

Hajóépítéstan

Jegyzet a Hajóépítő Szaktechnikusképző tanfolyam hallgatói részére

Írta és szerkesztette: Kemény Sándor okl. gm.

IV. fejezetet írta: Bognár Jenő okl. gm.

Lektorálta: Benedek Zoltán okl. gm.

Kézirat

Budapest 1963

206-212. oldalak (Részlet)

4. FEJEZET

Az ellenállás csökkentésére kidolgozott módszerek

Kis ellenállású hajóformák energiamegtakarítási lehetőségei erre indították a hajóépítőket, hogy újszerű formákkal kísérletezzenek.

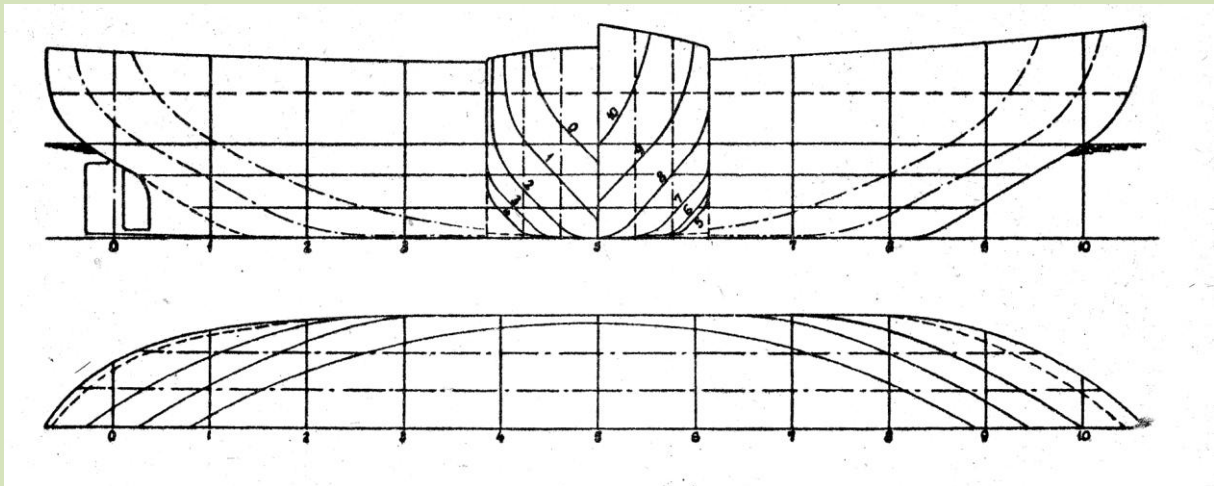
A súrlódási ellenállás csökkentésének két lehetősége: a felület csökkentése és a vízrészeckék útjának rövidítése.

A felület csökkentését a főborda íves kiképzésével lehet elérni. A körív alkalmazása esetén ugyanis ugyanahhoz a keresztmetszethez kisebb kerület, tehát ugyanahhoz a vízkiszorításhoz kisebb nedvesített felület tartozik. Ezek a hajók valamivel szélesebbek a szokásos formáknál, ezért kezdeti stabilitásuk is nagyobb.

A szakirodalom ezt a formát „arcform” név alatt említi.

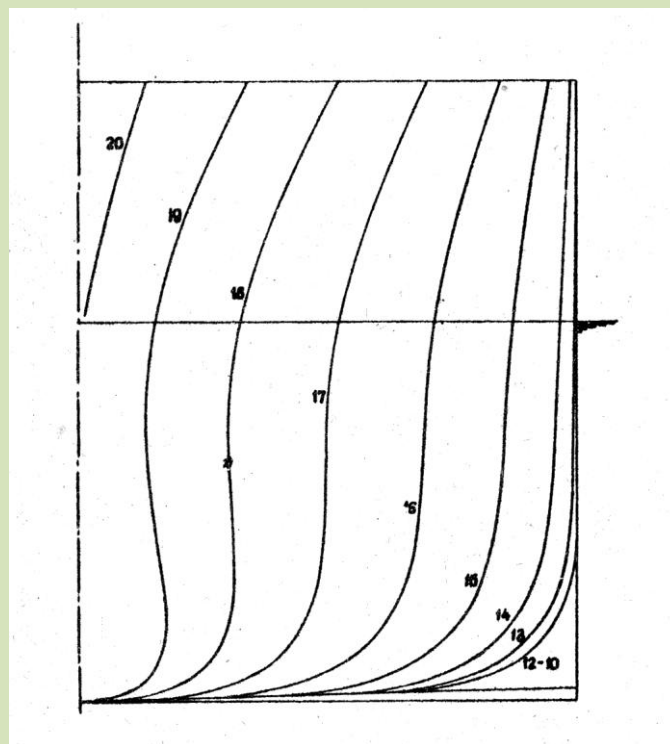
Az un. Maier-féle hajóforma az ellenállás csökkenését a vízrészeckék útjának lerövidülésével akarja elérni. Itt a bordagörbék párhuzamos egyenesek, ilyenkor pedig a vízrészeckék útja közelítőleg síkgörbe lesz, melynek két pont közötti ívhossza rövidebb, mint az ugyanazon pontokat összekötő térgörbéé. A 4.28.sz. ábrán egy Maier-formájú bordametszet és vízvonalrajz van feltüntetve, melyre a hajó mellső- és hátsó részén mutatkozó v-alakú bordák jellemzők. Ilyen hajókkal végzett próbák már azért is sikeresek voltak, mivel a „V”-alakú bordakiképzés a hajók bukácsoló mozgását erősen csillapította és ez háborgó tengeren a sebesség kisebb mértékű csökkenésére vezetett.

Bizonyos körülmények mellett az un. bulbaorrú hajók kedvezőbb hullámellenállást adnak. A bulbaorrú hajóra a 4.29.sz. ábra mutat példát. Ezek a hajóformák nagy merülésű és aránylag nagy sebességű hajóknál előnyösek. Különösen olyan sebesség-tartományoknál, melyeknél a hullámok kedvezőtlen interferenciája következtében az ellenállásnak relatív maximuma mutatkozik.



Maier-féle hajóforma

4.28.sz. ábra



Bulbaorrú hajó.

4.29.sz. ábra

A különleges orrkiképzés az orrhullámokat részben eltolja, részben csökkenti, ezért a hullámképző ellenállás a szokásos hajóformákhoz képest csökken.

Itt említjük meg a párhuzamos középréssel bíró hajókat. Ezt úgy foghatjuk fel, hogy a hajótest végeiről elviszünk vízkiszorítást és azt a hajótest középső részein helyezzük el, ezáltal a középsőrészen egyenlő keresztmetszeteket kapunk. Ezeknél a hajóknál az ellenállás csökkenése a hullámképző ellenállás csökkenése révén várható, ha sikerül az adott sebességnél az orr- és farhullám között kedvező interferenciát elérni.

A középrész optimális hosszának meghatározására Taylor végzett kísérleteket.

A belvízi hajóknál csaknem mindig hosszabb – rövidebb párhuzamos középrészt találunk, amit a korlátozott merülés miatt, a vízkiszorítás növelése céljából alkalmaznak.

Továbbá a vízkiszorítás formája és bizonyos elhelyezése tehát súlyponti helyzete is befolyásolja a hajó ellenállását. Hogy a vízkiszorítási súlypontnak relatív helyzete a hajó középrészéhez miért hat ki az ellenállásra, úgy magyarázható, hogy a súlypont a középrész mögé esik, ezzel a hajó mellső része élesedik ki és a formaellenállást kedvezőtlenül befolyásoló orrhullám csökken.

Viszont, ha egy bizonyos hajótípusnál a vízkiszorítási súlypont a hajó középrésze elé esik, ez csak úgy képzelhető el, hogy a hajó mellső részét töltöttük fel a hajó farából előre vitt vízkiszorítással, ami karcsúbb hátsó hajótestre vezet. Ez a hajócsavarhoz jobb vízhozzáfolyást biztosít, ami javítja a hajócsavar propulzióját. Így ebben az esetben nem az ellenállás csökkenése adja a kedvezőbb eredményt, hanem a hajócsavar jobb hatásfoka, amely a hajógép energiájából nagyobb részt alakít át hasznos munkává.

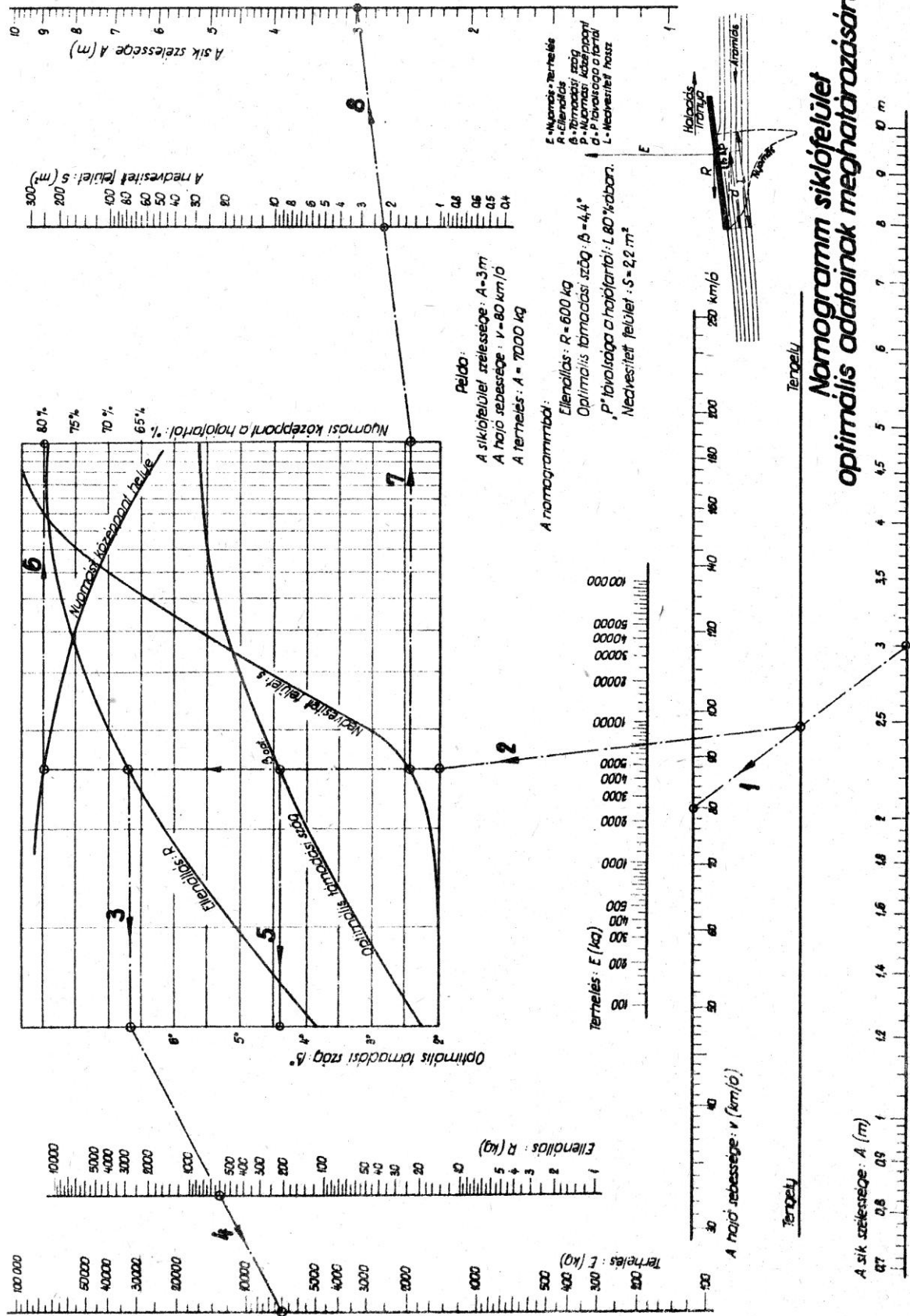
4.13. Sikló- hajók ellenállás viszonyai.

Sikló-hajóknál a súly egy részét a dinamikus hatás folytán keletkező felhajtóerő veszi át. A dinamikus felhajtóerő megjelenése igen kedvező, mert csökkenti a hajó bemerülését és ezzel együtt nagymértékben annak hullámképző ellenállását is. A hullámképző ellenállás csökkenése mellett a súrlódási ellenállást tekintélyes redukciója is bekövetkezik, mert a hajótest kiemelkedésével egyre kisebb a nedvesített felület is, amellyel a súrlódási ellenállás arányos.

A felsorolt kedvező körülmények összjátéka folytán a siklóhajó ellenállása a siklási állapotnak megfelelő sebességnél igen kedvezővé válik és módot nyújt megfelelő teljesítmény alkalmazása esetén olyan sebességek elérésére, amelyek a szokásos displacement hajókkal csak rendkívül nagy teljesítmény feláldozásával, vagy egyáltalán nem tudnánk elérni.

Tapasztalat szerint arra, hogy milyen sebességnél kivetkezik be siklás, igen nagy befolyást gyakorol az ún. oldalviszonyszám, mely bizonyos szélesség és hossz viszonya. Téglalapalakú vízvonalnál ez a viszony közvetlenül adódik, a szokásos hajóalakoknál azonban számítása körülményesebb.

A sikló-hajók szokásos bordametszeténél megfigyelhető, hogy a fenékfelület a hajótest hátsó részén sík, vagy kis görbületű azon célból, hogy a kifejlődő felhajtóerő eloszlása –lehetőség szerint- egyenletes legyen. Amennyiben a fenékfelület hátrafelé emelkedő lenne, nyomáscsökkenés, sőt esetleg szívóhatás következne be, ami egyrészt a hajótestnek a vízből való kiemelkedését csökkentené, másrészt a nyomásközéppontnak előre való eltolódása miatt, erős fartrimmet okozva.



4.30.sz. ábra

Mindkettő a hajó a hajó hullámképző ellenállásának igen erős megnövekedését eredményezné.

A siklást megelőző aránylag kis sebességnél a fenékfelület sajátos kiképzése miatt, a dinamikus felhajtóerő támadáspontja mindenképpen a hajó rendszersúlypontja elé esik.

Ezáltal bekövetkezik az a trimmhelyzet, amelynél a fenékfelületen a sikláshoz szükséges dinamikus felhajtóerő kifejlődhet. Teljes siklásnál a mellső bordametszetek nagyrésze kiemelkedik a vízből.

A vízvonalterület helyes megválasztása azért nagy jelentőségű, mert tapasztalatok szerint a siklás bekövetkezése nagymértékben függ a fajlagos, specifikus (felületegységre jutó) fenékterheléstől. A 4.30.sz. ábra a siklófelület optimális adatainak meghatározására szolgál.

A sikló-hajók ellenállásának meghatározása is történhetik kismintakísérletek alapján. Ezek a kísérletek azonban igen sok nehézséget okoznak részben a szükséges nagy vontatási sebességek, részben pedig a nagy vontatási távolság miatt, melyre a nehezen kialakuló stabilis siklási állapot miatt van szükség. Ezért a vontató-kísérleti állomások nagyrésze nem is foglalkozik sikló-hajók vontatásával. Az eddig végzett kísérletek azonban elegendő adatot bocsátanak rendelkezésünkre, a várható ellenállás közelítő meghatározására.

A sikló-hajók ellenállása általában négy összetevőre bontható:

$$W = W_h + W_s + W_t + W_l$$

A képletben szereplő három első összetevő (hullámképző, súrlódási- és örvényképző ellenállás) a vízben keletkezik, míg a negyedik –a légellenállás- a hajónak a vízből felálló felületén. Utóbbi, a nagy sebességek folytán, lényeges százalékát teheti ki az összellenállásnak.

Az egyes összetevők számítására a következő összefüggéseket használhatjuk:

$$W_h = 0,835 \cdot D \cdot O_a \cdot (1 - a) \cdot v^{1.83} \cdot \sin \beta$$

mely L. Lord angol egységekre alkalmas képletének metrikus egységekre érvényes változata. A képletben **D** a vízkiszorítás metrikus tonnákban, **O_a** a nedvesített felület m²-ben, **v** m/sec-ban kifejezett sebesség. **β** a virtuális állásszög, **a** az oldalviszony (aspect viszony)

A súrlódási ellenállás meghatározása $W_s = \lambda \cdot O_a \cdot v^{1.83}$ képlet szolgál, amelyben a **v** m/mp-ben kifejezett sebesség kitevője valamivel nagyobb, mint az eredeti Froude-képletben, viszont a sima hajótestre vonatkozó **λ** súrlódási tényező értékét minden érdességi korrekció figyelembevétele nélkül használhatjuk, mert úgyis meg kell követelni, hogy a hajófenék mindig sima, frissen fésített kifogástalan állapotban legyen.

Az örvényképző ellenállás, mely minden esetben a toldalékoknál jelentkezik és a légellenállás, az alábbi képletek szerint számolható:

$W_t = \sum C_t \frac{\rho}{2} v^2 Q$ ahol Q a toldalékoknak az áramlásra merőleges metszetei.

$$W_l = C_l \frac{\rho}{2} v^2 A$$

A toldalékellenállás meghatározásánál a tengelybakokat, tengelyeket, tengelykilépést, kormánylapátot és egyéb, a hajótestből a víz alatti kiálló toldalékokat kell figyelembe venni. Az egyes toldalékok Q keresztmetszetei az áramlás irányára merőleges keresztmetszetek. Nem követünk el nagy hibát, ha a toldalékoknak a bordák síkjára vetített legnagyobb keresztmetszeteit vesszük figyelembe. Így pl. propellertengelynél rendszerint ovális keresztmetszet adódik a tengelyek ferde elhelyezése következtében.

Tengelybakok és a kormánylapát téglalap- vagy trapézalakú keresztmetszeteket adnak. Az áramlás irányába eső síkmetszeteket minden esetben célszerű áramvonalas alakúra kiképezni. Az ilyen alakú toldalékok ellenállási tényezői áramlástani kézikönyvekben találhatók. A C_t tényező értéke általában véve 0,1 nagyságrendű.

A légellenállás számításánál A -val a vízből kiálló részeknek a főborda síkjára eső legnagyobb vetületét jelöljük az ellenállási tényező értéke 0,35 – 0.70 között változik.

A siklófelület optimális adatainak meghatározására szolgáló monogramot a 4.30. sz. ábra mutatja.

4.14. Katamaránok.

Katamaránokat, vagyis kéttestű hajókat a polinéziaiak építettek először. Az ilyen hajó stabilitása messze felülmúlta az egytörzsű hajókét és – az összekötő rész területe következtében- több, mint kétszerannyi hellyel rendelkezett.

Az ilyen jó tengerálló hajók nélkül a polinéziaiak sohasem tudták volna a szinte hihetetlennek tűnő felfedező útjaikat véghezvinni, a Csendes-óceán nagy térségében.

A múlt század folyamán Európában katamarán-gőzhajókat is építettek . ezek lassúak voltak és ekkor vetődött fel a teljesítményszükséglet problémája.

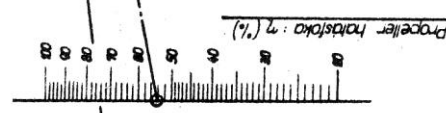
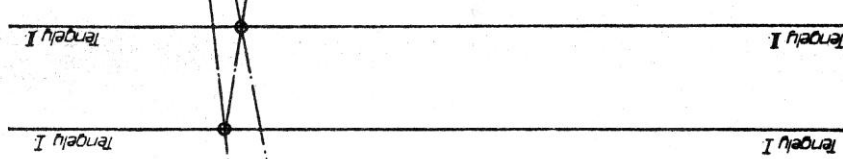
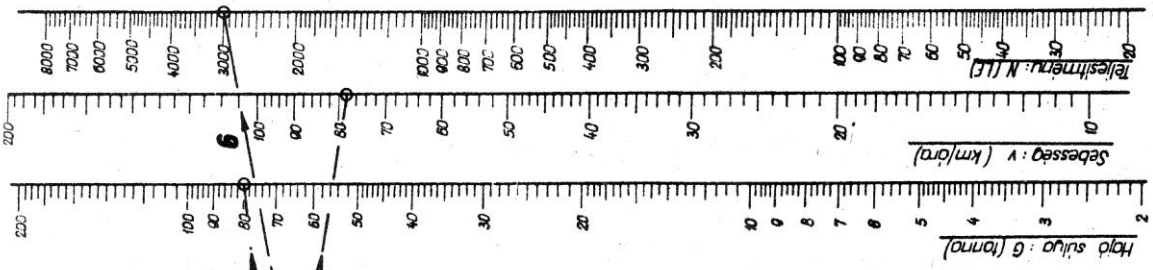
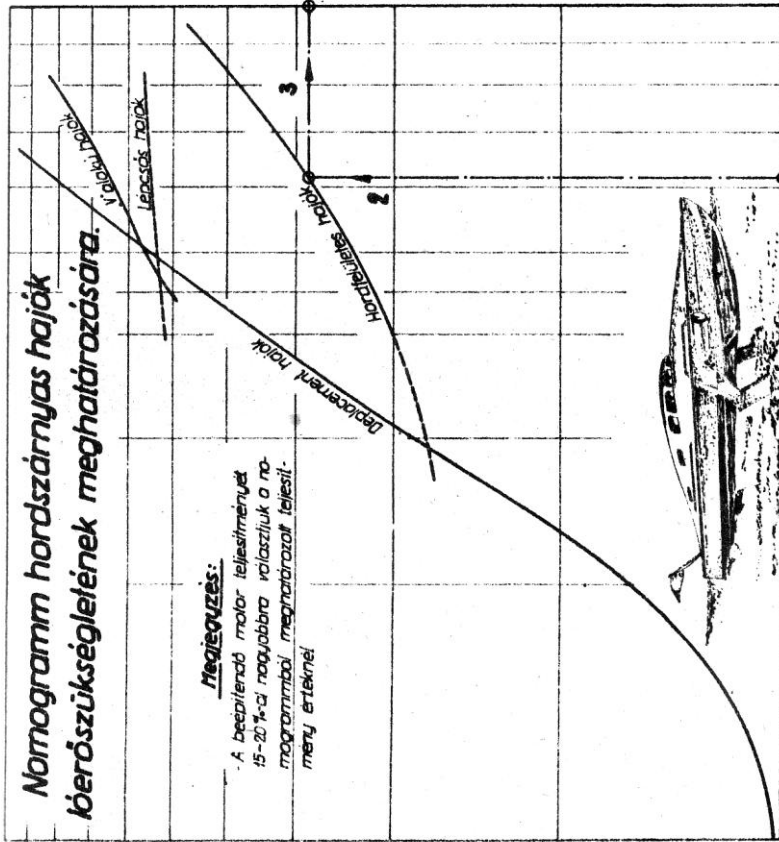
A katamaránok ellenállás szempontjából nem kedvező hajók, ugyanis a két test a deplacemntnek megfelelő nedvesített felületet megnöveli. Így a súrlódási ellenállás nagyobb, mint a szokásos hajóformáknál.

A hullámellenállás sem kedvezőbb, mivel két test hullámellenállása adódik össze. Ezért jelenleg inkább sport célokra alkalmazzák, vagy vízi munkagépként, ahol a stabilitás növelése test ellenállásánál.

Nomogramm hordszárnyas hajók bőrőszükségletének meghatározására.

Megjegyzés:

A beépített motor teljesítményét 15-20%-al nagyobbira választjuk a nomogrammból meghatározott teljesítmény értékénél.



Fejlesztés:

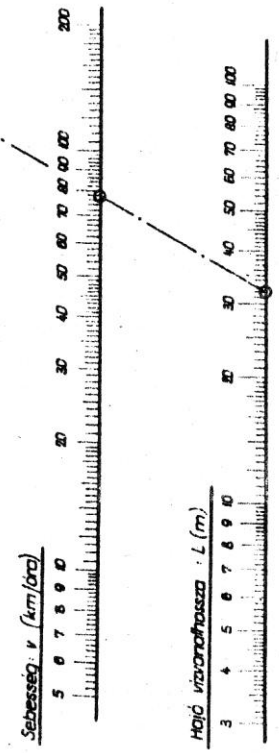
Hajó vízvonalhossza : $L = 32 \text{ m}$
 Sebesség : $v = 78 \text{ km/óra}$
 Hajó súlya : $G = 80 \text{ t}$
 Propeller hatástéka : $\eta = 55 \%$

A nomogrammból:

Teljesítmény : $N = 3000 \text{ LE}$

A beépített motor teljesítménye = 3600 LE

(20%-os többlettel véve, így a példa megfelelő egy már kivitelezett hajó adatainak)



4.31.sz. ábra

4.15. Hordszárnyas hajók.

Az aerodinamikából vett ötlet alapján szerkesztettek víziszárnyakkal felszerelt hajókat.

Nyugalmi helyzetben a hajó a szokásos módon fekszik a vízen, súlyát a hidrosztatikai felhajtóerő egyensúlyozza. Indulás után a vízalatti szárnyak felhajtóerőt ébresztenek, mint a repülőgép szárnya a levegőben. Ez a felhajtóerő mindjobban átveszi a csónak súlyát, míg a test egészen kiemelkedik a vízből.

Feltűnő a hordszárnyas hajó szárnyfelületének kicsinysége, a repülőgépekhez képest. Ennek az a magyarázata, hogy a szárnyak dinamikus felhajtóereje egyenesen arányos a közeg sűrűségével. A víz sűrűsége pedig kereken 800-szor nagyobb, mint a levegőé, tehát a víziszárnyak által keltett felhajtóerő – azonos méreteknél és körülményeknél – ugyanannyiszor nagyobb a levegőben ébresztett erőnél.

A hordszárnyas hajók tehát a kiemelkedés után lényegesen csökkent ellenállással haladnak. A súrlódási és hullámképző ellenállások helyett a viszonylag kisfelületű víziszárnyak ellenállása és a légellenállás veszi át a szerepet.

Pl. A „Meteor” nevű 150 személy szállítására alkalmas szovjet hordszárnyas hajó 80 km/óra sebességet ér el 2 db. 850 LE-s motorral. A hajó súlya 52 tonna. Üzemi sebessége 70 km/óra.

A hordszárnyas hajók lóerőszükségletének meghatározására szolgáló monogramot a 4.31.sz. ábrán találunk.

Légpárnás hajók

Itt a hajó súlyát légpárna viseli, amit a lefelé fúvó légszivattyúk létesítenek.

Ezek a hajók jelenleg kísérleti állapotban vannak.

Ellenállásban itt a súrlódási ellenállást takarítjuk meg. Hullámképző ellenállás itt is van és ennek a Froude-szám függvényében vannak ugyancsak kedvező és kedvezőtlen periódusai. A 4.32.sz. ábrán egy légpárnás hajó hullámrendszerét láthatjuk a Froude-szám függvényében. Ha a hátsóél egy hullámhegy fölött van, akkor az ellenállás kisebb és fordított esetben, amikor hullámvölgy fölött van, akkor az ellenállásnak relatív maximuma van.

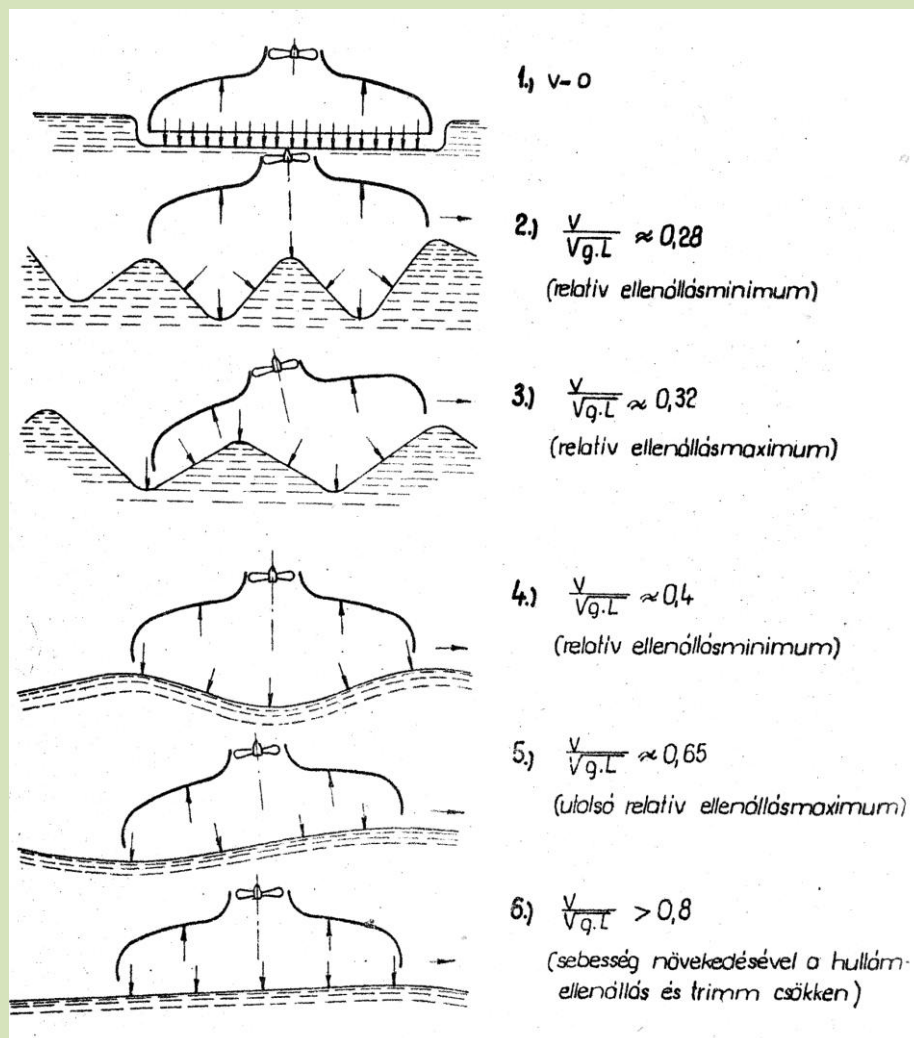
A légpárnás járműveket konstrukcióik szerint a következő főtípusokra lehet felosztani:

1. Légpárnás repülő járművek, melyek 1000 méter magasságig emelkednek föl és repülnek. Ilyen típusú kísérleti gépek súlya 1-2 tonna. ezeknek fajlagos teljesítményszükséglete meghaladja a 300 LE/tonnát.
2. Légpárnás autók, melyek 0,4 – 0,6 méterre emelkednek a talaj fölé és fajlagos teljesítmény szükségletük 180 – 150 LE/tonna között van.

3. Nagyméretű légpárnás hajók. Az ilyen nagy méretek csak tengeren alkalmazhatók. A legnagyobb fejlődési lehetősége ennek a típusnak van.

Wieland svájci feltaláló szerint, az ő megoldása alapján tervezendő nagyméretű légpárnás hajó, melynek átmérője 1000 méter, légpárna vastagsága 3-4 méter, 200 km/óra sebességnél a fajlagos teljesítményszükséglet 1,4 LE/tonna lenne. Ez kisebb, mint a jelenlegi hasonló nagyságú óceánjáróké. Ugyanis ezek 60 km/óra sebességnél 2 LE/tonna fajlagos teljesítményt használnak.

Az eddigi kísérleti célra épült kishajók fajlagos teljesítményszükséglete úgy mint a légpárnás autóké a 180 – 160 LE/tonna között van. Például egy 1961-ben épült 27 tonna súlyú légpárnás kishajó 4 darab 1080 LE teljesítményű géppel 130 km/óra sebességet ért el. Így ennek fajlagos teljesítményszükséglete 160 LE/tonna.



Hullámképzés sémája légpárnás hajóknál.

4.32.sz. ábra
