

BELEDI DEZSŐ
okl. gépészmérnök
VÍZSUGÁR HAJTÁS ALKALMAZÁSAI
A HAZAI KISHAJÓ-ÉPÍTÉSBN

A Magyar Hajó- és Darugyár Váci Gyáregységénél elkészült és kipróbálásra került az első hazai sugárhajtású csónak. A szerzett tapasztalatok alapján felvetődik a vízsugárhajtóművek széles köű alkalmazása, elsősorban a kishajók építésénél. A szerző Aki egyúttal a kísérleti hajtómű tervezője, e cikkel is szeretné felkelteni a szakemberek érdeklődését a téma iránt. Ennek érdekében a hajócsavar és a vízsugárhajtómű propulziós hatásfokát hasonlítja össze, felhasználva a kísérleti mérések eredményeit.

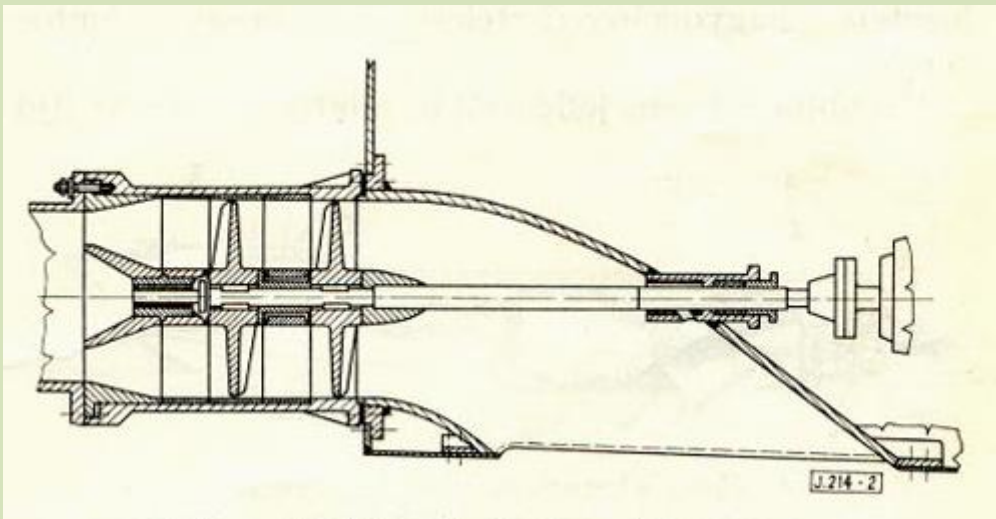
A Magyar Hajó- és Darugyár váci gyáregységénél kísérletek folytak egy saját tervezésű vízsugárhajtású csónakkal. A kísérletsorozat célja részben a kidolgozott méretezési eljárás ellenőrzése, részben üzemeltetési tapasztalatszerzés. A tervezett mérések egy része még hátra van, azonban néhány igen fontos következtetést máris levonhatunk (1. ábra). A legfontosabb tanulság az, hogy sürgősen felül kell vizsgálni a vízsugárhajtás nálunk elfogadott értékelését és a jövőben, elsősorban a kishajók tervezésénél bátran fel kell használni a lökhajtás által biztosított lehetőségeket. A kísérletsorozat első része a vártnál jobban sikerült. Azon túlmenően, hogy a sugárhajtómű lényegtelen eltéréssel a tervezett paramétereket nyújtotta, tehát a méretezési eljárás helyesnek bizonyult, a kísérleti csónak manőverképessége és a hajtómű üzembiztonsága még a tervezőket is meglepte.



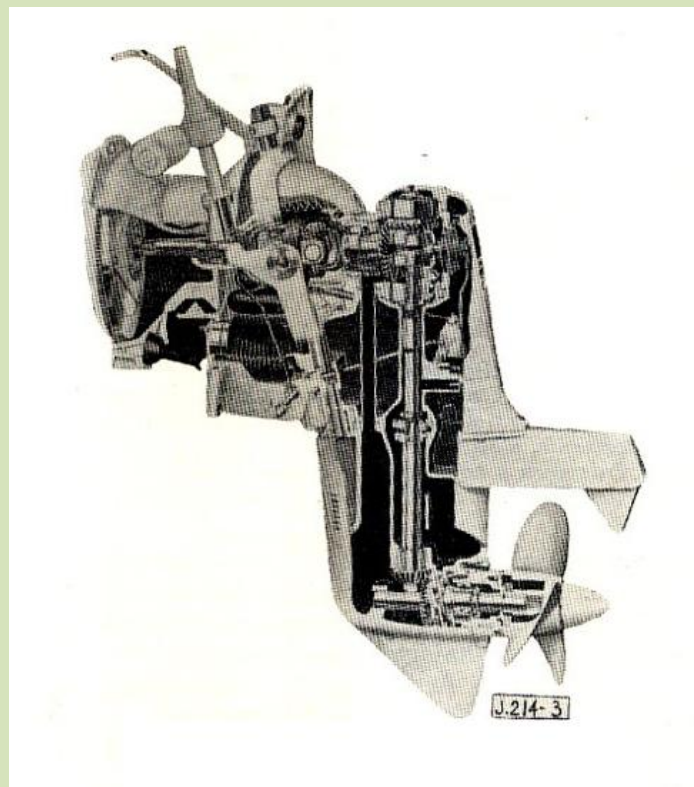
1. ábra. Vízsugár hajtású csónak⁽¹⁾

A vízsugárhajtómű viszonylag magas hatásfoka, egyszerű és igénytelen szerkezete lehetővé teszi, hogy a jövőben építendő kishajókhoz máris számításba vegyük a drága import csónakmotorok és „Z” hajtóművek helyett. Sugárhajtás esetén, mivel a hátramenet a sugár

irányváltatásával történik, nincs szükség irányváltóra, tehát kis átalakítással bármilyen gépkocsimotor felhasználható. Jelenleg a 10 LE teljesítményű „Moszkva” farmotor kivételével, minden nagyobb teljesítményű csónakmotor nyugati importból szerzünk be. Ezek a motorok igen tetszetősek és minden igényt kielégítenek, azonban élettartamuk nem áll arányban a magas beszerzési árral. A túlkönyített és automatizált motorok rendszeres szervízszolgálatot és igen gondos karbantartást igényelnek. A gyáregység motorjaival szerzett tapasztalatok szerint már 100-150 óra üzem után előfordulnak kisebb-nagyobb törések, olyan márkás motoroknál is, mint a „Johnson” vagy „Mercuri”. Jó tartalékalkatrész ellátás mellett a kisebb törések nem jelentenek problémát, azonban nálunk pl. egy különleges tűgörgős csapágy meghibásodása már többhónapos üzemkiesést eredményezhet.



2. ábra. A kísérleti csónak sugárhajtóműve



3. ábra. Volvo-Penta „Z” hajtómű

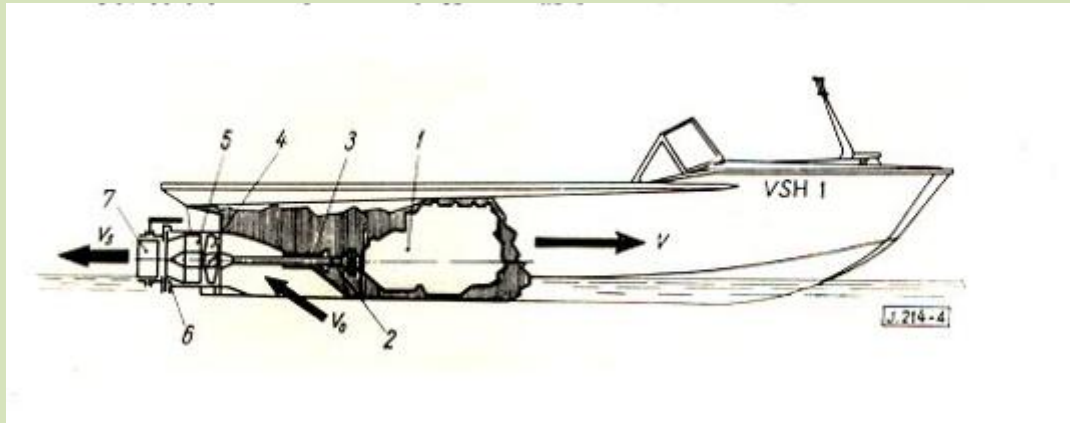
Előbbiek szemléltetésére a 2. és 3. ábrán bemutatjuk a kísérleti csónak sugárhajtóművét és egy hasonló teljesítményű Volvo-Penta „Z” hajtóművet. Az egyébként világszínvonalat képviselő svéd hajtóműben közel 800 db precíziós alkatrész van, ugyanakkor a sugárhajtómű mindössze 46 alkatrészből áll, nem számítva a motort és távvezérlést.

Az utóbbi szám egylépcsős változatnál tovább csökkenthető. A kísérleti hajtóműben nincsenek fogaskerekek, görgős és golyóscsapágyak és az alkatrészek hazai anyagból, a hajógyártásban szokásos mérettűrésekkel készülnek. A csapágyak vízkenésűek, tehát kenési hiányosságok nem fordulhatnak elő. A grafit töltőanyagú dainamid műanyag csapágyak kiválóan bírják a 3-400/perc fordulatszámot is. Ami a hatásfokot illeti, a víz-sugárhajtómű itt is kibírja az összehasonlítást.

Kísérleti csónakunknál a számított hatásfok 50% felett van, tehát igen magas. A legjobb „Z” hajtómű hatásfoka sem lehet sokkal jobb, ha figyelembe vesszük a kettős kúpkerék áttételt, a csuklótengely és a csapágyazás mechanikai veszteségeit, valamint a megvastagított vízalatti rész kedvezőtlen áramlási viszonyait. Ezeken túlmenően az összehasonlításnál feltétlenül figyelembe kell venni a sugárhajtómű védetségét.

A védőrácscsal ellátott szívónyíláson át a hajtóműbe csak olyan kisméretű uszadékok kerülhetnek, amelyek nem képesek a belső részeket megrongálni.

A sugárhajtású csónak merülését maga a hajótest merülése szabja meg, miután a fenékrészen semmiféle kiálló függelék nincs.



4. ábra. Víz-sugárhajtású hajó vázlata

*1-motor, 2-tengelyvezeték, 3-tömszelence, 4-rotor,
5-kontrapropeller, 6-konfuzor, 7-kormánylapát*

„Z” hajtás esetén a csavarnak teljes átmérővel a fenék alá kell nyúlni, tehát a merülés jóval nagyobb. Különösen jól használható a sugárhajtás náddal, fűzzel, vagy más vízinövényekkel benőtt helyeken. A kísérletek során akadálytalanul áthaladtunk 10-15 m széles fűzfabokrokon anélkül, hogy a hajtómű a legkisebb sérülést szenvedte volna. Próbáltuk a csónakot bizonytalan mélységű árterületeken úgy, hogy a gerinc huzamosabb ideig súrolja a talajt és a hajtómű sűrű sarat lövellt ki magából.

Üzembiztonság szempontjából tehát a sugárhajtómű messze felülmúlja a hajócsavart. Joggal feltehető a kérdés, ha ilyen sok előnye van a sugárhajtásnak, miért nem terjedt el jobban világszerte és miért nem próbálkoztak már vele Magyarországon?

A válasz nem lehet egyértelmű. Minden bizonnyal a sugárhajtás elterjedésének alapvető akadálya a szakemberek szemléletéből adódik. A hajóépítők sokat emlegetett hagyomány-tisztelete ugyancsak fontos tényező.

Utóbbira mi sem jellemzőbb, mint az, hogy az ifjú magyar hajóépítők egyik legfontosabb tankönyve [1] 1865-ben végzett összehasonlítások eredményein keresztül szemlélteti a hajócsavar és a sugárhajtás kölcsönös viszonyát. Természetesen a 100 éves példa, éppúgy, mint az újabbak, csupán a két propulziótípus hatásfokának összehasonlítására szorítkoznak. Az egyéb tényezőket, mint pl. a védettséget, az üzembiztonságot, a kisebb merülést, a rövidebb tengelyvezetékét, az irányváltó mellőzését stb., amelyeket nem lehet százalékban kifejezni, az összehasonlításnál figyelmen kívül hagyják.

Az [1] munkában közölt példa tengeri naszádokat hasonlít össze, amelyeknél nincs merüléskorlátozás és a sugárhajtás egyáltalán nem indokolt. A hajócsavar átmérője és az áramvonalas hajófar a példában szereplő naszádoknál optimálisra lehetett kialakítani, tehát semmi akadálya nem volt igen magas csavarhatásfok elérésének.

Ahhoz, hogy a propulziós hatásfokok összehasonlításánál következetesek lehessünk, a továbbiakban elméleti úton határozzuk meg a sugárhajtás optimális hatásfokát és vizsgáljuk meg a hatásfokot befolyásoló tényezőket.

A továbbiakban a vízszugárhajtást röviden VSH-val jelöljük.

A 4. ábrán. látható egy VSH hajó sematikus vázlat. A V sebességgel haladó hajót a hajó fenekén alkalmas módon kiképzett szívónyíláson V_0 sebességgel belépő, majd a szivattyúban felgyorsított és a hajó farán lévő sugárcsőből V_s sebességgel kilépő vízszugár reakcióereje hajtja.

Tekintsünk el egyelőre a felgyorsítás módjától – ugyanis arra több lehetőség is van – csupán azt tételezzük fel, hogy a gyorsítómű hatásfoka η_{sz} .

A VSH tolóereje R , egyenlő a sugárcső végmetszetén kilépő vízszugár reakcióerejével

$$R = \rho \cdot Q \cdot (V_s - V_0) \quad (1)$$

ahol ρ – a víz sűrűsége

Q – a kilépő víz térfogata

Jegyezzük meg, hogy $V_o = \Psi \cdot V$ – vagyis V_o a Ψ sodortényezővel módosított V hajósebesség.

A VSH által igényelt hajtómű teljesítménye

$$N_p = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{75 \eta_{hz}} \quad (2)$$

a képletben γ - a víz fajsúlya

H – a gyorsítómű nyomásmagassága

η_{hz} – a gyorsítómű hatásfoka

A H nyomásmagasságot Bernulli egyenletéből számítjuk

$$H = \frac{V_s^2}{2g} (1 + \Sigma C) - \frac{V^2 \Psi^2}{2g} + h \quad (3)$$

itt ΣC – a VSH belső veszteségeinek összege (a gyorsítómű veszteségeit kivéve) a kilépő sugársebesség csökkenésében kifejezve.

h – a kilépő sugár súlypontmagassága a vízfelszín felett

A (2) és (3) képletek összevonásából, ha $(1 + \Sigma C) = C_0$ jelölést vezetjük be

$$N_p = \gamma Q \frac{V_s^2 C_0 - V^2 \Psi^2 + 2gh}{2g \cdot 75 \cdot \eta_{hz}} \quad (4)$$

A (4) képletből kifejezzük a térfogatot

$$Q = \frac{150g \cdot \eta_{sz} \cdot N_p}{\gamma (V_s^2 C_0 - V^2 \Psi^2 + 2gh)} \quad (5)$$

Írjuk be a térfogat ezen alakját a tolóerő képletébe

$$R = \frac{150 \cdot \eta_{sz} \cdot N_p (V_s - \Psi V)}{V_s^2 C_0 - V^2 \Psi^2 + 2gh} \quad (6)$$

Ha a sugár kiáramlása és a hajó haladási iránya között szögeltérés van

$$R_e = R \cdot \cos \Theta \quad (7)$$

A sugár hasznos teljesítménye

$$N_e = \frac{R_e \cdot V}{75} \quad (8)$$

A VSH propulziós hatásfoka nem más, mint a hasznos sugárteljesítmény és a gyorsítómű által felvett teljesítmény hányadosa.

$$\eta_p = \frac{N_e}{N_p} \quad (9)$$

a megfelelő átalakítások után

$$\eta_p = \frac{2 \eta_{sz} \cdot V \cdot (V_s - \Psi \cdot V) \cos \Theta}{V_s^2 C_0 - V^2 \Psi^2 + 2gh} \quad (10)$$

A tervező számára fontos annak az ismerete, hogy adott hajósebesség mellett milyen kiáramlási sugársebességnél adódik a maximális propulziós hatásfok. Ez az érték könnyen meghatározható, ha a η_p kifejezést mint a V_s sebesség függvényét fogjuk fel és annak deriváltját 0-val tesszük egyenlővé. A kapott egyenletből kifejezzük a V_s sugársebességet. Mivel η_p második V_s szerinti deriváltja $\frac{\partial^2 \eta_p}{\partial V_s^2} < 0$, a kapott sugársebesség megfelel a η_p maximumának.

tehát

$$V_s^{opt} = V \cdot \Psi \cdot \left(1 + \sqrt{1 - \frac{1}{C_0} + \frac{2gh}{C_0 \Psi^2 V^2}} \right) \quad (11)$$

Jelöljük a zárójeles rész A-val.

$$A = 1 + \sqrt{1 - \frac{1}{C_0} + \frac{2gh}{C_0 \Psi^2 V^2}} \quad (12)$$

a maximális hatásfok

$$\eta_p^{max} = \frac{2\eta_{sz} (A - 1) \cos \Theta}{\left(A^2 C_0 - 1 + \frac{2gh}{\Psi^2 V^2} \right) \Psi} \quad (13)$$

Az összefüggések vizsgálatából kitűnik, hogy a VSH hatásfokát befolyásolják az alábbi tényezők:

- η_{sz} – a gyorsítómű hatásfoka. Ha a gyorsítást axiálszivattyúval végezzük, ez az érték 0,80-0,90 között lehet.
- C_0 – a hajtómű belső veszteségei. Ilyen veszteségek a belső súrlódás, az irányváltozási veszteségek, a konfuzos veszteségek stb. Ez az érték optimálisan 1,10 – 1,20 között van.
- h – a kilövellt vízszög súlypontjának magassága. Ha a kiáramlás a felszín alatt történik $h=0$, ha felszín felett vezetjük ki a sugarat, úgy annak felemelésére is energiát kell fordítani.

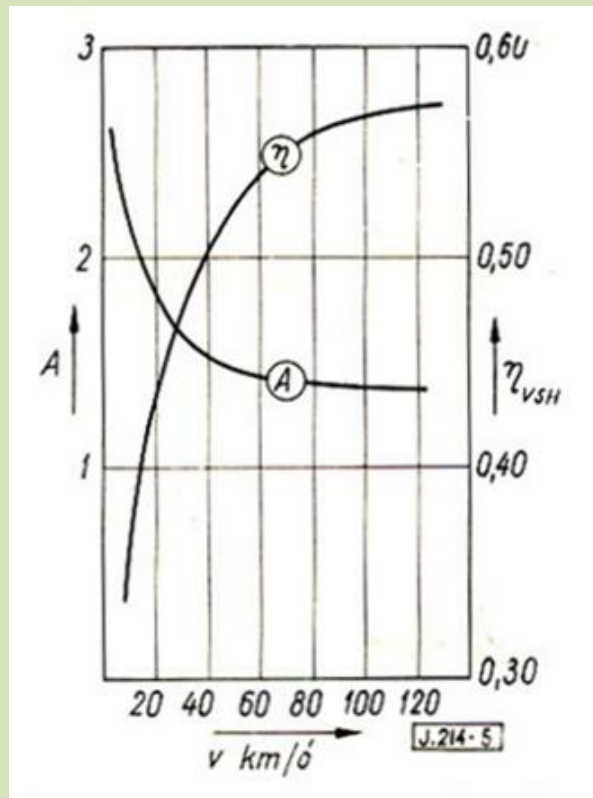
- d) Ψ – sodortényező a beömlő nyílás helyén. Értéke minél kisebb, annál jobb a hatásfok. Csak modellkísérletek, illetve üzemé mérések alapján határozható meg. Általában 0,65-0,95 között adódik, de lehet 1-nél nagyobb is.
- e) V – a hajó haladási sebessége. Minél gyorsabb a hajó, annál jobb VSH hatásfok adódik.

A fentiekből kitűnik, hogy a hatásfok nem függ a tolóerő nagyságától és a kiáramoltatott folyadék térfogatától közvetlenül, csupán a gyorsítószivattyú hatásfokán keresztül. A gyakorlat viszont azt mutatja, hogy egyforma jó hatásfokkal lehet bizonyos határokon belül kis és nagy nyomású, illetve kisebb és nagyobb teljesítményű szivattyúkat készíteni.

Az elmondottak szemléltetésére a fenti képletek segítségével kiszámítható egy olyan VSH maximális hatásfoka és az ehhez tartozó kiáramlási sebesség, amelyre az alábbi paraméterek érvényesek:

$$\begin{aligned}
 \Psi &= 0,90 \\
 \eta_{sz} &= 0,82 \\
 C_0 &= 1,20 \\
 h &= 0,50 \\
 \Theta &= 0^\circ
 \end{aligned}$$

A számítások eredményei egy diagramba vannak foglalva azzal a feltételezéssel, hogy 10-120 Km/óra között a szivattyú hatásfoka a sodortényező és a belső ellenállások, valamint az emelő magasság állandó marad. Ez a feltételezés ugyanazon VSH-ra nem lehet érvényes, azonban minden sebességhez tervezhető kb. azonos mutatókkal rendelkező VSH és így a kapott végeredmények reálisan mutatják a hatásfok és a gyorsítás változásának tendenciáját (5. ábra). A felrajzolt görbékre többé-kevésbé illeszkedik a kísérleti csónak gyorsítási értéke és hajtómű hatásfoka is. A tengelynyomaték és tolóerőmérés még nem történt meg, azonban a rendelkezésünkre álló mérési adatok alapján is végezhetünk számításokat.



5. ábra. A hatásfok és gyorsítás változása

A csónak 1250 kg összsúlynál, 35 km/ó sebességet ért el. A maximális motorfordulat ekkor 2050-2100/perc volt. A fékpadi görbe szerint ez $N=56$ LE teljesítménynek felel meg. A sugárcső kilépő keresztmetszetében, Pitot-csővel mértük a torlónyomást, amely az adott csónaksebességnél $H=11,2m$ vízoszlop nyomás magasságot tett ki. A sugárcső keresztmetszete a konfuzor végén $f = 0,0265 m^2$.

$$\text{A fentiekből } V_s = 2 g H = 2 \cdot 9,91 \cdot 11,2 = 14,8 \text{ m/sec}$$

$$\text{Hajósebesség } V = 9,7 \text{ m/sec}$$

$$\text{Szivattyú teljesítmény } Q = f \cdot V_s = 0,0265 \cdot 14,8 = 0,393 \text{ m}^3/\text{sec}$$

Közelítő számítással a sodortényező $\Psi = 0,95$ -re adódott.

$$V_0 = \frac{V \cdot R}{75 N} = \frac{09,7 \cdot 225}{75 \cdot 56} = 51,8\%$$

A gyorsítás értéke

$$A = \frac{V_s}{V_0} = \frac{14,8}{9,2} = 1,61$$

A sugár sebességét az állópróbák során két módszerrel is meghatároztuk. A csónakot a próbamedencében dinamóméterre kötöttük és különböző fordulatszámoknál regisztráltuk a húzóerőt. Egyidejűleg Pitot-csővel is mértük a sugársebességet. Mivel $V = 0$ és $V_0 = 0$, a

húzóerőből és a kilépő keresztmetszetből a sugársebesség az impulzustétel segítségével visszaszámítható. Ugyanis

$$R = \rho \cdot Q \cdot V_s = \rho \cdot f \cdot V_s^2$$

$$V_s = \sqrt{\frac{R}{\rho \cdot f}}$$

Az ily módon visszszámolt sugársebesség jól egyezik a Pitot-csővel mért értékkel (12,10 és 12,16 m/sec) tehát a Pitot-cső ily módon hitelesítve lett.



6. ábra. A kísérleti csónak alulnézete

A bemutatott példából kitűnik, hogy a kisebb sport és túra csónakoknál, valamint a luxisyachtoknál szokásos 30-60km/ó sebességtartományban sugárhajtóművekkel kb. 50-55 %-os hatásfok biztosítható a szokásos axiálszivattyús megoldással. Elmondható tehát, hogy a kishajógyártás területén a propulziós hatásfokok egyszerű összehasonlítása már nem mutatja meggyőzően a hajócsavar fölényét. Ha pedig nem csavarsorozatok görbecsaládjaiból nézzük ki az elérhető maximális hatásfokot, hanem márkás nyugati motorokon konkrétan lemérjük, igen meglepő eredményeket kapunk. A nagy sebességtartományra tervezett és különböző hajónagyságra alkalmas univerzális farmotorok hatásfoka esetenként alig éri el a 40-45 %-ot.

Úgy véljük, mindez elegendő annak bizonyítására, hogy a hazai kishajóépítésben van értelme a sugárhajtás alkalmazásának és az ezzel kapcsolatos elméleti és kísérleti munkának.

Jelen cikkünkben is fel kívántuk kelteni az illetékes szakemberek érdeklődését, hogy végül is közös erőfeszítéssel a kezdeti biztató lépések után komoly gyakorlati eredményeket is érthessünk el.

IRODALOM

[1] Balogh B., Vikár T.: A hajók elmélete.

[2] A. M. Baszin, V. N. Akrimov: Hidrodinamikaszudna.

Az archiváló megjegyzései:

(1) A vízszög hajtású kísérleti csónak egyedi készítésű hajótest volt. 1961-ben ugyanezen a síklótest alapon épült az SzH-2 kísérleti hordszárnyas csónak is, amely a későbbi „Fecske” (1962) hordszárnyas utashajó fejlesztésében vett részt. Az SzH-2 hordszárnyait leszerelték és átalakították a vízszög hajtás kísérleteinek megfelelően. Mindkét verzióban a meghajtást egy kimustrált Volga motor szolgáltatta.



Az SzH-2 kísérleti hordszárnyas csónak az MHD Váci Gyáregységében. A csónakon még nincsenek felszerelve az első hordszárnyak.

♣ ARCHIVÁLTA: SRY 2015.08.26. ♣ www.sry.atw.hu ♣

