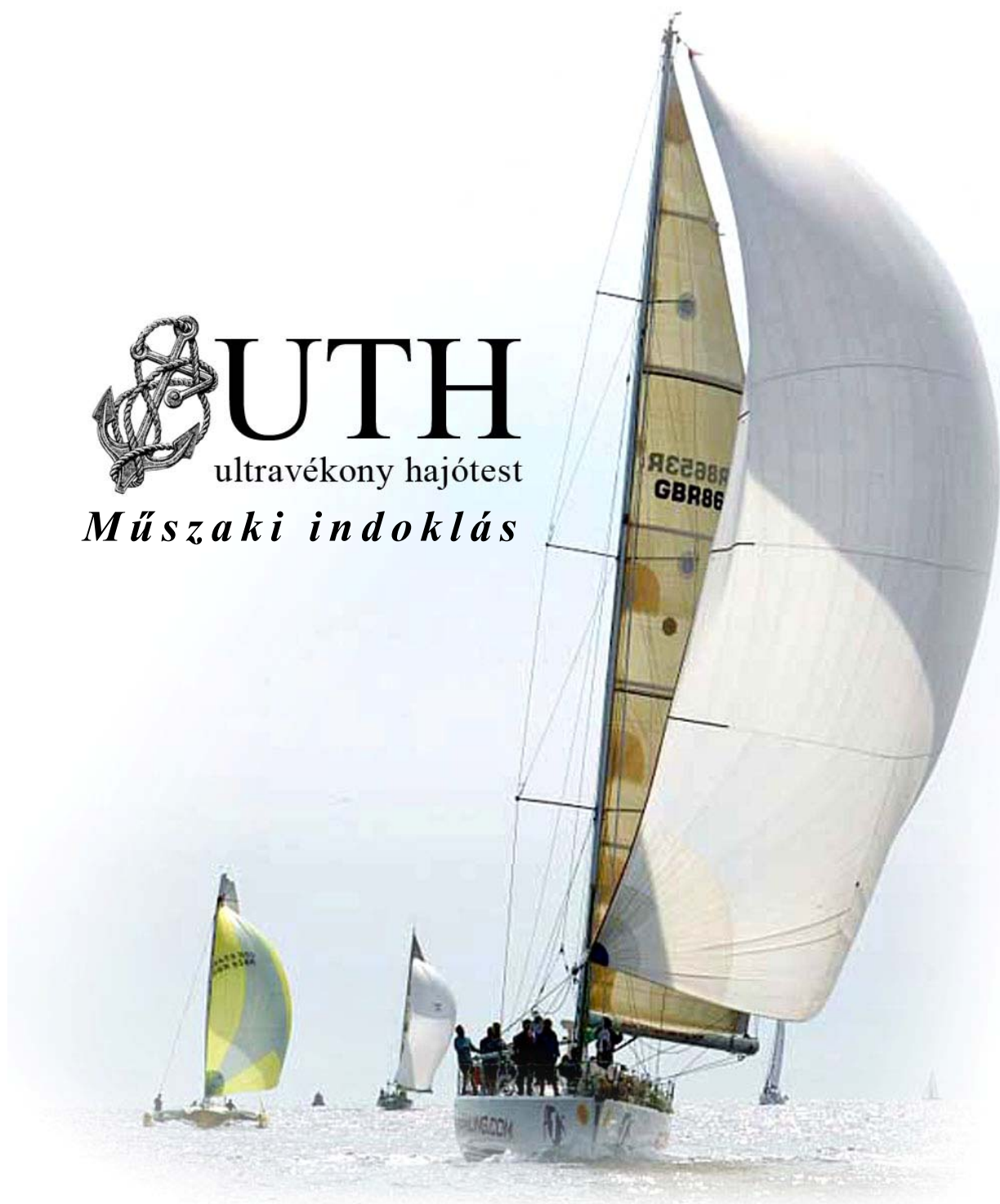




UTH

ultravékony hajótest
Műszaki indoklás

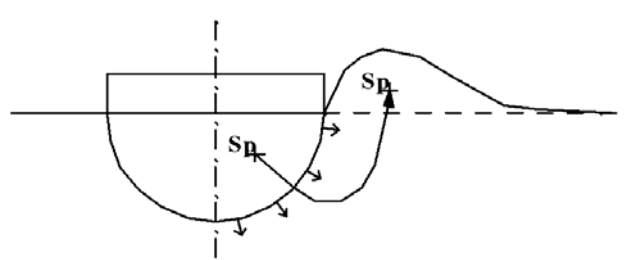


UTH-testkialakítás előnyeinek műszaki indoklása

Ismeretes, hogy a hajók formája, testkialakítása döntően befolyásolja a menetdinamikai viselkedést, menetellenállást. A következőkben -egyszerűsített számítással- azt mutatjuk be, hogy milyen előnyt jelent az, ha hagyományos monostest, vagy katamarán - trimarán test helyett több UTH-testekből alakítjuk ki a hajót.

1.) A test keresztmetszeti kialakításának hatása

Nézzük egy *hagyományos hajótestet* a vízből, szemből. Vegyük a test vízbe merült metszetét annak legszélesebb pontján. Látható hogy a haladás során *két oldalra kell kinyomja* a hajó a vízkiszorításának megfelelő mennyiségű vizet (1.sz. ábra). Ha ezt a térfogatot most egységnyi hosszúságú testhez tartozónak tekintünk, akkor a vízkiszorítás példánkban a keresztmetszeti területtel jellemezhető.



1. ábra

Kiinduló feltételezésünk az egyszerűség kedvéért legyen a következő:

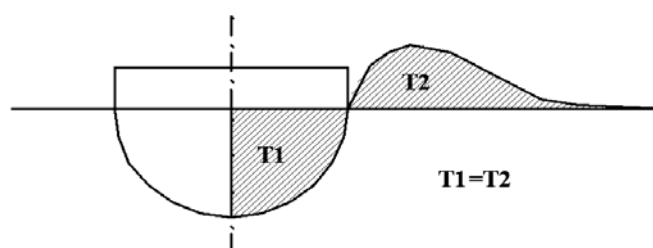
- állóvízben haladunk
- egyenesen haladunk, azaz a jobb oldalra elterelt víz mennyisége és a bal oldalra eltolt víz mennyisége egyenlő
- az eltolt víz a szabad felület felé törekszik saját törvényszerűségei szerint (két oldalra)
- az eltolt víz együttes mennyisége a test térfogatával (vízkiszorításával) egyező
- a hajó sebessége állandó

Az átlagos vízszállal jellemzett vízáram a hajó előtt a fél keresztmetszeti felület súlypontjában halad, majd elérve a testet elterelődik. A legnagyobb keresztmetszetenél, annak külső szélénél kell elhaladjon a vízszál. Elmozdulásának nagysága a súlypont és a testszél távolsága, az elmozdított víztömeg az egységnyi hosszt képviselő keresztmetszeti felület. Ezek szorzata *jellemzi azt a munkavégzést*, ami a $v = \text{constans}$ haladáshoz szükséges.

A hajótest útjából kinyomott víz önállóan a saját törvényszerűségei szerint mozdul el az után, hogy a hajó keresztmetszeti szélvonalát elhagyta és erre már nincs befolyásunk (függ a sebességtől, átadott impulzus nagyságától, a folyadék sűrűségétől, kinematikai viszkozitásától stb.) és jelenleg nem vizsgáljuk.

A keresztmetszet szerinti, egyik oldalra kiszorított víz térfogata (T_1) és az adott időszikban a vízfelszín változásával jellemzett elmozdulás alatti terület (T_2), mely a víz megemelkedés térfogata az elterelt oldalon, egy $d(t)$ időszikban egyenlő (2.sz. ábra).

Az így létrejött vízáramlás vektorának iránya mindenhol a test felületére merőleges, nagysága pedig a nyomással arányos. A haladáskor a sebességvektor ezzel a vízáram-vektorral összegződik, mely jelen példa esetében nincs befolyással tervezett következtetéseinkre, mert rögzítettük az időszíkot. Ezt úgy kell elképzelni, hogy a haladó hajóról egy álló, kimerevített pillanatfelvételt készítettünk.



2. ábra

A haladó test által két oldalra kiszorított víz mindkét oldalon a szabad felszín felé törekszik, ezért a *nyomáshullám keltette áramlás különböző úthosszakát tesz meg*, mire a szabad vízfelszín eléri. Emiatt időben elcsúszik a vízfelszínre érkező áramvonalak kummulálódása, mely a hullám felületének, alakjának kialakulására van hatással (egyébként a $T_1=T_2$ igaz marad, de az időszik torzul).

A kis áramlási vonalak ugyanúgy működnek, mint az áramlástanban (hidraulikában) ismeretes szivárgásoknál, azaz az eqvipotenciális vonalak az áramlásvonalakra mindig merőlegesek, az áramlásvonalak a testről merőlegesen indulnak és a vízfelszínre merőlegesen érik el. Ezek a görbék a sinus hiperbolikus függvényvel írhatók le.

Felvett modellünkben a hajótest víz alatti keresztmetszetét tekintve, a haladó test fele nyomja maga elöl a folyadékot egyik oldalra.

- mivel két oldalra nyomja, felezzük meg a teljes testkeresztmetszetet középen
- számítsuk ennek a fél keresztmetszetnek a súlypontját, akkor megkapjuk a felületet merőlegesen érő eltérített vízszálak elmozdítás előtti átlagos, azaz jellemző pontját.
- az elmozdítás utáni pontként válasszuk a testszél vonalát, a biztonság javára elhanyagolva.

Azt, hogy a hajónknak orra is van, most fogjuk fel úgy mint egy éket, melynek csak a terelés -kisebb erőhatással történő elmozdítás- a feladata, mert az így képzett elmozdítások összege pont olyan nagyságú, mint a súlypont és a testszél közötti távolság.

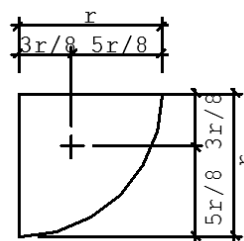
Ha tehát vesszük a súlypont és a testszél közötti távolságot (mely az átlagos vízszál eltérítésének a távolsága) és azt szorozzuk a felülettel (egységnyi térfogattal), akkor az **elvégzett munkával arányos „vízeltérítési coefficiens” kapjuk**. Ha azonos térfogatú (keresztmetszeti területű), azonos vízkiszorítással rendelkező hajótestekre ezeket a vízeltérítési koeficienseket kiszámítjuk, akkor ezek arányából a menetellenállásában megmutatkozó különbségeket is becsülhetjük.

Hagyományos monotest vízeltérítési coefficiense

Vegyünk fel most egy választott térfogatú, monotestet, állapítsuk meg a menetellenállására jellemző vízeltérítési coefficiensét.

Feltételeink és kiinduló adataink az egyszerűbb számítás érdekében legyenek a következők:

- a víz alatti hajótest keresztmetszetének alakja legyen egy szabályos félkörlap
- a keresztmetszet felvett szélessége, félkörlap átmérője a vízvonalnál legyen $W=2$ méter, azaz sugara $r=1$ méter.



3.ábra

A menetvíz elterelését végző vízbemerült félrész területe így pont egy körlap területének negyede (3. ábra):

$$A_T = r^2 \pi / 4, \text{ vagy } A_T = d^2 \pi / 16$$

A súlypont és a körívközéppont (testközép) egyenesén átmenő sugár ekkor $3r/8$ és $5r/8$ részre osztja a súlypont, azaz az átlagos vízszálat (melyet a súlypont jellemez), láthatóan elég **erőteljesen kell eltéríteni** a test útjából, mert $5r/8 \gg 3r/8$. Az átlagos vízszál eltérítésének konkrét mértéke jelen példánkban a felvett adatokkal ekkor $5r/8 = 5 \cdot 1,0/8 = 0,625\text{m}$

A haladásakor a víz ellenében végzett munkával arányos egyoldali vízeltérítési coefficiens: $C_{TW} = \text{felület} \cdot \text{súlypont eltolás mértéke}$, azaz

$$C_{TW} = L_{SP} \cdot A_T = r^2 \pi / 4 \cdot 5r/8 = 0,785 \cdot 0,625 = \mathbf{0,491}$$

A hagyományos (tradicionalis) monotestnél *mindkét irányban* eltolva (jobbra és balra), a víz ellenében végzett munkával arányos vízelterítési coefficiens ennek kétszerese:

$$C_{TW,L,R} = L_{SP} * A_T = 2 * r^2 \pi / 4 * 5r/8 = 2 * 0,491 = \mathbf{0,981}$$

UTH-test vízelterítési coefficiense

Vegyünk fel most fel egy *ugyanakkora testkeresztmetszetű* kéttetes kialakítású UTH-hajót! A vízbe merülő rész ekkor két ultravékony test. Ebből ábrázoljuk az egyiket közelebbről (4. ábra), hogyan néz ki az előbb felvett egyszerűsített modell víz alatti része.

Vegyünk fel egy fix UTH testgerinc magasságot, egy elfogadható (pl. tőkésúlyos hajóra jellemző) merülési mélységgel, mely a kikötést – hajózást az *adott vízviszonyok között* még nem akadályozza. Példánkban legyen ez $H=1,60m$.

Számítsuk ki az UTH test szélességét a tradicionalis monotestnél választott keresztmetszeti területből, figyelemmel arra is, hogy itt 2 testet alkalmazunk:

$$F_T = 0,875m^2 \quad W_{UTH} = 0,875 / 1,60m = 0,491m$$

Ez az UTH testvastagság kissé magas, de most a biztonság javára fogadjuk el a további számításokhoz.

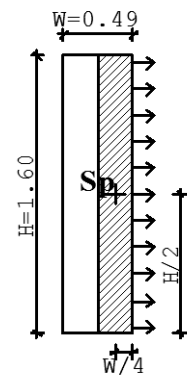


Fig.4.

Az UTH testkialakítás geometriailag bonyolultabb és nem a 4. ábra szerinti, mert a gerinc felső része kokáv Y alakú, mely az álló helyzetben szükséges felhajtóerőt jól biztosítja. Emiatt az azonos térfogathoz a most számítottól vékonyabb testgerinc-keresztmetszet adódik. Menetben az UTH test megemelkedik a két oldalt elhelyezett, torziós rugóval rögzített szárnyak emelő hatása miatt, így a vízbe merülő test térfogata (magassága) is csökken. Jelen példánkban egyszerűsítünk a biztonság javára és ezek hatását nem vesszük figyelembe.

Vegyük észre továbbá, hogy az UTH test H/W aránya még így is magas $1,6/0,25=6,4(!!!>0,5)$, mely nem az átlagos katamaránra jellemző. Az UTH testek igazából még ennél is karcsúbbak lehetnek!

A 4. ábra szerint a felvett keresztmetszetnél a két irányban (jobbra-balra) eltolni szükséges vízfelületet súlypontja $H/2$ és $W/4$ lesz. Ez elől a keresztmetszet elől, az átlagosnak tekintett súlyponti vízszálat $W/4$ mértékben kell eltérítsük, de most ezt két testnél is meg kell tgyük.

A vízfelszín alakulása most is olyan, mint előbb, azaz adott időszíkbán a kiszorított víz térfogati metszete egyező a test keresztmetszetével ($T_1=T_2$).

A vízszálat eltérítő felület és a súlyponteltolás nagysága ekkor:

$$A_{UTH} = H * W / 2 = 0,49 / 2 * 1,6 = 0,392m^2, \quad L_{SPUTH} = W / 4 = 0,49 / 4 = 0,122m$$

Vegyük észre, hogy most az átlagosnak tekinthető *súlyponti vízszálat alig kell eltéríteni!!* Míg a hagyományosnál $0,491m$ volt, most csak $0,122m$ (2db testtel), ugyanakkora vízkiszorításnál!

A munkával arányos vízelterítési coefficiens ekkor a teljes UTH hajóra, két testre együttesen:

$$C_{WUTH2LR} = 2 * 0,392 * 0,122 * 2 = \mathbf{0,192}$$

A munkával arányos vízelterítési coefficiens ugyanígy számítva, egy 20 láb hosszú „hagyományos” katamarán arányaira vetítve $H/W=0,5$ esetén (a levezetést mellőzve):

$$C_{WCAT2LR} = 2 * 0,36 * 0,3 * 2 = \mathbf{0,432}$$

Nagysági sorrendbe állítva a vízeltérítési coefficienseket:

$Tradicionalis\ monotestnél = 0,981 > Katamaránnál = 0,432 > UTH-hajónál = 0,192$

Azt lehet tehát mondani, hogy amennyivel jobb a jelenlegi katamaránok vízeltérítési coefficiense a hagyományos hajókhoz képest, ugyanannyival jobb az UTH-hajó a katamaránokhoz képest! Mivel az katamaránok előnyeit jól ismerjük, ebből az UTH-hajó várható viselkedése is becsülhető és igen tetszetős fejlődési lehetőséget vázol fel.

2.) Meghajtási energiaigény arányainak számítása

A vízszálak eltereléséhez szükséges munkavégzések aránya (azonos sebességgel, azonos vízkiszorítással, azonos közegben) a különböző testkialakításnál a számított vízeltérítési coefficiensek aránya. Hasonlítsuk össze a monotestes – katamarán - UTH hajókat e szempontból.

Hagyományos monotest – UTH-hajó összehasonlítása:

Az energiaigény aránya az UTH javára, a hagyományos egytestű hajókhoz képest:

$$\omega\% = C_{WUTH2LR} / C_{WTLR} = 0,192/0,981 * 100 = \mathbf{19,6\%}$$

A hatásfok aránya az UTH javára, a hagyományos egytestű hajókhoz képest:

$$\eta\% = C_{WTLR} / C_{WUTH2LR} = 0,981/0,192 * 100 = \mathbf{510\%}$$

azaz, az UTH kialakítású test haladásának energiaigénye jóval kisebb, a hagyományos monotest meghajtásának 20 százaléka (!!!).

Tekintettel arra, hogy az UTH testeken minimum 2 helyen (elől – hátul) és oldalanként egy-egy torziós rugóval rögzített, elforduló emelőszárnyakat helyezünk el és ezek vízszintes erőkomponense mint menetellenállás lép fel amikor a testet megemeli. Emiatt csökkentenünk kell az előbb számított hatásfokot. Ha feltesszük, hogy az alkalmazott szárnyak miatt az előbb számított UTH vízeltérítési coefficiensének értékét 100%-ban növeli meg, a hatásfok még akkor is jelentős marad (ez a következőkben felvett konkrét számértékekkel pontosabban is számítható), közelítőleg tehát:

$$\omega\% = (2 * C_{WUTH2LR}) / C_{WTLR} = 0,384/0,981 * 100 = 39,1\%$$

$$\eta\% = C_{WTLR} / (2 * C_{WUTH2LR}) = 0,981/0,384 * 100 = 255\%$$

UTH hajó-hagyományos katamarán összehasonlítása:

Az energiaigény aránya az UTH javára, a hagyományos katamarán hajókhoz képest:

$$\omega\% = C_{WUTH2LR} / C_{WCATLR} = 0,192/0,432 * 100 = \mathbf{44,4\%}$$

A hatásfok aránya az UTH javára, a hagyományos katamarán hajókhoz képest:

$$\eta\% = C_{WTLR} / C_{WCAT2LR} = 0,432/0,192 * 100 = \mathbf{225\%}$$

UTH-hajó vízeltérítési coefficiense a szárnyak ellenállásának figyelembevételével

Az UTH testeknél a szükséges szárnyfelületek méretezésére alkalmazható durva ökölszabály az, hogy a választott hajó kategóriában az adott méretű és motoros meghajtású hajó-típus teljes menetben mekkora felületen érintkezve siklik a vízen. Ez általában a hajóhossz fele-harmada, szorozva a sikló hajófenék szélességével. Ennek kb 80%-kára van szükség maximum (de inkább 50-60%), mivel az UTH testeknél a szárnyak mélyen vannak elhelyezve, és a levegő nem keveredik vízzel, emiatt az emelő erőhatás nagyobb és folytonos. Ez a felület egyenlő tehát azzal a summa szárnyfelülettel, mely a *nyugodtvíz szinten* fut(!). Két testnél a jelenleg választott UTH katamarán esetében a 8 szárny, azaz egyenként ennek a summának a nyolcadát kell venni egy szárnyra.

Példánkban: 6m hajóhossz és 2 m hajószélességnél: $0,33 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 0,8 = 3,168 \text{ m}^2$ összesen az így számított, maximálisan szükséges szárnyfelület. Ebből 1db szárny felülete $3,168/8=0,396 \text{ m}^2$, azaz egy 20 láb hosszú motoros hajónál $60 \times 157 = 9408 \text{ kg} = 9,4$ tonna vízkiszorítás és a biztonság javára tett elhanyagolásaink mellett, legföljebb 1,0m hosszú 40cm széles stabilizáló szárnyak szükségesek. (Megjegyezzük, hogy itt is a biztonság javára térünk el, amikor a 80%-os felületarányt választottuk.)

A szárnyak a legnagyobb dőlésszöge álló helyzetben a vízszinthez képest 45° alatti kell legyen (41° ajánlott motoroshajóknál). Menetben ez lecsökken és teljes menetsebességnél általában $2-5^\circ$ közötti legyen.

Az emelő szárnyak menetellenállásra gyakorolt fékező hatása a horizontális irányú vetülettel, azaz $A_{\text{hfh}} = \sin(5^\circ) \cdot 8 \times 0,396 \text{ m}^2$ felülettel arányos, azaz példánkban összesen $0,087 \times 8 \times 0,396 = 0,276 \text{ m}^2$ mely szét van osztva 2 test 2 oldalára, egy oldalra $0,069 \text{ m}^2$. Ekkora a menetirányra merőleges, összes szárny-keresztmetszeti felület egy oldalon, mely a vízszög útját eltéríti. A vízszög eltérítés iránya azonban itt más, mert a szárny szélességben felfelé és lefelé történik. Az eltérítés mértéke $A_{\text{hfh}}/0,4/4 = 0,04 \text{ m}$, így az előbb számított vízelértítési coefficiens értékét vízoldalanként $0,069 \cdot 0,04 = 0,003$ értékkel, összesen pedig a teljes UTH hajóra négy testoldalra **összesen 0,01 értékkel emeli meg.**

Mint látható, a **teljes menetsebességnél a nyolc szárny együttes fékező hatása miatti növekmény az UTH-hajóknál jelentéktelen:**

$$C_{W_{\text{UTH}2\text{LR}}} = 0,192 + 0,01 = 0,202$$

Átlagos szárnyszögénél az előbbi növekedés $(41^\circ + 5^\circ)/2 = 23^\circ$ -nál, a $\sin(23^\circ) = 0,391$ miatt az ellenállás már valamivel nagyobb $C_{W_{\text{UTH}2\text{LR}}} = 0,192 + 0,06 = 0,252$

Induló UTH hajó szárnyszögénél a menetellenállás növekedés nyilván a legnagyobb a $\sin(41^\circ) = 0,656$ miatt $C_{W_{\text{UTH}2\text{LR}}} = 0,192 + 0,17 = 0,362$

Vegyük észre, hogy az elmékedésünk elején durván feltételezett 100%-os coefficiens növekedést a szárnyak pontosabb beszámítása esetén sem érte el.

Példánkban tehát az UTH hajó vízelértítési coefficiense szárnyakkal $C_{W_{\text{UTH}2\text{L,R}}} = 0,202 - 0,362$ közötti értékűre becsülhető (a teljes menetsebesség tartományra átlagosan 0,282).

Az UTH-hajó számított energia igénye a hagyományos egytestű hajóhoz viszonyítva fentiekből:

$$\omega\% = C_{W_{\text{UTH}2\text{LR}8\text{hf}}} / C_{\text{WT}} = 20,6 - 36,9\% \text{ közötti}$$

illetve a hatásfok a hagyományos monotesthez viszonyítva az UTH javára az azonos feltételek mellett:

$$\eta\% = C_{\text{WTLR}} / C_{W_{\text{UTH}2\text{LR}8\text{hf}}} = 271 - 485\% \text{ közötti}$$

UTH testes hajó számított energia igénye a hagyományos katamarán hajóhoz viszonyítva:

$$\omega\% = C_{W_{\text{UTH}2\text{LR}8\text{hf}}} / C_{\text{WCAT}2\text{LR}} = 58,3\%$$

illetve a hatásfok a hagyományos katamarán hajóhoz viszonyítva az UTH javára az azonos feltételek mellett:

$$\eta\% = C_{\text{WCATLR}} / C_{W_{\text{UTH}2\text{LR}8\text{hf}}} = 171\%$$

Összefoglalva: Az UTH test meghajtásának energiaigénye (nagy biztonsággal becsülve), ugyanolyan menetsebességnél a harmada a hagyományos egytestű hajóhoz, fele a hagyományos katamarán hajóhoz viszonyítva. Menetsebessége tehát ugyanakkora energiával meghajtva lényegesen magasabb lesz. Az UTH hajótípus kisebb energiaigénye miatt nyert maradó energia a menetsebesség növelésére fordítható, ekkor a monotesttel azonos energiárfordítással a végsebesség jelentősen növelhető.

Menetsebesség-növekedés arányának számítása

Adott hajóalakoknál (típusoknál) jellemző egy konstans végsebesség, mely mind a vitorlásoknál, mind a motoros meghajtásnál azt jelenti, hogy a sebesség négyzetével arányosan növekvő menetellenállás miatt egy határon túl a sebesség nem növelhető tovább.

Átlagos szél mellett a vitorláshajóknál a végsebesség 6-12 csomó közötti, motorosoknál a testalaktól és a motor teljesítményétől erősen függően, de átlagosan 10-20 csomó körülinek vehető. 1-2 csomó alatt, a kis sebességtartományban a víz és a test közötti súrlódás a domináns, nagyobb sebességnél pedig a víz menetellenállása miatti torlónyomás.

A menetvíz torlónyomása a $p_T = 1/2 * (\rho * v^2)$ képlettel számítható. Ebből a víz sűrűsége $\rho = 1$ miatt $p_T = v^2/2$ egyszerűsített kifejezést kapjuk.

Ha a munkavégzés arányának vizsgálatánál használt vízelterítési coefficientst és a sebesség miatti torlónyomás hatását egy önkényes sebességfüggési coefficientsként számítjuk ki, akkor ezek hányadosából az előnyöket közelítőleg szintén arányosíthatjuk a tradicionális monoteszt, katamarán, illetve UTH testű hajókra.

Az UTH-testes hajó számított sebességfüggési coefficientse a szárnyakkal számított vízeltolási coefficientst átlagával (23°-os szárnyszög-állással) számolva:

$$C_{WUTH2LR} = C_{WU2LR} * v^2/2 = 0,282/2 * v^2 = \mathbf{0,141 v^2}$$

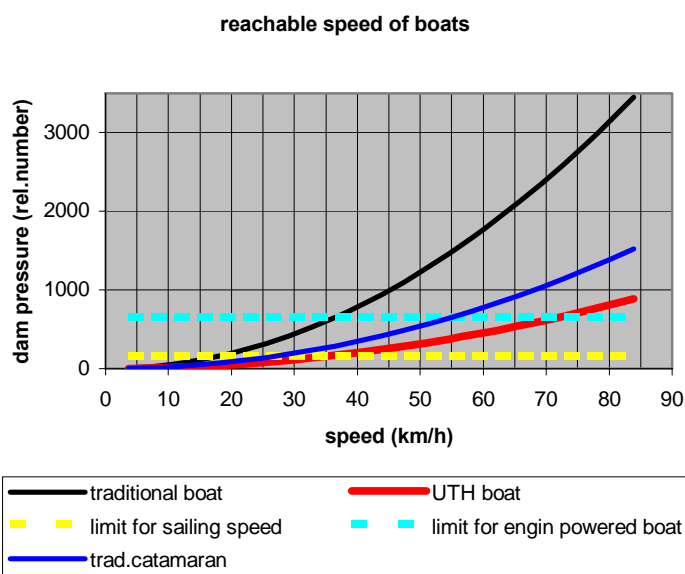
Hagyományosan kialakított katamarán hajó sebességfüggési coefficientse:

$$C_{WTLR} = C_{WTLR} * v^2/2 = 0,432/2 * v^2 = \mathbf{0,216 v^2}$$

Hagyományosan kialakított egytestű hajó sebességfüggési coefficientse, fentiek szerint:

$$C_{WTLR} = C_{WTLR} * v^2/2 = 0,981/2 * v^2 = \mathbf{0,491 v^2}$$

A sebességfüggési coefficientsek arányából megállapítható, hogy az UTH energiaigénye azonos feltételek mellett $\omega\% = 28,7\%$, illetve hatásfoka $\eta\% = 348\%$ az egytestű hajóhoz viszonyítva, illetve energiaigénye $\omega\% = 65,3\%$, illetve hatásfoka $\eta\% = 153\%$ a hagyományos katamarán hajóhoz viszonyítva.



E szerint a példánkban felvett hagyományos monoteszt vitorlás hajónál, ha annak 10 csomó a végsebessége, akkor az alkalmazott vitorlázattal (meghajtási energiával) ugyanolyan körülmények között de hagyományos katamarán testtel 15 csomóval, míg az UTH-testekkel 20 csomós végsebességet érhető el.

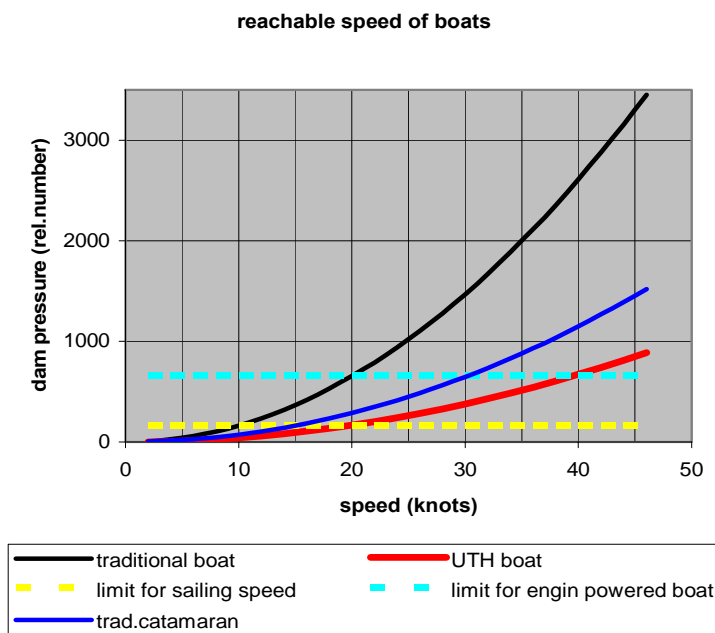
5.ábra

Ha motoros meghajtású jacht hagyományos monostesttel és adott teljesítményű motorral 20 csomó végsebesség volt elérhető, akkor ugyanolyan körülmények között a hagyományos katamarán test 30 csomót, míg az UTH testes hajó ugyanezzel a meghajtással 40 csomós végsebességet érhet el!

Ezek a görbék csak egymással való arányosításra alkalmasak, de egyes sebességtartományokhoz tartozó energiaigények arányai is kimutathatók, melyet akár a menetsebességek függvényében ábrázolhatók is. Ezeket mutatjuk be az **5.-6. ábrákon** km/órában illetve csomóban mérve.

Figyelemre méltó, hogy az UTH-testes hajó a jelenlegi katamarán-trimarán kialakítással is versenyképes és a sebesség további jelentős növelésére alkalmas. Hangsúlyozzuk, hogy ha csak azonos sebesség lenne is elérhető, az egyéb UTH hajójellemzők előnyei akkor is olyan nagyok, hogy önmagukban csak ezek miatt is érdemes lenne alkalmazni az UTH-testeket (hullámlekezelés, horizontális menetsabilitás, rövidebb úthossz).

Fentiek szerint az UTH-hajó jelentősen kisebb, fele akkora meghajtási energiát igényel, illetve ugyanazzal a meghajtással kétszeres végsebesség elérésére alkalmas.



6.ábra

A fele akkora meghajtási igény az üzemeltetési költségek csökkenését jelenti. A motoros meghajtású hajóknál ez jelentősen és igen komolyan kihathat a személyszállítás gazdaságosságának növekedésében, az ágazat versenyképességének jelentős javításában, más közlekedési ágazatokhoz képest és új mobilitási lehetőségeket nyújthat.

A végsebesség növelése elsősorban a vitorláshajóknál jelentős, mert ott a szélből mindenki által egyformán nyerhető energiát lehet jóval nagyobb hatásfokkal hasznosítani. Azok az eddigi próbálkozások, melyek a vitorláshajók teljesítményét fokozni kívánták, meg sem közelítik az itt számított, elérhető hatásfokot.

Végül említsük meg, egy meglepően új, vitathatatlan jellemzőjét az UTH-hajóknak. A hajó hullámokat követő háromdimenziós térgörbe nyomvonalát **egyetlen hajótípus, az UTH képes kiegyenesíteni azzal, hogy a nyugodtvíz szinten siklik. Mivel a legrövidebb út az egyenes, nyilvánvaló, hogy két pont közötti távolság is rövidebb lesz.**

Ez a sebességre, gazdaságosságra, menetstabilitásra megállapítható előnyöket tovább növeli azzal, hogy a nagyobb elérhető sebesség mellett még a hajózándó úthossz is rövidebb lesz. Becslésünk szerint ez a hullámmagasságtól függően akár 15-20%-os útvonalcsökkenést is jelenthet!

Ha egy 20 csomó sebességű monostestes hajó 2-3-as tengerállapot mellett 100 tmf távolságot kb. 5 óra alatt tesz meg, akkor az UTH testes ugyanolyan vízkiszorítással, ugyanolyan meghajtással legalább 40 csomós sebességre képes csak a testalak miatt és 20% útvonalhossz rövidüléssel menetideje 2 órára csökken.

3.) Hosszirányú testkialakítás finomítása

A keresztmetszet hatásának vizsgálata után, most nézzük meg a testkialakítás jellegzetességeinek hatását egy újabb szempont alapján a test hosszirányában. Vegyünk fel ehhez egy X-Y-Z koordinátarendszert úgy, hogy az X tengely a hajó vízvonalának magasságában húzódó, hosszirányú szimmetriatengellyel egyező legyen.

A vízben haladó test elején vegyünk fel egy fix, X tengelyre merőleges Y-Z mérősíkot, ahonnan az eseményeket szemléljük. A haladó hajótestet bontsuk fel elemi részecskékre és vegyük ezeket hagyományosan $dx - dy - dz$ méretű elemeknek.

Az egységnyi elemek térfogata az általunk felvett fix síkban tekintve a test elhaladása során pillanatonként változik (azaz az időtől és a sebességtől függően).

Az elemi $dx-dy-dz$ méretű térfogatelemek változása Y-Z keresztmetszet előtt, illetve ennek összegzett térfogata azzal a dV vízmennyiséggel egyenlő, amit a test haladásakor dx szakaszon kiszorít. Emiatt úgy is fel lehet fogni, mint (dt) idő alatt létrejövő dV térfogat változást.

Számíthatjuk ezek összegét a teljes testhosszon, vagy ezek változását a testhossz mentén. Számíthatjuk a test egységnyi víz alatti felületét is. Ha térfogatváltozást elosztjuk az egységnyi felülettel, mondhatjuk, hogy a sebességtől függő nagyságú lökést, nyomást adunk a folyadék közegnek ahogy a test elhalad. Azaz a haladó test elemi részén a test térfogatváltozása miatti víznyomás számítható, mint a test térfogatváltozásának és a felületének aránya:

$$\Delta p = dV/dF \quad d(t)$$

Mivel a test tervezett **víz alatti** alakját, térfogatát, felületét ismerjük, az x irányú haladásra merőleges y és z koordinátákkal jelzett elemi térfogatváltozás leírható és számítható. Ha egy keresztmetszetben képezzük az elemi részek összesített térfogat/felület hányadosát, akkor a dinamikus lökés (nyomásimpulzus) nagysága is számítható. Ezek iránya mindig az elemi felületre merőleges, így iránya is ismeretes.

Az adott testhosszon bekövetkezett nyomásimpulzus nagysága és jellege számítható (nyomás-szívás), a nyomásváltozás előjele is:

$$\Delta p = \Delta V/\Delta F \quad \text{és} \quad \text{Sign}(\Delta p) = 0, -1, 1$$

Ha tehát a Δp keresztmetszeti nyomásváltozást szummázzuk a testhossz, vagy $d(t)$ idő szerint, akkor menetnyomás-görbét kapunk, mely a test formájának jelleg-görbéje. Lehet összesíteni a fellépő nyomásváltozást halmozódva, mely a haladás energiaigényével arányos és lehet összesíteni a nyomó és szívó erők változását az előző keresztmetszethez képest, melynek összege nulla.

Ezeknek a menetnyomás-görbéknek az ábrázolása új megállapításokra is alkalmas, mely a test arányainak kialakításához vagy annak optimalizálásához igen jól alkalmazható a tervezés során.

Elérhető azonban akár az is, hogy egy adott monostenen a szükséges alakjavítások terelőlapok, vagy kiegészítő elemek elhelyezésével a menettulajdonságok javuljanak.

Az egy keresztmetszetben summázott (víz alatti) térfogatváltozás és a keresztmetszet elemi felületének aránya könnyen számítható és ábrázolható mint jellegzetes menetnyomás-görbe, a haladó test hosszának függvényében.

A térben elhelyezkedő test elhaladása okozta nyomásváltozást tehát egy síkban tudjuk ábrázolni, mely összhangban van azzal a ténnyel, hogy a vízfelület változás is egy síkban, a vízszint síkjában realizálódik.

Úgy véljük, hogy a menetnyomás-görbe homorú szakaszai szívóhatást okoznak, illetve a menetnyomásgörbe alakja jól jellemzi a hajó elhaladása okozta nyomásimpulzus lefutását.

Ideális eset véleményünk szerint az lenne, hogy ha a tervezett test hosszirányú/ keresztirányú kialakításából (térfogat/felület arányából) számított menetnyomás-görbe fel és leterhelő szakasza lineáris lenne, a nyomáscsúcs környékén pedig egyenletesen legömbölyített lenne (lásd 9. ábra) Ennek elérése csak látszatra könnyű, mert a testméretek változtatása egyszerre változtatja a felületet és a térfogatot is.

Rosznak és korrigálandónak tartjuk a menetnyomás-görbét akkor, ha annak felterhelése, leterhelése homorú és/vagy maximuma túl hegyes. Speciális számítógépes programmal modellezni lehet és a testméretek, testalak módosítását. Több variációval, iterációval a nyomási görbe alakja fokozatosan módosítható, javítható.

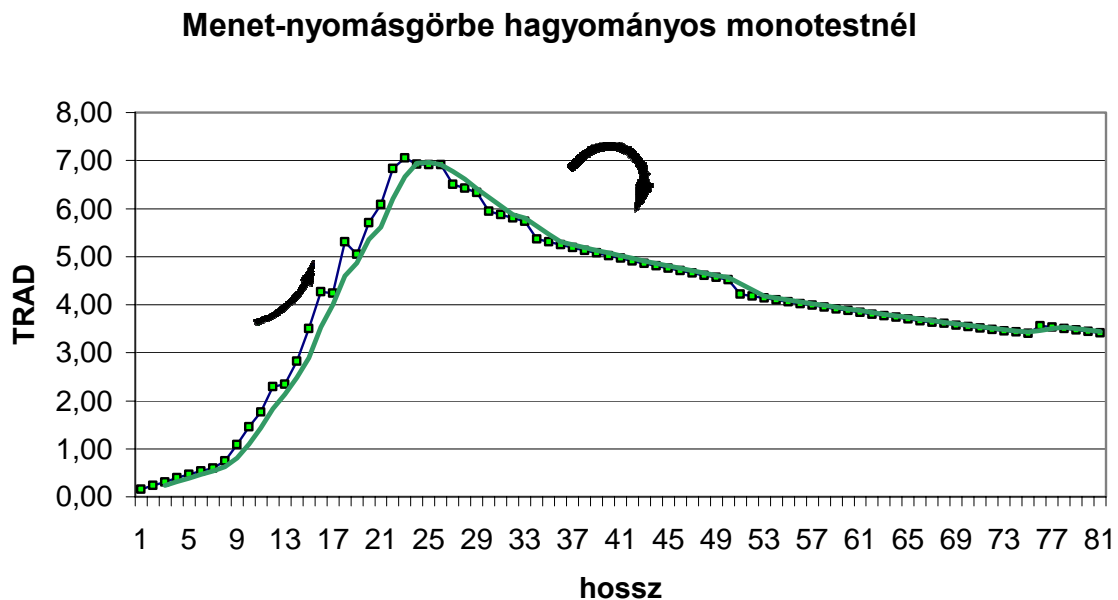
A menetnyomás-görbe alakján túl, fontos maximumának nagysága is. A számított menet-nyomás görbe alatti területe ugyanis a **haladás energiaigényével** arányos. A horizontálisan az X tengelyen ábrázolt menet-nyomásérték tehát minél alacsonyabb kell legyen.

A testforma javítást egy iterációs módszerrel dolgozó program használatával mutatjuk be példaképpen a következőkben, ahol jól látható a testkialakítás kedvező megváltoztatásának hatása.

Először fel kell venni a test adatait dx lépcsőnként és meghatározni ezek $p=dV/dF$ arányát. Ábrázolva ezt, megvizsgáljuk a görbe alakját (homorú részek -szívóhatás kiküszöbölése), és elkezdjük a test keresztmetszetének módosítását az orrtól a far felé úgy, hogy a menetnyomás-görbe jellemzői javuljanak. Figyelnünk kell egyben a menetnyomás-görbe maximumának nagyságára is. Az UTH-testes hajókra elmondható, hogy testalakjuk a fentiek szerinti ideális alakra könnyen beállítható és a maximuma is egy nagyságrenddel csökkenthető végső eredményként.

Hagyományos kialakítású egytestű hajó jellegzetes menet-nyomásgörbéje

Tekintsük meg egy példán a hagyományos kialakítású monotest menet-nyomásgörbéjét és ennek jellegzetességeit (7. ábra) a test hosszirányban felvett testhossz-nyomásváltozás diagrammon.



7.ábra

Ez a lehető legrosszabb és kerülendő menetnyomás-görbe.

A hajóorr után kialakult nyomáscsúcs magas, 7,0 egység körüli, jellegzetesen homorú. A menetnyomás-görbe maximuma a test első harmada környékén alakul ki, majd visszaesik és homorú alakban húzódik a függőleges kialakítású farig, ahol hirtelen nullára esik.

A nyomásváltozás a környező folyadék fizikai tulajdonsága miatt rögtön a vízáramlás megjelenésében és nagyságának, irányának megváltozásában realizálódik (mely persze a haladás sebességétől is időben függő). A folyadék említett fizikai jellemzői miatt ez viszonylag gyorsan le is zajlik, azaz a test haladása közben a nyomás már kiegyenlítődik és vízszintemelkedést, vagy szívás esetén vízszintcsökkenést okoz. A nyomás oldalirányú vízszintemelkedést, a szívás vízszintcsökkenést okoz.

A menetnyomás-görbe kezdeti homorúsága azt jelzi, hogy az orrészén keletkező nagy mennyiségű vizet (kiszorított térfogatot) kell kilöknön a hajó oldalra, azaz a görbe homorúsága a víz irányát is jelzi. A hegyes nyomáscsúcs azt jelzi, hogy az exponenciálisan növekvő nyomásnövekedés hirtelen fordul át exponenciálisan csökkenő nyomáscsökkenésbe.

Példánkban a nyomáscsúcs utáni hosszú szakaszon a test mellett korábban létrehozott nyomásállapot kiegyenlítődésének folyamatban lévő, vagy lezárult folyamata után egyértelműen és folyamatosan szívás lép fel, az áramlás örvénylő mozgásának egyidejű kialakulásával. A hajó végén a szívás-nyomásváltozás igen jelentős, markáns, 4-ről esik nullára.

UTH-hajó jellegzetes menetnyomás-görbéje

Menetnyomásgörbe UTH testnél javítás előtt



$$y = -1E-10x^6 + 4E-08x^5 - 5E-06x^4 + 0.0003x^3 - 0.0091x^2 + 0.1346x$$
$$R^2 = 0.9955$$



Menetnyomás-görbe az UTH testnél, javítás után

Egy UTH-hajótest menetnyomás-görbéje látható javítás előtt a 8. ábrán, ahol jól látható a testkialakítás kedvező megváltoztatásának hatása a görbe elejének alakján (homorú részek - nyomóhatás intenzitás csökkentése) és a menetnyomás-görbe maximumának csökkenésén.

Ha a test alakját tovább javítjuk a megkívánt dV/dF =lineáris felé, akkor a 9. ábrán látható görbét kapjuk, mely azzal, hogy **a nyomáscsúcs nagysága 0,72 és azzal, hogy a homorú részek eltűntek, ideálisnak nevezhető.**

Vegyük észre, hogy az UTH test a homogén menetnyomásgörbe kialakításával a hagyományos monostest alakhoz képest tízszeres hatékonyságjavulást mutat ($7/0,72=10!!$).

Jellemző, hogy az UTH testeknél, a farnál kialakuló szívás jóval kisebb (itt 3,5 helyett 0,25), azaz a menetellenállása emiatt is kedvezőbb, mert kisebb a visszahúzó szívóhatás.

Menet-nyomásgörbe jellemzők vizuális megjelenése és értékelése

A most bemutatott menetnyomás-görbe jellemzők és ezek regisztrálható hatásai az eddigi hajótest tervezések során legfőbb véletlenszerűen alakultak ki és nem tudatosan. Emiatt a jelenleg gyártott hajók ilyen elemzése is igen érdekes lehet.



10.ábra

Érdeemes megfigyelni sima vízen, lassú haladáskor, a monotest mellett milyen vízforma alak képződik a hajó mellett (10. ábra), mert ez egyrészt az előbb leírt menetnyomás-görbe elmélet szerinti vízmozgás valós kialakulását igazolja, másrészt igen jól szemlélteti is.

A bemutatott képen a hajó lamináris vízáramlás tartományában halad. Jól látható az orr után kialakuló erősen homorú menet-nyomásgörbére jellemző, exponenciálisan növekvő vízszint-emelkedés. A test hátsó kétharmadánál a vízszint már az eredeti állóvíz szintje alá metsz, azaz itt folyamatos *szívóhatás* lépett fel (homorú a menetnyomás-görbe). Ennek mértéke pedig akkora, hogy a far után képződő, nagy nyomásesés miatt kialakuló farhullám megemelkedő vízszintje már a hajó *menetirányába, azaz előre folyik* (mintegy lejtőként kialakult felszínű vízteknő felé), melynek találkozása a vízfelületen, jellegzetes felületi törésponttal, jól körülhatárolhatóan látható a far előtt a képen.

A hajó víz alatti térfogatának jelentős változása a $d(t)$ időegység alatt (menetben) nem kerülhető el, mert a hasznos felhajtóerőre szükségünk van. A jelenlegi példából azonban kitűnik, hogy milyen nagy jelentőségű a víz alatti test alakjának megformálása, illetve milyen nagy hatása van a test kialakításának a haladáshoz szükséges energia minimalizálásában.

Különösen a vitorlás hajóknál fontos, hogy a nehezen nyert szélenergiával okosan gazdálkodjunk, azt lehető legjobb módon hasznosítsuk, a menetsebesség lehető legmagasabb értéken tartásával fordítsuk, ne pedig az örvénylések és súrlódás legyőzésére. Ebben segíti a hajósokat, gyártókat az UTH-testek alkalmazása. Különösen a vitorlás versenyhajók tervezésére jellemző manapság az a fokozott verseny, mely a teljesítmény növelésére irányul. Ebben minden kis tervezési elem fontos, mellyel bármilyen kicsi, de újabb növekedés érhető el a sebességben, hiszen a szél minden hajónak egyformán adott. Mondhatjuk tehát, hogy a győzelem ma már szinte csak ezeknek az újdonságoknak a tervezésben történő gyors alkalmazásától függ. ***Az UTH-testekkel elérhető kétszeres sebesség igen nagy fejlődési lépcső. Alkalmazása kiemelkedő jelentőségű, forradalmi fejlesztési lehetőséget nyújt.***