

Hordszárnyas hajók

Beledi Dezső

Az utóbbi években gyakran találkozunk folyóiratainkban hordszárnyas hajókat ismertető cikkekkel, amelyeket általában külföldi szaklapok nyomán írtak. Magyarországon egy-két sikertelen magánpróbálkozástól eltekintve, a múlt év közepéig jóformán semmiféle tudományos vagy kísérleti munka nem folyt ebben az irányban. Ez részben azzal magyarázható, hogy hajós szakembereink kezdetben nem tulajdonítottak elég jelentőséget a sokak számára fantasztikusnak látszó problémának, de nem is állt rendelkezésünkre sem megbízható tervezési anyag, sem pedig a kísérleti munkához szükséges anyagi fedezet.

A külföldi, főleg szovjet sikereken felbuzdulva, 1959 őszén nálunk is napirendre került a kérdés. Meglehetősen szerény keretek között a Dunai Hajógyárban megkezdtek a kísérleteket egy, a hazai körülményeknek leginkább megfelelő hordszárny típus kialakítására.

A szerző tervei nyomán elkészült és kipróbálásra került az 1. ábrán látható kísérleti hordszárnyas motorcsónak, amely gyakorlatilag az első eredményes hazai próbálkozás.



1. ábra

A kísérletek más hordszárny típusal még folynak, azonban máris látható, hogy a kiválasztott szárnykonstrukció megfelel a várakozásnak, igazolta a számítások helyességét és alapul szolgálhat nagyobb hasonló szárnyrendszerű hajók tervezésénél.

A következőkben röviden ismertetjük a szárnyrendszer elvi felépítését.

Az elv, hogy a hajó ellenállásának csökkentése érdekében hordfelületeket alkalmazzanak, nem új. Már a múlt század végén két irányban is folytak a kísérletek, ezek eredményeként létrejöttek egyrészt a siklótestű, másrészt a hordszárnyas hajótípusok.

Annak dacára, hogy Ferlandini első hordszárnyas csónakjának bemutatója óta 55 év telt el, komoly fejlődésről csak az utóbbi 10 évben lehet beszélni. Ennek oka az volt, hogy a feltalálók gyakorlati próbálkozások és ötletszerű elképzelések alapján, komolyabb elméleti felkészültség nélkül építették hajóikat, amit egyébként a nagyszámú sikertelen szárnykonstrukció is bizonyít.

Jelenleg 4 alapvető szárnyrendszer ismeretes, melynél a felhajtóerő stabilizálását és az állékonyság biztosítását más és más elvek alapján megbízhatóan sikerült megoldani:

1. vezérelt állásszögű nagymerülésű szárnyak
2. változó felületű hordszárnyak

a) a vízfelszint áttörő V vagy U alakú szárnyak (Schertel- és Sachsenberg, és Titens konstrukció).

b) emeletes, egymásfölött elhelyezett hordszárnyak

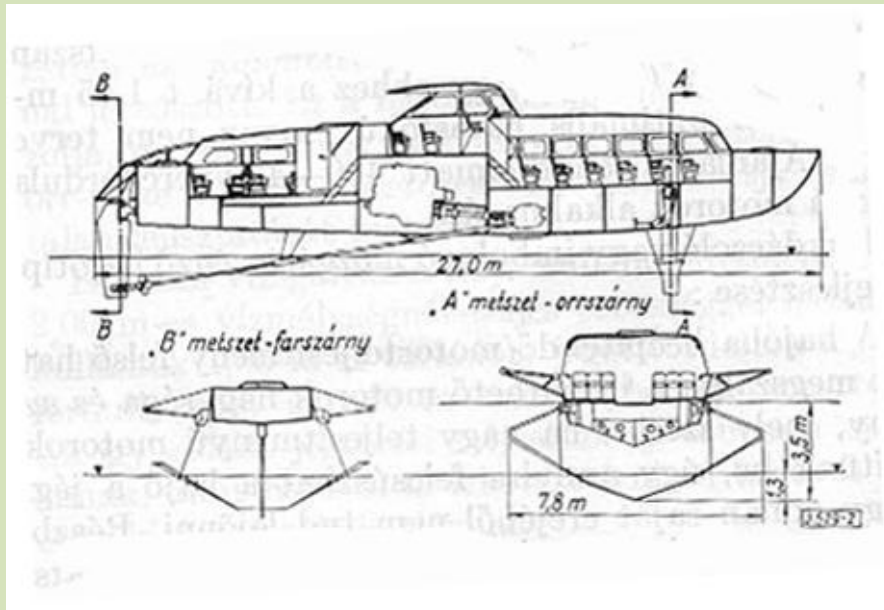
3. sikló, illetve stabilizáló lapokkal kombinált hordszárnyak (Grünberg konstrukció).

4. kimerülésű, vízfelszín közelben mozgó, hordszárnyak

A legjobb hordszárnyrendszert csupán leírások és ábrák alapján meghatározni nem lehet, hiszen valamennyi megvalósított és a gyakorlatban elterjedt konstrukció. A tervező és gyártó cégek pedig általában csak dicsérik saját hajóikat és nem említik azok hiányosságait. A valóság az, hogy valamennyi hordszárnyrendszer megfelelő lehet adott körülmények között.

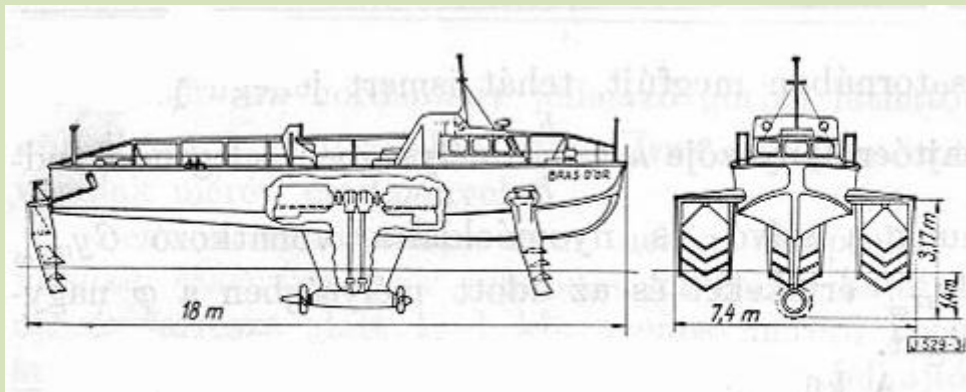
Hullámozó, viharos tengeren pl. a nagymerülésű, állítható szárnyrendszer segítségével gyakorlatilag lengés- és ringásmentesen lehet nagy sebességekkel haladni, viszont egy ilyen szárnyrendszer nagy állómerülést eredményez, igen bonyolult vezérlőberendezést igényel, nagy a hajóhoz viszonyított súlya és előállítás is rendkívül költséges.

A „V”, „U” és emeletes szárnyak jól beváltak tengerparti és tavi körülmények között, jó hullámállóak, stabilitásuk kielégítő, azonban szintén nagy a merülésük. A szárnyak alakjuknál fogva úgy statikailag, mint hidrodinamikailag nehezen méretezhetőek és kivitelezésük is nagy precizitást igényel. A siklólapokkal kombinált hordszárnyak jó oldalstabilitással rendelkeznek, tervezésük aránylag egyszerű, hullámállékonyságuk viszont rosszabb, mint a többi szárnyrendszeré. A siklólapok ugyanis lekopírozzák a vízfelületet és főleg a hullámra merőleges mozgásnál a hajó kellemetlen bólogató lengéseket végez.



*Olasz átkelőhajó vízfelszint áttörő „V” hordszárnyrendszerrel.
Vízkeszoritása 24,3 t, sebessége 1200 LE teljesítménynél 75 km/óra.
Befogadóképessége 68 fő. (Schertel-Sachsemerg szabadalom)*

2. ábra

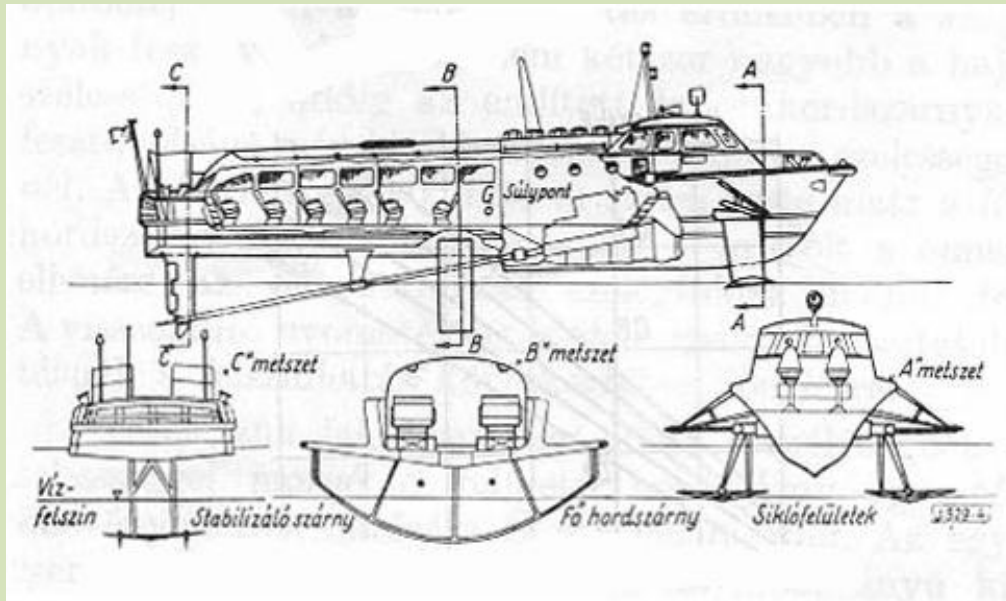


*Kanadai kísérleti hajó emeletes hordszárnyakkal.
Vízkeszoritása 18,2 t. Teljesítménye 3500 LE.
Legnagyobb sebessége eléri a 100 km/ó-t.*

3. ábra

A lapos, vízszintközvetben mozgó hordszárnytípust a Szovjetunióban fejlesztették ki, elsősorban belvízi, főleg folyami használatra, ahol éppen ezek a szárnyak felelnek meg leginkább. Kis merülés, egyszerű gyártástechnológia, rendkívül jó súlyviszony, minimális méretek, ugyanakkor nagy szilárdság kárpótol a kisebb stabilitásért. Az eddig megépített szovjet hajókon szerzett tapasztaltok azt bizonyítják, hogy a folyókon és belvizeken előforduló szél, illetve hullámviszonyoknak ez a szárnyrendszer is tökéletesen megfelel. A 66 férőhelyes RAKÉTA 1955 óta vesz részt a rendszeres volgai utasforgalomban és sohasem fordult elő, hogy időjárási okok miatt meg kellett volna szakítani útját. Még 1 m magas hullámokon is 50 km/ó feletti sebességgel képes haladni lényeges ütések, vagy lengések

nélkül. A 150 személyes hasonló szárnyrendszerű METEOR pedig a Fekete-tengeren állta ki sikeresen a legnehezebb próbákat is.



*Svéd hordszárnyas hajó siklólapokkal és stabilizáló szárnyval kombinálva.
A súly 90%-át a súlypont mögötti főszárny hordja.*

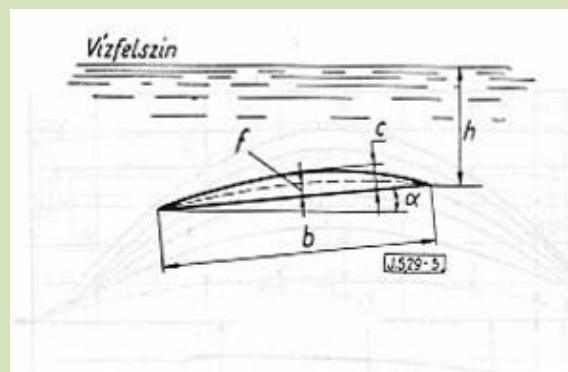
4. ábra

Az említett előnyök mellett döntő érv az is, hogy ezt a szárnyrendszert megfelelő pontossággal csupán elméleti számítások alapján is meg lehet tervezni és nem okvetlen szükséges a hosszadalmas és költséges modellkísérletek elvégzése.

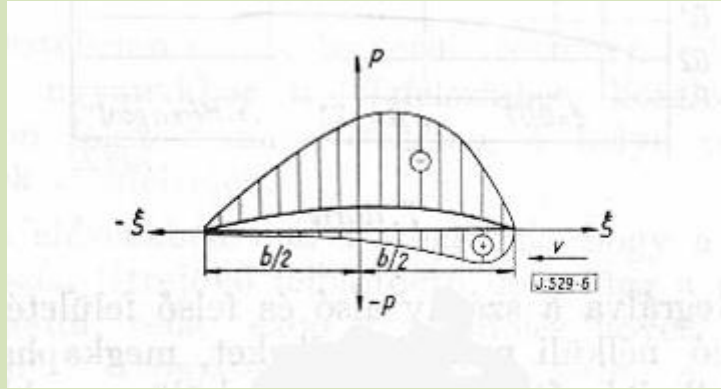
A továbbiakban ismerkedjünk meg az utóbbi szárnyrendszer rövid működési elvével.

Vizsgáljunk meg egy λ oldalviszonyú, α állásszögű hordszárnyat, amely ρ tömegsűrűségű végtelen víztérben a szabad felszín alatt azzal párhuzamosan h mélységben, v sebességgel halad.

A felhajtóerőt egy dimenzió nélküli tényezővel, az ún. felhajtóerőtényezővel jellemezhetjük.



5. ábra



6. ábra

$$C_y = \frac{Y}{\frac{1}{2}\rho v^2 S} \quad (1)$$

ahol Y – a felhajtóerő, S - a szárny felülete.

Ez a tényező többek között az alábbi paraméterektől függ:

$$C_y(\bar{h}) = C_y(\lambda, \bar{c}, \bar{f}, \alpha, \bar{h}, Fr) \quad (2)$$

ahol λ = az oldalviszony
 $\bar{c} = \frac{c}{b}$ = a profil relatív vastagsága
 α = geometriai állásszög
 $\bar{h} = \frac{h}{b}$ = a relatív merülés

Az egyszerűség kedvéért a felhajtóerőt ne az egész szárnyon, hanem csak annak középmetszetén elhelyezkedő egységnyi szélességű profilon tanulmányozzuk, úgy tekintve azt, mint egy végtelen fesztávú szárny profilját. Tételezzük fel, hogy a profil leáramlása sima, azaz nincs sem kavitáció, sem pedig áramlásleszakadás.

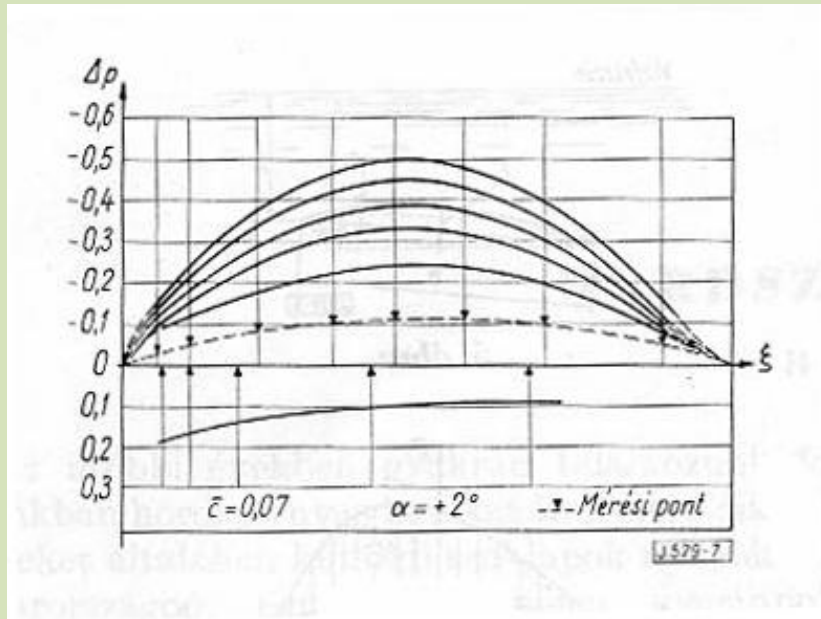
Amint az általános szárnyelméletből ismeretes, a felhajtóerő két részből tevődik össze.

$$Y = Y_{ny} + Y_{sz} = \int_{-\frac{b}{2}}^{+\frac{b}{2}} P_{ny} d\zeta - \int_{-\frac{b}{2}}^{+\frac{b}{2}} P_{sz} d\zeta = \int_{-\frac{b}{2}}^{+\frac{b}{2}} (P_{ny} - P_{sz}) d\zeta \quad (3)$$

ahol P_{ny} és P_{sz} a nyomó, illetve szívó oldalra ható relatív nyomás $d\zeta$ pedig a húrelem hossza

Ha a profil kerületén a nyomás nagyságát megmérjük, az eredmények alapján felrajzolható egy nyomáseloszlási diagram, mely annál pontosabb, minél több mérési pontot alkalmaztunk.

Kísérleti medencében egy adott profilt állandó sebességgel és α állásszöggel a vízfelszín alatt különböző mélységben vontatva az alábbi jellegű diagram rajzolható fel.



7. ábra

Integrálva a szárny alsó és felső felületén mért dimenzió nélküli nyomásértékeket, megkaphatjuk a profil felhajtóerőtényezőjét külön-külön az oldalakra, vagy együttesen.

Nagyszámú profil különböző állásszögeknél és változó sebsséggel történő vontatásánál a következő törvényszerűségeket sikerült feltárni:

1. a nyomóoldalon mért nyomás nagysága (ugyanúgy annak felhajtóerőtényezője) nem függ a merüléstől.

$$C_{y_{ny\bar{h}}} = C_{y_{ny\infty}} \quad (4)$$

ahol $C_{y_{ny\bar{h}}}$ - a nyomóoldal felhajtóerőtényezője \bar{h} relatív merülésnél

$C_{y_{ny\infty}}$ - ugyanaz végtelen víztérben

2. a szívóoldalon a nyomáseloszlás jellege minden mélységben azonos, azonban az egyes pontokban mért nyomás értéke a felszínhez közeledve csökken, különösen, ha a relatív merülés $\bar{h} < 2$
3. a szívó oldalon a nyomáscsökkenés jellege nem függ a profil alakjától sem az állásszögtől (ha az a kritikus határon belül van), sem pedig a vontatási sebességtől, hanem kizárólag a relatív merülés függvénye

$$\varphi = \frac{\Delta\bar{P}_{sz\bar{h}}}{\Delta\bar{P}_{sz\infty}} \quad (5)$$

ahol $\Delta\bar{P}_{sz\bar{h}}$ - a profil szívó oldalának tetszőleges pontján mért relatív nyomás \bar{h} mélységben

$\Delta\bar{P}_{sz\infty}$ - a nyomás relatív értéke ugyanott, de végtelen folyadékban mérve

A mérések alapján $\varphi = \varphi(\bar{h})$ görbe felrajzolható, sőt megfelelő pontossággal matematikailag is kifejezhető.

$$\varphi = 1 - e^{-2(\bar{h})^\chi} \quad (6)$$

ahol χ - a szárny oldalviszonyára jellemző állandó.

Mivel a felhajtóerőtényezők a profilon mért nyomás diagrammjának integrálásából adódnak, a fenti összefüggések alapján felírható, hogy

$$C_{y_{sz\bar{h}}} = \varphi \cdot C_{y_{sz\infty}} \quad (7)$$

A véges mélységben mozgó szárny felhajtóerőtényezője tehát:

$$C_{y_{\bar{h}}} = C_{y_{ny\infty}} + \varphi \cdot C_{y_{sz\infty}} \quad (8)$$

Ha meg akarjuk tudni, milyen lesz egy szélesatornában megfűjt, tehát ismert jellegű profil felhajtóerőtényezője $\bar{h} = \frac{h}{b}$ mélységben, elegendő tudnunk a szívó- és nyomóoldalra vonatkozó $C_{y_{ny\infty}}$ $C_{y_{sz\infty}}$ értékeket és az adott mélységben a φ nagyságát.

A különböző profilokra általában csak a $C_y = C_y(\alpha)$ görbét szokták közölni, ezért a nyomáseloszlást a nyomó- és szívóoldal között az áramlástanból ismert Komform leképzés útján számítással kell meghatározni.

A vízalatti hordszárnyaknak leginkább alkalmas profiloknál a szívóoldal felhajtóerőtényezője végtelen reális folyadékban

$$C_{y_{sz\infty}} = (1,01 \div 1,12)\bar{c} + (0,55 \div 0,60)C_{y_{\infty}} \quad (9)$$

Körszelet profilra gyakorlatilag elegendő pontosságú az alábbi képlet:

$$C_{y_{sz\infty}} = 1,06 \bar{c} + 0,56 C_{y_{\infty}} \quad (10)$$

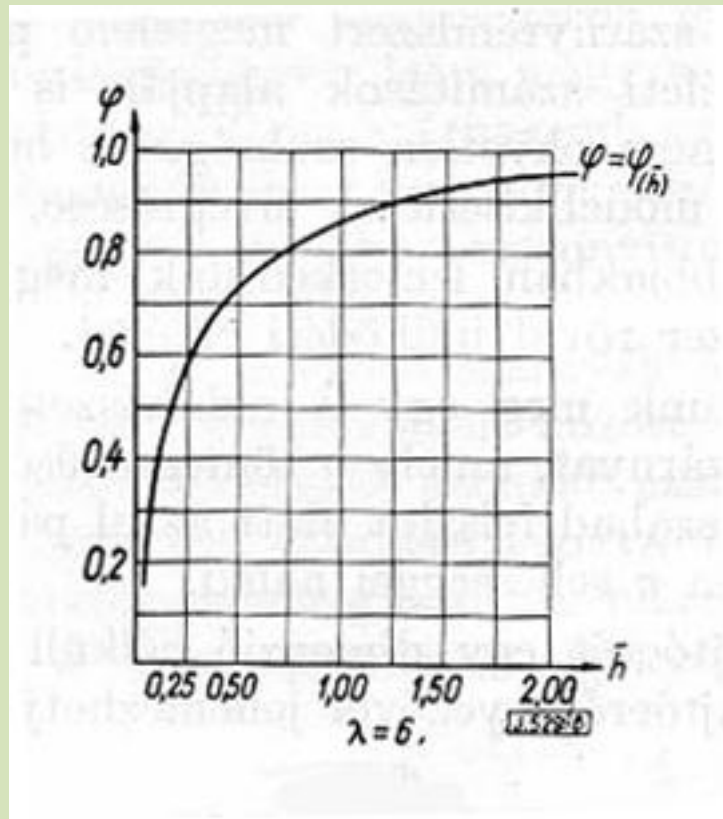
ahol $\bar{c} = \frac{c}{b}$ – a profil relatív vastagsága.

Körszelet profilok esetén tehát a (8) és (10) képlet segítségével könnyen meghatározható bármilyen h merülésű hordszárny felhajtóerőtényezője.

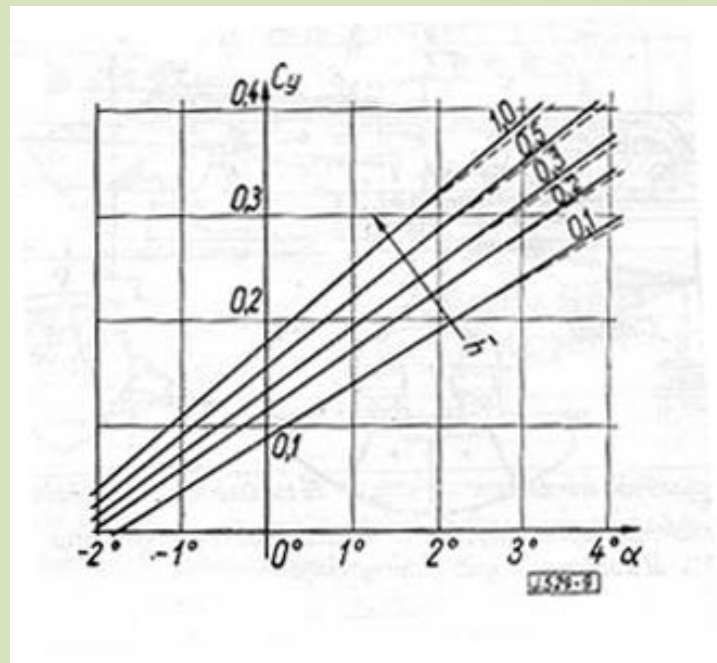
$$\begin{aligned} C_{y_{\bar{h}}} &= C_{y_{\infty}} - (1 - \varphi)C_{y_{sz\infty}} = \\ &= C_{y_{\infty}} - (1 - \varphi)(1,06\bar{c} + 0,56C_{y_{\infty}}) = C_{y_{\infty}}(0,44 + 0,56\varphi) - 1,06\bar{c}(1 - \varphi) \end{aligned} \quad (11)$$

Ha a kiindulásnál nem profilok, hanem megfelelően kialakított szárnymodellek végtelen folyadékra érvényes $C_y = C_y(\alpha)$ jelleggörbét használjuk fel, úgy a kapott eredmény is az egész szárnyra vonatkozik.

A 9. ábrán egy 6%-os $\lambda = 6$ oldalviszonyú körszeletprofilú hordszárny jellemző görbéi láthatók különböző h mélységekre átszámítva. A pontozott vonalak mérési eredmények.



8. ábra



9. ábra

Fentiek ismeretében nem nehéz elképzelni a vizsgált szárnyrendszer működési elvét. A hajótest orr és farrésze alatt 1-1 kb. azonos méretű hordszárny elhelyezést úgy, hogy azok felhajtóerejének eredője a hajó súlypontjában legyen.

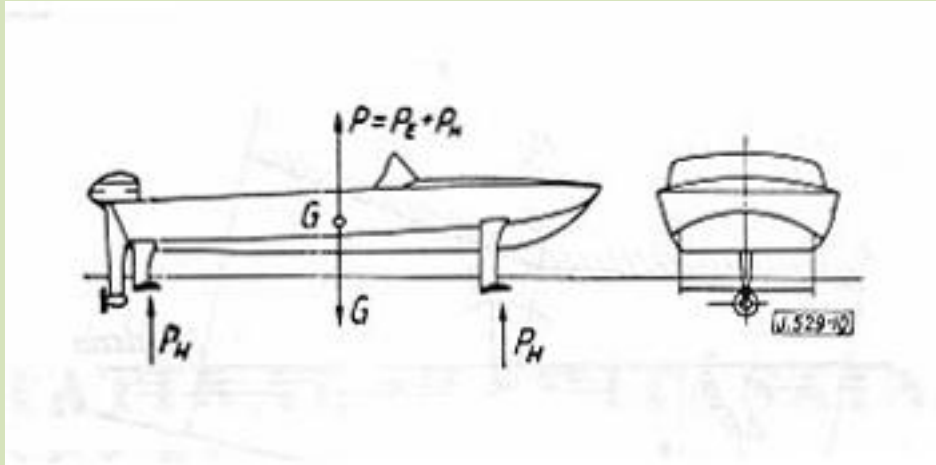
A szárnyak vízalatti felülete, valamint azok geometriai állásszöge a hajóhoz viszonyítva állandó, eltérően a többi szárnyrendszertől. Állásszög változás is csak az egész hajó eltrimmelődésekor következhet be.

Az (1) képletből következik, hogy a sebesség növekedésével a felhajtóerő négyzetesen növekszik, melynek következtében a hajó emelkedni kezd. Ugyanakkor a szárny közelebb kerül a vízfelszínhez és felhajtóerőtényezője a felszínhatás következtében intenzíven lecsökken. Megállapodott mozgásnál minden sebességhez tartozik egy \bar{h} merülés, ahol bekövetkezik a terhelő és felhajtóerők egyensúlya. Ha az egyensúlyi helyzet valamilyen oknál fogva (pl. az utasok átcsoportosulása miatt) megbomlik, a szárnyak automatikusan új helyzetet foglalnak el. A vízfelszín ilyen stabilizáló hatása annál nagyobb, minél kisebb a szárny relatív merülése, ami egyébként $\varphi = \varphi(\bar{h})$ görbéből is jól látható. Azonban bármennyire kívánatos is lenne a relatív merülést stabilitási okokból csökkenteni, a levegőleszívás és az ezzel járó áramlásleszakadás, valamint a kavitáció veszélye miatt nem tanácsos egy meghatározott értéknél lejjebb menni. Ez az érték a szárnyak abszolút méreteitől függően $\bar{h} = 0,2 - 0,4$ között lehet.

Érdekes megemlíteni, hogy a kísérleti csónak kb. 10-15 cm magas hullámokig volt képes 50 km/ó körüli sebességgel haladni, amiből arra lehet következtetni, hogy egy 20 tonna körüli hajónál 80-100 cm húr hosszú szárnyak mellett a hullámhatár kb. 1 m. Természetesen a sebesség csökkentésével a szárnyak merülése megnő és ezzel a hullámállóság tovább fokozható.

A hordszárnyak és azok tartólábai displacement úszás esetén hatásos lengéscsillapítónak bizonyultak.

A valamikor olyan nagy problémát jelentő oldalstabilitás kérdése a vízfelszín közelben mozgó hordszárnyaknál megoldottnak tekinthető. Amíg a „V”, „U” és emeletes szárnyrendszereknél (lásd a 2-4. ábrákat) éppen az oldalstabilitás érdekében a szárnyak fesztávolsága majdnem kétszer nagyobb a hajó szélességénél, addig az említett lapos hordszárnyak fesztávolsága még kisebb is lehet a hajótest szélességénél. A kísérleti csónak 1,3 m széles teste alatt a főhordszárny fesztávolsága csupán 1 m volt, s ennek ellenére az oldalstabilitás kielégítőnek mondható. A visszaállító nyomaték itt is akár csak a hosszstabilitásnál, a felszínhatás következtében jön létre.



10. ábra

Tételezzük fel, hogy egy adott h mélységben v sebességgel mozgó S felületű hordszárny egy M_a döntőnyomaték hatására θ szögben megdől. Az egyszerűség kedvéért tekintsünk el az oldalirányú kicsúszástól, és ugyanakkor a felhajtóerőt vegyük állandónak az egész szárny hossza mentén. A dőlés következtében a szárny bemerülő részein a felhajtóerő megnő, ugyanakkor a vízfelszínhez közeledő félszárnyon fokozatosan lecsökken, a helyi $\varphi = \varphi(\bar{h})$ értéknek megfelelően.

Az előzőekben már leszögeztük, hogy a szárny alsó részén létrejövő felhajtóerő nem függ a merülés nagyságától, tehát azon a megdőlés következtében visszaállító nyomaték nem jöhet létre. A visszaállító nyomaték teljes egészében a szárny szívooldalán keletkezik.

Vizsgáljuk meg az A ponttól z távolságra levő elemi szárnyrész felhajtóerejének alakulását (1), (6), (8) képletek figyelembevételével.

$$\Delta P = C y_{\bar{h}} \cdot \frac{\rho v^2}{2} \cdot b \cdot \Delta z \quad (12)$$

$$\text{tehát } C y_{\bar{h}} = C y_{ny\infty} + C y_{sz\infty} [1 - e^{-2(\bar{h})^x}]$$

$$\bar{h} = \frac{h}{b} \text{ ahol } h = h_A + \Delta h$$

$$\text{viszont } \Delta h = z \cdot \sin\theta \text{ és } \bar{h} = \frac{h_A + z \cdot \sin\theta}{b} \quad (13)$$

$$\text{ahonnan } C y_{\bar{h}} = C y_{ny\infty} + C y_{sz\infty} \left[1 - e^{-2\left(\frac{h_A + z \cdot \sin\theta}{b}\right)^x} \right]$$

Az elemi szárnyrész felső részén létrejött felhajtóerő nyomatéka az X tengelyre:

$$\Delta M_x = z \cdot \Delta P_{sz} =$$

Az integrál közelítő eljárással történő megoldása után kis dőlésszögeknél ($\theta = 1 - 4^\circ$) gyakorlati szempontból elegendő pontosságú eredményt kapunk.

A képlet vizsgálatából leszögezhetjük, hogy a vízfelszín közelében mozgó hordszárnyak stabilizáló hatása annál nagyobb, minél kisebb a relatív merülés, minél nagyobb a sebesség és a szárny fesztávolsága.

Általában a hordszárnya hajónál úgy az oldal, mint a hosszstabilitás a hajótest vízből való kiemelkedése pillanatában a legkisebb, amikor a sebesség még viszonylag nem nagy, a szárnyak távol vannak a felszíntől, viszont a hajó már nem rendelkezik a statikus állékonysághoz elegendő vízvonalterülettel. A gyakorlatban különböző stabilizáló segédzsárnyak, siklólapok, vagy más megoldások segítségével aránylag könnyen át lehet jutni ezen a stabilitási krízis ponton is.

A kísérletek során még sok olyan problém merült fel, amelyet ez ideig nem sikerült teljes mértékben tisztázni, azonban –mivel csak másodrendű fontosságúak- , ismertetésükre itt nem térünk ki.

A most épülő 1,5 tonnás kísérleti hordszárnyas kishajó próbái minden bizonnyal további érdekes adatokat fognak majd szolgáltatni egy magyar hordszárnyas személyhajó megtervezéséhez. E hajó ismertetését a kísérletek befejezése után e folyóiratban ugyancsak közölni fogjuk.
