

Óvári Gyula
mérnök őrnagy, főiskolai docens
Ekranoplánok polgári és katonai alkalmazhatósága

A hetvenes években kirobbant energiaválság, az egyre szigorodó környezetvédelmi előírások új prioritásokat, a korábbiaktól minőségileg is különböző követelményeket állítottak a konstruktőrök elé. Ennek egyik eredményeként korábban elvetett tervek, műszaki megoldások kerülhettek újból az érdeklődés középpontjába, mivel a megváltozott körülmények között immár rentábilisnak bizonyultak. Ezek sorában értékelték át az ekranoplánok, mint a nagy tömegű terhek, közepes és nagy távolságú, olcsó, légi szállításra alkalmas repülőeszközök előállításának és alkalmazásának lehetőségét.

A nemzetközi szaknyelvben leginkább használatos ekranoplan elnevezés a francia *ecran* (ernyő, vetítőtábla) szóból származik, és a légi jármű azon repülési sajátosságára utal, hogy valamely sík, választófelület (víz, földfelszín) közelében képes gazdaságosan haladni. Angol nyelvterületen e fogalmat jelöli még-hasonló értelmezéssel a WIGE mozaikszó is, mely a wing-in-ground-effect kifejezésből származik. A Magyar Repülési Lexikon határfelület- vagy párnahatás-repülőgépre nevezi ezeket a repülőeszközöket (I. kötet, 373. oldal). *(az archiváló megjegyzése: az internetes keresőkben a **ground effect**, illetve a **ground effect vehicle** keresési feltételekkel kapható a legtöbb ekranoplánokkal foglalkozó web-oldal)*

1. Az ekranoplánok aero- és hidrodinamikai sajátosságainak, stabilitási tulajdonságainak, valamint szerkezeti kialakításának kölcsönhatása

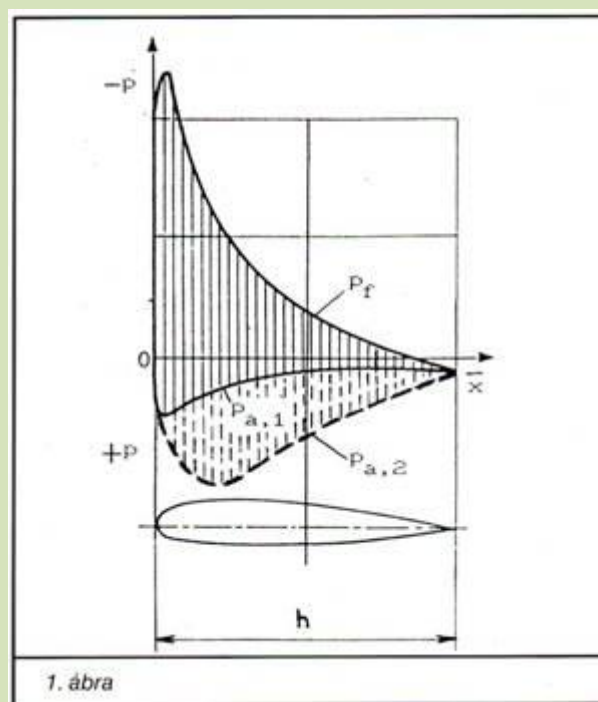
Az ekranoplánok közvetlenül a vízfelszín (esetleg sima földfelszín) felett, a párnahatást hasznosítva repülő speciális légi járművek. A párnahatás jelensége, illetve a repülés egyes fázisaiban (le-, felszállás, túlterhelve haladás stb.) alkalmazása nem új keletű, hiszen már a '20-as években ismerték és a gyakorlatban is hasznosították. Lényege az, hogy közvetlenül a (föld-, víz-) felszín felett haladva a repülőgép szárnyán keletkező felhajtóerő

$$F_y = \int_0^h (P_a - P_f) dx$$

nő, a légellenállás (F_x) pedig csökken. A felhajtóerő növekedését az okozza, hogy a felszín közvetlen közelében, amikor a repülési magasság (H) kisebb, mint a szárny húr hossza (h), vagyis $H < h$, a szárny alsó felületén nagyobb lesz a nyomásnövekedés ($P_{a,2}$), mint $H > h$ magasságban ($P_{a,1}$) repülve. Így az alsó és felső szárnyfelület nyomáskülönbsége (azaz a felhajtóerő) is növekszik (1. ábra):

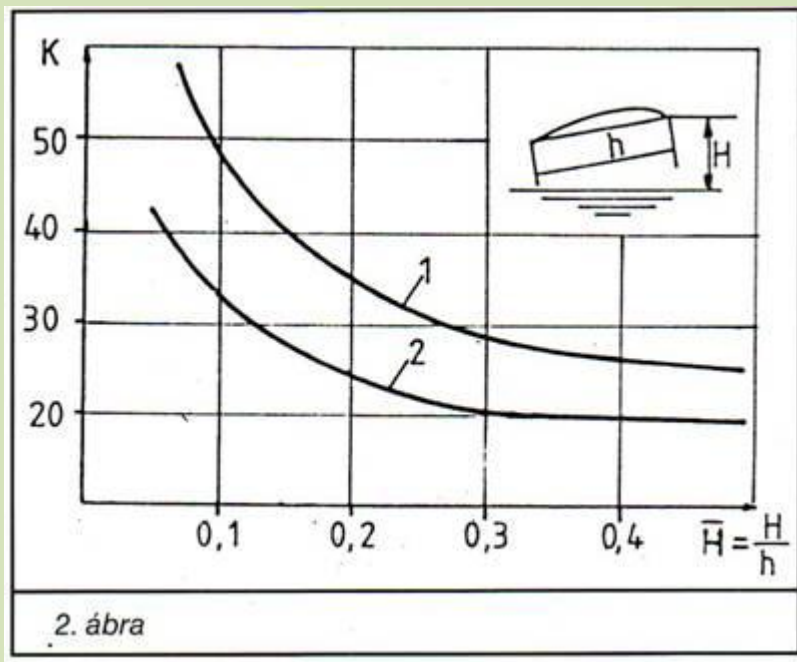
$$P_{a,2} - P_f > P_{a,1} - P_f$$

Ez arányaiban úgy érzékelhető, hogy amíg a hagyományos repülőgépen létrejövő felhajtóerő 70-80%-ban a szárny feletti nyomáscsökkenés következménye, addig ekranoplán esetében ugyanez 50-60%-ban a szárny alatti nyomásnövekedés eredménye.



1. ábra

A járulékos nyomásnövekedés ($P_{a,2}$) további kedvező következménye, hogy szinte teljesen megakadályozza a szárnyprofil elhagyó áramlás lefelé való elfordulását, ezáltal a homlokellenállás (F_x) 50-60%-át kitevő induktív ellenállás ($F_{x,i}$) sem jön létre. Mindezek eredményeként a felhajtóerő és légellenállási erő hányadosaként értelmezett, aerodinamikai (gazdaságossági) minőséget kifejező - jósági szám ($K = F_y / F_x$) értéke a 20-40-et is elérheti. (Összehasonlításképpen egy korszerű, szubszónikus utasszállító repülőgépnél ez számított üzemmódon 15-17 körül van.) A K nagyságát - adott húr hosszúságú, (h) szárny esetében - alapvetően repülési magasság (H) határozza meg (2. ábra),



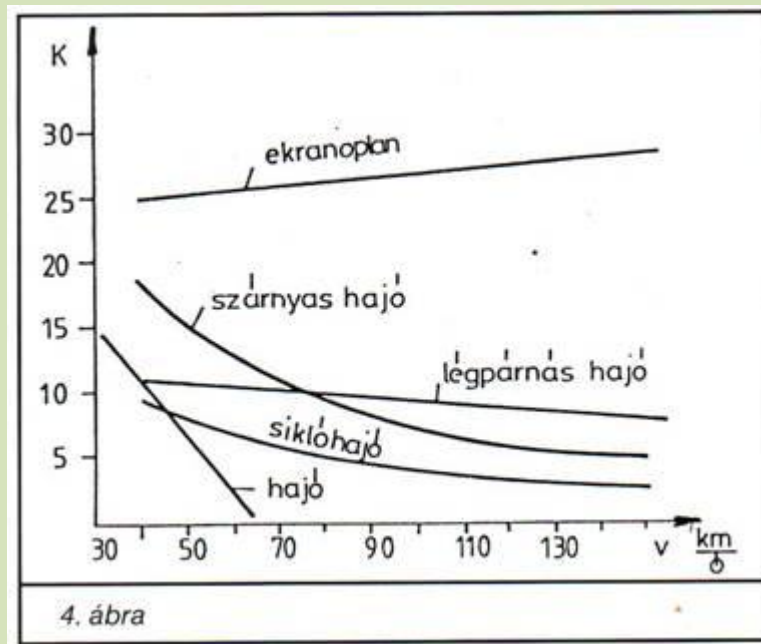
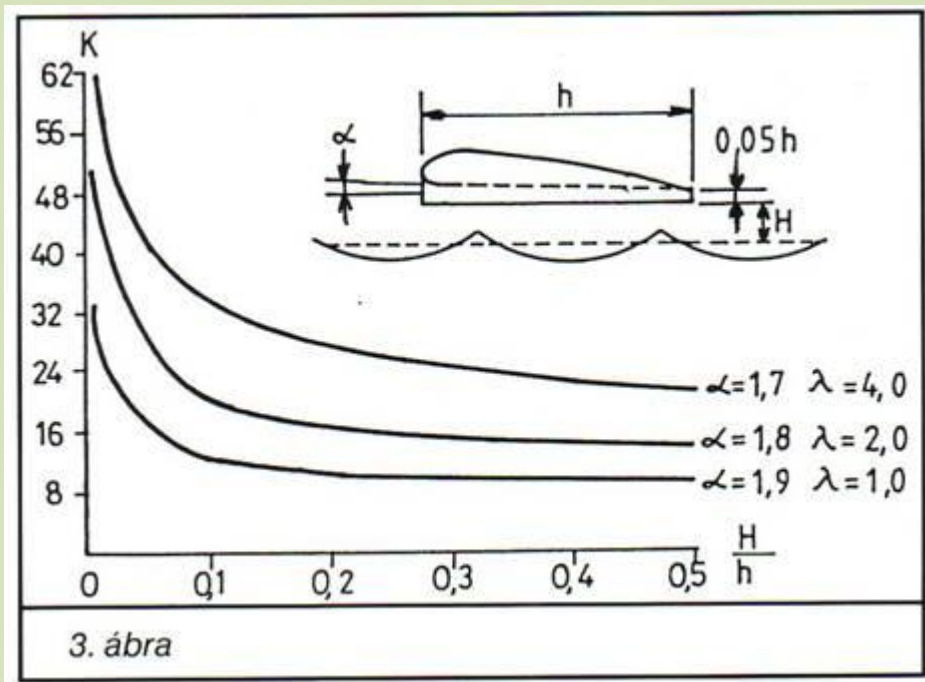
2. ábra

vagyis minél közelebb halad az ekranoplán a felszínhez, annál nagyobb lesz a jósági szám (pl. ha H értéke 0,5-ről 0,1-re csökken, K a kétszeresére növekszik). A biztonságos repülés érdekében azonban nem célszerű a repülés minimális magasságát $H_{\min} = 1-3$ m alá csökkenteni (terepakadály, hullámzó vízfelszín stb. miatt). Így a gép aerodinamikai sajátosságai figyelembevételével (vagyis $H = 1,3$ m és $H = 0,1-0,2!$) úgy biztosíthatók, ha a szárny szerkezetiileg:

- nagy húr hosszúságú (és ebből adódóan a többi geometriai mérete is nagy)
- a törzs alsó részéhez van rögzítve
- lehetőleg szárnyvégzáró lappal (winglettel) is fel van szerelve (ami 30-50%-kal is növelheti K értékét; lásd 2. ábra, 1-es görbe)

Mindezek alapján az is belátható, hogy a fenti jellemzőkkel rendelkező ekranoplánok biztonságos üzemeltetéséhez a nagy szabad vízfelületek kínálják a legmegfelelőbb alkalmazási területet.

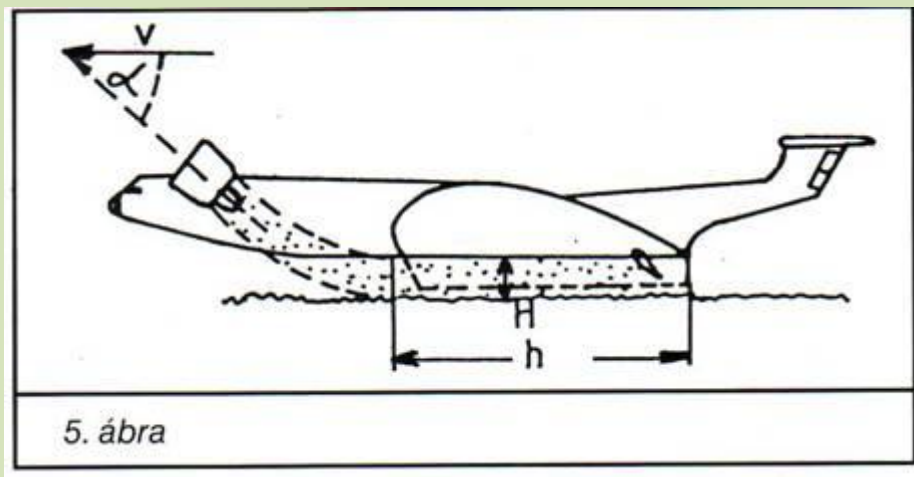
A szárny karcsúságának $\lambda = l^2/A$ növelése is növeli a jósági számot (K). (Itt l - fesztávolság, A - szárnyfelület.) E sajátosság azonban az ekranoplánoknál alig hasznosítható, mivel a közvetlenül vízfelszín felett haladó légi jármű szárnyvégei már viszonylag kismérvű bedöntés (bedőlés) esetén is a vízbe vetődhetnek. Ebből adódóan fesztávolságuk és az ezzel összefüggő karcsúságuk is kicsi lesz ($\lambda = 1-3$), ami a légi üzemeltetés gazdaságosságát rontja (3. ábra).



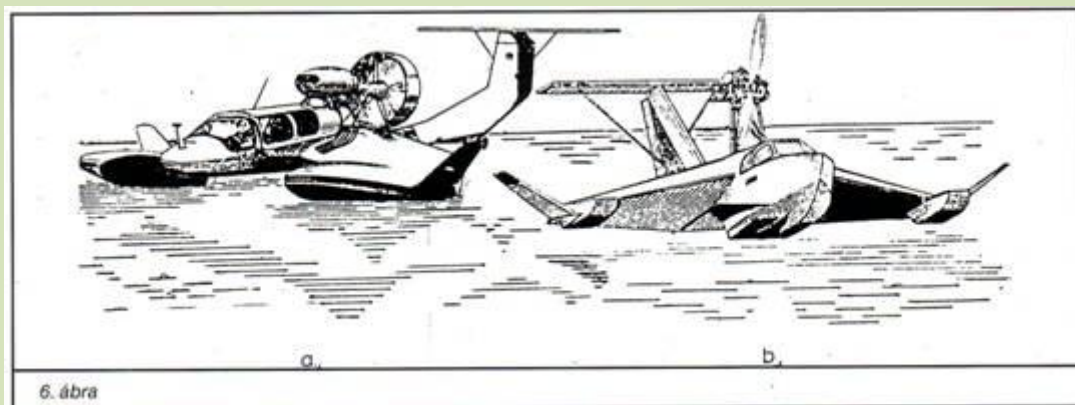
A többi vízi, vízfelszíni járművel összehasonlítva az ekranoplánoknál kedvező ($M \ll 1$ -nél), hogy a haladási sebesség növekedésével sem csökken aerodinamikai jóságuk (4. ábra).

A vízfelszínről induló és érkező ekranoplánok sárkánya hidrodinamikai követelményeknek is meg kell feleljen. Ezek közül első a törzs jó úszóképességének és megfelelő billenésbiztonságának fenntartása úgy, hogy a gép könnyen emelkedhessen a vízfelszínről. Ez utóbbi azért jelent nehézséget, mert szerkezeti megoldástól függetlenül valamennyi ekranoplán (de sikló- vagy szárnyashajó) nekifutásakor, a kiemelkedési sebesség 40-60%-ánál ugrásszerűen megnő a hidrodinamikai ellenállás. A vízfelszínről történő emelkedést több műszaki megoldással könnyítik:

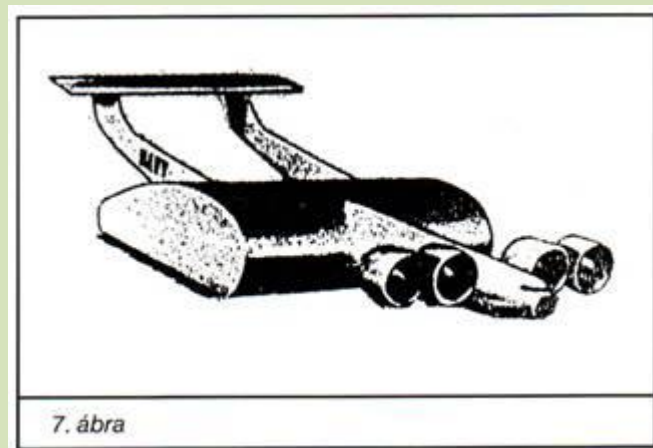
- hagyományos szárnymechanizációt (féklap, fékszárny, határréteg-vezérlés, orrségédszárny stb.);
- víz alatti szárnyfelületeket (8. ábra);
- bevonható siklóalpakat;
- felszállás idejére „a” szöggel elfordított légszavart, vagy a gázturbinás hajtómű szárny alá injektált gázait (5. ábra és vö. 7. és 8. ábrákkal);
- a törzs alatt külön hajtóművel létesített légpárnát (9. ábra) alkalmaznak.



Az ekranoplánok hajtómű-elhelyezése konstrukciósan is meg kell akadályozza, hogy a szívócsatornába víz kerüljön, vagy a légszavartlapátok végei a vízbe verődjenek. Ezért általában a hajtóműveket jóval a sárkány építési vízszintese fölé helyezik el (6., 8., 9., 11., 12. ábrák).



Az ekranoplánok stabilitási jellemzői több tekintetben hasonlóak a hagyományos repülőgéphez. A hossz tengelyük (x) körüli bedőlés során ($H < h$ esetén) statikusan stabilak. Ez a 2., illetve 3. ábra alapján könnyen belátható, mivel a süllyedő szárnyon (felszárnyon) ugrásszerűen nő, míg az emelkedőn hasonló mértékben csökken a felhajtóerő. Lényegesen bonyolultabb a statikus hosszstabilitás kérdése, amit a tömegközéppont (X_{SP}) és az aerodinamikai centrum (X_{AC}) kölcsönös helyzete, $X_{SP} - X_{AC}$ különbsége határozza meg. Ebből X_{SP} rendszerint állandó értékű, X_{AC} helyzetét a hagyományos repülőgépektől eltérően, ahol ezt csak a szárny állásszöge befolyásolja, az ekranoplánoknál az állásszög (α) és a repülési magasság ($H < h$ tartományban) együttesen határozza meg. Ebből adódóan az ekranoplán szárnyán az AC-tengelyt úgy kell elhelyezni, hogy a légerőváltozások hatására a gép megőrizze stabilitását.



A témára vonatkozó kutatások bebizonyították, hogy e követelményeknek a sárkány fő funkcionális elemeinek (szárny, winglet, törzs, vezérsíkok, úszók) célszerű kiválasztásával, illetve összeállításával lehet eleget tenni. Az így kialakított szárny úgy működik, mintha két AC-tengely lenne rajta: egyik a tömegközépponthez közelebb ($X_{AC,H}$), az itt ható légerő a magasság szerint stabilizál, a másik a tömegközépponttól valamivel távolabb ($X_{AC,\alpha}$), ez az állásszög szerinti stabilitást biztosítja. Azaz, például a külső zavarás hatására bekövetkező magasságcsökkenéskor a felhajtóerő megnövekszik az $X_{AC,H}$ pontban, ami a gépet visszaemeli az eredeti repülési magasságra, de közben járulékosan el is fordítja a kereszt tengelye (z) körül, az állásszög-csökkenés irányába. Ennek következményeként viszont $X_{AC,\alpha}$ pontban lecsökken a légerő, ami farknehéz nyomatókat eredményez, így már az eredeti repülési magasság stabilizálásához szükséges állásszöget is visszanyeri a gép. A „kettős” AC-tengely kialakítására speciális profilú és felülnézeti alaprajzú, vastag tőprofilú, wingletes szárny, illetve a párnahatás alkalmazásával nyílik lehetőség. E konstrukciós elvek megvalósítására egyaránt példaként szolgálhat a 6. a. ábrán látható hagyományos sárkánykialakítású ekranoplán (NSZK), illetve a (szovjet) kísérleti csupaszárny ESZKA-1 gép (6. b. ábra).

A 6. ábrán látható megoldásokhoz hasonlóan az eddig megépült (és ismertté vált) kb. 20 különböző típusú ekranoplánt többségében légszárnyos hajtóművekkel szerelték fel, mivel ezek hatásfoka $v = 200-550$ km/ó sebességtartományban jobb, mint a gázturbinás sugárhajtóműveké.

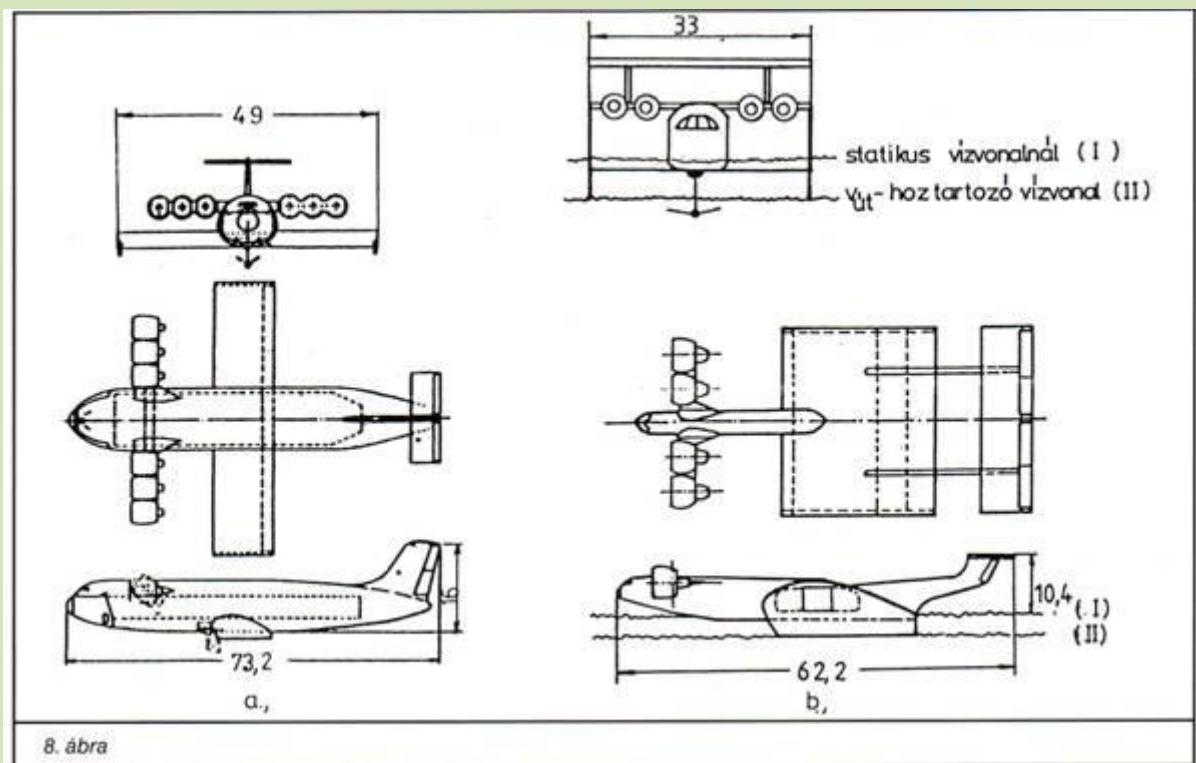
A hajtóművek, légsavarak kényszerű, vízfelszíntől távoli, magas elhelyezkedése következtében a vonó-, illetve tolóerővektor is eltávolodik a gép építési vízszintesétől. Így minden hajtóműüzem mód-változás (gázadás vagy levétel) megbontja a kereszttengety (z) körüli nyomatéki egyensúlyt, ami csak a külső kormánysszervek kitérítésével kompenzálható.

2. Az ekranoplánok gazdaságos és hatékony alkalmazásának lehetőségei

Az ekranoplánok polgári és katonai területen egyaránt jól hasznosíthatók, mindenképp nagy tömegű terhek (fegyverzet) és (vagy) utasok (deszant) közepes, illetve nagy távolságra történő szállítására.

A vízfelszín felett minimálisan szükséges magasságban haladó, nagy geometriai méretű ekranoplánok sárkányának két változata valószínűsíthető:

- hagyományos repülőgép-építésű megoldás, amelynél a hajtóművek a törzs első részére kerülnek (8. a. ábra). Ezek a szögrel történő elfordításával felszálláskor légpárna hozható létre;
- a „szárnytörzsű” ún. „spanloader” kialakítás (7. és 8. b. ábrák), amelynél az egyszerűbb építés érdekében a törzs funkcióit annak teljes vagy részleges hiánya miatt a szárny veszi át.



A két változat összehasonlító vizsgálatához jól hasznosítható az 1. táblázat (mely a Lockheed-Georgia kutatási eredményei alapján készült).

Az 1. táblázat negyedik oszlopában ($\Delta, \%$) az összehasonlítás százalékos eltérései találhatóak (a hagyományos sárkánykialakítású ekranoplán adatait 100%-nak véve).

1. táblázat

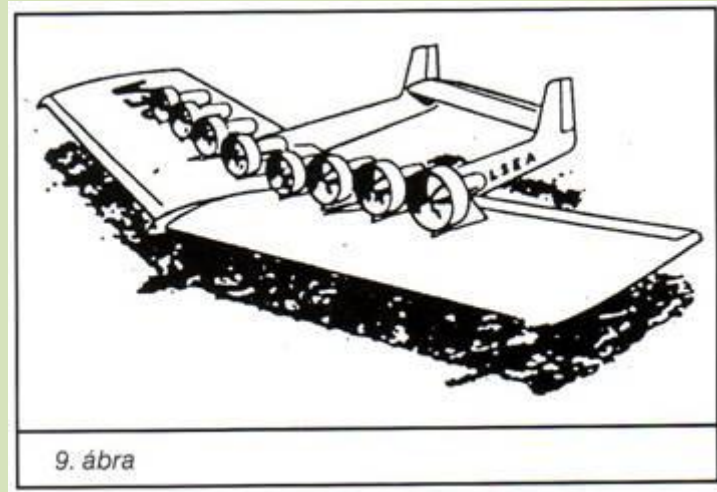
N ^o	Vizsgált jellemző	Sárkánykialakítás		Δ %
		spanloader	hagyományos	
1.	Hasznos terhelés (t)		200	
2.	Hatótávolság (km)		7410	
3.	$M_{\text{utazó}}$		0,4	
4.	Szárnykarcsúság	1,19	3,94	
5.	Jósági szám, K	15,59	19,79	- 21
6.	Hajtóművek száma (db)	4	6	- 33
7.	$G_{\text{rg}}/\Sigma P$	0,2808	0,2526	+ 11
8.	$F_{p, \text{utazó}}/F_{p, \text{max}}$	0,65	0,57	+ 14
9.	Üres rg. tömege (t)	162	149,6	+ 9
10.	Szüks. tüza. tömege (t)	256	193	+ 33
11.	Max. felsz. tömeg (t)	618	543	+ 14
12.	$m_{\text{hasznos}}/m_{\text{max felsz.}}$	0,324	0,369	+ 12
13.	Teherszállítási hatékonyság t. kg/kg (tüa.)	16,85	19,10	- 15

A felsorolt jellemzők (mindenekelőtt a N^o 13) alapján megállapítható, hogy a hagyományos sárkánykialakítás hatékonyabb a spanloadernél. A spanloader kisebb szállítási hatékonysága alapvetően - még hagyományos repülőgép-felépítésű ekranoplánhoz képest is - kis szárnykarcsúságával (1. táblázat N^o 4) magyarázható. Ennek az az oka, hogy míg a hagyományos sárkánymegoldásnál csak a kis magasságon végrehajtott bedöntés (bedőlés) biztonságát kell figyelembe venni, addig a szárnyban történő teherelhelyezés esetén, az előbbi mellett a hossztengyelre vett tehetetlenségi nyomaték

$$J_x = \int r_x^2 dm$$

megengedett maximuma miatt is korlátozni kell a fesztávolságot.

Repülőgép-kialakítású sárkánnyal rendelkező ekranoplán (9. ábra), valamint korszerű szállítóhajó és szállító repülőgép (B747-200F) gazdaságossági mutatóinak összevetéséből további következtetés vonható le a hatékony alkalmazásra. Az összehasonlítást az ekranoplánok várható ezredforduló utáni széles körű felhasználása miatt hagyományos kerozin (Jet A), valamint cseppfolyósított H₂-vel üzemelő hajtóműves konstrukcióra egyaránt elvégezték (2. táblázat). (Néhány szakcikk eleve kétségbe vonja a különböző kategóriájú szállító járművek gazdaságossági összehasonlíthatóságát a teherszállítási hatékonyság alapján.)



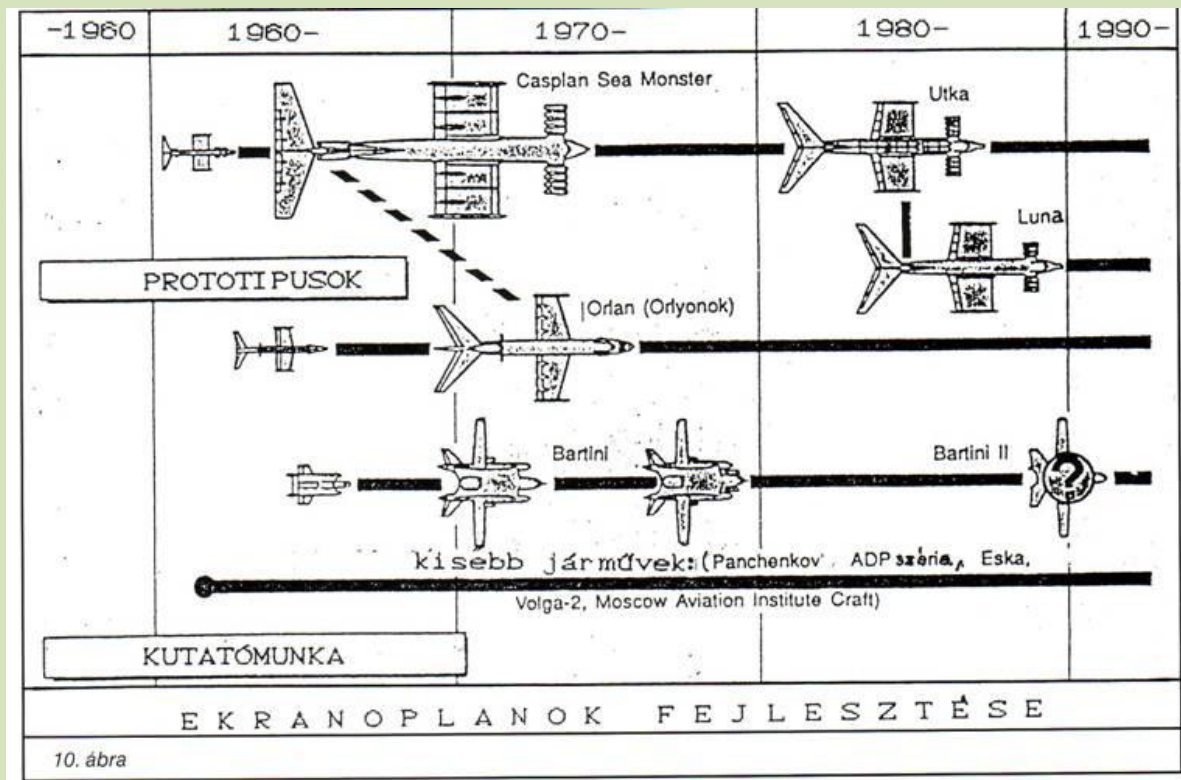
A 9. ábrán látható repülőgép a felszíni párnahatás nélkül $H = 6$ km magasságban, hagyományos repülőgépként $v = 480$ km/h sebességgel, $L = 2200$ km távolságot tehet meg. [Ekranoplánként $H = 6-9$ m-en, $K = 25$, $v = 231$ km/h, a hatósugár $R = 6382$ km(!)]

2. táblázat

N ^o	Vizsgált jellemző	Repülőgép B 747-200F	Ekranoplán		Hajó „Manhattan” (USA)
			Kerozin Jet A	Folyékony H ₂	
1.	Teljes tömeg (t)	387,5	900	900	153 300
2.	Hasznos terhelés (t)	100	405	455	115 300
3.	Ut. sebesség (km/h)	891	231	231	32,7
4.	Tüza. fogyasztás $v_{út-nál}$ (kg/h)	11 754	3143	1692	9 132
5.	Jósági szám, K	18	30	30	–
6.	Teherszáll. hatékonys. t. km/kg (tüa.)	7,57	29,7	62,1	411

A táblázat adataiból megállapítható, hogy a hajó gazdaságossága messze meghaladja bármelyik légi járművét (2. táblázat, N^o 6). A nagy távolságú, rövid határdejú szállításoknál (pl. 24 óra alatt 5500 km), vagyis transzkontinentális utakra azonban az ekranoplánok szerepe meghatározó lehet.

Az ekranoplánok gazdaságossági mutatóit a hagyományos repülőgépekhez képest tovább javítják a kisebb fajlagos gyártási költségek. Az egyszerű, kis sebességű, sok szabályos geometriai alakzattal felépülő, azonos keresztmetszetű elemet tartalmazó sárkány 1 kg szerkezeti tömegének előállítására több mint 30%-kal olcsóbb, mint egy szubszónikus szállítógépe.



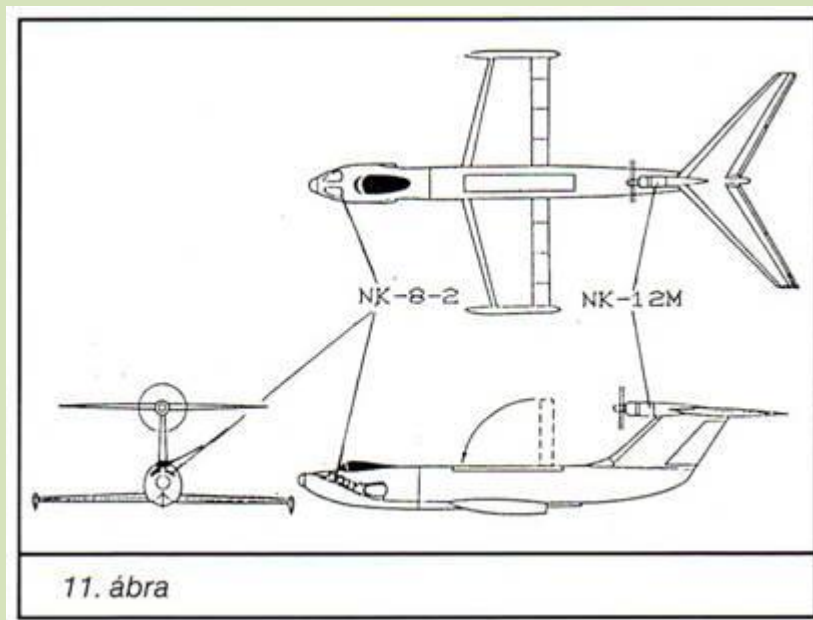
3. Az ekranoplánok katonai alkalmazásának és fejlesztésének lehetőségei

Kis fajlagos üzemköltségük és a hajókét nagyságrenddel meghaladó sebességük mellett az ekranoplánok katonai alkalmazását felderítő- és megsemmisítő eszközökkel szembeni viszonylagos természetes védettségük is indokolja. A közvetlenül vízfelszín felett haladó, felépítmény nélküli, „lapos” légi jármű felderítése hajóról, tengeralattjáróról igen nehéz. A torpedóval való megsemmisítésük gyakorlatilag nem lehetséges, de „hajó-hajó” kategóriájú rakétával is csak korlátozottan valósítható meg. Ez utóbbi tulajdonságok következtében célszerű lehet - az egyébként kevésbé hatékony - kisméretű őrjáratoló, szállító ekranoplánok létrehozása is. Ilyeneket állított hadrendbe 1977-ben, X-114 jelöléssel a Bundeswehr (6. a. ábra). A hat személy szállítására alkalmas légi járművek a szárazföld felett 800 m-es magasságig emelkedhetnek. A gép főbb adatai a 3. táblázatban található.

Az ekranoplánok fejlesztésében - egybehangzó nyugati szakvélemények szerint is - legkiemelkedőbb eredményeket a volt Szovjetunió (Pacsenkov és Alekszejev vezette) tervezőirodái érték el. A grandiózus fejlesztési elképzelésekről a 10. ábra alapján nyerhető kép.

3. táblázat

X-114	
Geometriai adatok:	
- fesztávolság	7,00 m
- hossz	12,80 m
- magasság	2,90 m
- hordfelület	29,10 m ²
Tömegadatok:	
- szerkezeti tömeg	890 kg
- felszállótömeg	1350–1500 kg
Hajtóműadatok:	
- típus	Lycoming 10-360
- teljesítmény	147 kW
Repülési adatok:	
- max. sebesség	200 km/h
- min. sebesség	80 km/h
- hatótávolság	2150 km

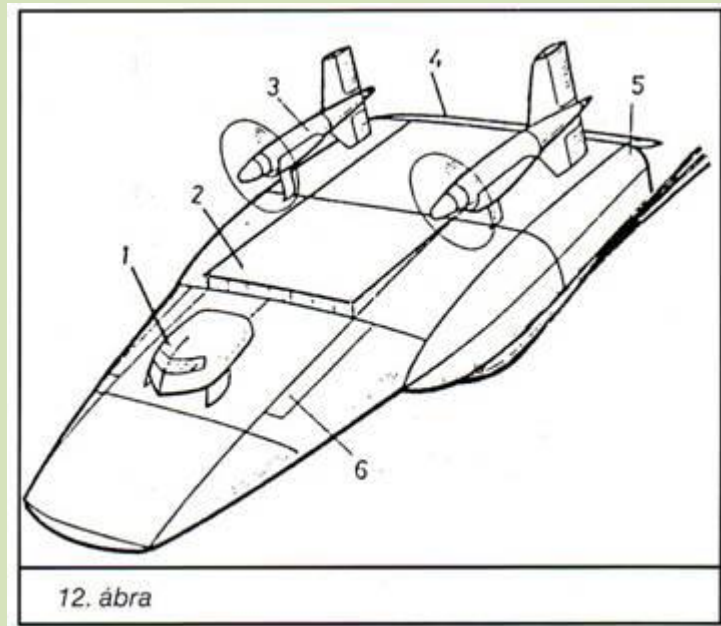


A bekövetkezett politikai és gazdasági változások ugyan sok tekintetben kérdésessé teszik a folytatást, a 10. ábrán látható Orlan (Orljonok) fantázianevű, hatalmas légi jármű megléte azonban már így is évek óta létező realitás.

A hivatalosan A-90-150 típusjelű, 110 t normál-, illetve 125 t maximális felszállótömegű ekranoplán (11. ábra) hasznos terhelhetősége 28 t, vagyis 25 m hosszú, 3,3 m széles, kétszintes fedélzetén 300 utas szállítható, 400-500 km/h-s sebességgel, 2000 km távolságra. A gép hossza 58 m, fesztávolsága 31,5 m, magassága 16 m. A haladáshoz szükséges vonóerőt egyetlen - az An-22-ről és a Tu-114-ről már ismert - a nyílazott „T” vezérsíkon elhelyezett, koaxiális légcsavarokat forgató, 11 033 kW (15 000 LE) maximális teljesítményű *NK-12M* gázturbinás hajtómű adja. A vízből történő kiemelkedést és a gyorsítást két, a gép orr-részében elhelyezett (Tu-154 és 11-62M repülőgépeken használatos) *NK-8-2* gázturbinás hajtómű segíti. A vízfelszín felett 4-5 m magasságban repülő légi járművet 5 főnyi személyzet irányítja. Az eddig megépült 10 gép

katonai változatain a repülőgépvezető-fülke mögött - külön toronyban - 41 mm-es gépágyút helyeztek el, a tehertér SS-20 típusú rakéták befogadására (indítására?) is alkalmas.

A konstrukció életképes voltát bizonyítja, hogy közös amerikai-orosz vállalat alakult ekranoplánok gyártására. A fejlesztés becsült költsége 15 milliárd USD. Elsőként az A-90-150 gyártását kívánják beindítani neves amerikai cégek bevonásával. A tervek szerint a Lockheed és a General Dynamics szerkezeti elemeket, a Pratt and Whitney, valamint a General Electric hajtóműveket szállítana.



A nagy geometriai méretű katonai ekranoplánok létrehozását más amerikai vállalatok is fontolgatják. A 12. ábrán egy, a Grumman cég által javasolt, csupaszárny rakéta-cirkáló vázlatrajza látható. A két, légesavaros, gázturbinás hajtóművet a függőleges vezérsíkokkal közös blokkban (3) kívánják elhelyezni, így is javítva azok hatékonyságát. A magassági kormány (4) a törzs hátsó részére kerül, csűrőként a repülés közben differenciáltan fel-le mozgatható szárnyvégzáró lapok (5) szolgálnak. A vízfelszínről történő felemelkedéshez külön hajtóművek hoznak létre légpárnát, ezek kompresszorához zsalus szívótorokkal (2) vezethető a levegő. A rakétafegyverzetet a vezetőfülke (1) két oldalán lévő zárt konténerekben (6) szállítják.

A felsoroltakon kívül előtervek készültek még deszantszállító, tengeralattjáró-elhárító és repülőgép-szállító ekranoplánok létrehozására is. Az utóbbi 20-30 könnyű, vadász- vagy felderítő repülőgépet szállíthatna. A nagy maximális haladási sebesség következtében ($v = 250-300$ km/h) a szállított (hagyományos) repülőgépek fel- és leszállásához nem lenne szükség nekifutási (kigurulási) pályára, így fedélzeti indító, elfogó-fékező berendezésekre sem.

Arra a kérdésre, hogy a megismert előnyök valóban elégségesnek bizonyulnak-e az ekranoplánok széles körű elterjedésére, már az elkövetkező évek adják meg a feleletet.

Irodalom:

1. *Ando Shigenori*: Kritikai körkép a szállító ekranoplánok korszerű fejlesztési koncepcióiról. *Journal Japan Soc. Aeronaut. and Space Sci.*, 1990. 99. sz. 28-40. old.
2. *Ando Shigenori*: Az ekranoplánok repülési távolságának számítása. *Journal Japan Soc. Aeronaut. and Space Sci.*, 1990. 440. sz. 50-54. old.
3. *Belavin, N. 1.*: *Letejuscsije korabli*. Moszkva, Izdatjelsztvo Doszaf, 1983.
4. *Dressel, Joachim - Griehl, Manfred*: *Flugzeuge und Hubschrauber der Bundeswehr*. Stuttgart, Motorbuch Verlag, 1990. p. 248-249.
5. *Dodds, Henry*.~ *Secrets of a Soviet skimmer emerge at last*. *Interavia*, 1991. 10. sz. p. 7.
6. Ekranoplánok. *Mitsubishi Dzuko Giho*, 5. sz. 475-477. old. 7. *Elliot, Simon*: *UTVA launched WIG ekranoplan*. *Flight International*, 1990. 4238. sz. p. 17.
8. *Gaines, Mike*: *USA joins Russia on wingship*. *Flight International*, 1992. március 11-17. p. 5.
9. *Lange, Roy H.*: *Review of unconventional aircraft design concepts*. *Journal Aircraft*, 1988. 5. sz. p. 385-392.
10. Óvári Gyula: *A légi járművek gazdaságosságát és manőverezőképességét javító sárkányszerkezeti megoldások*. (Főiskolai jegyzet) Szolnok, KGYRMF, 1990. 293-303. old.
11. *Velovich, Alexander*: *Soviet navy tests „Ekranoplan”*. *Flight International*, 1992. január 15-21. 12. old.

Óvári Gyula