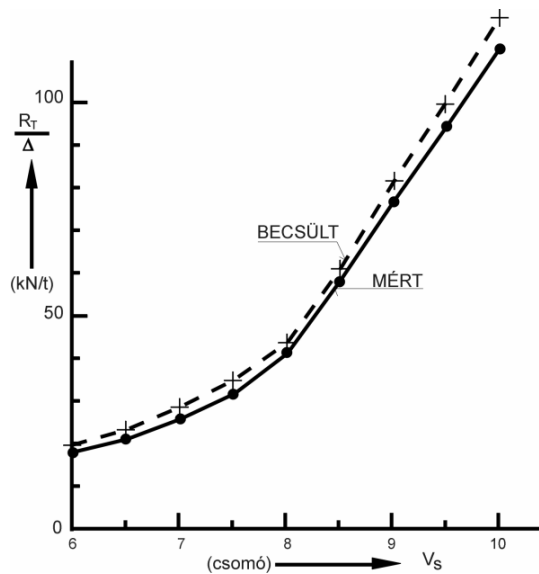


2.2.2 Ellenállás- és teljesítmény-számítások

A 2.2.1 fejezetben foglalt ismeretanyag birtokában, amely ugyan döntően tapasztalati tudást jelent, de a hajótervező szempontjából mégis az elméletet képviseli ahhoz, hogy számszerűen meg tudja határozni egy adott hajó várható ellenállását a sebesség függvényében, illetve az ahhoz szükséges teljesítményt, amelyet a *propulziós eszköznek* kell biztosítania a tartós üzemállapot eléréséhez, a következőkben azt kell megismernünk, mire lehet használni az így kapott eredményeket.



2.2.2.1 ábra Hajómodell becsült és mért adatainak összevetése

A propulziós teljesítmény biztosítja a hajó haladását a kívánt üzemi sebességgel. A hajótest formája döntő jelentőségű abból a szempontból, hogy gazdaságosan minimális ellenállása legyen a haladással szemben, vagyis a lehető legkisebb teljesítményű, gazdaságosan üzemeltethető könnyű gépeket lehessen beépíteni anélkül, hogy az előírt áruszállító képesség csökkenne.

Az üzemi sebesség a hajó működési területén normál teherrel és gépteljesítménnyel elérhető átlagos sebesség átlagos időjárás viszonyok mellett. A

próbaúti sebesség az a sebesség, amelyet egy mért pálya mentén a hajóval átlagosan el lehet érni a teljes gépteljesítmény kihasználásával, amennyiben az időjárás nem rendkívüli és a hajótest víz alatti része meg van tisztítva, a terhelés pedig a specifikációnak megfelelő. Ez a sebesség valamivel a szokásos üzemi sebesség felett kell, hogy legyen.

Az olyan esetektől eltekintve, amikor egy ismert hajótípussal megegyező hajótest formát alkalmazunk, általában modellkísérleti méréseket (tank teszt) végeznek. A tervező ezek alapján számos különböző üzemi állapotnak megfelelő ellenállásgörbével rendelkezik a hajótestre vonatkozóan, és a test formájának módosítását is kezdeményezheti. A kezdeti fázisban azonban azokat a hasonló hajótesteknél kapott mérési eredményeket lehet felhasználni, amelyeket már nyilvánosságra hoztak.

A gépi berendezés specifikálásánál a tulajdonos gyakran a számára és személyzete számára ismerős gyártmányú és típusú gépek beépítését írja elő.

A hajó üzemeltetéséhez szükséges teljesítmény olyan esetben, amikor egy adott hajótípusból több példány készül, hogy egy speciális feladatot folyamatosan el lehessen látni, lehetőség van a prototípussal olyan méréseket végezni, amelyeket a számított adatokkal lehet összehasonlítani. A 2.2.2.1 ábra mutatja egy adott hajómodell esetén a becsült és a mért ellenállások görbéjének meglehetősen jó egyezését.

A hajótervező ellenállás-számítási feladattal a következő két fő esetben találkozik.

1. Meglevő főméretekkel rendelkező hajó esetében meg kell határozni a hajótest ellenállását és a szükséges gépteljesítményt a sebesség függvényében, és fel kell rajzolni a kapott eredményeket. Az így szerzett adatok felhasználhatóak:
 - az üzemi adatok helyességének igazolására vagy azok korrigálására (pl. üzemi sebesség tartományának módosítására, vagy a beépített főgép-teljesítmény növelésére, esetleg csökkentésére), illetve
 - a már kiválasztott főméretek módosítására, ha az eredmények azt mutatják, hogy az üzemi sebesség az ellenállásgörbe kedvezőtlen szakaszára esik.
2. Adott feladatra kell megtalálni azt az optimális hajótestet, amely a követelményeket (hasznos terhelés, üzemi sebesség, kereszt- és hosszstabilitás, szilárdság, stb.) olyan módon képes kielégíteni, hogy az adott feladatot a lehető legjobban oldja meg az összes lehetséges megoldás közül.

Az első eset rendszerint olyankor fordul elő, amikor az adott feladatra ismert járművet vesznek igénybe akár úgy, hogy meglévő hajót vásárolnak meg és a kellő átalakítások után állítják üzembe, akár egy sorozathajóból kívánnak kialakítani egy némileg különböző járművet, amelynek megépítése előtt azonban biztosítani akarják, hogy az adott feladatot a hajó lehetőleg optimálisan teljesíteni tudja. Ilyenkor tehát nemcsak a követelmények adottak, hanem a lehetőségek is korlátozottak.

A második esetben a követelmények vannak világosan meghatározni, és a lehetőségek bővíthetőek.

Mindkét esetben szükség van a hajótest ellenállásának kiszámítására, a szükséges effektív teljesítmény meghatározására, de a számítási munka volumene nem azonos. Az adott feladathoz rendelt optimális hajótest kiválasztása szükségessé teszi a főméretek optimális kiválasztását, tehát a főméretek (illetve azok viszonya) variációival a számítást többször kell megismételni, majd az összes változó figyelembe vételével kell az optimális megoldást kiválasztani.

A gyakorlatban nincs lehetőség olyan széleskörű modellkísérletek elvégzésére, amit a standard sorozatokkal hajtottak végre, legfeljebb az optimálisként kiválasztott hajóra van mód egy modellkísérletre, amely a számítást vagy igazolja, vagy rámutat, milyen módosításokat kell elvégezni. A számítás-sorozathoz tehát a standard sorozatokkal végzett mérések eredményeit kell felhasználni, azaz fel kell tételezni, hogy azok alkalmazhatóak az adott esetre, és a kapott eredmények a gyakorlatban elfogadható hibahatárokon belül lesznek.

2.2.2.1 Adott főméretekkel rendelkező hajó ellenállás- és teljesítmény-számítása

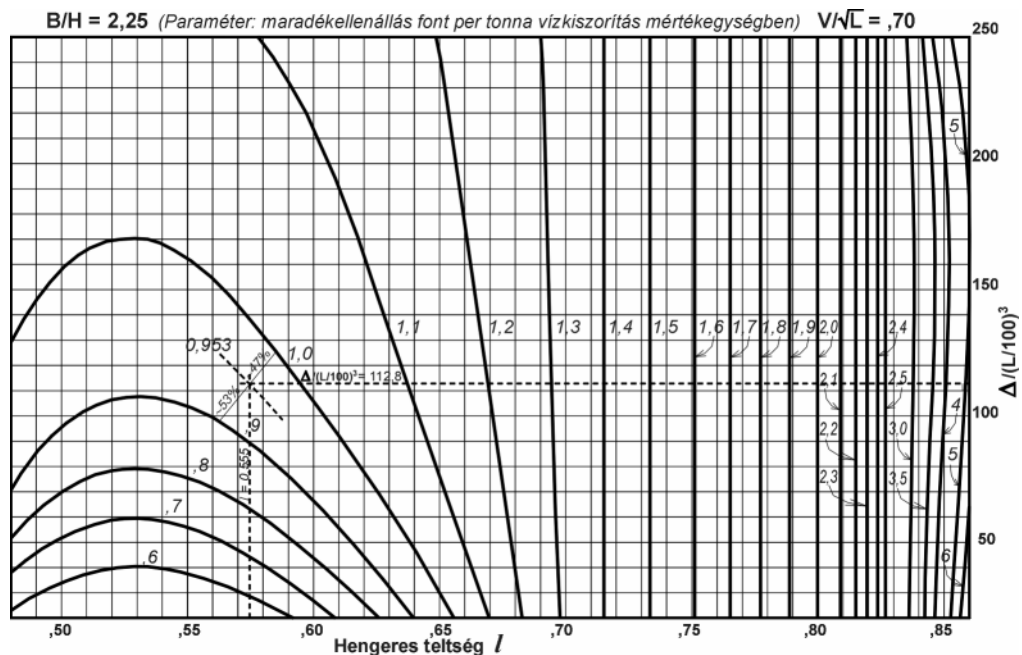
A számítás menete a Taylor eljárás szerint a következő.

1. A hajó ismert főméreteiből meghatározzuk a sorozat-eredmények használatához szükséges fix mennyiségeket, ezek:
 - B/H – szélesség/merülés viszony
 - l – hengeres teltség (C_p)
 - $\Delta/(L/100)^3$ – ahol Δ a vízkiszorítás súlya tengervízben, L a vízvonalhossz lábban.

2. Azokról a $B/H = 2,25$ paraméterhez tartozó diagramokról, ahol a $\Delta/(L/100)^3$ értéke értelmezhető, tehát nincs szükség extrapolációra, $\Delta/(L/100)^3$ és l metszésében leolvassuk a maradék-ellenállás R_r/Δ értékét (ld. 2.2.2.1.1 pont).
3. Ugyanezt elvégezzük a $B/H = 3,75$ paraméterű diagramoknál is.
4. A súrlódási ellenállás meghatározására több lehetőség van (ld. 2.2.2.1.2 pont):
 - Froude módszere,
 - ATTC 1947 görbe táblázatos értékei,
 - ITTC 1957 görbe képlete a súrlódási ellenállás-tényezőre,
 - Taylor R_r/Δ görbéiből a V/\sqrt{L} értékeihez leolvassuk az 500-láb hosszú hajó súrlódási ellenállás értékeit, majd korrigáljuk a tényleges hajóhosszra,
 - Taylor effektív teljesítmény táblázatával számolunk.
5. Az effektív teljesítmény kiszámítására használt táblázat segítségével meghatározzuk az egyes sebességekhez tartozó effektív teljesítményértékeket (ld. 2.2.2.1.3 pont).

2.2.2.1.1 A maradék-ellenállás meghatározása

A 2.2.1 fejezet 2.1 alpontjában megtaláljuk a Taylor standard sorozatának méréseiből megszerkesztett maradék-ellenállás diagramokat, amelyek két B/T (Taylornál B/H) értékhez és azon belül egyenként 27-féle V/\sqrt{L} sebességtényezőhöz adják meg az R_r/Δ paraméterű görbesereget $\Delta/(L/100)^3$ és l (C_p megfelelője Taylornál) függvényében. A következő ábra a $B/H = 2,25$ és $V/\sqrt{L} = 0,70$ lapot (görbesereget) mutatja.



2.2.2.1 ábra Maradékellenállás/vízkiszorítás diagram

A diagramokban szereplő mennyiségek:

R_r/Δ – maradék-ellenállás / vízkiszorítás súlya tengervízben font/tonna

BBBZ kódex

$\Delta/(L/100)^3$ – a hajó szélesség/hossz viszonyára jellemző érték	tonna/láb ³
l – hengeres teltség	
B/H – szélesség/merülés viszony	
V/\sqrt{L} – sebességtényező	csomó/láb ^{1/2}

Amint a fentiekből kiderül, a maradék-ellenállás vízkiszorításra vonatkoztatott nagysága, amely a görbék paramétere, négy változótól függ, ezek közül kettő a diagramlap paramétere, kettő pedig a görbesereg koordinátája.

Példaként vegyük a Taylor standard sorozatok forrásaként választott *Leviathan* cirkálót, amelynek függélyek közötti hossza 500 láb, szélessége 71 láb 1 hüvelyk (71,083 láb), merülése zéró trim esetén 26 láb, vízkiszorításának súlya tengervízben 14.100 tonna, hengeres teltsége $l = 0,555$.

A hajótest fő paraméterei a maradék-ellenállás diagramok használatához:

$$B/H = 71,083/26 = 2,73$$

$$\Delta/(L/100)^3 = 14100/(500/100)^3 = 14100/125 = 112,8$$

$$l = 0,555$$

A $B/H = 2,25$ és $V/\sqrt{L} = 0,70$ paraméterű diagramon az ehhez tartozó R_r/Δ érték (a megfelelő görbe paramétere) 0,953.

Ugyanezt a műveletet valamennyi ($B/H = 2,25$ és $3,75$ illetve $V/\sqrt{L} = 0,30 - 2,00$) diagramlapon, összesen 54-szer el kell végezni (esetleg minden másodikon 26-szor). Az egyes V/\sqrt{L} értékekhez tartozó R_r/Δ értékeket a tényleges $B/H = 2,73$ paraméterre át kell számolni interpolációval.

A $V/\sqrt{L} = 0,70$ esetben ez a következő:

$$\begin{aligned}(R_r/\Delta)_{2,73} &= [(R_r/\Delta)_{3,75} - (R_r/\Delta)_{2,25}](2,73-2,25)/1,5] + (R_r/\Delta)_{2,25} = \\ &= ((R_r/\Delta)_{3,75} - 0,953)0,32) + 0,953\end{aligned}$$

Az összes sebességtényezőnél elvégzett interpoláció az effektív teljesítmény számítás részét képezi (ld. 2.2.2.1.3 pont).

2.2.2.1.2 A súrlódási ellenállás meghatározása

A hajók súrlódási ellenállásának meghatározására, amint azt a 2.2.1 fejezet 1.1.1 alpontjában láthattuk, nagyon sok kutatást végeztek a 19. századtól napjainkig. Adott esetben a hajótervezőtől függ, melyik módszerhez folyamodik, a következő öt közül választhat általában.

1. Froude módszere

Amennyiben ezt alkalmazzuk, a súrlódási ellenállás fontban:

$$R_F = fSV^{1,825}$$

ahol $f = 0,00871 + 0,0530/(L+8,8)$ tengervíznél és

$$f = 0,00849 + 0,0516/(L+8,8)$$
 édesvíznél

S nedvesített felület láb²

V sebesség csomó.

Az f értékeit a 2.2.1 fejezet 1.1.1 alpontjában levő 2.2.1.1.1.1 táblázatból is ki lehet keresni a hajóhossz függvényében.

Az f súrlódási együttható ezen értékei 15°C (59°F) hőmérsékletű vízre vonatkoznak, a standard értéktől eltérő hőmérsékleteknél a súrlódási együtthatót csökkenteni kell $0,43\%$ -kal minden $+1^{\circ}\text{C}$, vagy $0,24\%$ -kal minden $+1^{\circ}\text{F}$ esetén.

2. ATTC 1947 görbe táblázatos értékei (Schoenherr középértékek)

Az amerikai modellkísérleti konferencia (ATTC) 1947-es határozatában a Schoenherr középértékek néven ismert súrlódási ellenállás képletet ajánlotta alkalmazásra. Ezt a formulát 1932-ben publikálta Karl E. Schoenherr, aki egy nagyon tekintélyes megbízható adathalmazt gyűjtött össze a síklemez-mérésekről, azt kiegészítette a sajátjaival, és az eredményül kapott C_F súrlódási ellenállás-tényező értékeket az R_n Reynolds-szám függvényében ábrázolta. A képlet a következő:

$$0,242/C_F^{1/2} = \log_{10}(R_n C_F)$$

ahol C_F a súrlódási ellenállás-tényező

R_n a hajó vagy modell Reynolds-száma

A képlet implicit alakja nehézkessé teszi a használatot, ezért a két változó értékei táblázatba vannak foglalva (2.2.1.1.1.2 táblázat).

A táblázat értékeinek grafikus ábrázolása az alábbi görbét eredményezi.

A hajótest R_F súrlódási ellenállása ennek alapján fontban vagy newtonban:

$$R_F = C_F (\frac{1}{2}\rho S V^2)$$

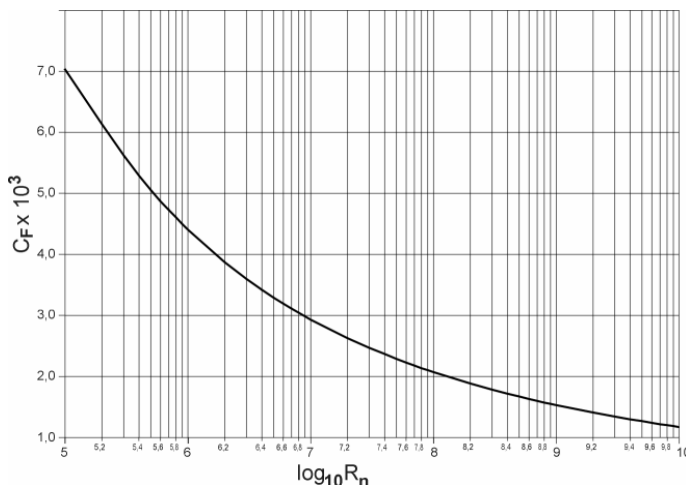
ahol C_F a számított súrlódási tényező

ρ a víz (tengervíz vagy édesvíz) sűrűsége fontsec²/láb⁴ vagy kg/m³

S a hajótest nedvesített felülete láb² vagy m²

V a hajó sebessége csomó vagy m/sec.

A sebesség értékeinek kiválasztásánál azokból a V/\sqrt{L} számokból kell kiindulni és a hajóhossz segítségével visszszámolni a sebességet, amelyek a maradék-ellenállás diagramoknál paraméterként vannak kiválasztva, hogy az effektív teljesítmény számításánál a maradék-ellenállásból kiadódó sebességértékekkel összhangban legyünk.



2.2.2.1.2.1 ábra A Schoenherr középértékek görbéje

3. ITTC 1957 görbe képlete
A manapság legszélesebb körben elfogadott és használt formulát a nemzetközi modellkísérleti konferencia (ITTC) 1957-ben fogadta el. A súrlódási ellenállás-tényező:

$$C_F = 0,075/(\log^{10} R_n - 2)^2$$

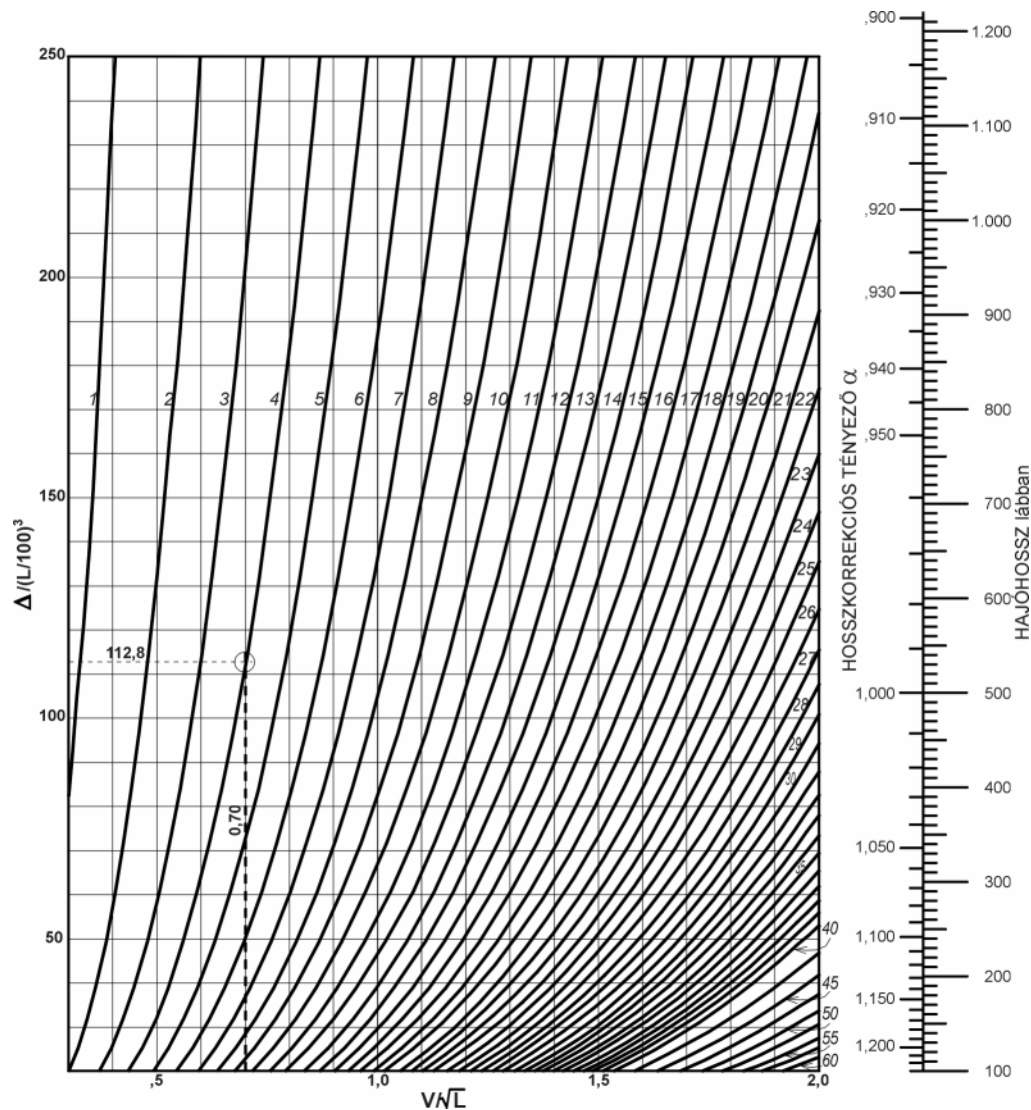
ebből az R_F súrlódási ellenállás az előző pontban leírt módon számítható ki.

Általános vélemény, hogy ez a formula jobb a Schoenherr középértékek görbéjénél, különösen kisebb Reynolds-számoknál. A nagyobb hajóknál érvényes Reynolds-számok esetében pedig a két képlet gyakorlatilag azonos eredményt ad. Az ITTC 1957 görbe azzal a számítási előnnyel is rendelkezik, hogy a képlet explicit alakú, így közvetlenül megoldható a C_F értékére bármilyen R_n értéknél.

Az előző pontban elmondottak érvényesek a sebességértékek megválasztására itt is.

4. Taylor effektív teljesítmény táblázata

Amennyiben ezt választjuk, az effektív teljesítmény számításakor elkerüljük a többi formula használatával járó átszámítási műveleteket. Ugyanakkor, mivel ez az eljárás Froude módszerén alapul, az ATTC 1947 ill. ITTC 1957 számítási módszer pontosságával szemben elkövetünk pár százalékos hibát.



2.2.2.1.2.2 ábra Taylor súrlódási ellenállás diagramja

Ahogy erről már említés történt, előzetes ellenállás- és teljesítményigény számításánál ez elfogadható.

Taylor súrlódási ellenállás számítása egy 500 láb hosszú hajó súrlódási ellenállásából indul ki, amelynek nedvesített felület tényezője 15,4. Az R_f/Δ vízkiszorítás-súlyra vonatkoztatott súrlódási ellenállást hasonlóan diagramban (görbeseregben) ábrázolta, ahol a görbék paramétere az ellenállás/vízkiszorítás font per tonna mértékegységben, a két koordináta pedig a maradék-ellenállásnál már megismert V/\sqrt{L} sebességtényező és a hajó szélesség/hossz viszonyára jellemző, adott hajónál állandó $\Delta/(L/100)^3$ mennyiség.

A súrlódási ellenállás görbéinek képlete korrekció nélkül:

$$R_f = 0,00904 * 15,4 * \sqrt{(\Delta L)} * V^{1,83} = 0,1392 * \Delta^{1/2} * L^{1/2} * V^{1,83}$$

mértékegység font, tonna és láb, illetve csomó.

Korrekció a hajóhossz szerint ($R_f = \alpha R_{f500}$):

$$\alpha = (f/L^{0,085}) * (500^{0,085}/f_{500})$$

ahol f - Tideman-konstans a 2.2.1.2.1.1.1 táblázatból

L - LWL vízvonal-hossz lábban.

Alternatívaként ezt a számítást elhagyhatjuk, mert az effektív teljesítmény számítására alkalmas táblázat az R_f/Δ mennyiséggel dolgozik. A vízkiszorításra vonatkoztatott súrlódási ellenállás:

$$R_f/\Delta = (5,3303 \alpha * c / [\Delta / (L/100)^3]^{1/2}) (V/\sqrt{L})^{1,83} \text{ font per tonna vízkiszorítás}$$

ahol a c nedvesített felület tényező két módon határozható meg:

- a 2.2.1.2.1.1.56 ábrán látható diagramból a B/H szélesség/merülés viszony és m főborda-teltség függvényében,
- a következő képlettel:

$$C = S/(\Delta L)^{1/2}$$

ahol S - nedvesített felület láb²

Δ - vízkiszorítás súlya tonna

L - a hajótest vízberült részének közepes hossza láb.

Az R_f/Δ értéket az effektív teljesítmény számításánál mindegyik V/\sqrt{L} értékhez meghatározzuk.

Példaként vegyük ismét a Taylor standard sorozatok forrásaként választott Leviathan cirkálót, és számoljuk ki súrlódási ellenállását a $V/\sqrt{L} = 0,70$ sebességtényezőnél az összes említett módon. A hajó függvények közötti hossza 500 láb, szélessége 71 láb 1 hüvelyk (71,083 láb), merülése zéró trim esetén 26 láb, vízkiszorításának súlya tengervízben 14.100 tonna, hengeres teltsége $l = 0,555$, főborda-teltsége $m = 0,923$.

1. Froude módszere

$$R_F = f S V^{1,825} = \text{font}$$

$$\begin{aligned} \text{tengervíznél } f &= 0,00871 + 0,0530/(L+8,8) = 0,00871 + 0,0530/508,8 = \\ &= 0,008814 \end{aligned}$$

Taylor nedvesített felület tényezőjéhez (2.2.1.2.1.1.56 ábra)

$$B/H = 2,73 \quad m = 0,923 \quad \text{azaz } C = 14,9$$

$$\text{nedvesített felület } S = C(\Delta L)^{1/2} = 14,9 * (14100 * 500)^{1/2} = 39.562 \text{ láb}^2$$

$$\text{sebesség } V = (V/\sqrt{L}) * \sqrt{L} = 0,70 * \sqrt{500} = 0,70 * 22,36 = 15,652 \text{ csomó,}$$

$$R_F = 0,008814 * 39562 * 15,652^{1,825} = 0,008814 * 39562 * 151,3875 = 52.785 \text{ font}$$

2. ATTC 1947 görbe

$$R_F = C_F (\frac{1}{2}\rho S V^2) \text{ N}$$

ahol a hajó Reynolds-száma az adott sebességnél $R_n = VL/\nu =$
 $= 8,0564 * 500 * 0,3048 / 1,18831 * 10^{-6} = 1,033 * 10^9$

ehhez a görbéből nyert súrlódási tényező $C_F = 0,00145$

tengervíz sűrűsége 15°C-nál $\rho = 1025,9 \text{ kg/m}^3$

a hajótest nedvesített felülete $S = 3.675 \text{ m}^2$

a hajó sebessége $V = 8,0564 \text{ m/sec}$

$$R_F = 0,00145 * \frac{1}{2} * 1025,9 * 3675 * 8,0564^2 = 177.460 \text{ N} = 39.844 \text{ font}$$

3. ITTC 1957 görbe képlete

A súrlódási tényező $C_F = 0,075 / (\log^{10} R_n - 2)^2 = 0,075 / (9,0141 - 2)^2 = 0,001524$

$$R_F = 0,001524 * \frac{1}{2} * 1025,9 * 3675 * 8,0564^2 = 186.503 \text{ N} = 41,876 \text{ font}$$

4. Taylor effektív teljesítmény táblázata

A 2.2.1.2.1.1.55 (ill. 2.2.2.1.2.2) ábra szerint meghatározzuk a viszonyítási hajó (500 láb hossz, 15,4 nedvesített felület tényező) R_f/Δ vízkiszorítás tonnánkénti súrlódási ellenállását. A $\Delta/(L/100)^3 = 14100/(500/100)^3 = 14100/125 = 112,8$ és $V/\sqrt{L} = 0,70$ értékekhez az $R_f/\Delta = 4$ font per tonna vízkiszorítás. Ebből a súrlódási ellenállás korrekció nélkül:

$$R_f = (R_f/\Delta) * \Delta = 4 * 14100 = 56,400 \text{ font}$$

Ugyanez a képlettel:

$$R_f = 0,00904 * 15,4 * \sqrt{(\Delta L)} * V^{1,83} = 0,1392 * \Delta^{1/2} * L^{1/2} * V^{1,83} =$$
$$= 0,1392 * 14100^{1/2} * 500^{1/2} * 15,652^{1,83} = 0,1392 * 118,74 * 22,36 * 153,48 =$$
$$= 56.723 \text{ font}$$

Alternatívaként vegyük az effektív teljesítmény számítására szolgáló táblázat formuláját:

$$R_f/\Delta = (5,3303\alpha * c / [\Delta/(L/100)^3]^{1/2}) (V/\sqrt{L})^{1,83}$$

ahol a képletben szereplő mennyiségek

hossz szerinti korrekció $\alpha = 1$

nedvesített felület tényező $c = 14,9$

$$\text{ezzel } R_f/\Delta = (5,3303 * 14,9 / 112,8^{1/2}) * 0,70^{1,83} = 7,478 * 0,5206 = 3,893$$

$$R_f = (R_f/\Delta) * \Delta = 3,893 * 14100 = 54,890 \text{ font}$$

Ha most összehasonlítjuk a kapott eredményeket, azt látjuk, hogy Taylor önmagával és a Froude módszerrel összhangban van, azonban a többi módszerrel kapott eredményekhez képest mintegy 30%-kal nagyobb súrlódási ellenállást eredményez.

Ennek jelentőségét csökkenti az a tény, hogy a súrlódási ellenállás csak a kisebb sebességeknél domináns, a nagyobb sebességek és teltebb hajótestek esetén a hullámképző ellenállás a súrlódásinak a többszörösét is eléri.

Az a következtetés azonban, hogy érdemes a modern képletekre támaszkodni a súrlódási ellenállás becslésénél, általában megállja a helyét.

2.2.2.1.3 Az effektív teljesítmény meghatározása

A hajó haladásához szükséges effektív teljesítmény görbéje, amelyből a propulziós eszköz főméreteinek kiválasztásánál ki kell indulni, a 2.2.1.2.1.1.2 táblázat használatával határozható meg.

Effektív teljesítmény meghatározása Taylor Standard sorozataiból

Hajó:..... Modell száma:.....

Vízvonalhossz	$L = \dots\dots\dots$ láb	$\sqrt{L} = \dots\dots\dots$	$B/H = \dots\dots\dots$
Szélesség	$B = \dots\dots\dots$ láb	$\Delta/(L/100)^3 = \dots\dots\dots$	$[\Delta/(L/100)^3]^{1/2} = \dots\dots\dots$
Merülés	$H = \dots\dots\dots$ láb	$R_T/\Delta = (5,3303\alpha * c / [\Delta/(L/100)^3]^{1/2}) (V/\sqrt{L})^{1,83} =$	
Vízszorítás tengervízben	$\Delta = \dots\dots\dots$ tonna	$= \dots\dots\dots * 5.$	
Nedvesített felület	$S = \dots\dots\dots$ láb ²	Effektív teljesítmény $EHP =$	
Főborda-teltség	$m = \dots\dots\dots$	$= 0,00307\Delta * \sqrt{L} * (V/\sqrt{L}) * (R_T/\Delta) =$	
Hengeres teltség	$l = \dots\dots\dots$	$= \dots\dots\dots * (V/\sqrt{L}) * (R_T/\Delta)$	
Nedvesített-felület tényező	$c = \dots\dots\dots$	R_T/Δ korrekció $B/H = \dots\dots$ értékhez:	
Hosszkorrekció	$f = \dots\dots\dots$ $\alpha = \dots\dots\dots$	4. = [(2. - 3.)*(B/H-2,25)/1,5] + 3.	

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
V/\sqrt{L}	R_T/Δ diagramból		R_T/Δ $B/H = \dots$	$(V/\sqrt{L})^{1,83}$	R_T/Δ	R_T/Δ 6.+ 4.	EHP	V
	$B/H=3,75$	$B/H=2,25$						
0,30				0,1104				
0,35				0,1464				
0,40				0,1870				
0,45				0,2319				
0,50				0,2813				
0,55				0,3349				
0,60				0,3927				
0,65				0,4546				
0,70				0,5206				
0,75				0,5907				
0,80				0,6647				
0,85				0,7428				
0,90				0,8246				
0,95				0,9104				
1,00				1,000				
1,05				1,094				
1,10				1,191				
1,15				1,291				
1,20				1,396				
1,25				1,504				
1,30				1,616				
1,35				1,732				
1,40				1,851				
1,50				2,100				
1,60				2,363				
1,80				2,932				
2,00				3,555				

Hosszkorrekciós tényező α												
L	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800	900	1.000
α	1,130	1,095	1,067	1,045	1,027	1,012	1,000	0,979	0,961	0,946	0,933	0,921

A 2.2.2.1.2 pont alapján érdemes az R_T/Δ értékeit más (Froude, ATTC vagy ITTC) eljárással is kiszámítani, és alternatív R_T/Δ értékekkel meghatározni a szükséges effektív teljesítményt.

Ellenállás-becslési módszerek

A hajók ellenállás-tényezőjének meghatározására számos módszer létezik, amelyek szisztematikusan végzett modellkísérleti méréseken alapulnak. A legismertebb a holland

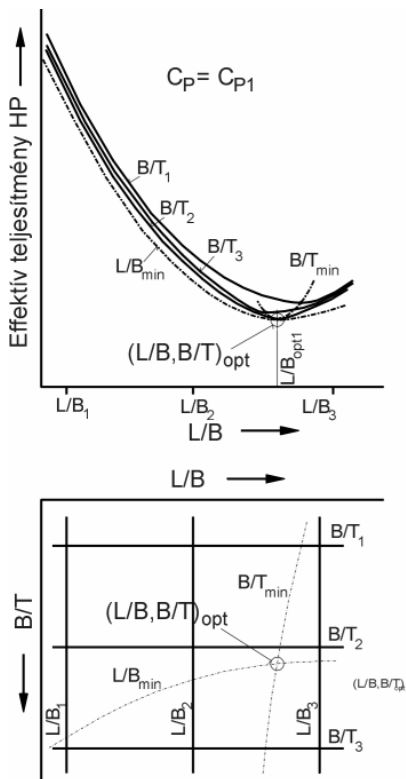
waageningeni *MARIN modellkísérleti intézet* által kidolgozott eljárás, amelyet szerzőjéről neveztek el *Holtrop módszernek*, és a közzététel éve jelzi a változatot (pl. [Holtrop, 1977]). A módszer alapját az intézetben évek során végzett ellenállásmérések képezik. A módszer számítógépes alakban is elérhető, a szakirodalomban „Holtrop és Mennen” módszerként ismeretes.

2.2.2.2 Adott feladathoz optimális hajótest kialakítása

Az előző 2.2.2.1 pontban láthattuk, hogy ismert paraméterekkel rendelkező hajótest ellenállását és az ahhoz szükséges effektív teljesítményt hogyan határozhatjuk meg. Ebben az esetben azonban ez nem elégséges, mivel azt akarjuk elérni, hogy a feladat elvégzésére alkalmas hajók paraméterei közül azokat tudjuk kiválasztani, amelyekkel a feladat a lehető legjobban hajtható végre. Vagyis optimum-számítást kell végezni a paraméterek szisztematikus változtatásával.

Adott feladathoz optimális hajótest kiválasztásakor rendszerint a fő paraméterek közül valamelyik rögzítve van. Pl. egy bizonyos hajózóúthoz, amelyre korlátozások vonatkoznak, mint a Panama- vagy a Szezei-csatornánál, a hordképesség van megadva. Vagy a sebesség és a rendelkezésre álló főgép teljesítménye az egymással szemben álló két követelmény.

A feladatok zöme azonban adott hordképességű és típusú hajóra vonatkozik, tehát a hajóforma, a körülbelüli vízkiszorítás és a minimálisan elvárt üzemi sebesség az a három biztos pont, ahonnan el lehet indulni. A következőkben ilyen feladat lehetséges megoldásaival foglalkozunk.



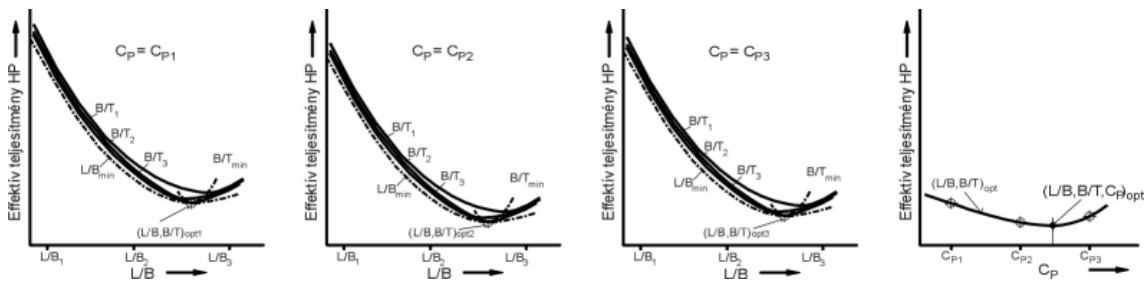
2.2.2.2.1 ábra Fix C_p értéknél optimális L/B és B/T érték meghatározása

Adott hajótípus (pl. áruszállító vagy személyszállító hajó) és vízkiszorítás esetén változtatható paraméterek: hossz/szélesség viszonyszám - L/B szélesség/merülés viszonyszám - B/T (Taylornál B/H) hengeres teltség - C_p (Taylornál l) A hajótípus már eldönti a főborda alakját, vagyis a főborda-teltséget, a vízkiszorítás pedig a hajótest alakját, pl.

bulbaorral vagy anélkül.

Egy adott hajóhoz, amikor mind a három fenti paraméter rögzített, a sebesség függvényében meghatározható az ellenállás illetve effektív teljesítmény. Ez azt jelenti, hogy mindegyik paraméternek több (legalább három, de jobb, ha öt) értékénél kell elvégezni a számítást, vagyis az előző pontban ismertetett műveletet. Egy paraméter változtatásakor annak optimumához jutunk el, és így tovább. Ha ezt ábrázolni akarjuk, a 2.2.2.2.1 ábrán látható három-dimenziós diagramot kapjuk.

Az optimumok optimumát tovább ábrázolhatjuk az eddig változatlanul tartott harmadik paraméter függvényében, és akkor megkapjuk mind a három paraméter optimális értékét (ld. 2.2.2.2.2 ábra).



2.2.2.2.2 ábra Abszolút optimum képzése az optimumok optimumának görbéjéből

A harmadik paraméter optimális értéke alapján interpolációval juthatunk el az előző két paraméter optimumához. A három paraméter optimális értékeihez tartozó hajótestre ezután megismételhetjük a műveletet, amely, ha a rengeteg számítás során nem követtünk el hibát, a már kapott eredményt igazolja.

Példaként vegyünk egy olyan hajótestet, amely parti áruszállító hajóként 20 csomó elvárható üzemi sebességgel közlekedik. Hasznos hordképessége 1.300 tonna, ehhez tartozó vízkiszorítás kb. 2.100 tonna. A paramétereknek a számításnál figyelembe vett három értéke egyenként:

- hengeres teltség C_p 0,6, 0,7 és 0,8
- hossz/szélesség viszonyszám L/B 4, 7 és 10
- szélesség/merülés viszony B/T 2,25, 3 és 3,75.

Ugyanezt a hajótestet személyszállítóként is vizsgáljuk meg, ahol azonban az elvárt sebesség 30 csomó.

Az Excel programban elvégzett számítás eredményei az alábbiakban láthatók.

Érdeemes megfigyelni, hogy 20 csomós üzemi sebességnél a hengeres teltségnek kis befolyása van a teljesítményigényre, ugyanakkor a szélesség/merülés viszony kisebb értékei bizonyulnak kedvezőbbnek. A hossz/szélesség viszonynál kisebb teltség esetén egyértelműen a közepes értékek a kedvezőek, azonban nagyobb teltségénél már azonos eredményt adnak a hosszabb hajótestek.

A 30 csomós üzemi sebességnél, amely személyhajóknál elvárható követelmény, a hosszabb és szélesebb hajótestek bizonyulnak kedvezőbbnek.

BBBZ kódex

Az effektív teljesítmény számítása az áruszállító hajó 20 csomós sebességéhez optimálisnak bizonyuló paraméterek esetén (2.2.2.2.1 táblázat):

2.2.2.2.1 táblázat Effektív teljesítmény görbe értékeinek számítása

C_p	0,6	L/B	7	B/T	2,25					
Vízvonalhossz	$L =$	510,4	láb	$\sqrt{L} =$	22,6	$B/H =$	2,250			
Szélesség	$B =$	72,91	láb	$\Delta/(L/100)^3 =$	16	$[\Delta/(L/100)^3]^{1/2} =$	3,97			
Merülés	$H =$	32,41	láb	$R_r/\Delta = (5,3303\alpha \cdot c[\Delta/(L/100)^3]^{1/2})(V/\sqrt{L})^{1,83}$						
Vízkeszítés tengervízben	$\Delta =$	2100	tonna	$EHP = 0,00307\Delta \cdot \sqrt{L} \cdot (V/\sqrt{L}) \cdot (R_r/\Delta)$						
Nedvesített felület	$S =$	15944	láb ²							
Főbordateltség	$m =$	0,98								
Hengeres teltség	$l =$	0,6								
Nedvesített-felület tényező	$c =$	15,40	R_r/Δ korrekció $B/H = \dots$ értékhez:							
Hosszkorrekció	$f =$	0,00881	$\alpha =$	0,998	4. = [(2. - 3.)*(B/H-2,25)/1,5] + 3.					

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
V/\sqrt{L}	R_r/Δ diagramból		R_r/Δ $B/H = 2,25$	$(V/\sqrt{L})^{1,83}$	R_r/Δ	R_r/Δ (6.+4.)	EHP	V
	$B/H=3,75$	$B/H=2,25$						
0,3		0,115	0,1150	0,11	2,2758	2,3908	104	6,8
0,35		0,145	0,1450	0,15	3,0179	3,1629	161	7,9
0,4		0,177	0,1770	0,19	3,8548	4,0318	235	9,0
0,45		0,209	0,2091	0,23	4,7804	4,9894	327	10,2
0,5		0,285	0,2851	0,28	5,7987	6,0838	443	11,3
0,55		0,32	0,3201	0,33	6,9036	7,2237	579	12,4
0,6		0,38	0,3801	0,39	8,0951	8,4752	741	13,6
0,65		0,48	0,4801	0,45	9,3711	9,8512	933	14,7
0,7		0,6	0,6002	0,52	10,7316	11,3317	1155	15,8
0,75		1,1	1,1003	0,59	12,1766	13,2769	1450	16,9
0,8		1,5	1,5004	0,66	13,7020	15,2024	1771	18,1
0,85		1,8	1,8005	0,74	15,3120	17,1124	2119	19,2
0,9		2,46	2,4606	0,82	16,9982	19,4588	2551	20,3
0,95		3,25	3,2508	0,91	18,7669	22,0177	3047	21,5
1		4,2	4,2011	1	20,6139	24,8149	3614	22,6
1,05		5,5	5,5014	1,09	22,5516	28,0530	4290	23,7
1,1		5,6	5,6014	1,19	24,5511	30,1525	4831	24,9
1,15		5,9	5,9015	1,29	26,6125	32,5140	5446	26,0
1,2		6,5	6,5017	1,4	28,7769	35,2786	6166	27,1
1,25		7	7,0018	1,5	31,0032	38,0050	6919	28,2
1,3		8	8,0021	1,62	33,3120	41,3141	7823	29,4
1,35		12	12,0031	1,73	35,7032	47,7063	9380	30,5
1,4		13	13,0033	1,85	38,1562	51,1596	10432	31,6
1,5		16	16,0041	2,1	43,2891	59,2932	12954	33,9
1,6		20	20,0051	2,36	48,7105	68,7157	16014	36,1
1,8		25	25,0064	2,93	60,4398	85,4463	22402	40,7
2		30	30,0077	3,56	73,2823	103,2900	30089	45,2

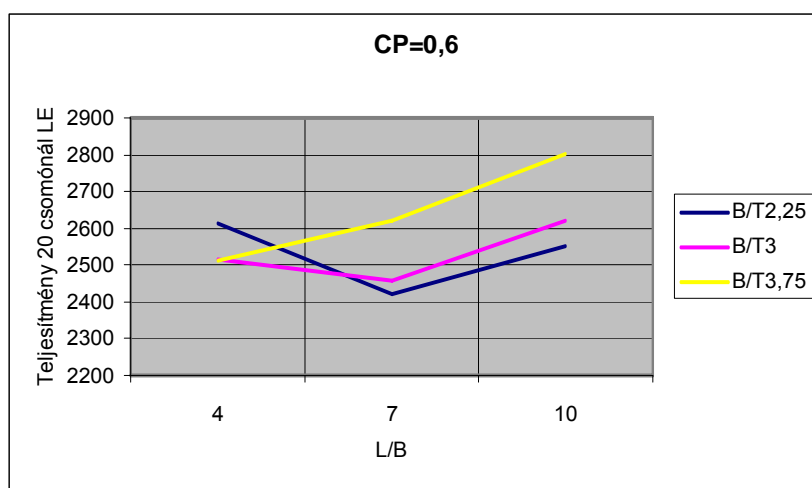
2.2.2.2.2 táblázat 20 illetve 30 csomós üzemi sebesség teljesítményigénye LE-ben

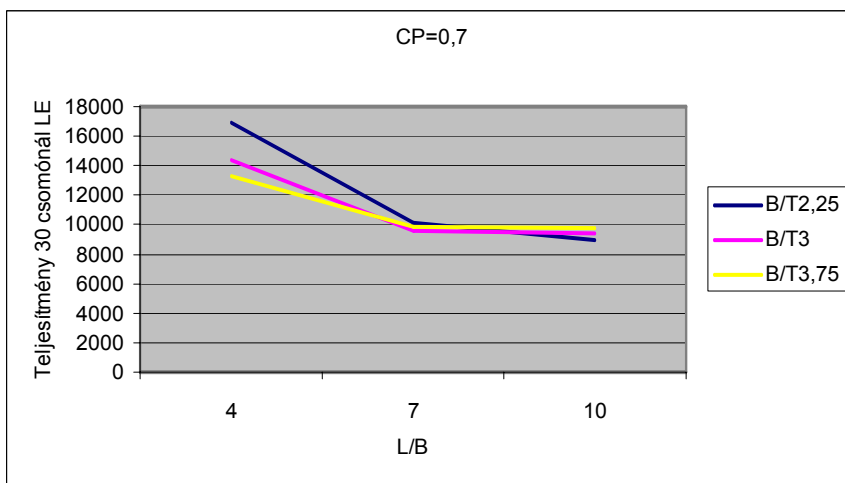
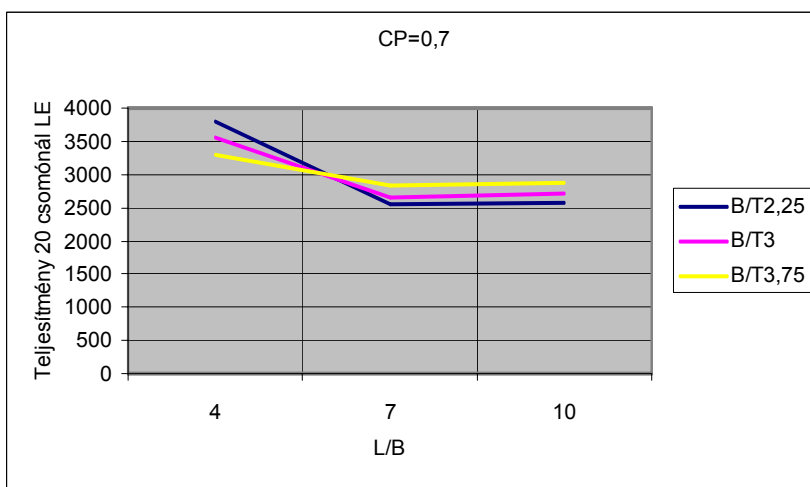
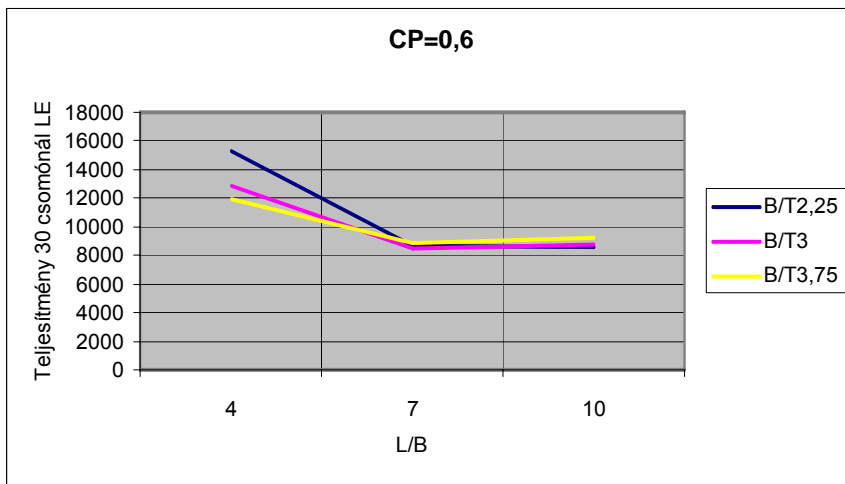
	<i>L/B</i>		<i>B/T</i>			<i>B/T</i>		
			2,25	3	3,75	2,25	3	3,75
$C_P = 0,6$	<i>L/B</i>	4	2612	2515	2513	15295	12894	11928
	<i>L/B</i>	7	2423	2456	2619	8692	8445	8885
	<i>L/B</i>	10	2551	2621	2803	8585	8813	9261
$C_P = 0,7$	<i>L/B</i>	4	3800	3555	3299	16881	14381	13329
	<i>L/B</i>	7	2551	2659	2839	10168	9570	9891
	<i>L/B</i>	10	2570	2710	2872	8974	9397	9770
$C_P = 0,8$	<i>L/B</i>	4	6172	5345	4892	19911	18154	17495
	<i>L/B</i>	7	3246	3347	3542	13439	12808	12627
	<i>L/B</i>	10	3212	3201	3329	11128	10678	11143

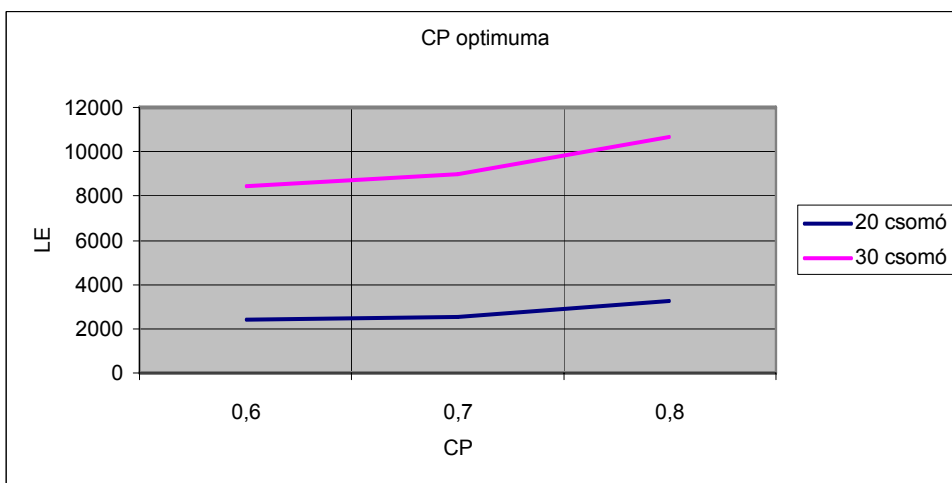
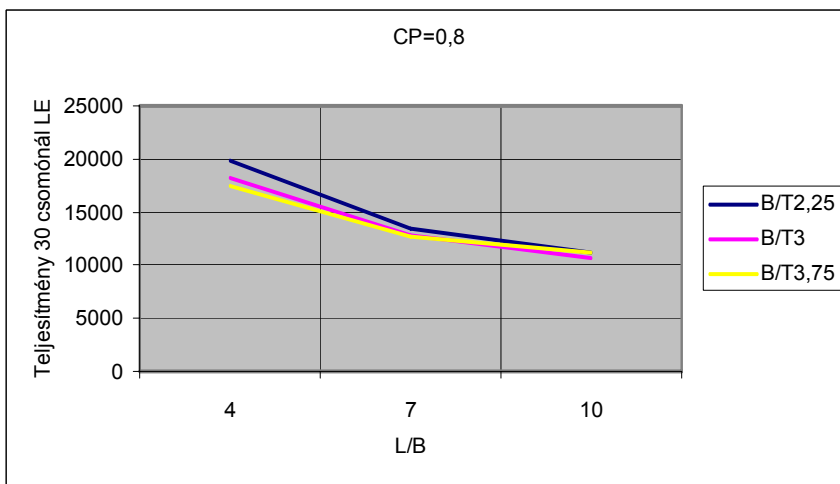
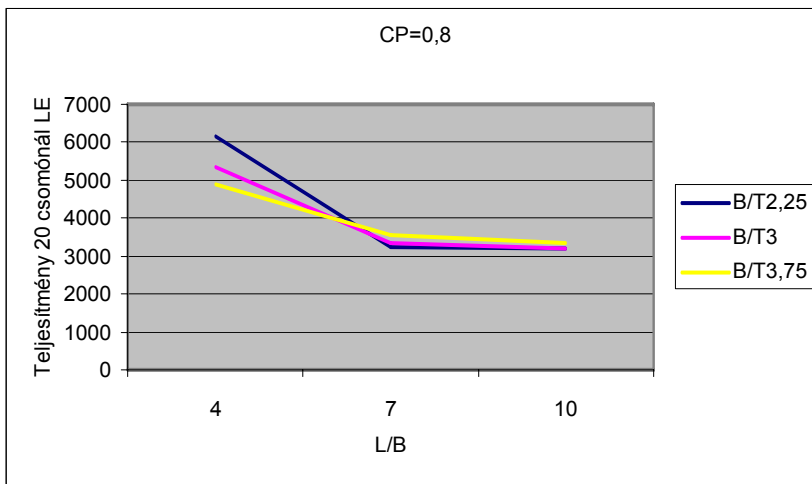
2.2.2.2.3 táblázat A hossz/szélesség és szélesség/merülés viszony optimális értékei

B/T és L/B optimuma			
20 csomónál			
C_P	<i>L/B</i>	<i>B/T</i>	<i>EHP</i>
0,6	7	2,25	2423
0,7	7	2,25	2551
0,8	7	2,25	3246
30 csomónál			
0,6	7	3	8445
0,7	10	2,25	8974
0,8	10	3	10678

Az eredmények diagramban:







BBBZ kódex

A hajók ellenállásának számítása azonban csak egyik részét képezi annak a komplex témakörnek, amely a hajóépítők számára ellenállás és propulzió néven ismeretes. Az ellenállás legyőzéséhez szükséges teljesítményt a főgép által hajtott propulziós eszköz biztosítja, ennek tárgyalása a 4. fejezetben található.