 darab rakétaindítást hajtanak végre, ám mindössze 40 db Dvina osztályt sikerül hatástalanítaniuk. Ez már önmagában nem tűnik kiemelkedő eredménynek, a helyzetet ráadásul tovább rontja, hogy a 40 db osztály mintegy negyede javítható volt, és később újra harckésszé lett téve. Ezzel együtt a veszteségek számai javuló tendenciát mutattak, leginkább a hatásosabb zavarás és a harceljárások változtatása miatt.

Észak-Vietnami személyzet egy SzA-75 Dvina kezelőszerveinél

A következő táblázatnál annyi magyarázat szükséges, hogy a „Tűzmegnyitás” sor a támadások számát takarja, tehát ennyi alkalommal indítottak cél ellen rakétát, mivel egy tűzmegnyitás alatt több rakétát is indíthattak a Dvina 3 db rakétacsatornája miatt, ezért egy külön sorban szerepel, hogy összesen hány rakétát is indítottak. A végén emiatt mind a rakétaindításokhoz, mind az indított rakéták számához képes is kiszámításra került a hatékonyság.[828]

Légvédelemi rakéták hatékonysága pilóta vezette gépek ellen	*1965*	*1966*	*1967*	*1968*	*1969*	*1970*	*1971*	*1972*	*1972**
Tűzmegnyitás	67	348	1104	220	10	14	136	1135	135*
Rakéták száma	109	590	1894	376	16	23	266	2032	244*
Elpusztított gépek száma	13	35	62	12	0	0	5	73	15*
Hatékonyság tűzmegnyitásra fajlagosítva	**19,4%**	**10%**	**5,6%**	**5,4%**	**0%**	**0%**	**3,6%**	**6,4%**	**11%***
Hatékonyság indított rakéta mennyiségre fajlagosítva	**11,9%**	**5,9%**	**3,3%**	**3,2%**	**0,00%**	**0,00%**	**1,9%**	**3,6%**	**6,2%**
Légvédelemi rakéták hatékonysága drónok ellen	*1965*	*1966*	*1967*	*1968*	*1969*	*1970*	*1971*	*1972*	*1972**
Tűzmegnyitás	7	28	34	100	140	21	16	20	-
Rakéták száma	14	59	58	155	191	27	25	27	-
Elpusztított drónok száma	6	17	24	23	41	7	6	6	-
Hatékonyság tűzmegnyitásra fajlagosítva	**85%**	**60%**	**70%**	**23%**	**29%**	**33%**	**37,5%**	**30%**	**-**
Hatékonyság indított rakéta mennyiségre fajlagosítva	**42,9%**	**28,8%**	**41,4%**	**14,8%**	**21,5%**	**25,9%**	**24,0%**	**22,2%**	

***Csak Linebacker-II. alatt, 11 éjszakát nézve**

A táblázat értékein feltűnő, hogy a legelső időben mennyire sikeres volt a légvédelem, de a sikeres debütálást követően számottevően csökkent a Dvina eredményessége, az 67-es és ’68-a évek már sokkal kevésbé meggyőző számokat hozott. Ezt részben lehet a Vietnami kezelőszemélyzet számlájára írni, illetve a jóval kifinomultabb elektronikai ellentevékenységnek betudni.

A Linebacker II hadműveletnél látható duplájára nőtt az eredményesség javulása annak tudható be, hogy a Dvina légvédelmi rakéta-osztályokat végre nem manőverező harcászati vadászgépek és vadászbombázók

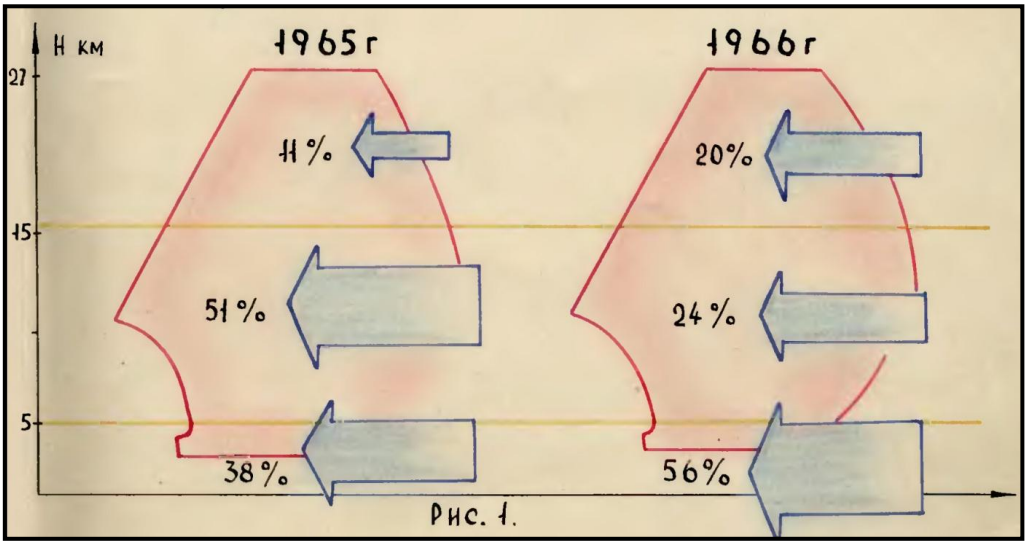
[828] *Forrás: Отчет комиссии Главкома ПВО Анализ боевых действий ЗРВ Вьетнамской народной армии Боевые действия войск ПВО и ВВС Вьетнамской народной армии в декабре 1972 г"*

ellen használták, hanem egyenes vonalban, egyenletes sebességgel repülő B-52-esek ellen. (Még akkor is, ha aktív zavarókkal, csalikkal, elektronikai hadviselést folytató kísérőgépekkel támogatták azokat). Szintén érdemes a margóra felírni, hogy a Linebacker II még ennél is csúnyább módon érthetett volna amerikai szemszögből, ha az Észak-Vietnami légvédelemnek nem fogy el a harci készlete a légvédelmi rakétákból…

A Vietnámi háború egyben a drónok tömeges elterjedésének egyik jelentős lépcsője volt, 3345 darab Ryan Firebee felderítő/kém drónt indítottak, ebből 554 darab veszett oda különféle okokból, többek között 130 darabot SzA-75 Dvinák lőttek le. Kitérő manővereket nem végző, ellentevékenységet nem folytató drónok ellen érthető okokból elég hatékonyak voltak a légvédelmi rakéta-osztályok, 6 darabot pedig a Vietnami légierő semmisített meg.

Egy DC-130 száll fel a vietnami háború idején, szárnyai alatt két Firebee felderítő drónnal

A lenti ábrán az 1965 és 1966 években az amerikai repülőgépek által bevetési magasságai láthatóak a Dvina HMZ ábrájára felrajzolva.. ’65-ben a gépek fele közepes magasságon (5 és 15 km között) érkezett, de a Dvina megjelenése miatt inkább alacsonyabbra ereszkedtek ’66-ban, ami viszont a légvédelmi lövegek számára jelentett könnyebb célpontot.



A légvédelmi rakéták által jelentett fenyegetés lereagálását jól mutatja, hogy a Dvina osztályokat miként tudták használni. Amíg 1966-ban még a Dvina osztályok rakétaindításai 71%-ban automata célkövető üzemmódban történt, addig egy évvel később ez az adat mindössze 10%-ra, majd 1967 októberére mindössze 4%-ra (!) esett, mivel a kezelőszemélyzet az ellenséges ellen tevékenység miatt kénytelen volt a manuális célkövetési módszer (kézikövetőkkel, lásd a SzA-75 rendszer bemutatásánál.)

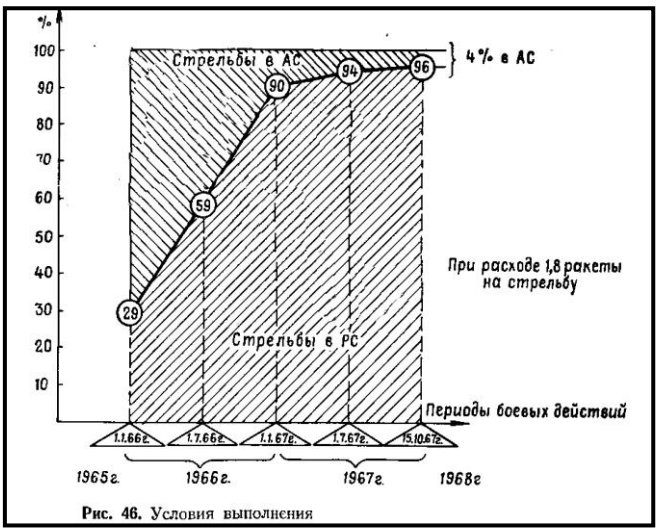


Рис. 46. Условия выполнения

A „túloldalon” a légvédelem hatékonyságáról keveset tudni, igaz a Vietnami vadászgépek inkább a „saját” területek felett dolgoztak. Így nem meglepő, hogy a nyilvántartásban csak négy légvédelmi rakéta által lelőtt vietnami MiG-et tartanak nyilván, amely mind a US Navy eredménye, ebből hármat RIM-8 Talos, egyet pedig RIM-2 Terrier lőtt le.[829] Ezt egyébként azért is érdemes megjegyezni, mert amúgy látványosan nem tesznek róla említést a legtöbb Vietnami háborúval foglalkozó összefoglalókban.

Úgy tűnik, ha egy vadászgép lelő egy másikat az szép eredmény, ha egy légvédelmi rakéta teszi ugyanezt, akkor szóra sem érdemes…

Vietnámi oldalon bár úgy tűnik a számok alapján, hogy sok értelme nem volt a légvédelmi rakéta-rendszerek alkalmazásának, hiszen a hatalmas ráfordítások ellenére a veszteségek igen szerény hányadát okozta csak. Ez azonban önmagában nem írja le a légvédelmi rakéták hatását a konfliktusra.

A fenti statisztika nem mutatja be azokat az eseteket, amikor a csapásmérő vadászbombázók vészleoldással szabadultak meg a bombafegyverzettől, hogy megfelelő teljesítménnyel rendelkezzenek a rakéták kimanőverezéséhez. A másik hatás az előző oldali diagramon látható. A célpontok repülési magasságának csökkentésével a légvédelmi rakéták a csöves légvédelmi tüzérség sikerességének. Arra is volt példa, hogy a légvédelmi rakéták kerülgetése

A legkomolyabb hatásuk azonban az volt, hogy az ellenfelet is komoly ellenlépések megtételére sarkallta. Teljes új kategóriájú fegyver kifejlesztése és megjelenése (AGM-45/78), a repülőgépek számára besugárzásjelzők és elektronikai zavaró berendezések kifejlesztésre és gyártása egyáltalán nem kétfilléres mutatvány és kompromisszumok nélküli folyamat volt.

A vietnámi konfliktussal foglalkozó dokumentumfilmek és könyvek nagy részre a légi harcok részletekbe menő elemzésével foglalkozik, illetve nagyjából azonos súllyal kezelik a légvédelmi rakéta-rendszerek megjelenését, de a csöves légvédelmi tüzérség eredményével és azzal, hogy relatíve nagysebességű célok ellen mégis hogyan lehettek eredményesek érdekes módon szinte még lábjegyzetbe sem fér be.

[829] https://goo.gl/2rf3SS
https://navy.togetherweserved.com/usn/voices/2010/12/Summers_voices.html
https://goo.gl/FDJqTM

Még, ha statisztikában meg is jelenik a szám szó sincs olyasféle magasztaló és sztároló leírásról, mint ami pl. a „Topgun iskola”[830] és az utána következő 12:1 arányú légi győzelmi arányt hozta, ami csak egy maroknyi lelőtt gépet jelent, gyakorlatilag kerekítési hiba a konfliktus egészére vonatkozólag.

Ennek a megközelítésnek az lehet, hogy egy esetleges másik helyi háborúban vagy a VSz-NATO összecsapás során sokkoló lehetett volna a légiharc-rakéták eredménytelensége és azok kihatása arra a koncepcióra, hogy az USAF hamar kivívja a légi fölényt.

13.1.2. Izrael-Egyiptom/Szíria (Jom Kippuri háború - 1973)

A Jom Kippuri háború alatt az egyiptomi és szíriai kezelők SzA-75M Dvina, Sz-75 Gyeszna, Sz-75M Volga (SA-2), Sz-125 Pecsora (SA-3), és 2K12 Kvadrát (SA-6) komplexumokkal már hozták a korábbi eredményességet a kis magasságban repülő Izraeli vadászgépekkel szemben.

Légvédelemi rakéták hatékonysága	*1973*
Tűzmegnyitás	415
Rakéták száma	1056
Elpusztított gépek száma	49
Hatékonyság tűzmegnyitásra fajlagosítva	11,8%
Hatékonyság indított rakéta mennyiségre fajlagosítva	4,6%

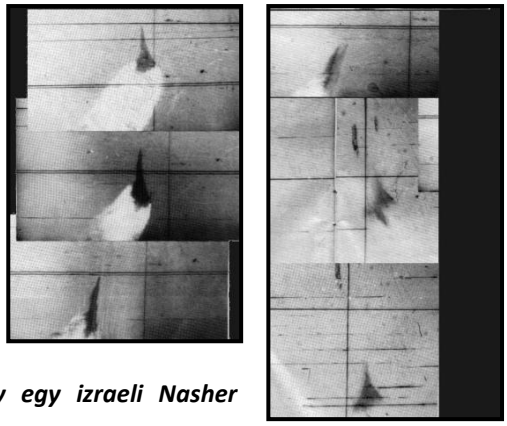
A tűzmegnyitás és indított rakétákra vetítve a hatékonyság drámai mértékben eltér, ami arra utal, hogy a vietnámi tapasztalatoknak köszönhetően a manőverező vadászgépek ellen igyekeztek az esetleg többségében a lehető legtöbb rakétát indítani megnehezítve a célpont számára a sikeres kitérő manőverek kivitelezhetőségét. A Sz-125 Pecsora és 2K12 Kvadrát rendszerek rakétáinak manőverező képessége ráadásul felülmúlta az SzA-75 Dvina rendszerét.

Különösen az 2K12 Kvadrát (a Kub export változata) volt veszélyes, amelyre az Izraeli légierőnek nem állt rendelkezésre elektronikai ellentevékenységet biztosító berendezése, míg a korábbi Dvina, Gyeszna, Volga és Pecsora már „ismert” képességeik miatt jobban elnyomhatók voltak. A Kvadrát a mobilitása miatt is igen veszélyes volt, szemben a telepített légvédelmi osztályokkal, az új ZSzU-23-4 Silka is igen hatékonyan debütált. Összességében az arabok megfelelően rétegezett légvédelmet tudtak felmutatni, amit sokkal nehezebb volt az Izraeli légierőnek feltörni, mint a korábbi háborúkban.

Repülőgép-veszteségek az adott okokból kifolyólag	*Arab légierők*	*Izraeli légierő*
Légiharc	287	21
Légvédelmi rakéta	17	49
Légvédelmi gépágyú / ágyú	19	31
Ismeretlen / Egyéb	66	6
Baráti tűz által	58	2
Összesen:	**447**	**109**

[830] https://en.wikipedia.org/wiki/United_States_Navy_Strike_Fighter_Tactics_Instructor_program

A légi harcokban a Sparrow nem játszott jelentős szerepet, mivel az IAF pilótái nem bíztak benne, így sokszor még csak fel sem szerelték őket. Végül mindössze 12 Sparrow indítás történt, és egy találatot értek el vele (más források 17 indítást és 7 találatot említenek). A maradék légi győzelem cirka három negyede volt infravörös rakéták eredménye, ebből 89-et a Shafrir-2-el értek el, a többit pedig Sidewinderekkel. A gépágyúk hatékonysága érezhetően visszaszorult.



Egy MiG-21 fotógéppuskájának felvételei 1973 októberéből, ahogy egy izraeli Nasher vadászgépet gépágyúval lelő

A veszteségek terén ismét azt látjuk, hogy a légvédelemi rakéták és gépágyúk sokkal nagyobb sikereket értek el, mint a vadászgépek a szovjet fegyverekkel harcolók esetében. A túloldalon az izraeli HAWK rendszerek nem tudtak hasonló arányú sikereket elérni, de ebbe az is belejátszott, hogy a megfelelően megbízható barát-ellenség azonosítás hiányában inkább a vadászgépekre hagyták a küzdelmet. Érdemes megjegyezni, hogy a túloldalon ez gondolkodásmód kevésbé látszott, ennek köszönhetően jelentős számú gépet vesztettek baráti tűz által.

Az, hogy az arabok miért vesztették el háborúikat vagy miért képtelenek a modern hadművészetet, annak okai összetettek. A probléma alapjainak kifejtését a lenti linkeken lehet megtalálni. A lábjegyzetben található írást sem megerősíteni sem cáfolni sem tudom...[831]

13.1.3. Falklandi-háború (1982)

A Falklandi háború nagyon speciális eset. Ennek oka, hogy a brit oldalon leginkább a Harrier VTOL gépek különféle változataival tudott csak a légiharcokban szerepet vállalni. A túloldalon szubszonikus vadászgépek és vadászbombázók (első sorban A-4 Skyhawkok, de MB-339 és IA-58A Pucará is akadt) illetve szuperszonikus Mirage IIIEA és Dagger (a Mirage III/5 folyomány IAI Kfir helyi változata) vettek részt a konfliktusban.

A britek alapvetően a vállról indítható Blowpipe-t, a telepített, kis hatótávolságú Rapier-t, illetve a haditengerészet hadihajóin a közepes hatótávolságú Sea Dart, valamint kis hatótávolságú Sea Wolf rakétákat használták.

A SAS rendelkezett Stinger légvédelmi rakétákkal, ez nem szerepel a táblázatban, amivel egy darab IA-58A Pucarát lőttek le, de nem tudni hány rakétát indítottak összesen. Érdemes megjegyezni, hogy az argentinok semmiféle zavaró tevékenységet nem folytattak, viszont nagyon kis magasságon repülve közelítették meg, és hagyták el a célkörzetet, valamint ha lehetett, kihasználták a földháttér nyújtotta előnyöket. A túloldalon Roland telepített rendszert, illetve Blowpipe rakétákat használtak.

Légvédelmi rakéták	*Blowpipe (britek)***	*Rapier*	*Sea Dart*	*Sea Wolf*	*Roland*
Tűzmegnyitás	95	65	26	8	8
Találat	1	1	7	3	1+2*
Hatékonyság	1%	1,50%	27%	37%	37,5%

Az Argentinok Roland rendszere egy Sea Harriert és két légibombát lőtt le.

****Az Argentinok ismeretlen számú Blowpipe indítást hajtottak végre, egy Harriert Gr.3-ast lőttek le vele***

[831] http://cikkek.soti.ca/why-arabs-lose-wars.html
http://www.meforum.org/441/why-arabs-lose-wars

A fentiek tükrében nem meglepő, hogy sem a Blowpipe, sem a Rapier nem remekelt a kis magasságban repülő célok ellen, utóbbi viszont meglepően sikertelennek minősíthető. Kisméretű harci résszel rendelkezett, nem volt közelségi gyújtója, problémák voltak az IFF rendszerrel, zavarták a rendszert a Royal Navy hajóinak radarjai, valamint a karbantartásokat nem tudták megfelelően végrehajtani (a pótalkatrészek jó részét szállító MV Atlantic Conveyor szállítóhajót elsüllyesztették az argentinok Exocet hajó elleni támadó rakétával.).

Egy álcázott Rapier indító a Falkland-szigeteken, 1982-ben

A Sea Dart és a Sea Wolf összességében viszont nem szerepelt *annyira* rosszul, noha mindkettőnek megvoltak a maguk korlátjai. A Sea Dart a földháttérben érkező célpontokkal nem boldogult, míg a Sea Wolf a kis magasságúban repülő, manőverező, hajók felett áthúzó célpontokkal gyűlt meg a baja, hiszen elsődlegesen nem manőverező hajó elleni rakéták ellen szánták.

A Royal Navy hajóit elsősorban a NATO-n belüli tengeralattjáró vadászatra és konvojkísérő vagy harccsoport kísérő hajóknak tervezték, partközeli légvédelmi feladatkörben való szereplést nem vártak el tervezéskor a rombolóktól.

Két argentin A-4B Skyhawk kis magasságban közelít a HMS Broadsword fregatt felé, hiába a fregatt 2x6 Sea Wolf indítója, a rendszer lefagyása miatt csak kézzel irányzott csöves légvédelmi tűz fogadta őket.

A brit légvédelmi rendszerekhez képest a francia-német Roland egészen jó hatásfokkal működött (megj.: összesen 10 db rakétájuk volt, ebből lőttek el nyolcat) és a Sea Harrier lelövése után a britek kénytelenek voltak 5500 méter felett működni az általa védett reptér felett. A fentieken túl a britek még két Harrier Gr.3-at veszítettek a Skyguard légvédelmi radar által vezetett ikercsövű 35 mm-es Oerlikon légvédelmi gépágyútól, további négyet pedig megrongáltak.

A barát-ellenség azonosítás fontosságát viszont az argentin fél is vér által tanulta meg, konkrétan sikeresebbek voltak saját, mint az ellenség gépek lelövésében ugyanis egy A-4B-t, egy A-4Q-t és egy Mirage IIIEA-t is sikerült lelőniük. A légvédelmi gépágyúk a HMS Fearless-ről szintén egy A-4B-t lőttek le, valamint kézifegyverek tüzétől egy IA-58A és egy A-4C veszett még oda.

A légiharc esetében az számok a következők, a légi harcoknál ismét csak sok tényező befolyásolta az eredményeket:

Légiharc rakéták	*AIM-9L*	*R530*	*R550*	*Shafrir-2*
Indítás	26	3	4	5
Találat	19	0	0	0
Hatékonyság	73%	0%	0%	0%

A Harrierek a vadonatúj AIM-9L Sidewinder rakétával brillíroztak, noha a sikereiket főleg az első napokban érték el, és szinte minden esetben hátulról indítottak rakétát, általában bombafegyverzetű gépek ellen. A fenti arányhoz nem árt tudni, hogy egy célt két rakéta talált el, egy indítás véletlenül történt, valamint négy rakétát indítottak lőtávon túl és csak egy rakéta volt hibás.

Az argentinok többszörös kihívással néztek szembe, mivel a szuperszonikus gépeiket nem lehetett a levegőben utántölteni, így a Falkland szigetek felett minimális ideig tartózkodhattak csak. Ezzel együtt is elég siralmas az elért eredményük, a félaktív radarvezérlésű R530 rakétánál egynél a földháttér, egynél a Harrier által kidobott chaff vezette félre a rakétát, míg az utolsónál az indító gépnek ki kellett fordulnia, mert Sidewinder rakétát indítottak rá.

Az infravörös vezérlésű R550 Magic rakétákat egy kivételével infracsapda csapott be, az egy kivételnél kimanőverezték azt. A Shafrir-2 izraeli gyártású rakétákból kettő túl messziről lett indítva, hármat infracsapda csalt el, kettőt kimanővereztek.

Gépágyú használatával három argentin repülőgépek lőttek le a Harrierek (1 db C-130E, 1 db A-4Q, 1 db IA-58A-t) illetve két másikat megrongáltak (1-1 db A-4Q/C-t.)

Repülőgép veszteségek	*Légiharc rakéta*	*Radarirányítású légvédelmi rakéta*	*IR irányítású légvédelmi rakéta*	*Légvédelmi gépágyú*	*Kézifegyverek*
Nagy-Britannia	0	1	1	2	0
Argentína	19	10	2	1(+3)*	2

A (+3) a baráti légvédelmi gépágyútalálattól elvesztett gépeket takarja

Amit ezekből a számokból érdemes levonni az, hogy az AIM-9L Sidewinder[832] igen jól szerepelt, szemben a régebbi félaktív rávezetésű (R530) vagy csak hátulról indítható infravörös irányítású rakéták (R550, Shafrir-2).

A légvédelem és a vadászgépek eredményessége felemás képet mutat, a britek Blowpipe rakétája (amelyet mindkét fél használt) finoman szólva nem sokat ért, a Rapier hasonlóan leszerepelt, és a brit haditengerészet rendszerei – noha hatékonyság terén relatíve jó eredményt hoztak – egy elektronikai ellentevékenységet nem folytató, csak a manőverező képességben és a kis magasságban bízó ellenfél ellen sem voltak túl hatékonyak, ami azért összességében erősen elgondolkodtató...

Argentin oldalon a légvédelmi rakéták és gépágyúk felelősek az összes brit skalpért, ami nem kevésbé figyelemre méltó, és egyben jelzi azt, hogy a kis magasságban zajlott szinte az összes bevetés.

[832] *Az angol pilóták beszámolói szerint a papíron szemből is indítható rakétákkal szemből szinte soha nem sikerült befogni az argentin repülőgépeket.*

13.1.4. Sivatagi Pajzs és Sivatagi Vihar (1990-91)

Az első Öböl-háború sokszor és sok téren volt emlegetve, a szövetséges erők alapvetően jelentős technikai fölény és komoly létszámfölény mellett indultak meg, és velük szemben export szintű szovjet eredetű technika állt szemben. [833]

Pilóta vezette repülőgép veszteségek	*Légiharc-rakéta*	*Légiharc / gépágyú*	*Radar-vezérlésű légvédelmi rakéta*	*IR vezérlésű légvédelmi rakéta*	*Légvédelmi gépágyú*	*Összesen*
Szövetségesek	2	0	10	16	8	36
Irak	34	2	?*	?*	?*	36

105 iraki harci veszteségből 36-ot légi harcban szenvedték el, a maradék 69-ről viszont nincs részletezés (valószínűleg földön bombázták szét azokat)

Bagdad látképe a Sivatagi Vihar hadművelet első éjszakáján, légvédelmi gépágyúk fényjelzős lövedékeinek és robbanások fényeivel

A légvédelmi fegyverektől elszenvedett veszteségek bontása Koalíciós oldalon:

Harci veszteségek légvédelmi rendszerektől:	*Veszteség*
Sz-75M Volga	3
Sz-125 Pecsora	1
2K12 Kvadrát	1
Roland	2
(Nem azonosított radarirányítású SAM)*	3
Igla-1	11
Sztrela-1	1
Sztrela-10	2
(Nem azonosított IR irányítású SAM)	2
Csöves légvédelmi fegyverek:	8
Összesen	34

Ezek lehetnek ex-Kuvaiti I-HAWK légvédelmi rendszerek is, amelyből 4 osztályt zsákmányolt Irak

[833] https://htka.hu/2012/12/04/mcdonnell-douglas-f-15-eagle/ *233. oldal.*

A Sivatagi Vihar volt gyakorlatilag az utolsó olyan (kvázi valódi) háború, ahol légierő komolyabb légvédelmi rendszerek ellenére kis magasságban is működött. Ez meglátszik a veszteségeken is, a legsikeresebbek az infravörös vezérlésű Igla-1 vállról indító rakéták, illetve a csöves légvédelmi gépágyúk voltak. A nagyobb hatótávolságú légvédelmi rendszerek relatív sikertelensége betudható a vietnami háború óta igencsak jól felkészült Wild Weasel egységeknek, illetve mindenek előtt az AGM-88 HARM megjelenésének, valamint az igen hatékony elektronikai zavarásnak.

Egy lelőtt iraki Szu-25 maradványai

A légi harcoknál az iraki légierő jelentős túlerővel szemben állt fel mind technikai, mind számbeli szinten, és bár a Falklandi-háború egyoldalúságát nem sikerült elérni, azért az eredménnyel még így sem igazán lehetnek elégedettek. A légi harcok hatékonyságát a lenti táblázat mutatja be:

Légiharc-rakéták	*AIM-9*	*AIM-7*	*Gépágyúk*	*R-40*	*R-24T*	*R-27R*	*R-60*
Indítás	86	88	-	9	2	3	6
Megsemmisített repülőgép	10	24	2	1	0	0	1
Hatékonyság	12%	27%	-	11%	0%	0%	16%

A fenti táblázatban szereplő érékek bővebb magyarázatra szorulnak. Amíg az amerikai rakétaindításokról rengeteg helyen találni adatokat, az iraki vadászgépek által történt rakétaindításokról viszont alig találni összegzést, a fenti táblában ezeket szürkével cellákban vannak jelölve. Az eredmények persze a egyértelműek, mindössze két koalíciós gépveszteség volt ellenséges repülőgéptől és légiharc-rakétától:

- F/A-18C (US Navy) amelyet egy MiG-25PD egy R-40R rakétával lőtt le.
- Tornado Gr.1A (Royal Air Force), amelyet egy MiG-29A lőtt le egy R-60MK rakétával.

Viszont nem árt mellé tenni, hogy a hatékonyság messze félrevezető lehet, ugyanis a pontos indítási számokat nem ismerjük. Azt is érdemes a lapszélre felírni, hogy egy MiG-23-as (különböző időpontban) R-24T rakétával két F-111-est is megrongált, egy MiG-29A egy R-27R rakétával egy B-52G-t, egy R-60MK-as rakétával pedig egy F-111-est rongált meg.

A fenti táblázat számai a koalíciós oldalon önmagukban rendkívül félrevezetőek, azt a fals képzetet adják, mintha a vietnámi háború óta szinte semmi sem változott volna.

A statisztikát rendkívüli mértékben torzítja, hogy például az F-16-osok 36 db AIM-9 Sidewinder rakétát indítottak, ám ebből legalább 20 darab rakétát véletlenül, az indítógomb szerencsétlen elhelyezéséből fakadóan a HOTAS rendszeren, miközben az F-16 típussal egyetlen légi győzelmet sem értek el.

A többfeladatos kontra egyfeladatos vadászgépek vitájában sokszor felmerül, hogy messze a legeredményesebbek az egy feladatos F-15C gépek voltak, amelyek 12 db AIM-9-es indításból 8 db légi győzelmet értek el (67%-os hatékonyság), míg 67 db AIM-7 indításból 23 végződött a célpont pusztulásával (34%-os hatásfok). Ez viszont talán nem is kis mértékben betudható a pilóták képzésének és gyakorlatának is – értelemszerűen az légi fölény kivívására tervezett és használt F-15C/D gépek személyzete szinte kizárólag légi harcra gyakorolt – illetve az USAF F-15C gépek NCTR célpont azonosítási képessége miatt azokat küldték elsődlegesen vadászgépek elfogására.

Az AIM-7 statisztikája is az AIM-9-hez mérten csalóka. 71 alkalommal indítottak AIM-7 Sparrow rakétát a Sivatagi Vihar alatt, ebből 25 rakéta találta el célpontjait, amivel 24 légi győzelmet értek el, egy kivételével mindet F-15C Eagle vadászgépekkel, egy US Navy Hornet lőtt le bombákkal leterhelten is egy MiG-21-est.

A 44 rakétákból, ami nem találta el a célokat azonban 6 db úgymond „biztos ami biztos alapon” lettek indítva megtámogatva a már korábban indított rakétát és a felrobbanó célpont tűzgömbjén repültek keresztül. Legalább 10 esetben véletlen indítás vagy leoldás történt. A fennmaradó 28 esetben a rakéták hajtóműve nem indult be. Ezen esetek egy részében a rakétát és a repülőgépet összekötő, a rakéta hajtómű indításáért szükséges kábel nem volt megfelelően csatlakoztatva.[834] Ezen eseteket is figyelembe véve a szándékos indításokat számolva az AIM-7M találati aránya nagyjából 50% volt. (Ezek egy részét taktikai húzásként messze a NEZ-en kívül indították, tehát a célpont manővere esetén esélyük sem volt elérni a célpontokat. Nem a műszaki megbízhatatlanság miatt nem találtak.) Ez természetesen igen messze van a 100%-tól, de a vietnámi 6%-hoz képest azért összességében teljesen más dimenziót jelent. (Még a 33% is nagy előrelépést jelentene, bár messze nem az elvárt szintet jelentené.)

Egy F-15C 1991 január 19-én a Sivatagi Vihar hadműveletben 4 db Sparrow és 4 db Sidewinder rakétával

A fentieket röviden összegezve az iraki légierő inkább csak zavarni tudta a szövetségesek bombázó- és vadászgépeit (megjegyzés: a szövetségesek az első napon 20-25 db gép elvesztését várták vártak, tehát az, hogy egyetlen Hornet vadászbombázót vesztettek el, igencsak jelentős sikernek könyvelhető el), de iraki oldalról érdemben csak a légvédelem tudott valódi eredményeket felmutatni. Utóbbi terén pedig látványos az, hogy főleg a kis magasságban repülő szövetséges gépek estek légvédelmi gépágyúknak és rakétáknak áldozatul, a nagyobb hatótávolságú iraki légvédelmi rakétákat, felderítő radarokat a szövetségesek szisztematikusan és relatíve hatékonyan iktatták ki, mondhatni a hadművelet egész időtartamát nézve nem sok vizet zavartak. Azt hozzá kell tenni, hogy Irak lényegében nem rendelkezett üzembiztosan működő automatizált vezetési rendszerekkel, ami alapvetően befolyásolta az osztályok harcképességét.

[834] https://htka.hu/2012/12/04/mcdonnell-douglas-f-15-eagle/ *105. oldal*

13.1.5. Szerbiai légi háború, Allied Force hadművelet (1999)

A szerbiai légi háború sok szempontból egy új korszak eljövetelét mutatta be. A NATO gépek nem ereszkedhettek le 15 000 láb (mintegy 4,5 km) repülési magasság alá, így kivédve a korábban jelentős veszteségeket okozó vállról indítható rakétákat és légvédelmi gépágyúkat.

A másik jelentős tényező a járulékos veszteségek, nyersebben fogalmazva a civil lakosság veszteségeinek minimalizálása volt. E kettőből következően a NATO alapvetően a precíziós fegyverek alkalmazását helyezte előtérbe, amelyet nagy(obb) magasságból és távolabbról lehetett indítani. A NATO gépek mindegyik rendelkezett immár radar-besugárzás jelzővel (RWR), az elsöprő többségük pedig rendelkezett valamilyen fajta radarzavaró rendszerrel, jó részük pedig vontatott ALE-50 csalival is. Ezek mellett még ott voltak a dedikált EW gépek (EA-6B, F-111EB), illetve a Wild Weasel egységek.

A Szerbiai légi háború másik jellemző vonulata, hogy ismét egy létszám- és technikai fölényben lévő erő szállt szembe egy kisebb létszámú, elavultabb technikát felvonultató ellenséggel szemben.

Noha a Szerb légierő rendelkezett MiG-21M/MF/PMF/Bisz és MiG-29A vadászgépekkel, az előbbieket (bölcsen) eleve alkalmatlannak tartották arra, hogy a jóval fejlettebb ellenség elé vessék célpontnak, ám a MiG-29A gépeket többször is harcba küldték a NATO vadászgépei ellen. Eme döntés is bőven megkérdőjelezhető a pilótáik éves szinten nagyságrendileg 20 órát repültek, tehát finoman szólva sem lehetett őket túlságosan rutinos és tapasztalt jelzővel illetni.

Egyes források a szerb MiG-29-esek eredménytelenségét azzal magyarázzák, hogy azok üzemképtelen radarral és besugárzásjelző-rendszerrel szálltak szembe a NATO vadászgépekkel. Ez így ebben az általános formában véleményem szerint szinte biztosan nem igaz. Felszállás utáni meghibásodás ugyan lehetséges, de annak fényében, hogy a MiG-21bisz vadászgépekkel meg sem kíséreltek harcba szállni, egy „süket és vak" MiG-29A vadászgéppel a fenti berendezések nélkül pont ugyanolyan értelmetlen próbálkozás lett volna légiharcot kezdeményezni.

A NATO vadászgépek ezzel szemben több alkalommal is érzékelték a MiG-29-esek radarjainak kisugárzását és a szerb pilóták többször is sikeresen kimanővereztek a rájuk indított radarirányítású légiharc rakétákat. Erre (éjszaka) besugárzásjelző-rendszer vagy radar nélkül nem lettek volna képesek.

Az Allied Force hadművelet légi harcairól a mellékletek között részletes beszámoló található angol nyelven Hpasp kiegészítéseivel.

Ezek után nem meglepő, hogy egyikük MiG-29-es sem tudott még csak rakétát indítani sem, ellenben hat gépet ért találat NATO gépekről indított légiharc-rakéta rakéta által. A hat találatot összesen 10 rakétaindításból érték el a szövetséges vadászgépek, ezek mindegyike radarvezérlésű volt. 1 db AIM-7M (nem talált), illetve 9 db AIM-120A/B rakétát indítottak, ez utóbbiakból 2 db cél tévesztett, 6 db talált, illetve 1 db rakéta a pillanatokkal korábban lelőtt szerb vadászgépet találta el újra. Adott feltételek mellett tehát nagyon egyoldalú küzdelemről volt szó, ahol a Szerb légierőnek nem osztottak igazából lapot.

Balra a Holland légierő F-16AM MLU gépe pár hónappal a háború előtt, jobbra az általa AMRAAM rakétával lelőtt MiG-29A roncsait vizsgálják amerikai megfigyelők

Mindezek ellenére a támadó erőknek ismét szembesülniük kellett veszteségekkel, viszont ezek kivétel nélkül légvédelmi rakétások eredményei voltak.[835]

	Sz-125M Nyeva	2K12 Kub	Igla	Sztrela-1M
Tűzmegnyitás	50	46	11	12
Indított rakéták	93	70	11	12
Pilóta vezette lelőtt gép	2	-	-	-

A szerb légvédelem 20 db 2K12M3 Kub illetve összesen 12 db Sz-125M1A Nyeva osztályból állt. A Belgrádot védő 250. légvédelmi rakétadandárt leszámítva (amely 8 db Nyeva osztályból állt) a többi 4 osztályos ezredekbe volt szervezve. Az osztályok „vetésforgóban” dolgoztak, egy ezredben a 4 db osztályból csak 2-3 db volt aktív, a maradék 1-2 db addig áttelepült vagy pihent. Ha valamelyik osztály rakétát indított, utána azonnal szedte a sátorfáját, és áttelepült.

Azt hozzá kell tenni, hogy csak a Kub ezredek rendelkeztek AVR-rel a Nyeva osztályok nem, ami alapvetően befolyásolta az osztályok harcképességét.

Dani Zoltán ezredes az osztálya által lelőtt F-117A maradványai előtt.

A rövid szerbiai légi háború egyik leglátványosabb mozzanata kétség kívül az F-117A lelövése volt, amelyhez kellett egy jól felkészült kezelőszemélyzet, és kellett egy elbizakodott amerikai légierő is, amely engedte SOJ/Weasel kíséret nélküli bevetést, erről már korábban volt szó, itt csak a tényét emeljük ki.

A másik lelőtt ember vezette repülőgép egy F-16CG volt (mindkettőt a 250. légvédelmi rakétaezred 3. osztálya lőtte le). További két F-15C-t, egy F-15E-t, egy F-16-ost, egy F-117A-t, valamint két A-10A gépet

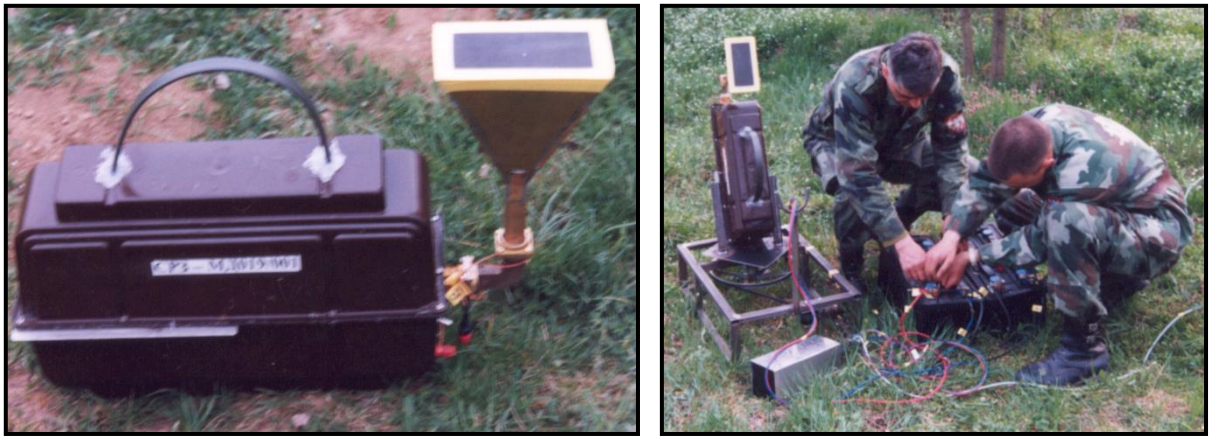
[835] *"ГЕНЕРАЛ СПАСОЈЕ СМИЉАНИЋ - АГРЕСИЈА НАТО",*
"Jovica Draganić - VAZDUŠNI RAT NAD SRBIJOM 1999. GODINE"

rongáltak meg légvédelmi rakéták. Ezzel együtt is látható a fenti számokból, hogy a 119 darab rakétaindításból mindössze kettő sikeres lelövést értek el, ami eléggé lesújtó eredményesség tekintetében, ám ha hozzá vesszük, hogy relatíve elavult légvédelmi egységek vették fel a harcot élvonalat képviselő légierőkkel, akkor ez is igen szép eredmény.

Említést érdemel az is, hogy a NATO az összes bevetésszámot tekintve kb. 20%-ot a SEAD, vagyis a légvédelem elnyomására induló bevetések tették ki, amely többszöröse a korábbi hadműveletekben megszokottnak, ez is jelzi, hogy mit tekintettek veszélyforrásnak.

A Nyeva osztályok ellen 208 db AGM-88 HARM rakétát indítottak, és jelentős mennyiségű bombát dobtak le ellenük. Ehhez képest mindössze csak 5 osztályt talált csak el HARM (ebből 3 javítható maradt), 3 osztályt pedig bomba (ebből egy maradt javítható).

A 2K12 Kub osztályokra 389 db AGM-88 HARM indítás történt, és ebből 5 db volt találat, tovább hármat pedig bombatalálat ütött ki. Hiába az elképesztően magas bevetésszám, és a rengeteg elindított HARM rakéta, azok hatékonysága a másfél százalékot sem éri el. Igaz, hogy a szerbek bevetettek ügyes trükköket, mint például „csali" rádió-sugárzókat, ám ezzel együtt is döbbenetesen gyenge az eredményességük, a vietnámi AGM-45-höz hasonló értek el annak ellenére, hogy a szerb légvédelmi rakéta-osztályok nem rendelkeztek AVR-rel, illetve az AGM-88 képességei messze felülmúlják az AGM-45-ét, miközben a szerbek által használt Nyeva színvonala alig magasabb, mint a vietnámi háború SzA-75 Dvináé. (A leváló céljelek észlelése a Nyeva működési elvéből fakadóan még nehezebb, lásd a rendszer bemutatásánál.)



Szerbiai radar-jeladó csali. Balra maga az adó, jobbra beüzemelés közben

Amiről kevés (vagy legalábbis jóval kevesebb) szó esik ismét, az a nem ember-vezette járművek veszteségei. A NATO 21 db pilóta nélküli jármű elvesztését ismerte be, a szerbek 27-et tartanak nyilván. Ezeket legnagyobb részben légvédelem lőtte le, de olyan extrém példa is akadt, mint egy Mi-8 helikopter ajtajába épített géppuskával való légi győzelem. Érdekes, hogy ezeket nem nagyon szokták emlegetni, holott a modern hadviselésben egyre inkább előtérbe kerülnek a drónok, így pedig a lelövésük ugyanolyan harci eredmény, mint egy ember vezette gép lelövése. Az elvesztettek UAV-k típusai és mennyiségei lenti táblázatban láthatóak:

Lelőtt drónok	*RQ-5 Hunter*	*MQ-1 Predator*	*RQ-2 Pioneer*	*Phoenix*	*CL-228*	*Crecerelle*
mennyiség (db)	8	3	4	2	7	3

MQ-1 Predator roncsa a Belgrádi múzeumban (Hpasp)

13.1.6. Konklúzió

A fentiek nem adnak teljes képet, de a lehetőségekhez mérten egy átfogó merítésnek tekinthető, amely megmutatja a trendeket, és remélhetőleg leszámol pár tévhittel a harci repülőgépek veszteségeivel kapcsolatosan. Először is vegyük végig a hozzávetőleges arányokat a felsorolt konfliktusokban (baráti tüzet nem számítva):

Merevszárnyú (pilóta vezette) gép veszteségek Időszak	USA Vietnami háború 1964-73	Vietnam Vietnami háború 1964-73	Arab-országok Jom Kippur 1973	Izrael Jom Kippur 1973	Argentína Falkland 1982	UK Falkland 1982
Vadászgépektől	3,7%	98%	88,8%	19%	58%	0%
Radar irányítású légvédelmi rakétáktól	8%	2%	5,3%	42%	30%	25%
IR irányítású légvédelmi rakétáktól	0,4%	0%	0%	4,7%	3%	25%
Csöves légvédelem	87,9%	0%	5,9%	34,3%	9%	50%

Merevszárnyú (pilóta vezette) gép veszteségek Időszak	Szövetségesek Öböl-háború 1990-91	Irak Öböl-háború 1990-91	NATO Szerbiai légi háború 1999	Jugoszlávia Szerbiai légi háború 1999
Vadászgépektől	5,6%	34%	0%	100%
Radar irányítású légvédelmi rakétáktól	27,8%	?%*	100%	0%
IR irányítású légvédelmi rakétáktól	44,4%	?%*	0%	0%
Csöves légvédelem	22,2%	?%*	0%	0%

105 iraki repülőgép veszett oda harci eseményekben, ebből 36-ot légiharcban lőttek le

Amíg az amerikai vagy brit gépveszteségekről kimerítő információk láttak napvilágot a legtöbb háborúban, viszont még csak próbálkozások se nagyon voltak például a vietnami vagy az iraki veszteségek részletekben menő elemzésére. (Erre egy tétova próbálkozást megtettem, de a szürke oszlopok legfeljebb érdekességnek tekinthetőek csak. – Cifka Miklós)

Az arányokhoz pedig nem árt figyelembe venni, hogy minden nagyban függ az adott konfliktusban résztvevő felek fegyvereitől és azok mennyiségétől. A vietnami háború esetén az, hogy a közvetlen légi tűztámogatás miatt rengeteg kis magasságú bevetésre került sor, alapvetően meghatározta a veszteségeket.

Figyelemre méltó dolog a csöves légvédelem háttérbe szorulása. Ez leginkább annak köszönhető, hogy a modern vállról indítható légvédelmi rakéták (MANPAD) egyre jobbak és hatékonyabbak lettek, miközben is iszonyatosan mobil és gyakorlatilag alig-alig felderíthető eszközről van szó, így megelőző védekezés nem lehetséges ellene. A MANPAD és kis hatótávolságú légvédelmi rakétáktól való félelem miatt a NATO erők egyenesen nem is ereszkedtek le 1999-ben kis magasságba, ez a modern légierőknél egyre inkább bevett harceljárás lett. A precíziós fegyverek és megbízható bombavető számítógépek lehetővé teszik, hogy elkerüljék a kis magasságban való működést, viszont ez a precíziós fegyverek meglétét, és a lehetőségekhez képest áruk alacsonyan tartását igényli, hogy a légierők megengedhessék maguknak.

Érdemes ezt párhuzamba állítani az A-10C Thunderbolt II gép kapcsán évek óta zajló cicaharccal, amely a kis magasságú közvetlen légi támogatás szükségességéről szól modern harctéren igazából. Amíg az ellenfél nem rendelkezik modern MANPAD-al (pl. Irak felett 2003-2011 között), ez nem probléma, de amikor olyan ellenfél ellen kellene harcolni, amely bír ilyenekkel, rögtön igen komoly veszélyt jelent...

E téren a forgószárnyas harceszközök sebezhetőségével nem foglalkoztunk, de egy bekezdésben azért szeretnék megemlékezni arról, hogy bizony a helikopterek igencsak veszélyeztetett eszközök szintén. A modern ellentevékenységek (DIRCM és társai) hatékonyságáról még nincsenek megbízható információk…

Ez ugyanakkor nem jelenti azt, hogy a légvédelmi gépágyúknak befellegzett, hiszen beérkező bombák, rakéták ellen továbbra is igen hatékonyak lehetnek. Viszont a szerepük immár elsődlegesen messze nem az ellenséges repülőgépek elleni harc.

Mindenképpen figyelemre méltó, hogy a közepes és nagy hatótávolságú radarirányítású légvédelmi rakéták (ott, ahol meghatározó elemei a légvédelemnek) egyre jobban és jobban szerepelnek. A Szerbiai légi háború megmutatta, hogy még egy relatíve elavult technológiával is sokkal veszélyesebbek a modern légierőkre, mint a (szintén elavult és nem túl jó állapotban lévő) vadászgépek. Ez főleg azért elgondolkodtató, mert a modern légvédelmi rendszerek (nyilván magasabb áruk mellett) nagyobb hatótávolságot is tudnak felmutatni, így létrejön a ma divatosnak nevezett A2/AD (Anti-Acces/Air Denial, kb. a légtérbe való behatolás lehetetlenné tevése, vagy helyesebben talán jelentős megnehezítése) környezet, amely a korábban kiemelt fontosságú, a harctér feletti légtér uralását megnehezíti.

Mindez persze erősen függ az elektronikus hadviselés (zavarás, megtévesztő jelek sugárzása, ellenséges radarok bemérése, stb.) színvonalától is, a Falklandi-háború, ahol az Argentin Légierő pusztán a kis magasságú manőverezésben bízva indult harcba, ennek véres következményei ismertek. A szerbiai légi háborút ismét ki kell emelni, mert hiába vonultatták fel a NATO aktuális csúcstechnikáját, összességében nem sikerült megsemmisíteniük a légvédelmi rakéta-osztályokat, csak elnyomásuk volt lehetséges.

A légi harcban a fedélzeti gépágyú a rövid hatótávolságú infravörös irányítású rakétákkal szemben szépen lassan teljesen elveszítette jelentőségét. Érdekes, hogy a mai napig felmerül még az gépágyú mellett a vietnami tapasztalatok felhozása, amikor ugye az F-4 Phantom vadászgépek első sorozata csak rakétafegyverzettel bírt, és ezt hátránynak kezelik, miközben például az F-8 Crusader (amelyet eredetileg még gépágyú-fegyverzetű vadászgépnek terveztek) is a 19 darab légi győzelméből mindössze csak 4-et szerzett gépágyúval, a többit AIM-9 Sidewinder rakétákkal érte el. A túloldalon a modernebb MiG-21-esek

is a légi győzelmeik döntő többségét az R-3Sz légiharc rakétának köszönhetik, nem pedig gépágyúiknak. Hiába mondhatjuk ki, hogy az Sivatagi Vihar alatt értek el utoljára gépágyúval légi győzelmet (helikopter és nem merevszárnyú repülőgép ellen), annak pedig már bő negyed évszázada, a téma még ma is időről időre előkerül…

Az 1999-es események egyik jelzés értékű tanulsága az, hogy az AIM-120 AMRAAM a legváltozatosabb szituációkban is igen hatékony fegyver tudott lenni, és ha sikerül a célpontokat megfelelően azonosítani, akkor gyakorlatilag az önirányítású légvédelmi rakéták uralják a vadászgépek fegyverzetét. Ez főleg akkor elgondolkodtató, amikor még ma is egyes nagyhatalmak vadászgépeinek szárnyai alatt félaktív vezérlésű rakétákat lehet látni, nevezetesen Oroszország vadászgépen, az R-77 illetve azok leszármazottjai az AIM-120 hadrendbe állítása után 20+ évvel is csak mutatóban léteznek. (2017)

A fentiek után érdemes röviden a helyi háborúk során elért légi győzelmeknél a különféle alkalmazott fegyverzetek sikerességét főbb kategóriák szerint.

	Légi győzelmek	Gépágyú	Infravörös vezérlésű légiharc rakéta - a	Radar vezérlésű légiharc rakéta - b	Egyéb
65-68 Vietnám	117	40 (34%)	51 (44%)	26 (22%)	Összesen 6 db
71-73 Vietnám	73	11 (15%)	32 (44%)	30 (41%)	
73 Yom Kippúr	261	85 (33%)	171 (66%)	5 (2%)	0
82 Bekaa-völgy	77 - c	8 (10%)	54 (70%)	12 (16%)	3 - d
Összesen	528	144 (27%)	308 (58%)	73 (14%)	9

a – Túlnyomórészt AIM-9B, izraelieknél AIM-9G, Python 3 vagy Shafrir 2 légiharc rakéták
b –Túlnyomórészt AIM-7D és AIM-7E
c – Egyes adatok szerint 85.
d – nincs adat

	Összes indítás	Találat	Találati arány	BVR alkalmazás	BVR találat	BVR találati arány / BVR alkalmazás	BVR találati arány / összes indítás
65-68 Vietnám	321	26	8,1%	33	0	0%	0%
71-73 Vietnám	276	30	10,9%	28	2	7,1%	0,7%
73 Yom Kippúr	12	5	41,7%	4	1	25%	8,3%
82 Bekaa-völgy	23	12	52,2%	5	1	20%	4,3%
Összesen	632	73	11,6%	61	4	6,6%	0,6%

Látható, hogy már Vietnám után is fejlődést mutatott a félaktív radarvezérlésű rakéták pontossága és megbízhatósága, azt azonban hozzá kell tenni, hogy az IAF[836] pilótái valószínűleg magasabb színvonalat képviseltek még az USAF vagy a US Navy hajózóinál is. Ez részben magyarázza az eredményesebb alkalmazást. Az is kiviláglik a statisztikából, hogy többnyire már látótávolságon belül[837] voltak indítva a rakéták, valószínűleg megbízható IFF hiányában, vagy a radarok technikai paraméterei és maga a cél leküzdésének a folyamata az észleléstől számítva annyi időt vett igénybe, hogy a cél addigra ilyen távolságba került.

Akárhogy is nézzük, lényegében az infravörös rakéták azon képességét kompenzálták velük, hogy azok szemből nem voltak képesek érzékelni a célpontokat, ezért nem voltak használhatóak 6-8 km távolságból

[836] *Israeli Air Force – Izraeli Légierő*
[837] *Ezt kb. 5 mérföldes határnál szokták meghúzni.*

annak ellenére, hogy a célpont akár már szabad szemmel már látható volt. Valódi BVR alkalmazás még mindig csak kis számban fordult elő.

A Sivatagi Vihar statisztikája első ránézésre már egészen más képet mutat, bár a kép némileg csalóka. Az elért légi győzelmek nagy része félaktív radarvezérlésű rakétával történt. Ez azt mutatja, hogy a célleküzdést nagyon korai szakaszban meg lehetett már kezdeni. Az elmúlt évtizedek fejlesztő munkája és minden erőfeszítése meghozta gyümölcsét. Bár a táblázat nem tartalmaz konkrét adatot az indítási távolságokra, de a különböző forrásokból származó beszámolók szerint az indítások és találatok többsége is bőven az 5 mérföldes határon túl történt. A legtávolabbi indítás 18-20 mérföldes, az átlagos indítási távolság nagyjából 10-11 mérföld volt, de ez erősen függött a magasságtól, a célpont sebességétől és aspektusától is.

A lelőtt gépek közül számottevő gép nem valódi légi harcban veszett oda, hanem az Iránba való átrepülés közben lőtték le őket. Az is megjegyzendő, hogy a lelőtt gépek kb. fele semmiféle aktív– vagy passzív védelemmel sem rendelkezett.

Az Iraki Légierő által elvesztett Mirage F1EQ és MiG-29 gépek a ’80-as évek szintjén viszonylag korszerű besugárzásjelző rendszerrel bírtak. A rakétaindítások észlelve voltak, meglepetésszerű támadásról szó sem volt, „csak” a légi helyzetkép tekintetében voltak hátrányban az iraki pilóták.[838] Az iraki radarrendszert és légvédelmi vezetési pontokat a hadművelet első hetében nagyrészt elpusztították. A félaktív rakétákat, amennyiben a kinematikai hatótávolság szélén indítják nagyon egyszerűen lerázhatóak, már az is elég lehet, ha a célba vett gép egyszerűen megfordul vagy csak merőlegesen repül az indító géphez képest.[839]

Egy brit MQ-9 Reaper felkészítési bevetésre Afganisztánban, 2011-ben

A drónokat mindenképpen fel kell hoznunk, ugyanis jelentősük egyre nő és nő a harctér felett, ám meglepő módon szinte alig tekintik őket említésre méltóknak a veszteséglistákon. Ennek miértjére több válasz is lehetséges, minden esetre (a modernebb, jobb képességű drónok esetén) furcsa, hogy a magas árcédula ellenére sem igazán törődnek a biztonságukkal, nem látják el őket önvédelmi eszközökkel, zavaró rendszerekkel, csalikkal, stb., ami ráadásul tovább emelné ezen UAV és UACV-k árát.

[838] *A koalíciós gépek az USAF E-3 Sentry AWACS gépek támogatását élvezték.*
[839] *Lényegében beaming manőverről van szó.*

Az Allied Force hadművelet veszteségei azt mutatják, hogy egy ma már teljesen korszerűtlennek tartott légvédelem is hatalmas veszteségeket képes okozni a drónoknak. Tehát hiába korszerűbb csapásmérés terén COIN/alacsony intenzitású hadműveleti területen az MQ-9 egy Predatorhoz képest, szinte semmivel sem jobban védett célpont. Egy orosz szintű integrált légvédelmi rendszer 30 évvel ezelőtti fejlettségi szinten is különösebb erőlködés nélkül képes lelőni ezeket.

Olyan egyenlőre még nem látott a világ, hogy SEAD támogatással repüljenek drónok, de ennek harcászati korlátai vannak. A szuperszonikus vadászgépekhez képest teljesen eltérő repülési sebesség és őrjáratozási idő. Az még esetlegesen opció lehetne, hogy SEAD feladatra is alkalmassá teszik a drónokat, de ez sem olcsó mulatság.

Az, hogy egy nyílt hagyományos konfliktusban egy integrált légvédelmi rendszerrel szemben mire lennének képesek a ma használt drónok az egyelőre kérdőjel, de pusztán az Allied Force tapasztalatait látva nem feltétlenül bölcs dolog rájuk fogadni. Önmagukban egészen biztosan életképtelenek, a velük való kombináció terén erős kérdőjelek vannak

14. További források, linkek

Orosz Légierő békeidős hadrendje és katonai körzetei

http://www.easternorbat.com/html/russian_air_force_eng.html

Szovjet-orosz harcászati avionikai eszközök és berendezések

Mellékletben.

Wild Weasel

https://www.youtube.com/watch?v=0TBpswks2f8
https://www.youtube.com/watch?v=MWGvHe-1aHc

F-14 tervezési koncepció és evolúció

https://www.youtube.com/watch?v=SsUCixAeZ0A

Elektronikai hadviselés

http://simhq.com/forum/ubbthreads.php/topics/3735258/1
https://www.youtube.com/watch?v=c5zC_JWvxVU
https://www.youtube.com/watch?v=vuIcJl08sXs
https://goo.gl/hVAUlJ

F-35 Joint Strike Fighter

https://www.youtube.com/watch?v=ZtZNBkKdO5U
https://www.youtube.com/watch?v=LyHlp7tJrxY
https://www.youtube.com/watch?v=LyHlp7tJrxY
https://www.youtube.com/watch?v=9s7-3EUXC_w

Patriot légvédelmi rendszer

http://www.maquetland.com/article-995-mim-104-patriot-english-version
http://www.armyrecognition.com/patriot_mim-104_vehicles_systems_us_army_uk/index.php
https://goo.gl/pH1JMb
http://www.globalsecurity.org/military/library/policy/army/fm/3-01-11/ch5.htm
FM 44-15, FM 44-15-1, FM 3-01.87, FM 44-85

HAWK légvédelmi rendszer

https://goo.gl/bLsyRr
http://www.designation-systems.net/dusrm/m-23.html
http://www.copybook.com/fact-files/mim-23-hawk-missile
http://www.rag-flugabwehr.de/unser-waffensystem-hawk.html
https://goo.gl/k0CR0T

Szu-17/22 elektronikai zavaró konténerek

http://www.manfred-bischoff.de/SU22.htm#St%F6r-/T%E4uschbeh%E4lter%20SPS-14

Magyar Légierő típusai

https://goo.gl/AQtZhZ
https://goo.gl/fdlwoz
https://goo.gl/j75hs4
http://legiero.blog.hu/2010/12/08/viszonyitsunk_23_kontra_29

Radar elmélet

http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1278779
http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1278808
http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1278838
http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1278878
http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1278931
https://www.slideshare.net/Forward2025/radar-2009-a-14-airborne-pulse-doppler-radar

Radarkeresztmetszet

https://goo.gl/mH3zQe
https://www.emcos.com/?application-examples=radar-cross-section-of-aircraft-ia-63-pampa
https://goo.gl/w3pd2D

AVR

http://kameraaltal.blog.hu/2014/04/30/50-es_korzet_szarvaspuszta

Légvédelmi rendszerek (vegyes)

http://infowsparcie.net/wria/
(Zestawy rakietowe rész alatt. Google fordító lefordít az ábrák kivételével minden angolra.
http://modernwartech.blog.hu/
http://historykpvo-2.ucoz.ru/index/0-13
http://historykpvo-2.ucoz.ru/index/0-4
http://historykpvo.narod2.ru/
http://www.vitalykuzmin.net/keyword/Air%20defence;alabino;2016/
http://www.alternatewars.com/BBOW/Weapons/US_SAMs.htm
https://ru.wikipedia.org/wiki/C-300B
http://www.rwd-mb3.de/technik.html
http://www.flak11.de/

NASAMS

https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:NASAMS_in_Finnish_service
http://aviationintel.com/radar-guided-sam-defenses-deployed-us-bet-meet-nasams/
http://www.armyrecognition.com/norway_norwegian_army_missile_systems_vehicles_uk/mpq-64f1_3d_radar_vehicle_nasams_technical_data_sheet_specifications_pictures_video_12712155.html

Vegyes

http://modernwartech.blog.hu/

Légiharc-rakéták

http://airbase.blog.hu/2017/07/31/tengereszpilotak_ollojaban

Zárszó

A összefoglaló jellegéből és tartalmából kifolyólag soha nem „befejezhető”, inkább csak egy adott ponton abbahagyható alkotás. Ez a pillanat 2017 karácsonya előtt érkezett el, kb. 2,5-3 év munka után. Az írást eredetileg 2016 végén terveztem megjelentetni, de akkor rá kellett ébrednem, hogy az írás egyes részeinek színvonala stilisztikailag is méltatlan volt a kiadásra a ma alkalmazott mércém szerint, ezért lényegében az addig elkészült anyag 2/3-ának átírása és bővítése vált szükségessé.

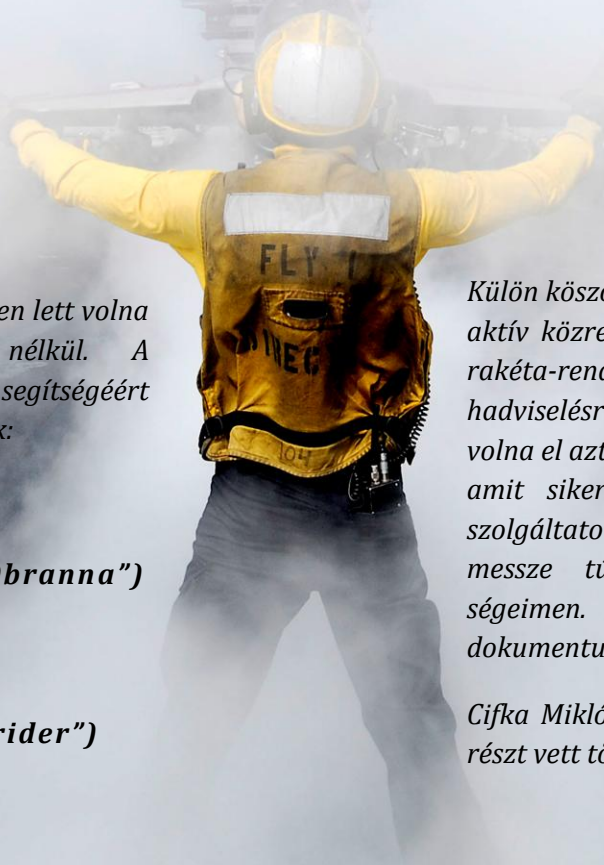
Az F-15-ről szóló monográfia elkészülte után megfogadtam, hogy soha nem kezdek akkora volumenű írásban. Hát, ezt a fogadalmat sikerült „jól megtartani”... Ennek az műnek a terjedelme tényleg elérte azt a szintet, ami a „soha többet” kategória részemről, annak ellenére, hogy bőven lett volna miről írni még. A 13. és a 6.3. haditengerészeti légvédelmi fejezeteket csak az utolsó pillanatban sikerült elkészíteni, és ez csakis Cifka Miklós és Hpasp szorgos kezeit, illetve rendszerezett forrásanyagait dicséri, nekem ezekre időm már nem maradt volna a tervezett karácsonyi kiadás előtt, a saját magam végzett munka soha nem lehetett volna ennyire részletes és pontos. Ez igaz az egész műre, ha a lektorok nem szálltak be volna a mű elkészítésébe.

Eredetileg álmodni sem mertem, hogy ekkora mértékű lesz a tartalmi bővülés, az eredetileg elképzelt hossz nagyjából 300 oldal körül volt. A lektorok és bedolgozó személyek segítségével – köszönet még egyszer nekik – azonban olyan szintű és mennyiségű adat és tudásanyag kerülhetett be az összefoglalóba, ami messze meghaladta eredeti elképzeléseimet.

Az összefoglaló hossza alapján most már bizton kijelenthető, hogy a jövőben soha nem fog ekkora anyag megjelenni tőlem. Ez az írás olyan stabil alapot ad, ami segítségével bármilyen jövőbeli cikk vagy akár terjedelmesebb írás elkészítése esetén megkímél attól engem – vagy bárki mást, aki referenciának használja ezt az anyagot – hogy az alapokat szükséges legyen elmagyarázni, ezentúl elég csak hivatkozni ezekre. A jövőben minden általam készített cikk vagy esetleg nagyobb volumenű írás az összefoglalóra fog alapozni.

Remélem, hogy a HTKA olvasóközönségén túl más is hasznát veszi az írásnak.

Köszönetnyilvánítás



Az összefoglaló elkészítése lehetetlen lett volna a lektorok közreműködése nélkül. A lektorálásban nyújtott szakmai segítségéért köszönet a következő személyeknek:

„Hpasp”
Cifka Miklós („Cifu”)
Laczkó Mihály („Allesmor Obranna”)
Tarr Gábor („ambasa”)
Zord Gábor László
Molnár László
Kecskeméti Oszkár („ghostrider”)
Farkas Gábor

Külön köszönet illeti Hpasp-ot, segítsége és aktív közreműködése nélkül a légvédelmi rakéta-rendszerekre és elektronikai hadviselésre vonatkozó része nem érhette volna el azt a részletességet és terjedelmet, amit sikerült megvalósítani. Az általa szolgáltatott források és azok értelmezése messze túlmutattak a saját lehető-ségeimen. A mellékletek közül is több dokumentum az ő keze munkáját dicséri.

Cifka Miklós a lektoráláson túl aktívan is részt vett több fejezet megírásában.

A gépelési hibák javításáért köszönet illeti Kurucz János Sándort, Kecskeméti Oszkárt, Baranyai Gergelyt („GrGly”), Cifka Miklóst és Molnár Lászlót.

Köszönet Mészáros Gabriellának a stilisztikai észrevételekért.

Molnibalage
2017.december