

Jereb Gábor
Szárnyas Hajók
Új technika sorozat

FÜLSZÖVEG

Ma már mindannyiunk számára megszokott látvánnyá vált a Duna hullámain suhanó „Sirály” szárnyas hajó. Furcsa, szárnyakban végződő gólyalábain a vízből kiemelkedve, hajóktól szokatlan sebességgel siklik a vízen a modern hajózástechnika egyik legfiatalabb szülötte. Hajó-e még, vagy valamiféle átmenet a hajó és a – szárnyai révén- a repülőgép között?

A szerző e könyvében bemutatja a szárnyas hajókat. Az évezredes multú vízkiszorításos hajók sebessége a legnagyobb energia-befektetésekkel sem növelhető már bizonyos határon túl. A fejlődés új utakat követelt: a sebességnövelés egyik lehetősége a víz alatti szárnyak alkalmazása. A szárnyas hajók elmélete egyesíti a hajó és a repülőgép elvét és tulajdonságait, szerkezetét és gyártástechnológiáját.

A könyv a szárnyas hajók fejlődésének áttekintése után foglalkozik a víz alatti szárnyak elméletével, kialakításuk szempontjaival, a szárnyas hajók stabilitásával, ellenállásával, s végül bemutatva néhány jelenleg használt típust, rövid áttekintést ad a fejlődés további irányáról.

MŰSZAKI KÖNYVKIADÓ

BEVEZETÉS

A hajó közismerten gazdaságos szállítási eszköz. A víziúton való szállítás viszonylag olcsó, mert a szállított teher súlyegységére vonatkoztatott teljesítményszükséglet aránylag kicsi. ez a megállapítás azonban csak addig állja meg a helyét, amíg igen kis sebességekről van szó. Nagyobb sebességekkel a viszonyok kedvezőtlenekké válnak, és gazdaságossági szempontból szinte elviselhetetlenek, ha a szárazföldi járművek –autók, vasút – sebességét kívánjuk elérni.

A szállítási sebesség növelése iránti igény századunk jellemzője. A századforduló óta a repülőgép olyannyira tökéletesedett, hogy egyre többen veszik igénybe akár teher- akár pedig személyszállításról van szó. Különösen nagy távolságokon hódítja el egyre inkább a teret a hagyományos járművek elől. Az Atlanti-óceánon fél századon át folyt a verseny a leggyorsabb átkelésért elnyerhető „Kék szalag” birtokáért, és a hajózási társaságok a nagy sebesség mellett szárazföldi utazásnál elképzelhetetlenül magasfokú kényelmet biztosítottak az utasok számára. Ennek ellenére az IATA (International Air Traffic Association) adatai szerint az utasok egyre inkább a még nagyobb sebességet jelentő repülőgépek felé vonzódnak. Míg 1956-ban az átkelők 54,7%-a a hagyományos víziúton utazott, repülőgéppel pedig csak 45.3%, addig 1960-ra a hajóutasok száma a repülőgéppel utazókhoz viszonyítva erősen csökkent. Ebben az évben az átkelőknek csupán egy harmada: 30,9%-a választotta a kényelmesebb, de lassabb hajót, és 69,1% a repülőgépet.

Ezek a tények bizonyítják, hogy napjainkban az utasok többsége fontosabbnak tartja a sebességet, mint az utazás közbeni kikapcsolódás kellemességét. A sebesség ilyen előnyben részesítése azonban nemcsak nagy távolságokon tapasztalható, hanem rövid távon is, de itt a repülőgép az egyéb járművekkel szemben már túlságosan költségessé válik.

A szárazföldi és a vízi járművek jelentősége tehát nem minden esetben halványodik el a repülőgépek mellett, különösen akkor nem, ha tömegek szállításáról van szó, és a közlekedés szempontjából fontos gócpontok elérését összefüggő víziutak teszik lehetővé (pl. a nyugateurópai sűrű víziúthálózaton, vagy a Szovjetunió kiterjedt víziútain). Más esetben a földrajzi megközelíthetlenség kényszeríti versenyre a hajót és a repülőgépet, pl. a norvég fjordok vagy a sűrűn lakott szigetvilág esetében.

A kereskedelmi hajók sebessége hosszú időn keresztül alig növekedett egész sor olyan nehézség miatt, mely a víz és a levegő határfelületén való haladás fizikai törvényszerűségeiből következik. Különösen áll az a belvízi és a tavi, valamint a tengerparti hajózásra, ahol kisebb hajók közlekednek. A vízkiszorításos hajók sebessége a legnagyobb teljesítménybefektetések ellenére sem növelhető bizonyos határon túl. A nagy sebességű áru- és különösképpen a személyszállítás terén ezek már nem képesek a fokozott igényeket gazdaságosan kielégíteni.

A nagy sebesség és a gazdaságosság kívánalma igen nehezen egyeztethető össze. Míg az elérhető sebességet a fizikai törvényszerűségek szabják meg, addig a gazdaságosság kérdését igen sok, egymástól merőben eltérő tényező befolyásolja. A műszaki tényezők közül az egyik legfontosabb a berendezés adott sebességű üzemeltetéséhez szükséges fajlagos motorteljesítmény (fogyasztási, élettartam és egyéb kihatásaival együtt).

A különféle járművek hajtásához szükséges motorteljesítmény általános alakban:

$$N_{szüks} = \frac{W \cdot v}{75 \cdot \eta} [LE]$$

ahol W a jármű adott v sebességű vontatása közben a mozgás ellen működő ellenállás-erők összege és η a hajtás hatásfoka.

Szárazföldi járművek W ellenállása a kerekek és a pálya között létrejövő súrlódási, valamint az első közelítésben többnyire elhanyagolható légellenállásból adódik. A szükséges motorteljesítmény ezért a sebesség növekedésével lineárisan változik. repülőgépek és vízi járművek ellenállása ezzel szemben az aero- ill. hidrodinamikai erőkből származik, melyek a sebességgel négyzetes összefüggésben állnak.

A vízkiszorítás elvén működő hajók felhajtóereje:

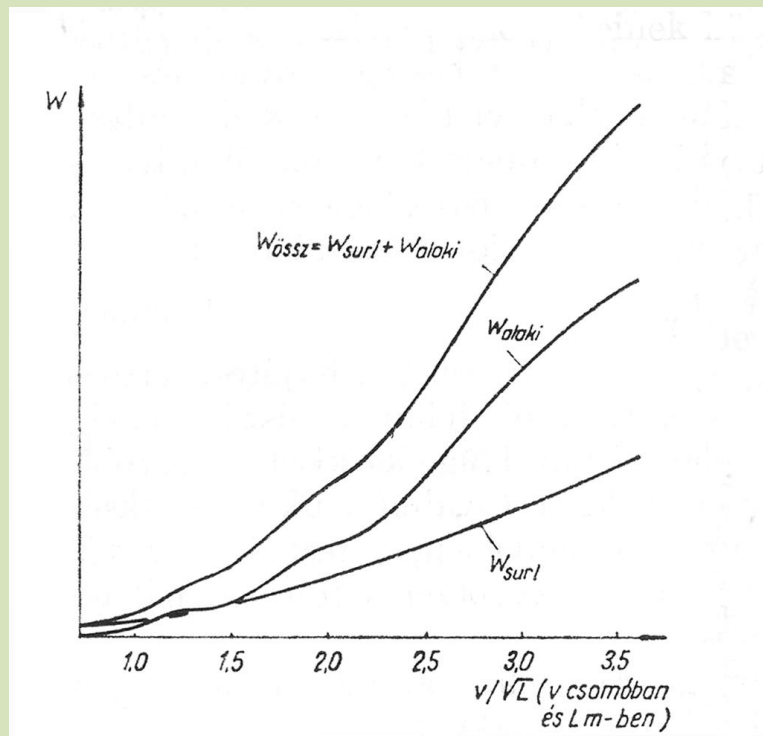
$$P_y = \gamma \cdot V [tonna]$$

ahol γ (kp/m^3) a víz fajsúlya és V (m^3) a hajótest vízbemerült részének térfogata. E hajók tehát az úszóképesség érdekében geometriai kialakításuktól függően kisebb-nagyobb z mélységre a vízbe merülnek. A továbbításukhoz szükséges erő nagysága ezért a víz mélyében, a test által a víz felszínén és a felszín felett a levegőben keltett ellenállás-erők nagyságától függ.

A teljesítmény-szükségletre felírt általános képletben szereplő összellenállás tehát így alakul:

$$W = W_{hull} + W_{örv} + W_{súrl} + W_{lég} + W_{told}$$

itt W_{hull} a hajótest által ébresztett hullámellenállás, $W_{\text{örv}}$ az örvényellenállás $W_{súrl}$, a nedvesített felületek súrlódási ellenállása. Az ellenállás fő részét vízkiszorításon alapuló hajók esetében ez a három összetevő jelenti. A hajótestre erősített toldalékok (kormánylapátok, propellertengelyek, tengelykilépések, lengéscsillapítók stb.) W_{told} ellenállása az előbbieket néhány százaléka csupán. Az ilyen hajóknál szokásos kis sebességek miatt a vízfelszín feletti részek $W_{lég}$ légellenállása sok esetben elhanyagolhatóan kicsiny. Az örvény- és a hullámellenállást szokás összevontan W_{alaki} alak ellenállásnak is tekinteni.



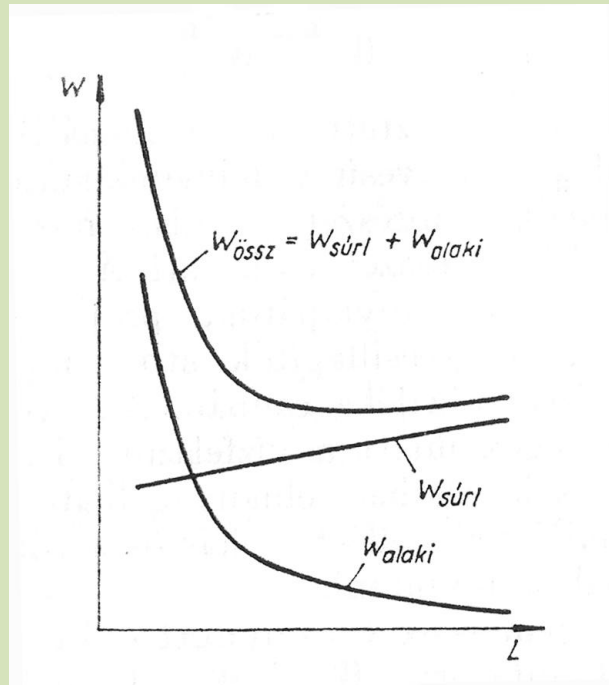
1. ábra.

Az ellenállás-összetevők egymáshoz viszonyított arányát és a sebesség növekedésével mutatott alakulását az **1. ábrán** láthatjuk v/\sqrt{L} a viszonyszám függvényében (v a hajó sebessége, L pedig a vízvonalhossza). Az ábra szerint a W_{alaki} ellenállás –bár egészen kis sebesség mellett kisebb- a sebesség növekedésével az összellenállás egyre tetemesebb részét teszi. Az összellenállás görbéje, bizonyos hullámosságtól eltekintve, parabolikusan emelkedik. Az alak ellenállás változásából eredő hullámosság az orr- és a farhullám interferencia jelenségeinek következménye. A szokásos teherhajók ellenállása általában a görbe első hullámán van, míg a különösen gyors hajók, amelyek orrhullámuk hátoldalán futnak, az ellenállásgörbe utolsó nagy hullámára kerülnek.

A vízkiszorításos hajók ellenállásának vizsgálatánál meg kell említenünk, hogy ezek hullámos vízén merülő-, billenő-, és bukdácsoló lengésük, valamint a nedvesített felület változása következtében megnövekedett ellenállással haladnak. Hullámos vízén a sebesség kényszerű csökkentéséhez vezet a lengések amplitúdójának és frekvenciájának kellemetlen megnövekedése is.

A v/\sqrt{L} sebesség-hossz viszony azt mutatja, hogy a vízkiszorításos hajókkal elérhető sebesség és a hajó hossza között fontos összefüggés áll fenn. Az a követelmény, hogy egy

hajót a kívánt sebesség elérésére a lehető legkisebb motorteljesítménnyel hajtsuk, a hajózásban közismert „Lang läuft gut” elv alapján biztosítható. A **2. ábrán** különböző hosszúságú, de azonos vízkiszorítású hajók ellenállását hasonlítottuk össze. Mint a $W_{össz}$ görbe mutatja, adott sebességnél és vízkiszorításnál létezik egy optimális hajóhossz. Másrészt a hajóhosszal a súrlódási ellenállás csak kevéssé nő, de az alak ellenállás erősen csökken.

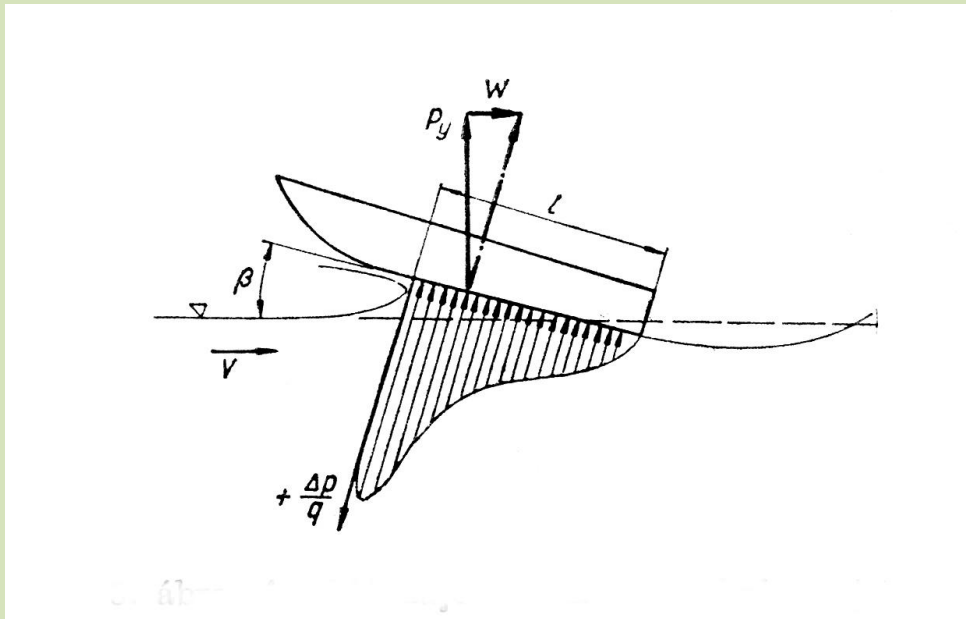


2. ábra.

A hajóhossz hatása természetszerűleg elsősorban a nagy sebességek tartományában érezhető, ahol a hullámképző ellenállás az összellenállás legnagyobb részét képezi. A normális teherhajók viszonylag lassan haladnak, így ezeknél nem a karcsúság fokozása a főcél és méreteiket a rakodási viszonyok és a hordképesség (helykihasználás stb.) határozzák meg.

Bebizonyosodott, hogy a vízkiszorításos hajók formája a sebesség növelése érdekében már alig finomítható tovább és az ellenállás-viszonyok alakulásában ezúton aligha következhet be forradalmi változás. Ezért már az 1900-as évek elején törekvés indult meg a vízbemerült térfogat, ill. a nedvesített felület csökkentésére. E törekvés első eredménye a siklóhajók létrehozása volt.

A siklóhajók álló helyzetben vízkiszorításuk, azaz a statikus felhajtóerő révén úszóképesek. Fenék-kiképzésük lapos, és a sebesség növekedésével egyre inkább az itt keletkező dinamikus felhajtóerő jut túlsúlyba. Ezáltal a test vízbemerülése és vele együtt a hullámképző, valamint a súrlódási ellenállás csökken. Megfelelő sebesség elérése után a siklótest a víz felszínére emelkedik és vízkiszorításos felhajtóereje jelentéktelenné válik (**3. ábra**). Bár a nedvesített felület is csökken a hullámképző ellenállás elenyészése miatt a súrlódási ellenállás marad túlsúlyban. Mindez az összellenállás erős csökkenéséhez és az elérhető sebesség növekedéséhez vezet.

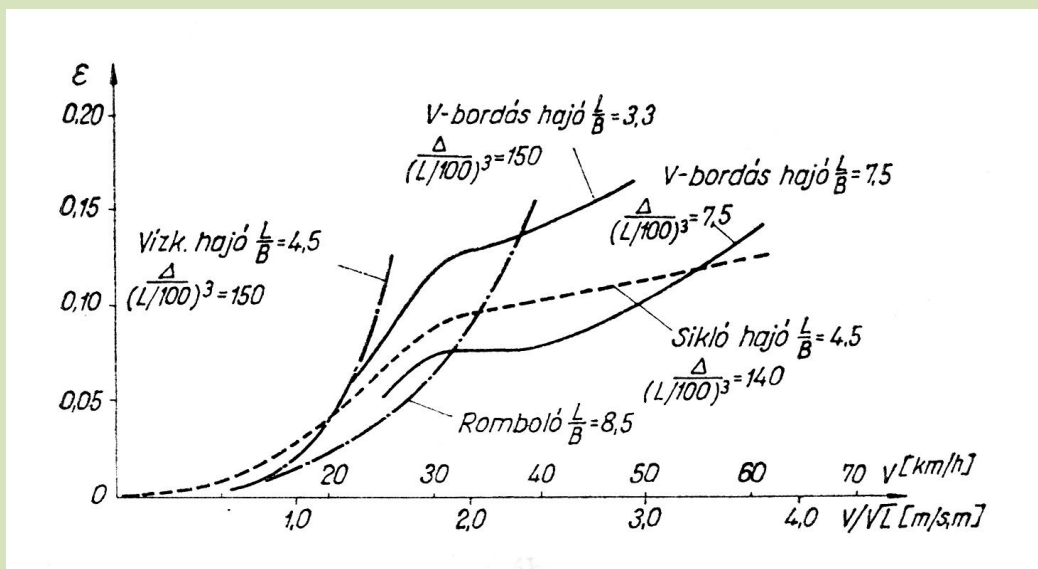


3. ábra.
A síkló hajó dinamikus felhajtóereje

Vezessük be a fajlagos ellenállás fogalmát és a repülő-technikában szokásos kifejezéssel nevezzük el *síklószámnak* a következő viszonyszámot:

$$\varepsilon = \frac{W}{D}$$

ahol $W(t)$ az összellenállás, $D(t)$ pedig a jármű súlya, amellyel a statikus vagy a dinamikus felhajtóerőnek illetőleg ezek összességének egyenlőnek kell lennie. A síklószám fogalmával a hajó valódi méreteitől független jellemzőhöz jutottunk, amellyel a különféle kialakítású járművek ellenállás-viszonyait összehasonlíthatjuk.



4. ábra.

A **4. ábrán** vízkiszorításos és siklóhajók siklószámait látjuk a v/\sqrt{L} sebességviszony függvényében. Látható, hogy egész kicsiny sebességnél csak lényegtelen eltérések tapasztalhatók a különféle kialakítású hajók ellenállása között. $v/\sqrt{L} = 1,0$ -nél valamennyi közel azonos, a kisebb hossz-szélesség viszonyú vízkiszorításosé azonban itt erősen emelkedni kezd, kidomborítva a hossz ellenálláscsökkentő szerepét, és az $L/B = 8,5$ viszonyú hajó görbéje kb. $v/\sqrt{L} = 2$ -ig a legalacsonyabban fut. (L a hajó vízvonalhossza és B a legnagyobb szélessége.) Az $L/B = 4,5$ viszonyú lapos fenékű siklóhajó ettől kezdve mindkét vízkiszorításos hajónál kisebb ellenállást mutat.

A teljesen lapos fenékű siklóhajó hátrányos tulajdonsága, hogy már a vízfelszín egészen enyhe fodrozódásakor erős lökéseként jelentkezik a fenék terhelésének hullámok periódusával változó nagysága. E hullámütések nagy sebesség esetén a hajón tartózkodók számára igen kellemetlenekké válhatnak, de a test szilárdságát is erősen próbára teszik. Ezért tengerjáróknál a hullámütések erejét – kompromisszumos megoldásként- a fenék élbefuttatásával csökkentik. Az ilyen kialakítást *V-bordás hajónak* nevezzük.

A **4. ábrán** $L/B = 3,5$ és $7,5$ viszonyú V-bordás hajók görbéit is láthatjuk. A fenék élbefuttatása a lapos fenékkal járó ellenállási nyereségek részleges feladását jelenti.

Összefoglalva mondható, hogy a siklóhajók – vízkiszorításosként kedvezőtlen formai kialakításuk és méretviszonyaik miatt- kis sebességeknél ellenállás szempontjából kedvezőtlenebbek a statikus felhajtóerő elve alapján működő hajóknál. Ez a hátrány azonban nagy sebességeknél egyre jobban csökken és $v/\sqrt{L} = 3,5$ felett már javukra billen a mérleg.

Ilyen hajókat napjainkban sport- és luxuscélokra használnak, valamint kis egységekben haditengerészeti torpedóvetőként, gyorsnaszádokként, vízi rendészeti hajókként alkalmaznak.

A siklóhajók kialakulásával egyidőben – az akkoriban újdonságként ható repülőtechnika hirtelen fellendülésétől ösztönözve- felmerült az a gondolat is, hogy a hajótestet a víz felszíne alatt elhelyezett szárnyfelületek segítségével teljesen a víz színe fölé emeljék, és ezzel ne csak a hajótest hidrodinamikai ellenállását kapcsolják ki teljesen, hanem amennyire csak lehet, a hullámok hatásától is függetlenítsék.

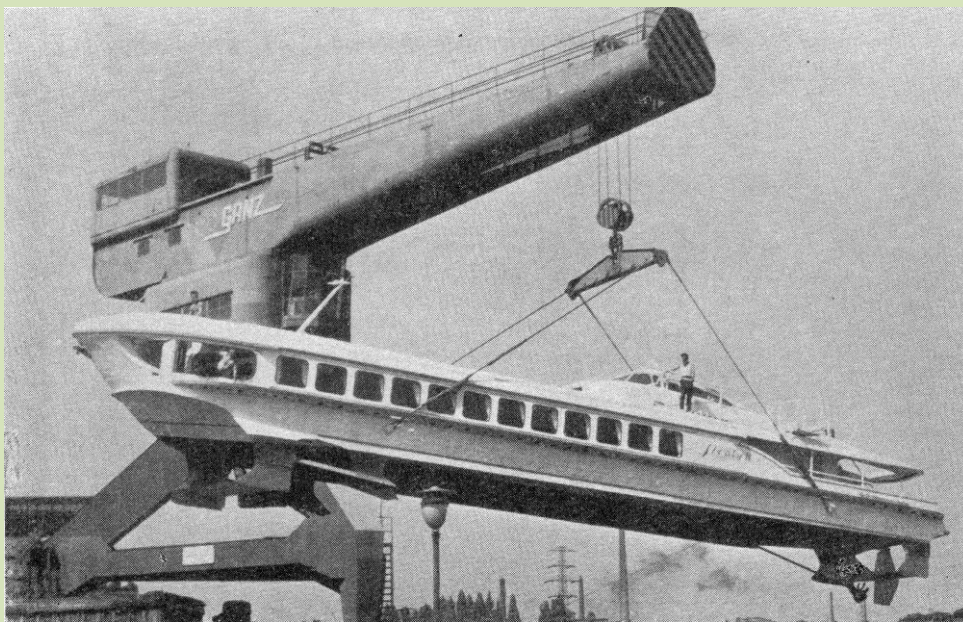
A szárnyas hajó nyugvó helyzetében vízkiszorítása által hidrosztatikus felhajtóerőt keltve úszik a vízen. Növekvő sebességgel a víz felszíne alatt haladó szárnyfelületeken egyre fokozódó nagyságú dinamikus felhajtóerő keletkezik, és a hajótest fokozatosan kiemelkedik a víz színe fölé. A sebesség további növekedésével a hajógerinc és a víz felszíne közötti távolság egyre nő, míg a sebesség és a szárnyfelületeken keletkező felhajtóerő között az egyensúly a szárnyak kialakításától függően automatikusan, vagy a vezető által beállítva létre nem jön (**5. és 6. ábrák**).

A levegő és a víz sűrűsége közötti arány 1:800, tehát a víz alatti szárny a repülőgépekéhez viszonyítva igen kis felülettel képes a hajó súlyával egyenlő dinamikus felhajtóerőt keltetni. Az ilyen kisméretű szárnyak ellenállása pedig nyilvánvalóan kisebb, mint a vízbemerült hajótest összellenállása: a hullámképző-, a súrlódási-, a toldalék-, és a légellenállások összege.



5. ábra.

„Rakéta” típusú szárnyas hajó menetben (*Petricskó M. felv.*)

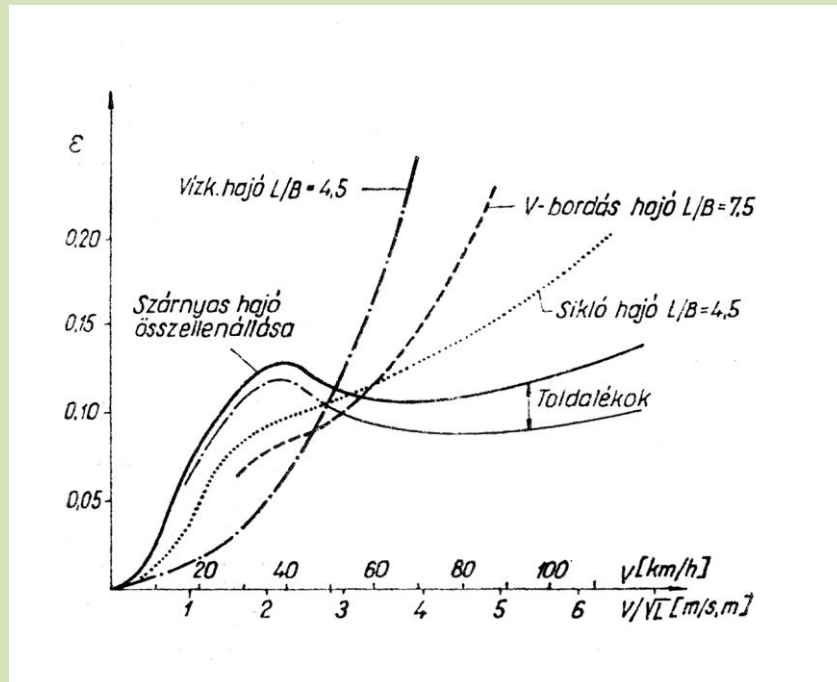


6. ábra.

A „Rakéta” típusú szárnyas hajót kis merülésű, vízfelszín közelében mozgó egyenes szárnyakkal szerelték fel (*Reichard V. felv.*)

A későbbi fejlődés megmutatta, hogy a szárnyas hajók gondolata kivezet abból a zsákutcából, amelybe a gyorshajók építése jutott. Megmutatkozott ugyanis, hogy a siklóhajók hullámállásának bármilyen javítása csak a szükséges motorteljesítmény növelése árán lehetséges. A kis sebesség-hossz viszonyszámoknál gazdaságos vízkiszorításos hajó viszont veszít hullámállási tulajdonságaiból, ha olyan alakúra képezik ki, hogy dinamikus felhajtóerő is keletkezhet rajta. A szárnyas hajónak ezzel szemben bizonyos sebesség felett valamennyi hagyományos hajóformánál jobb siklószáma van, sőt egyes változatait még hullámállás tekintetében is a legkedvezőbbek közé sorolhatjuk.

A **7. ábrán** mind a négy hajótípus $\varepsilon = f(v/\sqrt{L})$ görbáját láthatjuk. Az $L/B = 4,5$ viszonyú statikus felhajtóerő elve alapján működő, és siklóhajó, valamint az $L/B = 7,5$ viszonyú V-bordájú görbéje a **4. ábrán** bemutatottal azonos. A kb. 60 tonna súlyú szárnyas hajóra jellemző görbe kis sebesség esetén – a szárnyaknak a hajótesthez hozzáadódó ellenállása miatt- a többi görbe felett jár. Mintegy $v/\sqrt{L} = 2,0$ körül helyi maximuma van, majd amint a test kiemelkedett a vízből, csaknem állandó értékre esik vissza. Teljesen szárnyra emelkedve – az ábra szerint – ellenállása csak minimálisan növekszik a többi hajóéhoz viszonyítva.



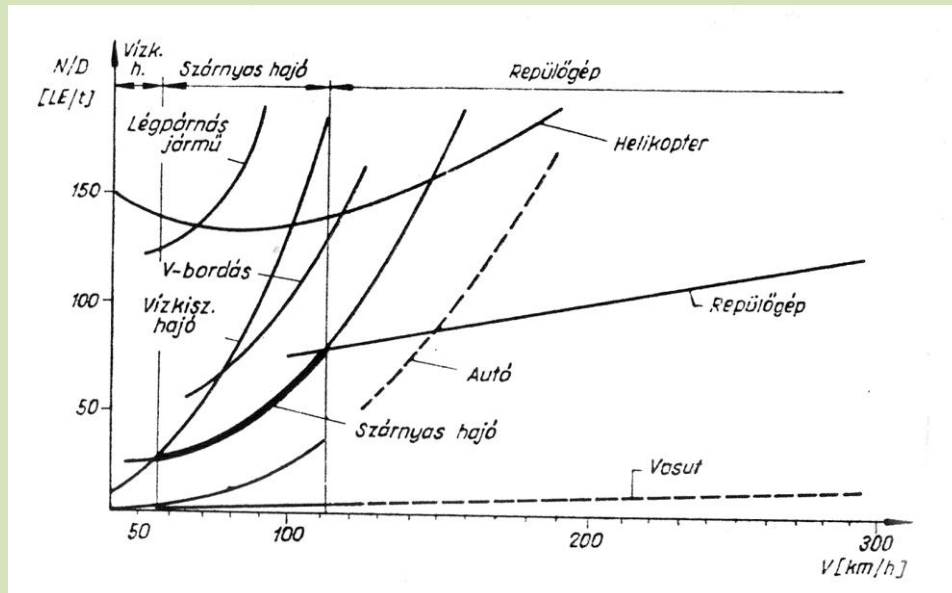
7. ábra.

A **7. ábra** vízszintes tengelyének léptékére még vissza kell térnünk. Kis sebességekkel – ahol a szárnyak szerepe még kicsi – a szárnyas hajók ellenállása is a dinamikai hasonlóság törvényeinek engedelmeskedik. Ezen a szakaszon v/\sqrt{L} függvényében kell vizsgálnunk. A hajótest kiemelkedése után azonban már csak a toldalékok ellenállása változik ilyen értelemben, a szárnyak ellenállása pedig a relatív sebességtől függ, így ezen a szakaszon helyesebb ennek függvényében vizsgálni. Az ábrán az adott súlyú, mintegy 23 m hosszú hajóra vonatkoztatott sebességskála is fel van tüntetve.

E szárnyas hajó siklószáma az ábra szerint kb. 70 km/h sebesség felett kissé megnövekszik, a kavitáció kezdetét jelezve. A hajtáshoz szükséges teljesítmény azonban még itt is mintegy ötven százaléka csak a siklóhajókénak, és alig egy harmada a vízkiszorításosénak. Az adott távolság megtételéhez szükséges üzemanyag költsége emiatt a harmadára csökken, illetőleg a hatótávolság azonos üzemanyag felhasználás mellett a háromszorosára növekszik.

A hajózás kérdéseiben esetleg tájékozatlan olvasót félrevezetheti a szárnyas hajókkal elérhető siklószámok ilyen kedvező alakulása, ezért itt nyomatékosan emlékeztetünk arra, hogy ez fajlagos ellenállást jellemez és e hajóknál abszolút értelemben igen tekintélyes teljesítményszükséglettel kell számolni. Ha a hagyományos hajófajtákkal, vagy egyéb járművekkel hasonlítjuk őket össze, megtaláljuk azt a sebesség-tartományt, amelyben alkalmazásuk optimális (a **8. ábrán** a vastagon kihúzott görbeszakasz).

Azt azonban már részletes gazdaságossági számításokkal kell eldönteni, hogy valamely alkalmazási területen ezeknek az optimális sebességeknek az elérése jelent-e valamiféle előnyt és a költségek csökkenését.



8. ábra.

A szárnyas hajó helye a járművek között

A szárnyas hajókat katonai alkalmazásuktól eltekintve eddig szinte kizárólag személyszállításra használták. Külföldi példák szerint elsősorban ott, ahol ezt a várható utassűrűség is kifizetődővé tette, tehát ahol az abszolút értelemben magas üzemeltetési költségeket az egyenletes és lehetőleg minél magasabb kihasználási fok ellensúlyozta. Az irodalom szerint ezeken a helyeken jelentős megtakarítást értek el.

Nem feladatunk a gazdaságossági kérdések vizsgálata, de rá kell mutatnunk arra, hogy ezeket mellőzni ebben az esetben is csak akkor lehet, ha a nagy sebességet és kellemes hullámállási tulajdonságokat, továbbá azt az előnyt, mely e hajókat különösen alkalmassá teszi csatornákra és egyéb belvizekre –hogya ti. a víz felületét még a maximális sebesség kihasználásakor sem zavarják meg jelentősen- katonai, rendőri, mentő- és egyéb szolgálati célok teszik kívánatosá.

A szárnyas hajók kialakulásával járó hidrodinamikai, mechanikai és gépészeti feladatok kezdetben igen nagyok voltak, és sok tekintetben még a repülőgép-építés közismerten sokoldalú problémáit is felülmúlták. E könyv célja a szárnyas hajó újszerűségében még kevésbé ismert áramlástani, hajóelméleti, és egyes műszaki kérdéseinek összefoglalása.