

Hordszárnyas hajók hazai fejlődése

Beledi Dezső

Keszthelyi Tibor

Okl. gépészmérnökök

Magyar Hajó- és Darugár Váci Gyáregysége

Szerkesztési Osztály

A magyar Hajó- és Darugár váci gyáregységében 1959 óta folytatnak eredményesen kísérleteket a hazai hordszárnyas hajótípusok kifejlesztésére. A tanulmány a hazai és nemzetközi fejlődés áttekintése után főleg a 60 személyes hajó kialakításával foglalkozik, melynek tervezését 1961. év folyamán kezdtük el. A hajó teljes hossza 24,2 m, hajótest szélessége 4,2 m, teljes szélessége 6,5 m, utazósebesség 55-60 km/óra. A hajótest ALMg 4 ötvözetből készült. A szilárdsági vizsgálatok megfelelő eredményt mutattak a hosszszilárdsági ellenőrzésnél, a fedélzeti koszorú vizsgálatánál, valamint a harántszilárdsági ellenőrzésnél egyaránt.

A hajókkal szemben támasztott egyre növekvő sebességek követelmény különleges hajótípusok kialakulásához vezetett. A ma még kialakulóban levő új típusok közül világszerte terjednek a hordszárnyas hajók.

A szovjet tapasztalatok felhasználásával az MHD Váci Gyáregységében 1959 óta folytatunk eredményes kísérleteket a hazai hordszárnyas hajótípusok kifejlesztésére. A következőkben vizsgáljuk a gyáregység által tervezett, illetve megépített típusokat, így első sorban a 60 személyes hordszárnyas vizibuszt és a 2 személyes farmotoros szárnyas „NIXY” túracsónakot.

Még az utazóközönségnek is feltűnik, hogy szépvonalú modern folyami vagy balatoni hajóink sebessége alig haladja meg a 80-100 évvel ezelőtt épült gőzösök sebességét. Ismerve a folyadékban mozgó test ellenállására vonatkozó fizikai törvényeket, belátható, hogy belvizeken a hagyományos (displacement) hajókkal még gazdaságosan elérhető sebesség, optimális hajóméreteknél is, legfeljebb 20-25 km/óra lehet. ez a sebesség kismélységű viziútjainkon –hasonlóan a repülőgépeknél ismert hangfalhoz – a hagyományos módszerekkel nem léphető túl.

A különféle közlekedési eszközök sebességének fokozásában kialakult versengés, az egyre növekvő sebességigény arra készítette a hajótervezőket is, hogy a legkülönfélébb módokon próbálják a fent említett sebességhatárt áttörni. Megszülettek a sikló, a hordszárnyas, a légpárnás hajótípusok és kezdenek elterjedni a kéttestű „katamaránok” is. Mind a négy

megoldás a hullámképződés, illetve a hullámképzésre fordított energiát igyekszik csökkenteni.

Az első három megoldásnál a hajótestet a víz felszínére, illetve fölé emelik, a negyediknél a két részre bontott hajótestet alakítják az átlagosnál sokkal karcsúbbra és ezáltal érnek el kisebb hullámképző ellenállást.

Az első három konstrukció ma még csak viszonylag kis hajóknál (25-80 tonna) alkalmazható, a katamarán megoldás viszont éppen a nagyobb, 1000 tonna feletti vízkiszorításoknál vezet lényeges eredményhez. Valamennyi elgondolás közül jelenleg a legjobb hatásfokkal a hordszárnyas hajók üzemeltethetők, ezért ez a típus terjedt el leginkább. Ma világszerte már több száz hordszárnyas hajó bonyolít le rendszeres forgalmat, de sorozatgyártásukkal mindössze néhány ország foglalkozik.

Négy országban: a Szovjetunióban, Olaszországban, Japánban és az USA-ban foglalkoznak nagyobb mértékben hordszárnyas hajók építésével. A Szovjetunióban kb. 10 hajótípust építettek 6-300 személy befogadóképességgel, belvízi és tengeri használatra, összesen több, mint 100 db-ot. Olaszországban a Rodriquez cég Suppromár tervek alapján 1955 óta épít és exportál hordszárnyas hajókat számos országba. Japánban ugyancsak a Suppromár (Schertel-Sachsenberg) licenc alapján építenek hordszárnyas hajókat igen nagy választékban. Az USA-ban ma még elsősorban katonai rendeltetésű hordszárnyas hajókkal folynak kísérletek, de már egyre több jel mutat arra, hogy a polgári hajózásban a kis sporthajók mellett nagyobb utasszállító egységeket is üzembe állítanak. Kisebb sorozatokban kísérleti jellegű hajókat még számos országban építenek. Így Norvégiában, Franciaországban, Nyugat- és Kelet-Németországban, Lengyelországban, Csehszlovákiában, Kínában stb.

A hordszárnyas hajók építésének fejlődése a Szovjetunióban felülmúlja a nagy hajóépítő országokat is. A Szovjetunió folyamhálózatán igen nagy személy- és teherforgalmat bonyolítanak le, sőt sok esetben – elsősorban a ma még kiépítetlen szibériai vidékeken – a víziutakon bonyolítják le a forgalom 90%-át. Ott, ahol nincs versenytárs, a gyors hordszárnyas hajók igen nagy kihasználási százalékkal, gazdaságosan üzemeltethetők. (Figyelembe véve, hogy a rendelkezésre álló hazai motor és nyersanyagbázis olcsó építési árat eredményez.) A Szovjetunióban már ma is több száz hajót tudnának forgalomban tartani jó gazdaságossági mutatókkal, különösen akkor, ha a hajótípusokat szélesebb választékban az egyes víziutakhoz jobban hozzáhangolva tudnák kialakítani.

Hazai viszonylatban a belső piac nem nagy, hiszen víziútjaink harmadrendű szerepet töltenek be, főként az utasforgalomban. Mégis egyes vonalakon, mint pl. Budapest-mohács, vagy Budapest-Bécs (itt primőr áruszállítás is szóba jöhet), vagy a Balatonon, becslésünk szerint kb. 8-10 db hordszárnyas hajót lehetne üzemeltetni. Figyelembe véve a hazai nyersanyagbázist és az alumínium hajógyártásban elért eredményeinket, célszerűnek látszott az önálló hordszárnyas hajó építési program beindítása, még akkor is, ha építendő hajóinkhoz a főmotorokat import útján kell beszerezni. A hajótípus kialakítása bonyolult műszaki problémákkal jár, azonban licenc megvásárlása esetén sem hidalhattuk volna át a gyártás

beindításával járó, elsősorban technológiai jellegű nehézségeket. A gyáregység kislétszámú műszaki gárdája a szovjet tapasztalatok felhasználásával kezdte munkáját és sok segítséget kapott a Szovjetuniótól közvetlenül szakértők útján is. Csak így volt lehetséges, hogy 3-4 mérnök és technikus 3 év alatt négy kísérleti csónakot tervezett és befejezte a 60 személyes hordszárnyas hajó terveit is.

1959 őszén tettük vízre az első kísérleti hordszárnyas csónakot, melyen azt a szárnyrendszert próbáltuk ki, amelyet tisztán elméleti számítások alapján terveztünk, mintegy igazolására a számítási eljárás helyességének (1. ábra). A csónak súlya 2 utassal 400 kg volt és 18 LE-s farmotorral csúcsban elértük az 56 km/ó sebességet. Maga a szárnyrendszer a felszínhatás elvén stabilizált kismerevű változathoz tartozik, amelynek elvi ismertetése az (1) és (2) munkákban található meg.



1. ábra. Kísérleti csónak a felszínhatás elvén stabilizált kismerevű szárnyakkal

A csónakon próbáltunk vízfelszín áttörő V szárnyakat is, de az oldalstabilitás hiánya miatt ezt a változatot elvetettük. Ugyancsak elvetettük a lapos fő-hordszárnyakhoz csatlakozó vízfelszín áttörő stabilizáló szárnyakat is, amelyek a nagy fröccsképződés miatt jelentősen megnövelték az ellenállást (2. ábra).

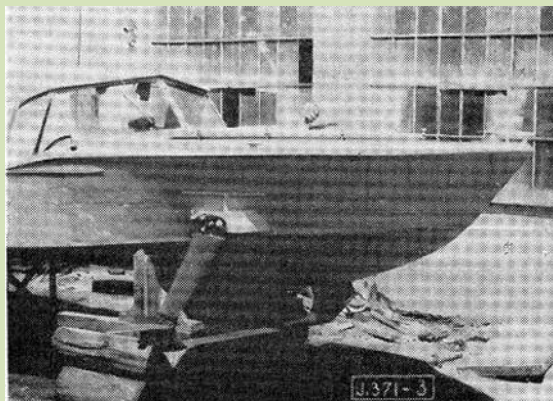


2. ábra. Felszínhatás elvén stabilizált lapos főhordszárnyak vízfelszín áttörő stabilizáló szárnyakkal kombinálva

A kísérleti csónak utolsó változatán a hordszárny szerkezet lényegében azonos volt, a 60 személyes hajóéval, amelyet később ismertetünk. 1961-ben és 1962-ben próbáltuk ki a HSz-2 jelű, 1500 kg súlyú beépített motoros kísérleti hajónkat. A beépített gépkocsi motor teljesítménye névlegesen 80 LE volt, azonban a hajóban nem tudta ezt a teljesítményt nyújtani. A névleges motorteljesítményhez tartozó sebességre (65-70 km/óra) tervezett szárnyak felülete a ténylegesen kifejtett 50 LE teljesítménynél és az ehhez tartozó 56-58 km/ó sebességnél kevésnek bizonyult és a csónak a hullámokon nehezen gyorsult fel, illetve nem volt elég stabil. A szárny hidrodinamikai méretezése azonban itt is kielégítően sikerült kizárólag elméleti számítások alapján. Ennek a kísérleti csónaknak elsősorban a propulziós komplexum és a kormánymű kialakításánál vettük sok hasznát. Sima vízben (maximum 10-15 cm-es hullámokkal) féltelheléssel a sebesség 60 km/ó fölé emelkedett, ami 50 LE csavarteljesítményt véve alapul a hordszárnyak igen magas siklószámára enged következtetni. $\eta=0,5$ -es csavarhatásfok esetén

$$K = \frac{D}{W} = 13,2$$

Ahol „K” a hajó szárnyrendszerének jóság foka; „W” ellenállás szárnyakon történő haladásnál; „D” vízkiszorítás (3. ábra).



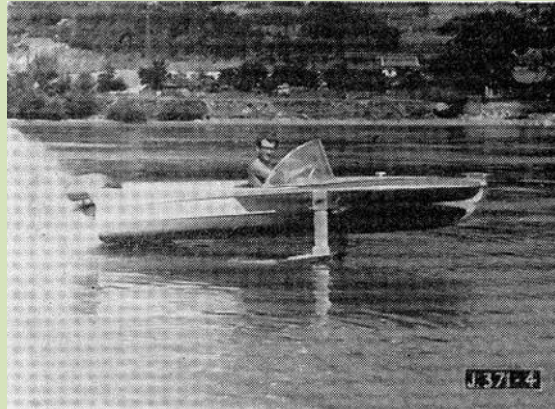
3. ábra. HSz-2 beépített motoros kísérleti hajó

Főleg az első kísérleti csónak bemutatójánál tapasztalt nagy népszerűség arra ösztönzött bennünket, hogy hasonló nagyságrendű, sorozatban gyártható sport-, illetve túracónak hordszárnyas változatát alakítsuk ki. A gyáregységénél már sorozatban gyártott alumínium építésű kétszemélyes NIXY túracónaktest jelentéktelen megerősítéssel alkalmasnak bizonyult erre a célra. A túra követelményeket leginkább egy felhajtható szárnyrendszer elégítette ki, amely lehetségessé teszi az egész sekély vizen való áthaladást, illetve a parthoz, vagy partra való kiállást is. Ez a csónak, bár a felhajtható szárnyak hidrodinamikai minősége a sok szabad szárnyvégen fellépő örvény vesztesége miatt rosszabb, mégis a 405 kg összsúly és 15 LE-s farmotor esetén, 52-53 km/ó sebesség elérésére alkalmas. (Ez kb.

$$K = \frac{D}{W} = 10$$

értéknek felel meg, ami ilyen kis csónakoknál jónak mondható.) Ez a típus sorozatgyártásra is került és 50 darabot Norvégiábaadtunk el belőle. Nagyobb csónakoknál (4-6 személy) ez a szárnyrendszer tovább javítható és a számítások szerint egy 600-700 kg összsúlyú csónakkal

40 LE motorteljesítménynél 65-70 km/ó sebesség is elérhető, emellett javul a hullámállóság is. A hordszárnyas NIXY hasonlóan a többi kísérleti csónakhoz szintén felszínhatás elven működik, azonban a felhajthatóság miatt a mellső szárny bontott, azaz nem egy összefüggő nagy nyújtottságú mellső szárnya van, hanem két nyilazott oldalszárnya, ugyanakkor a szárnyakat siklófelületekkel kombináltuk (4. ábra).



4. ábra. A sorozatban gyártott hordszárnyas „NIXY” túracsónak

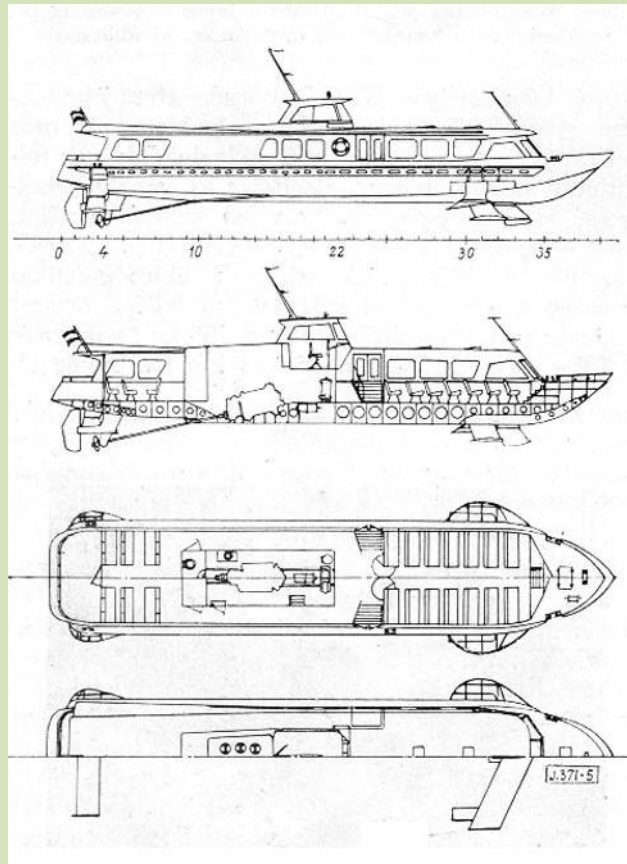
A kísérleti csónakokkal elért kedvező eredmények alapján kezdtük meg 1961 végén a 60 személyes hordszárnyas hajó terveinek kidolgozását. A hajó gyáregységünkben már megépült és sikeresen túljutott az első futópróbákon.

A 60 személyes hordszárnyas hajó műszaki adatai

Jellemző adatok

Vízkişorítás	25 tonna
Teljes hossz	24,2 m
Függélyek közötti hossz	20,0 m
Teljes szélesség	6,5 m
Hajótest szélessége	4,2 m
Szabad oldalmagasság állóhelyzetben	1,3 m
Állómerülés teljes terhelésnél	1,8 m
Merülés üzemi sebességnél szárnyakon	1,1 m
Utazósebesség	55-60 km/ó
Max. motorteljesítmény	1200 LE
Ülőhelyek száma	60
Személyzet száma	3 fő
Hatótávolság kb.	250 km

Általános elrendezés (5. ábra). A hajó egy kettősfenék rendszerű úszótestből, a közvetlen ráépített könnyű felépítményből és a hajótestre felszerelt hordszárnyakból áll. A kettős fenék egyben az utastér padlóját képezi.



5. ábra. A Magyar Hajó- és Darugár Váci Gyáregységében tervezett és megépített 60 személyes hordszárnyas hajó általános elrendezése

Az utastér beosztása a következő:

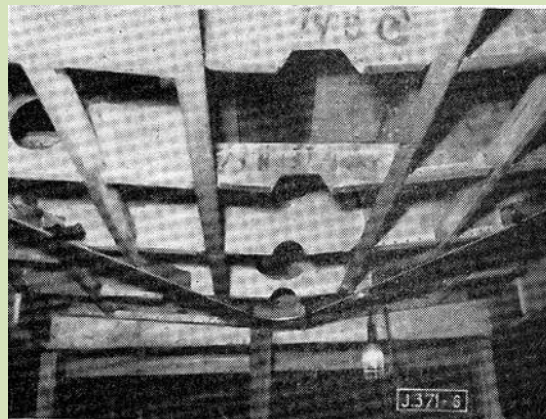
Mellső utastér	(42 ülőhely)
Hátsó utastér	(18 ülőhely)
Farkosár	(kb. 5,8 m ²)
Összekötő folyosók	

A hajó középgepteres. A kormányállás a géptérbe felülről részben belesülyesztve helyezkedik el. A kormányállás előbbre történő elhelyezése navigációs szempontból nem indokol, egyrészt mert jelen elrendezésnél a hajó előtti holtzóna befutási ideje így is mindössze 2-3 másodperc, másrészt mert manőverezésnél jól érzékelhető a hajó helyzete. A fenti elrendezés további előnye, hogy egyszerű megoldást biztosít a motortávvezérlésre. A WC és raktár helyiség a géptár hátsó falához csatlakozik. Az orrtér az orrfedélzetről búvónyíláson át közelíthető meg.

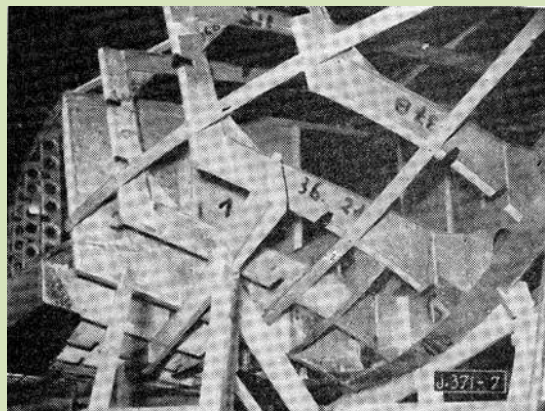
A hajótest kialakítása. A hajótest hosszú párhuzamos középrésszel és siklóhajó jellegének megfelelő szögletes bordákkal épül. A hajótest vízalatti részét az orr kivételével sík felületek határolják. Az oldalak függőlegesek, a fenéksíkok 5°-os szögben emelkednek keresztirányban. A hajó egyenes gerincsorral épül. A hajó fenekét két lépcsőzés teszi tagoltá. A 4. bordánál a lépcsőzés keresztirányú, míg a 10. bordán levő tengelykilépéstől a 16. bordáig

előre nyúló lépcső csúcsával a far felé mutató, fekvő „V” alakú. A lépcsőzésnek az a célja, hogy egyrészt kiemelkedésnél meggyorsítsa és határozottabbá tegye a víz elválását a fenéktől, másrészt, hogy az esetleg felcsapó hullámok ne tudjanak az egész fenék hosszában fékezőleg végigfutni. A lépcsők magassága 80, illetve 100 mm. A hajónak vízmentes kettősfeneke van a farkosártól az ütköző (kollíziós) falig, kivéve a gépteret. A géptér külön vízmentes tér. A kettősfenek alatti teret 6 vízmentes válaszfal úgy osztja fel, hogy bármely rekesz lékesedése esetén az utastéri padlószint az úszásvonal felett marad.

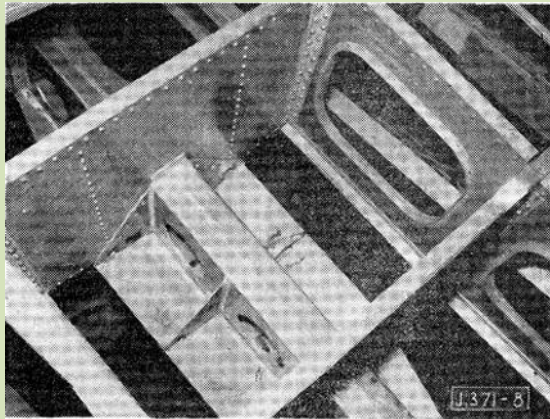
Szerkezet. A szerkezet kialakításánál a megfelelő szilárdság biztosítása mellett fő törekvésünk a minél kisebb súly elérése volt. A hajótest vegyes, kereszt- és hosszborða rendszerben épült, mint ez a 6. ábrán is látható. A fénykép a héjalás nélküli hajófeneket ábrázolja alulról a „V” alakú lépcsőzés csúcsával, mely egyben tengelykilépésül szolgál. A hosszborðák sajtolt Z profilok, osztásuk 300 mm, a keresztborðák lemezből készülnek élhajlítón peremezve és könnyítõ lyukakkal ellátva. A borðaosztás a géptérben 500 mm, az utasterekben 700 mm. A keresztborðák a géptéri borðákat kivéve teljesen hegesztett kivitelűek. A szerkezet egyébként vegyes építésű, részben hegesztett, részben szegecselt. A hajó közepén 2 db, a kettősfenek magasságáig terjedő hosszmerítõ fut végig, mely a géptérben megfelelően megerősítve, gépalapul is szolgál. A szárnyak felerősítésénél megerősített keresztborðákat alkalmaztunk, ezek végéhez egy belsõ merítõkkel ellátott dobozszerkezet csatlakozik, a 7. ábrán látható módon. Az elsõ szárny középsõ lábát alátámasztó szerkezet, felülrõl nézve, a 8. ábrán látható.



6. ábra. Fenékszerkezet a tengelykilépéssel



7. ábra. A 60 személyes hordszárnyas hajó építés közben.
A kép balszélén a mellső szárny bekötésére szolgáló
dobozszerkezet látható



8. ábra. A mellső szárny középső tartólábának bekötésére
szolgáló szerkezet felülnézetben

A felépítmény könnyű kivitelű vegyes, szegecselt és hegesztett szerkeze, melynél a hajótesthez felhasznált Z profilokat alkalmaztuk.

Főüzemi berendezés. Főmotorként a hajóba egy szovjet gyártmányú M50 F-3 ** típusú 12 hengeres 4 ütemű feltöltéses Diesel-motort építettünk be. Teljesítménye 1200 LE, fordulatszáma 1850 f/perc. Az irányváltó redukciós viszonyzáma előre 1:1, hátra 1:0,8. A motor száraz súlya irányváltóval és egyéb tartozékokkal 1700 kg. A motor hűtése két vízrendszerű, külső és belső körrel. Indítás levegővel, míg az irányváltás és a töltésszabályozás hidraulikus távvezérlő berendezéssel történik a kormányállásból.

Segédüzemi berendezés. A villamos energia igényt egy 5,1 kW-os egyenáramú dinamóval egybeépített szovjet gyártmányú DGK N10-3 típusú Diesel-motor látja el. A motor kéthengeres négyütemű, 10 LE teljesítményű, fordulatszáma $n = 1500$ /perc.
A segédüzem indítása akkumulátorról történik. A főmotor beindításához szükséges kenőolaj és üzemolaj nyomást villanymotortal hajtott szivattyúk biztosítják. A DGK N10-3 típusú Diesel-motor hajtja az indító légpalackokat töltő kompresszort is.

Elektromos berendezések. A hajón kétvezetékes 24 V-os egyenáramú rendszer van. A savas kivitelű akkumulátor telepek töltését a főmotorra szerelt 28V 1,5 kW-os shunt dinamó automatikusan végzi. Ha a hajó nincs üzemben, parti árammal, szelén egyenirányítón keresztül is tölthetők az akkumulátorok. Az utasterek világítását és a kormányállás fűtését, valamint az egyéb fogyasztók energiaszükségletét a segédüzemről hajtott 28V 5,1 kW-os egyenáramú dinamó látja el. Minden fogyasztó a kormányállásból vezérelhető. Itt nyer elhelyezést egy erősítővel kapcsolt Gullivox típusú rádió vevőkészülék is. A vett műsor és a kormányállásban levő mikrofon az utasterekben felszerelt hangszórókra kapcsolható.

Jelzőberendezések. A hajón az előírt jelzőlámpákon kívül 1 db 250 W-os, csuklósan felszerelt fényszórót alkalmazunk a kormányállás tetején. A hajó két oldalán nagyteljesítményű villanólámpákat helyezünk el, ezek nappali megvilágításnál is jól észlelhető fényjelet adnak. A jelzőberendezéseket egy villamos működtetésű, membrános kürt és egy sziréna egészíti ki. A kormányállás és a géptér közötti kapcsolatot retúrscengővel biztosítjuk.

Kormányberendezés. A kormány működése csőtengelyek és fogaskerék áttételek közvetítésével kézi erővel történik. A kormánygép differenciálcsavaros megoldású. A kormány nedvesített felülete úszásnál $F_1=1,21 \text{ m}^2$, szárnyakon haladva $F_2=0,72 \text{ m}^2$. A kormánylapát középhegységéből mindkét irányban 35° -os max. kitérést tehet a kormánykerék 4-4 körülfordulására. Szárnyakon haladva a szükséges maximális kormánylapát kitérés kb. 5° -os a középhegységtől mindkét irányban.

Horgony. A hajót 1 db könnyű (66 kg-os) billenőkapás hegesztett horgonnyal láttuk el.

Terek burkolata és berendezés. Az utasterek burkolatául ablak magasságig színes „dekorplatte” lemezt alkalmazunk, a mennyezet pedig műbőrrel kárpitozzuk, mely jó hangelnyelő tulajdonságú. A kormányállás burkolata megegyezik az utasterek burkolatával. A gépteret belülről nem gyulladó, zajszigetelő „Caborit” lapokkal burkoljuk.

Szárny szerkezet. A hajótest orr és farrésze alatt az alapsíkkal párhuzamosan egy-egy úgynevezett lapos hordszárny nyer elhelyezést azzal a rendeltetéssel, hogy adott sebesség elérése után a hajótestet a vízfelszín fölé emelje. Hidromechanikai szempontból a szárnyak a vízfelszín közelében mozgó önvezérlésű szárnyrendszerek csoportjához tartoznak. Ez azt jelenti, hogy menetközben a szárnyak állásszöge az alapsíkhhoz viszonyítva állandó, azaz nincs szükség mechanikus vezérlésre. A terhelő és felhajtó erők egyensúlya különböző sebességeknél a szárny felhajtóerőtényezőjének módosulásán keresztül önmagától beáll. A hordszárnyak nem metszik át a felszínt, teljes felületükkel állandóan az alatt maradnak. Üzemsebességnél a szárnyak a szárnyak felső oldala kb. 0,3 szárnyhúrhossznyira marad a felszín alatt. A profilkiképzés parabola szelet alakú. A szárny alsó lapja teljesen lapos, a felső oldal maximális domborulata a profil mellős élétől a hossz 40%-ánál van. A belépő és kilépő élek nincsenek legömbölyítve, részben hidrodinamikai okokból, részben azért, hogy az úszó szennyeződések könnyebben elvágják. A mellső szárny 25° -os nyílazással készül, az oldalstabilitás növelése céljából a fordulóknál. A nyílazás egyébként kívánatos a mellső szárny öntisztítása szempontjából is. A farszárny egyenes kiképzésű. A szárnyakat acéllemezből hegesztés útján állítják elő. A szárnyak hordfelületét a hajótesttel 3-3 áramvonalazott tartóláb köti össze. A tartólábak alsó részei mereven rá vannak hegesztve a szárnyakra. A hajótesthez közvetlenül csatlakoznak a tartólábak felső részei. Az alsó és felső részek peremei csavarokkal kapcsolódnak egymáshoz. Minden csatlakozó pontban a peremek közé a szárny állásszögének megfelelő ékalakúra kiképzett acél betét kerül. A betétek cseréjével változtatni lehet a szárnyak állásszögét. A hátsó középső tartóláb egyúttal a tengelybak szerepét is betölti, sőt meghosszabbított nyúlványa támaszul szolgál a kormánylapát rögzítéséhez. Ennek a lánknak a belsejében helyezkedik el a hűtővíz felvételére

szolgáló szívócső. A mellső szárny két oldalsó tartólábára csatlakozik a kb. 8-10° alatt megdöntött stabilizáló felület. Ezek a sítalpszerűen kialakított siklófelületek üzemsebességnél nem érintik a sima vízfelszínt, azonban fordulóokban és hullámos vízfelületnél adalék felhajtóerőt, illetve visszaállító nyomatékot biztosítanak.

A hajótest szilárdsági vizsgálata.

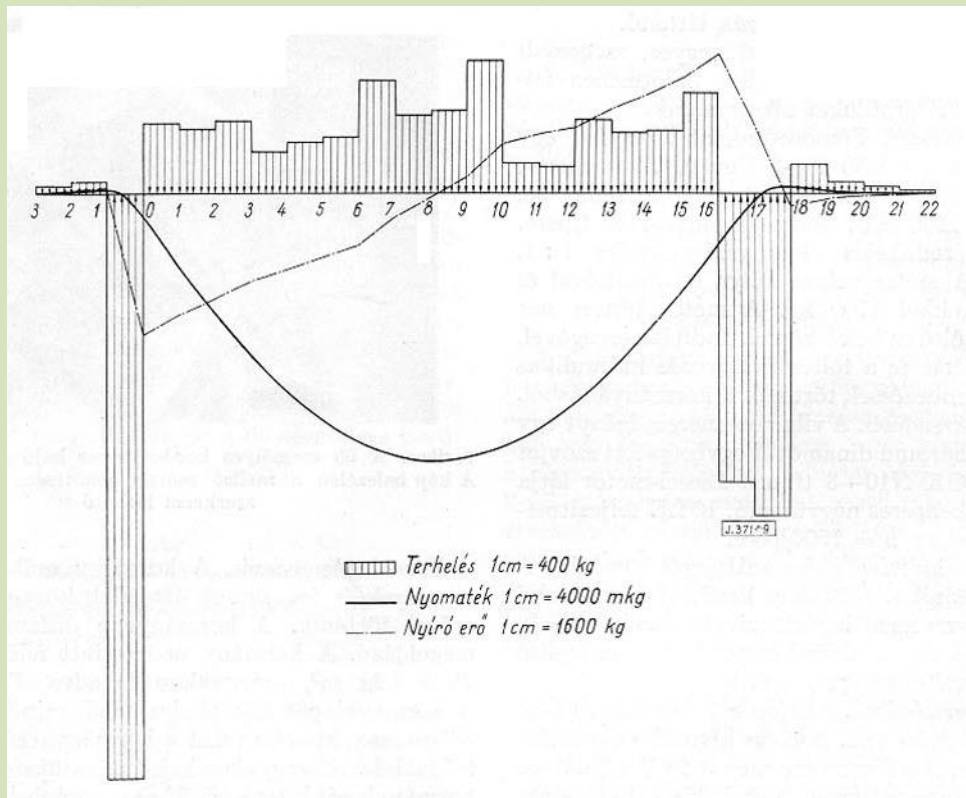
A hajótest teljes egészében AlMg4 ötvözetből készül, melynek szilárdsági jellemzői a következők:

$$\begin{aligned}\sigma_B &= 24 \text{ kg/mm}^2 \\ \sigma_{0,2} &= 10 \text{ kg/mm}^2 \\ \delta &= 17\%\end{aligned}$$

Hossz-szilárdság ellenőrzés. A hossz-szilárdsági ellenőrzés a hajótestben ébredő feszültségek meghatározását tartalmazza szárnyakon történő haladásnál. Az első lépés a végleges rajzdokumentáció alapján az elméleti bordaközökre jutó súlyterhelések meghatározása a hajó teljes terhelésénél. A továbbiakban bordánkénti súlyelosztásból a terhelt hajó hosszirányú súlypontját, majd ennek ismeretében az első és a hátsó szárnyon ébredő szükséges felhajtóerő nagyságát számítottuk. A terhelt hajó számított összsúlya 24 575,2 kg. Súlypontjának hosszirányú kordinátája 1,155 m a főborda mögött. Az összsúly megoszlása a szárnyakon:

$$\begin{aligned}\text{Az első szárnyon } E &= 13\,122,74 \text{ kg (53,40 \%)} \\ \text{a hátsó szárnyon } H &= 11\,452,47 \text{ kg (46,60 \%)}\end{aligned}$$

A hajótestre ható eredő terhelések ábrájának felrajzolása után (9. ábra) az eredő terhelésekből az egyes keresztmetszetekben a nyíróerőt és a nyomatékot a trapézsabály alkalmazásával számítottuk. A nyomatéki ábra ismeretében megállapítható, hogy a hajlítás szempontjából veszélyes keresztmetszet 8. elméleti (18. szerkezeti) bordánál van, ahol a fellépő nyomaték maximum: $M_{\max} = 45,24 \text{ tm}$. A fellépő maximális nyomaték hatására ébredő feszültségeken kívül a 10. elméleti (22. szerkezeti) bordánál fellépő feszültségeket is ellenőriznünk kell, mert a hosszirányú géptérfal itt végetér s a hajlító nyomaték $M_{10} = 43,53 \text{ tm}$.



9. ábra. A hajótestre ható eredő terhelések, a nyíróerők és a nyomatékok ábrája

A másodrendű nyomatékok és keresztmetszeti tényezők számítását táblázatosan végeztük a fenti két keresztmetszetre. Ezeknél a számításoknál a felépítményt, mint hosszszilárdságot adó elemet nem vettük figyelembe, a 8. elméleti bordánál a géptér hosszirányú oldalfalának pedig csak a kettősfenék alatti részével számoltunk. A fenti számítások eredményei a következőkben foglalhatók össze:

A 8. elméleti bordánál

húzófeszültség: $\sigma_{H8} = 233,71 \text{ kg/cm}^2$
nyomófeszültség: $\sigma_{Ny8} = 351,41 \text{ kg/cm}^2$

A 10. elméleti bordánál

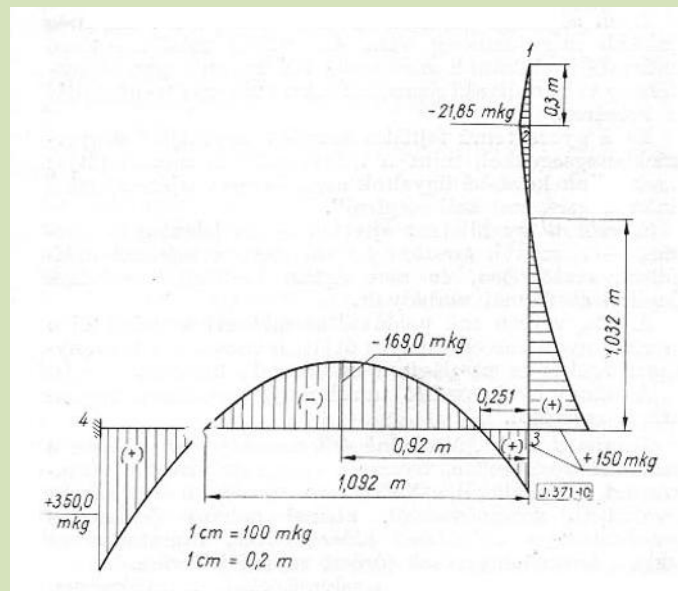
húzófeszültség: $\sigma_{H10} = 147,59 \text{ kg/cm}^2$
nyomófeszültség: $\sigma_{Ny10} = 209,01 \text{ kg/cm}^2$

A fedélzeti koszorú vizsgálata kihajlásra. Szárnyakon történő haladásnál a fedélzeti koszorút a hajótest hajlításból eredő nyomó igénybevétel terheli kihajlásra. A fedélzeti koszorú kihajlásának számítása rugalmas párnán nyugvó karesú, két végén központosan terhelt, kihajlásra igénybevett rúd esetére vezethető vissza. A rugalmas alátámasztásokat a kettősfenék szintjén befogottnak tekinthető oldalbordák adják, ezek osztása a kihajló hosszhoz képest oly kicsiny, hogy rugalmas összefüggő párnaként fogható fel. Az idevonatkozó szakirodalom (3) alapján végzett számítás szerint a fedélzeti koszorú csak olyan nagy erő hatására hajlana ki, mely az anyagot folyási határán túl terhelné. Így a maximálisan

megengedhető nyomóerő nagyságát csak az anyag folyási határa szabja meg. A folyási határral számított biztonság a fedélzeti koszorúra 2,84-szeres.

A „0” elméleti bordánál a fellépő maximális nyíróerő hatására ébredő feszültség : $\tau_{\max} = 1941,29 \text{ kg/cm}^2$.

Harántszilárdsági ellenőrzés. A keretszámítás a géptéri szakasznál alkalmazott bordatípusra végeztük el. Itt ugyanis a padlózat majdnem a géptér teljes hosszában felszedhető az üzemanyagtartályok miatt, így a kettős fenék merevítő hatása nem érvényesül. Eltekintettünk továbbá a géptér oldalfaloknak és a gépalapoknak a bordakeretre nézve tehermentesítő hatásától és feltételeztük, hogy az úszó hajótest oldalát 1 m magas hullám éri, mely a dörzsléc felső szintjéig emelkedik. Éltünk azzal a feltevessel, hogy a fedélzeti koszorú torziót nem vesz fel, vagyis, hogy ott befogási nyomaték nem ébred. A számítást Castigliano módszerével végeztük el. Az egyszerűsítő feltevések alapján megrajzolt bordakeret nyomatéki ábrája a 10. ábrán látható. A fellépő feszültségek:



10. ábra. Bordakeret nyomatéki ábrája

1 jelű pontban $\sigma_1 = 0 \text{ kg/cm}^2$

2 jelű pontban $\sigma_2 = 116,2 \text{ kg/cm}^2$

3 jelű pontban $\sigma_3 = 797,0 \text{ kg/cm}^2$

4 jelű pontban $\sigma_4 = 519,0 \text{ kg/cm}^2$

A σ_3 feszültséggel kapcsolatban meg kell jegyeznünk, hogy az a valóságban sokkal kisebb, mint a számított érték. A σ_3 feszültséget ugyanis az oldalborda keresztmetszeti tényezőjével számoltuk, holott a valós szerkezetben a 3-as jelű keretpontban a 180 mm magas fenékbordán egy 100 mm magas, peremezett csomólemezt alkalmazunk az oldalborda bekötésére. A keret sarokpontjában ébredő feszültség valódi értéke csak körülményesen lenne meghatározható, de az alkalmazott egyszerűsítő feltevések, valamint a valós szerkezet ismeretében a sarokpont szilárdsága megfelelőnek mondható. Az oldalbordának a csomólemez feletti keresztmetszetében a $\sigma = 456 \text{ kg/cm}^2$.

*

A 60 személyes hordszárnyas hajó futópróbái jelenleg folynak. reméljük, hogy a jövőben hordszárnyas hajóinkkal elért további eredményekről adhatunk számot.

IRODALOM

1. *Beledi Dezső*: Hordszárnyas hajók méretezése (Mérnöki Továbbképző Intézet, 1962)
2. *Beledi Dezső*: Hordszárnyas hajók (Járművek, Mezőgazdasági Gépek 1960. 11. szám)
3. *A. D. Filin, A. Sz. Szokolova*: Sztroityelnaja Mechanika Korablja.
