

# *BBBZ* *kódex*



# BBBZ-kódex

**Kézikönyv vízi-járművek tervezésével, építésével és üzemeltetésével  
foglalkozó műszaki szakemberek részére**

**Összeállította: Komáromi József okl. járműgépész mérnök  
az irodalomjegyzékben foglalt szakirodalom és rendeletek, valamint  
utasítások alapján**

## **1. könyv**

**Tartalomjegyzék, tárgymutató, bevezetés, hajóelmélet**

Megjelent elektronikus könyvként  
(e-book)

©Komáromi József  
Szerkesztette: Komáromi József  
ISBN: 978-963-08-8665-9



## 0.1 Tartalomjegyzék

### 0 TARTALOMJEGYZÉK

**0.1 Tartalomjegyzék** (01.01\_tartalom.doc)

**0.2 Tárgymutató** (02.02\_targymutato.doc)

**1 Bevezetés** (03.1\_bevezetes.doc)

**1.1 Előszó**

**1.2 A kézikönyv célja**

**1.3 A kézikönyv használata**

**1.4 Irodalomjegyzék**

**1.5 Köszönetnyilvánítás**

**2 Hajóelmélet** (04.2\_hajoelmelet.doc)

**2.1 Történeti áttekintés és elméleti alapok**

2.1.1 Történeti áttekintés

2.1.2 Alapfogalmak, mértékegységek, jelek és rövidítések

2.1.2.1 Általános hajóelmélet

2.1.2.2 Geometria és hidrosztatika

2.1.2.3 Ellenállás és propulzió

2.1.2.4 Kormányzás és tengerállóság

2.1.3 A hajógyártás eszközei és szervezése

2.1.3.1 A hajógyár

2.1.3.2 A hajótervezés folyamata

**2.2 A hajó fő paramétereinek meghatározása** (05.22\_foparametek.doc)

2.2.1 Modellkísérletek (06.221\_modellkiserletek.doc)

2.2.1.1 A hajók ellenállása

2.2.1.2 Standard sorozatokkal végzett modellkísérletek  
(07.2212\_standardsorozatok.doc)

2.2.2 Ellenállás- és teljesítmény-számítások (08.222\_ellenallasszamitas.doc)

2.2.2.1 Adott főméretekkel rendelkező hajó ellenállás- és teljesítmény-számítása

2.2.2.2 Adott feladathoz optimális hajótest kialakítása

**2.3 Geometriai tervezés** (09.23\_geometria.doc)

2.3.1 Előzetes geometriai méretezés és ellenőrzés

2.3.2 A hajótest geometriájának részletes tervezése

2.3.2.1 A hajótest alakjának hidrosztatikai jellemzői

2.3.2.2 Stabilitás és egyensúly (10.2322\_stabilitas.doc),  
(11.232212\_nagydolesszogustabilitas.doc), (12.23222\_hosszstabilitas.doc)

2.3.2.3 Lékszámítás (13.2323\_lekesedes.doc)

2.3.2.4 Jellemző görbék (14.2324\_jellemzogorbek.doc)

**2.4 A hajó menettulajdonságainak tervezése** (15.24\_menettulajdonsagok.doc)

2.4.1 A valóságos hajózási környezet

---

**3. kiadás 2014. 0.1 TARTALOMJEGYZÉK 02.TÁRGYMUTATÓ 1.BEVEZETÉS  
2.HAJÓELMÉLET**



- 
- 2.4.1.1 A mozgásban levő víz
  - 2.4.1.2 A hajó mozgásformái hullámos vízen
  - 2.4.1.3 Mozgás-csökkentő eszközök
  - 2.4.2 Főgép-teljesítmény meghatározása  
(16.24\_menettulajdonsagok\_242\_fogep\_243\_kormany.doc)
  - 2.4.2.1 A működésmód és üzemanyag kiválasztása
  - 2.4.2.2 A propulzió konstrukciójának meghatározása
  - 2.4.2.3 A szükséges teljesítmény kiszámítása
  - 2.4.3 Kormánymű tervezése
  - 2.4.3.1 A kormánylapát konstrukciója és a hajó kormányzása
  - 2.4.3.2 A hajó irányítása kis sebességnél
  - 2.4.3.3 A manőverezési képesség mérése: modellkísérletek és hajókon végzett mérések
  - 2.4.3.4 Automatikus irányvezérlés: hatása a konstrukcióra
  - 2.4.4 Fedélzeti berendezések kiválasztása és tervezése  
(17.24\_menettulajdonsagok\_244\_fedelzeti.doc)
  - 2.4.4.1 Kormánymozgató berendezések
  - 2.4.4.2 Kikötő-, horgony- és vontató-berendezés, valamint csónakcsörlők és daruk
  - 2.4.4.3 Rakodó-berendezések
  - 2.4.4.4 Rakománykezelő és hozzáférést biztosító berendezések
  
  - 3 Hajótípusok (18.3\_hajotipusok.doc)**
  - 3.1 Szárazáru szállító teherhajók**
  - 3.2 Szárazáru szállítókból kialakult egyéb típusok**
  - 3.3 Tömegáru szállító hajók**
  - 3.4 Olajtankhajók**
  - 3.5 Személyszállító hajók**
  - 3.6 Hadihajók és tengeralattjárók (19.36\_hajotipusok\_hadihajok.doc)**
  - 3.6.1 Hadihajók
  - 3.6.2 Tengeralattjárók
  - 3.6.2.1 Tengeralattjárók hidrosztatikai és stabilitásszámításai
  - 3.6.2.2 Kereskedelmi tengeralattjárók
  
  - 4 A hajók szerkezeti felépítése (20.4\_szerkezetifelepites\_41hajotest.doc)**
  - 4.1 Hajótest**
  - 4.1.1 A hajók szilárdsága
  - 4.1.1.1 Hossz-szilárdság
  - 4.1.1.2 Keresztszilárdság
  - 4.1.2 A hajótest acélszerkezetének gyártása
  - 4.1.2.1 Szerkezeti anyagok (21.412\_hajotestgyartas\_4121\_szerkezetianyagok.doc)
  - 4.1.2.2 Gyártástechnológiai eljárások
  - 4.1.3 Az acélszerkezet kialakítása (22.413\_acelszerkezet\_kialakitasa.doc)
  - 4.1.3.1 Fenékszerkezet
  - 4.1.3.2 Héjlemez és oldalszerkezet

- 4.1.3.3 Válaszfalak és oszlopok (23.413\_acelszerkezet\_4133\_valaszfalak.doc)
- 4.1.3.4 Fedélzetek, felépítmények és fedélzeti házak
- 4.1.3.5 Orrszerkezet
- 4.1.3.6 Farszerkezet
- 4.1.3.7 Különleges szerkezetű hajótestek (24.413\_acelszerkezet\_4137\_kulonleges.doc)
- 4.1.3.8. Korrózióvédelem (25.413\_acelszerkezet\_4138\_korroziovedelem.doc)
- 4.1.4 Vízrebocsátás (26.414\_vizrebocsatas.doc)
- 4.2 Gépészeti berendezések** (27.42\_gepeszeti berendezesek.doc)
  - 4.2.1 Fedélzet alatt elhelyezett berendezések
    - 4.2.1.1 Főgépek
    - 4.2.1.2 Segédgépek (28.4212\_segedgepek.doc)
    - 4.2.1.3 Elektromos berendezések (29.4213\_elektromos es segeduzemi berendezesek.doc)
    - 4.2.1.4 Segédüzemi berendezések
  - 4.2.2 Rendszerek (30.422\_rendszerek.doc)
    - 4.2.2.1 A hajó mint önálló egység szükségleteit kiszolgáló rendszerek
    - 4.2.2.2 A hajó védelmét szolgáló rendszerek
    - 4.2.2.3 A gépi berendezéseket kiszolgáló rendszerek
    - 4.2.2.4 A személyzet és utasok életfeltételeit biztosító rendszerek
  - 4.2.3 Fedélzeti berendezések (31.423\_fedelzetiberendezesek.doc)
    - 4.2.3.1 Kormányozgató berendezések
    - 4.2.3.2 Kikötő-, horgony- és vontatócsörlők, valamint csónakcsörlők és daruk
    - 4.2.3.3 Rakodó-berendezések
    - 4.2.3.4 Rakomány-hozzáférés, kezelés és korlátozás
- 4.3 Hajók propulziója** (32.431\_propulzioalapfogalmak.doc)
  - 4.3.1 Alapfogalmak
  - 4.3.2 Hajócsavar (33.432\_hajocsavar.doc)
    - 4.3.2.1 Történeti áttekintés
    - 4.3.2.2 A hajócsavar geometriája (34.4322\_hajocsavargeometria.doc)
    - 4.3.2.3 Modellkísérletek (35.4323\_csavarmodellkiserletek.doc), (36.4323\_csavarmodellkiserletek\_432312marin.doc)
    - 4.3.2.4 Hajócsavar-tervezés (37.4324\_csavartervezes.doc), (38.4324\_csavartervezes\_43241taylor.doc), (39.4324\_csavartervezes\_43242orvenyelmelet.doc)
    - 4.3.2.5 Hajócsavar-gyártás (40.4325\_csavargyartas.doc)
  - 4.3.3 Különleges propulzió-fajták (41.433\_kulonlegespropulzio.doc)
    - 4.3.3.1 Voith-Schneider propeller
    - 4.3.3.2 Kirsten-Boeing propeller
    - 4.3.3.3 Lapátkerék
    - 4.3.3.4 Sugárhajtások
    - 4.3.3.5 Z-hajtások
    - 4.3.3.6 Vitorla
  - 4.3.4 Tengelyrendszerek (42.434\_tengelyrendszer.doc)
- 4.4 Lakóterek és üzemi terek kialakítása** (43.44\_lako\_es\_uzemiterek.doc)

- 4.4.1 Lakóterek és utasok elhelyezésére szolgáló terek és helyiségek
  - 4.4.1.1 Lakóterekre vonatkozó általános szempontok
  - 4.4.1.2 Lakó- és utasterek kialakítására vonatkozó osztályozó intézeti elvek
- 4.4.2 A hajó üzeméhez szükséges terek
  - 4.4.2.1 Fő- és segéd-géptér
  - 4.4.2.2 Kazántér
  - 4.4.2.3 Kormány-géptér
  - 4.4.2.4 Szivattyútér
- 5 Hajóépítési szabályzatok (44.5\_hajoepitesiszabalyzatok.doc)**
- 5.1 Nemzeti és nemzetközi szabványok**
- 5.2 Osztályozó intézetek előírásai**

## 02 TÁRGYMUTATÓ

Ebben a fejezetben azoknak a kifejezéseknek, neveknek és rövidítéseknek a jegyzéke található betűrendes formában, amelyek ebben a könyvben előfordulnak.

A jegyzék célja, hogy az adott címszó előfordulási helyét meg lehessen találni. A címszó mögött található fejezetszám/oldalszám közül az első azt az adattárolói részegységet (fájlt) jelöli a könyvben, amely a 01.01\_tartalom.doc fájlban tárolt 01 Tartalomjegyzék részegységben a megadott fejezetszámmal kezdődik. A második annak a részegységnek a megfelelő oldalszámát jelenti.

Például az *archimédeszi spirális* 4.3.2/1 azt jelenti, hogy címszó a 33.432\_hajocsavar.doc nevű részegység 1. oldalán található. Vagy a *"Baross" és "Széchenyi"* 4.3.1/4, 4.3.3/9 jelentése, hogy a címszót megtaláljuk a 32.431\_propulzioalapfogalmak.doc 4. oldalán és a 41.433\_kulonlegespropulzio.doc 9. oldalán. Esetleg a *kormánykitérítési szög* 2.4.4/3 helye a 17.24\_menettulajdonsagok\_244\_fedelzeti.doc részegység 3. oldal

2-ütemű motorok 4.2/13	alakítványozók 2.3/20
4-ütemű motorok 4.2/13	alakváltozás 4/7, 4.1.2/15
19-A jelű gyűrű 4.3.2.3.1.2/29	alapozó-festék 4.1.3/2
19-A típus 4.3.2/8	alapvonal 2.1.3.2.1/27, 2.2/7
37 típus 4.3.2/9	alapvonal-sík 2.3/3
1947-es ATTC görbe 2.2.1/17	alátámasztás 4/2
1966-ban bevezetett rendelkezések (Tonnage Regulations) 3/3	algagátló bevonatok 4.1.3.8/9
	algásodás elleni festékek 4.1.3.8/8
<b>A</b>	alkalmazott áramos rendszerek 4.1.3.8/5
'A' típusú hajó 2.3.2.3/24	alkid-gyantás festék 4.1.3.8/7
abszolút viszkozitás 2.2.1.1.1/4	állandó emelkedésű 4.3.2.2/8
acél fedél 3/8	állandó fordulás fázisa 2.4.2/16
acél vízmentes toloajtó 4.1.3.3/5	állítható csavarszárny 4.3.2/4
acél záró-fedelek merevítőinek minimális mérete 4.1.3.3/17	állítható szárnyú hajócsavarok 4.1.3.3/39, 4.3.2.2/15
acélgyártás 4.1.2/7	állócsiga 4.2.3/18
acélok 4.1.2/7	állókötelek 4.3.3/23
acélok hőkezelése 4.1.2/9	állókötélzet 4.3.3/23
acélokhöz adagolt vegyi elemek 4.1.2/8	állópróbai tolóerő 4.3.2.4/18
acélöntvények 4.1.2/11	alsó holtpont 4.2/15
acetilén 4.1.2/19	alsó szélső szál 4/7
adaptív vezérlés 4.1.3/8	általános elrendezési rajz 2.1.3.2.1/26
adiabatikus kompresszió 4.2/15	általános elrendezési terv 2.2/4
admiralitás horgony 4.2.3/6	általános érvényű köbözési eljárás 3/4
agyátmérő 4.3.2.2/1	általános teherhajó 3/7
agyviszony 4.3.2.2/8	általános vasszerkezeti rajz 2.1.3.2.1/26
ajánlati terv 1.3/4, 2.2/1	alternatív egyenértékű személyhajó
aktív állapot 4.1.3.8/3	rendelkezések 2.3.2.3/23
aktív kormány 4.3.2/8	alternatív független táp 4.2.1.3/1
aktív vízkiszorítás 2.3.2.3/2	alternatív köbözési kategória 3/3
alacsony oldal 2.3.2.2/13, -27	alumínium gyártása 4.1.2/12
alacsonyabb rangú tiszték 4.4/4	alumínium ötvözetekből készült felépítmények 3/13

<i>American Bureau of Shipping, ABS</i>	<i>Azimuth Thruster</i> 4.3.3/16
2.3.2.3/7	<i>Azipod</i> 4.3.3/15
<i>American Towing Tank Conference</i>	<i>azonos fázis</i> 2.4/6
2.2.1/17, 4.3.2.3/4, 4.3.2.4/3	
<i>amerikai hadmérnökök testülete</i> 2.4/8	<b>B</b>
<i>Amoco Cadiz</i> 5/4	'B-60' szabadoldal érték 2.3.2.3/25
<i>angolszász mértékrendszer</i> 2.3.2.2/2	'B-100' típusú osztályozó jel 2.3.2.3/25
<i>angolszász rendszer</i> 2.3/9	<i>B csavarsorozatok nyíltvízi jellemzői</i>
<i>anód</i> 4.1.3.8/1	4.3.2.3.1.2/2
<i>anyagigénylési osztály</i> 2.1.3.2.1/27	<i>B-pálya</i> 2.3.2.2.1.2/1
<i>anyagraktár</i> 2.1.3.1/24	<i>B sorozat</i> 4.3.2.3/3, 4.3.2.3.1.2/1
<i>anyagvizsgálat</i> 4.1.2/15	'B' típusú hajó 2.3.2.3/24
<i>anyalánc</i> 4.2.3/5	<i>Babcock-Wilcox (B-W) kazán</i> 4.2/5
<i>áramlás leválása</i> 2.4.2/9	<i>bak</i> 4.1.4/1
<i>áramvonalak</i> 2.2.1.1.1/4	<i>Baker és Bottomley</i> 2.4.4/3
<i>áramvonalas</i> 2.4.2/6	<i>ballasztmenet</i> 3/4, -9
<i>áramvonalas szelvény</i> 4.3.2.4/8	<i>ballasztzivattyú</i> 4.2.1.3/4, -5
<i>árboc</i> 4.2.3/12	<i>ballasztzivattyú teljesítménye</i> 4.2.1.3/6,
<i>árbocdaru</i> 4.2.3/13	4.2.2/19
<i>árbocdaru geometriája</i> 4.2.3/16	<i>ballaszttank</i> 2.3.2.3/25, 3/8
<i>árboház</i> 4.2.3/13	<i>ballasztvíz</i> 2.3.2.2/20
<i>árbocok hátrahajlása</i> 4.3.3/22	<i>ballasztvíz rendszer</i> 4.2.2/19
<i>árbocok helye</i> 4.3.3/22	<i>Balogh-Vikár könyv</i> 1/2
<i>árbocok szakaszai</i> 4.3.3/22	<i>baloldal</i> 2.3/3
<i>Archimédész törvénye</i> 2/1, 2/2, 2.3.2.2/1	<i>balsafa szigetelés</i> 4.1.3.7/16
<i>archimédészi spirális</i> 4.3.2/1	<i>bárka</i> 2.3.2.2.2/5, 4.3.3/21
<i>argon</i> 4.1.2/25	<i>barkentin</i> 4.3.3/20
<i>áru be- vagy kirakodása</i> 2.3.2.2/21	<i>Barnaby, Sidney W.</i> 4.3.2.4.1/1
<i>áruszállító hajó</i> 2.4.2/4	<i>"Baross" és "Széchenyi"</i> 4.3.1/4, 4.3.3/9
<i>aszimmetrikus bulba szelvény</i> 4.1.3/27,	<i>Basil Lubbock</i> 4.3.3/21
4.1.3.3/3	<i>bathyscaphe konstrukció</i> 3.6/1
<i>aszimmetrikus szárny-kialakítás</i> 4.3.2/4	<i>Bauer – Taylor csavarszerkesztés</i> 4.3.2.2/3
<i>átesési pont</i> 2.4/9	<i>bázikus elektróda</i> 4.1.2/21
<i>átfolyó-nyílások</i> 4.1.3/19	<i>befecskendezés</i> 4.2/15
<i>átjárási lehetőség</i> 4.1.3.3/5	<i>behajlás</i> 2.2/7
<i>átkapcsoló</i> 4.2.1.3/1	<i>belépő-él</i> 4.3.2.2/1, -4
<i>átkötések</i> 4.1.3.7/5	<i>belógó</i> 4/7
<i>átlagos hullámmagasság</i> 2.4/13	<i>belső fedélzetes tankhajó</i> 3/11
<i>átlapolás</i> 4.1.3.3/4	<i>belső feszültségekből adódó korrózió</i>
<i>átlapolt</i> 4.1.3.3/4	4.1.3.8/3
<i>átmeneti üzemolaj</i> 4.2/13	<i>belső mag</i> 4.1.2/19
<i>átvezető csőblokk</i> 4.2.2/9	<i>belső szigetelésű tankok</i> 4.1.3.7/14
<i>atmoszférikus korrózió</i> 4.1.3.8/1	<i>belsőégésű motor</i> 4.2/13
<i>auto pilot</i> 2.4.2/21	<i>belsőfenék lemeze</i> 4.1.3/17
<i>automata hegesztés</i> 4.1.2/22	<i>belvízi hajózás</i> 1.1/2
<i>automatikus hajóvezérlés</i> 2.4.2/21	<i>bemerül a válaszfalfedélzet széle</i> 2.3.2.3/4
<i>automatikus irányvezérlés</i> 2.4.2/21	<i>bemerülő éktérfogat</i> 2.3.2.2.1.2/4
<i>automatikus tűzjelző és tűzoltó rendszer</i>	<i>bemerülő ék-alakú térfogat súlypontja</i>
3/11	2.3.2.2/13, -27
<i>automatikus visszacsapó szelep</i> 4.2.2/10	<i>Benedek</i> 1/2
<i>axiális átömlésű centrifugál szivattyú</i>	<i>beöntő és kifolyó járatok</i> 4.3.2.5/2
4.2.1.3/7	<i>berakodás</i> 2.3/10

## BBBZ-kódex

<i>Berendezési Jelzőszám (Equipment Numeral, EN)</i>	2.4.4/12	<i>Cederwall tömítés</i>	4.3.4/10
<i>Bernoulli</i>	4.3.2/1	<i>centrifugális erő</i>	2.4.2/17, 4.3.2.4.1/18
<i>Bernoulli egyenlet</i>	4.3.1/3, 4.3.2.4.2/43	<i>centripetális gyorsulás</i>	2.4.2/17
<i>beszivárgás</i>	2.3.2.3/1	<i>Champion of the Seas</i>	4.3.3/21
<i>Betz</i>	4.3.2.4/5	<i>Charpy U</i>	4.1.2/17
<i>bevonat</i>	4.1.2/21	<i>Charpy V</i>	4.1.2/17
<i>bicskázás</i>	4.2.3/18	<i>Church</i>	4.3.2/2
<i>billegés, rollázás</i>	2.3.2.2.1.2/16, 2.4/14	<i>cikk-cakk manőverek</i>	2.4.2/19
<i>billegő forgáskar</i>	2.4/20	<i>cikloidális propellerek</i>	4.3.3/1
<i>billegő-mozgás</i>	2.4/20	<i>ciklois</i>	2.4/4
<i>billenési centrum</i>	2.3.2.2.2/5	<i>Clark Y</i>	4.3.2.2/9
<i>billentő vagy trimmelő nyomaték</i>	2.3.2.2.2/1, - 6	<i>Crewdson</i>	4.3.2.4/14
<i>bitumen vagy kátrány</i>	4.1.3.8/7	<i>csapágy</i>	2.4.2/6, 4.3.4/8
<i>biztonsági tényező</i>	2.3.2.3/7, 412/16	<i>csapágyalapok</i>	4.1.3.3/10
<i>biztonságos üzemi terhelés</i>	4.2.3/17	<i>csaphegesztés</i>	4.1.2/24
<i>biztonságos üzemeltetés</i>	2.3/10	<i>csatornaméretű tömegáru szállító</i>	3/9
<i>blokk</i>	2.3.2.3/33	<i>csavaragy</i>	4.3.2.2/3
<i>blokk-szekciók</i>	4.1.3/11	<i>csavarás</i>	4/1
<i>Bonjean görbék</i>	2.3.2.2.2/11, 2.3.2.3/20, 4/14	<i>csavarkör-felület</i>	4.3.2.2/8
<i>borda</i>	2.3/8	<i>csavarkúp</i>	4.3.4/13
<i>bordafelület</i>	2.3/4, 2.3/16	<i>csavarodás</i>	4/23
<i>bordahajlítás</i>	4.1.3/7	<i>csavarszárny</i>	4.3.2/1
<i>bordakeret</i>	2.1.3.2.1/28	<i>cseppfolyós földgáz (LNG)</i>	4.1.3.7/11
<i>bordametszet</i>	2.3/4	<i>cseppfolyós földgáz szállítására szolgáló hajók</i>	4.1.3.7/16
<i>bordametszet-rajz</i>	2.3.2.2.1.2/4	<i>cseppfolyós gáz szállítására szolgáló hajók</i>	4.1.3.7/11
<i>bordametszet felület görbe</i>	2.3/16	<i>cseppfolyós petróleum-gáz (LPG)</i>	4.1.3.7/11
<i>bordametszetek vízbemerült részének felülete</i>	2.3/16	<i>cseppfolyós petróleum-gáz szállító hajók</i>	4.1.3.7/14
<i>bordarajz</i>	2.3/4	<i>csigák</i>	4.3.3/23
<i>bordasablon</i>	2.1.3.2.2/30	<i>csillapítás</i>	2.4/16
<i>bordasablon rajz</i>	4.1.3/7	<i>csillapítási tényező</i>	2.4/16, -18
<i>bordahajlító tábla</i>	4.1.3/7	<i>csillapítatlan</i>	2.4/16
<i>bölcső</i>	4.1.4/1, -2	<i>csillapítatlan acél</i>	4.1.2/8
<i>brig</i>	4.3.3/20	<i>csillapítatlan önlengésidő</i>	2.4/17
<i>brigantin</i>	4.3.3/20	<i>csillapítatlan önlengésszám</i>	2.4/17
<i>British Ship Research Association</i>	2.2.1.2/1	<i>csillapítatlan szabad lengés</i>	2.4/17
<i>BRT (bruttó regiszter tonna)</i>	4.1.3.3/37	<i>csillapító elemek</i>	4.1.2/8
<i>BSRA Sorozatok</i>	2.2.1.2/42	<i>csillapító erő</i>	2.4/16
<i>B típusú fél-membrán tankok</i>	4.1.3.7/18	<i>csillapított acél</i>	4.1.2/9
<i>buborékos kavitáció</i>	4.3.2.4/14	<i>csillapított szabad lengés</i>	2.4/17
<i>bukdácslás</i>	2.4/14	<i>csomó</i>	2.2.1/7
<i>bulba profil</i>	4.1.3.7/4	<i>csomólemez</i>	4.1.3/19
<i>bulba-orr</i>	3/6, 4.1.3.3/26	<i>csomólemez fenékborda</i>	4.1.3/19
<i>Bureau Veritas (BV)</i>	5/3	<i>csónakcsörlők és daruk</i>	2.4.4/24, 4.2.3/10
<i>Burrill, L. C.</i>	4.3.2.4/14	<i>csőalagút</i>	4.1.3/22, 4.2.2/8, -9
<i>búvó-nyílás</i>	4.1.3/19	<i>csőátvezetés</i>	4.1.3.3/4
<i>bütyökrendszer</i>	4.2/18	<i>csőrendszerek</i>	4.1.3/10
<b>C</b>		<i>csövek anyaga</i>	4.2.2/2
<i>Carnot ciklus</i>	4.2/13	<i>csúcsárboc</i>	4.3.3/19
		<i>csúcsörvény kavitáció</i>	4.3.2.4/14

## 3. kiadás 2014. 0.1 TARTALOMJEGYZÉK 02.TÁRGYMUTATÓ 1.BEVEZETÉS 2.HAJÓELMÉLET

csúcsvitorla 4.3.3/19  
csupasz hajótest állapot 2.2.1/23  
csúszda 4.1.4/1, -2  
csúszdák építése 4.1.4/1  
csúszdák szélessége 4.1.4/2  
Cutty Sark 4.3.3/21  
CWL 2.3/5

## D

D'Abbans, Claude de Jouffroy 4.3.3/1, -7  
dereglye-uszály 2.3.2.2/5  
desztilláló berendezés 4.2.1.3/9  
Det Norske Veritas (DNV) 5/3  
dezoxidálás 4.1.2/9  
diagonál-metszet 2.1.3.2.1/28, 2.3/4  
David Taylor Model Basin 2.2.1.2/37  
diffúzoroszög 4.3.2.3.1.2/29  
dilatáció 2.3.2.2/30  
dimenzió nélküli 2.2.1/7  
dimenzió nélküli tényező 4.3.2.2/16  
dinamikai hasonlóság 2.2.1/8  
dinamikai viszkozitás 2.2.1.1.1/4  
divergens hullám 2.2.1/20  
dízel üzemolaj 4.2/13  
dízel-elektromos propulzió 4.3.3/9  
dízelgenerátor 4.2.1.2/1, -3  
dízelmotor 2.4.2/1, 4.2/12, 4.3.3/9  
dízelmotorok indítása 4.2.1.3/8  
dízelmotorok irányváltása 4.2/17  
dobozos gerinc 4.1.3/16  
dobozszerkezetű nagyobb oszlopok 4.1.3.3/10  
dokkolás 2.4.2/1, 2.3.2.3/33  
dokkolásból eredő helyi feszültségek 4.1.3/15  
dokkoló csomólemezt 4.1.3.7/5  
dóm 4.1.3.7/15  
domborulat 4.1.3.3/13  
domborúság 2.4.2/8  
dongaforma 2.3/7  
dőlés 2.3/10  
dőlésszög 2.3.2.2/26, 2.3.2.2.1.2/1  
döngetés 4/23  
döntéspóba 2.3.2.2/24  
döntéspóba formula 2.3.2.2/24  
döntéspóba súly 2.3.2.2/25  
döntéspóbai metacentrikus magasság 2.3.2.2/25  
drótmodell 2.1.3.2.1/28  
dugattyú 4.2/15  
dugattyúfenék 4.2/16  
dugattyúrid 4.2/15  
dugattyús gőzgép 4.2/3, -8

Duna-Európa dereglye-uszály 4.3.3/15  
Duna-tengerjáró hajó 4.3.2.4/16  
dzsunka 4.3.3/18

## E

édesvízben mérhető faáruszállító szabadoldal 2.3.2.3/28  
édesvízben mérhető szabadoldal 2.3.2.3/28  
edzés 4.1.2/9  
effektív teljesítmény 2.2.1.1/3, 2.2.1.2/35, 2.2.1.2/39  
égéstér 4.2/18  
Eggert, E. F. 4.3.2.4.1/6  
egy centiméter fartrimre eső vízkiszorítás növekedés 2.3.2.2.2/10, 2.3.2.4/3  
egy centiméter trimváltozást okozó nyomaték 2.3.2.2.2/11, 2.3.2.4/2  
egy hüvelyk fartrimre eső vízkiszorítás növekedés 2.3.2.2.2/10, 2.3.2.4/3  
egy hüvelyk trimváltozást okozó nyomaték 2.3.2.2.2/11, 2.3.2.4/2  
egy indítás levegőszükséglete 4.2.1.3/8  
egybefüggő lemez fenékborda 4.1.3/19  
egybefüggő lemez fenékbordák osztása 4.1.3/21  
egyenáramú 4.2.1.3/1  
egyenest és fordított spirális tesztek 2.4.2/20  
egyenest úszás 2.3/10  
egyenest úszási állapothoz tartozó merülés 2.3.2.2.2/9  
egyenirányító 4.2.1.3/2  
egyenlőtlen szárú szögacél 4.1.3.3/3  
egyensúlyi állapot 2.3.2.2.1.2/1  
egyensúlyi helyzet 2.3.2.2/1, 2.3.2.2.1.2/2  
egyensúlyi helyzet feltételei 2.3.2.2/10  
egyidejűségi táblázat 4.2.1.2/1, 4.2.1.3/3  
egymással reakcióra képes alkotók 4.1.3.8/6  
egységes és szabályos hullámrendszer 2.4/3  
egységes méretű konténerek 3/4  
Egységesített Követelmények (UR) 2.4.4/8  
egységnyi merülés-változáshoz tartozó vízkiszorítás-változás 2.3.2.2.2/9  
egyszárnyú faminta 4.3.2.5/2  
egyszerű bordák 4.1.3/26  
egyszerű harántborda 4.1.3/19  
egyszerű lengőgém 4.2.3/15  
egyszerű szinusz-hullám 2.4/2  
egyszerű hajó 2.3.2.3/17  
együtt dolgozni 4/9  
együtttes jellegű görbék 4.3.2.2/13

## BBBZ-kódex

együttthordó felépítmény	4.1.3.3/24	elválasztó testtank (kofferdam)	4.1.3.3/8
ék	4.1.4/2	elvesztett vízkiszorítás	2.3.2.3/3
ék módszer	2.3.2.2.1.2/4	elvesztett vízkiszorítás módszere	2.3.2.3/8
elárasztás	2.3.2.3/1	emelkedés	4.3.2.2/1, -7
elárasztható hossz	2.3.2.3/17	emelkedés-eloszlás	4.3.2.2/8,
elárasztható hossz görbéje	2.3.2.3/17	4.3.2.3.1.2/31	
elárasztható hossz komplex határértékei	2.3.2.3/21	emelkedési szög	4.3.2.2/3, -7
elárasztható hossz stabilitás szerinti		emelkedésviszony	4.3.2.2/8
határértékei	2.3.2.3/21	emelőmagasság	4.2.1.3/6
elárasztható tér	2.3.2.3/25	emelt lakótér fedélzet	2.3.2.3/24
elárasztott tér	2.3.2.3/2	energia-átalakulási folyamat	4.3.1/15
elektróda	4.1.2/20, 4.1.3.8/1	engedélyezett maximális merülés	2.3.2.2/6
elektro-gázhegesztés	4.1.2/28	engedélyezhető hossz	2.3.2.3/17
elektrokémiai korrózió	4.1.3.8/1	ép hajótest	2.3.2.3/2
elektrolit oldat	4.1.3.8/1	építési terv	1.3/4
elektromechanikus indító	4.1.4/4	epoxigyanta	4.1.3.8/7
elektromos áramfejlesztő generátorok		ércszállító hajó	2.3.2.3/25
4.2.1.3/1		eredő erőhatások és jellemzők	4.3.2.4.2/28
elektromos áramforrás	4.1.2/20	Ericsson	4.3.2/3, -7
elektromos berendezések	4.2.1.3/1	Erika	3/12
elektromos hőtároló bojler	4.2.1.3/9	erózió	4.1.3.8/4, 4.3.2.4/14
elektromos ívhegesztés	4.1.2/20	erők és nyomatékok a kormányon	2.4.4/1
elektromos propulziós motor	4.3.3/9	erőpár	2.3.2.2/11
elektromos tengely	2.4.2/2, 4.2/11	eseti válaszfal-kiosztási index	2.3.2.3/23
elektro-salakos hegesztés	4.1.2/27	Estonia	3/6
elemek ellen védett ajtók	4.1.3.3/24	evező	4.3.3/1
elfordítható sugárkormány	2.4.2/19	excentrikus rakomány	2.3.2.2.1.2/22
ellátmány	2.3.2.2/20	expanziós csatlakozás	4/9
ellenállás	2/1, 2.4.2/7	expanziós kamra	4.1.3.7/1
ellenállásbecslés	2.4.2/1	Experiment	4.3.3/2
ellenálláserő	4.3.1/1	extrudálás	4.1.2/12
ellenállásgörbe	2.2/4	Exxon Valdez	3/11
ellenállás-tényező	2.2.1/6, 4.3.2.4/10		
ellendugattyú	4.2/19	<b>F</b>	
ellenirányú hegesztés	4.1.2/35	fa vagy acél gerendák	4.1.3.3/17
ellenkező fázis	2.4/6	faáruszállító hajók szabadoldala	2.3.2.3/28
ellenszél	4.3.3/24	fagyasztott hús	4.2.2/13
ellipszis szerkesztésének közelítő módszere	4.3.2.2/5	fajsúly	2.3.2.2/2
elliptikus pálya	2.4/4	fajtférfogat	2.3.2.2/2
elméleti borda	2.3/1, 2.3/4	famaszkok	4.1.4/6
elmerülés	2.3.2.3/3	fapadlózat	4.1.3/18, 4.1.3.3/14
elmozdítható fedélzet	4.2.3/23	far	2.3/3
elő-árboc	4.3.3/17	fáradt olaj	4.2.1.3/7, 4.2.2/28
előírt válaszfal-kiosztási index	2.3.2.3/23	farfelépítmény	4.1.3.3/13, -21
előkamra	4.2/19	farfelépítmény fedélzete	4.1.3.3/23
elő-kötelek	4.3.3/23	farfelépítmény mellső végfala	4.1.3.3/23
elő-kötélvitorla	4.3.3/19, -23	far-géptér	2.3.2.3/7, 4.2/2
előlnézet	2.3/5	far-gépteres	3/4
előzetes hajótest tervezés	1.3/4	farkamra	4.1.3.7/10, 4.2/2
elsőrendű nyomaték	2.3/13	farkamra feletti fedélzetközi tér	4.1.3/26
		farkamra válaszfal	2.3.2.3/7, 4.1.3.3/2
		farkapu	4.2.3/21

## 3. kiadás 2014. 0.1 TARTALOMJEGYZÉK 02.TÁRGYMUTATÓ 1.BEVEZETÉS 2.HAJÓELMÉLET



far-lapátkerek	4.3.3/8	felépítmények végválaszfalai	4.1.3.3/21
farral előre történő vízrebocsátás	4.1.4/1	felépítmény-fedélzet	3/12, 4.1.3.3/23, -24
far-rámpa	2.3.2.2.2/9, 4.2.3/21	felépítményre átadott feszültségek	3/12
farrész	2.2/8	felújítható mentőtutaj	2.4.4/25
farsíkok	3.6/6	felüggesztési pont	2.3.2.2/26
farszerkezet	4.1.3.3/30	fél-gerendák	4.1.3.3/16
fartőke	4.1.3.3/31, -32, 4.3.4/4	felhajtóerő	2.3.2.2/1, 2.3.2.2/9, 2.4.2/7, 4.3.1/1, 4.3.2/1
fartőke mögötti hajócsavar tervezése		felhajtóerő hatásvonala	2.3.2.2/4
örvényelmélettel	4.3.2.4.2/34	felhajtóerő-tényező	4.3.2.4/10
fartőkéhez való csatlakozás	4.1.3/24	felhajtóerő-tényezők meghatározása	4.3.2.4.2/44
fartrim	2.3.2.2.2/1, -7	felhős kavitáció	4.3.2.4/14
fartükrös (tranzom) hajó	2.4/16	félíg kiegyensúlyozott kormánylapát	2.4.2/10
fecskendő	4.2.1.3/6, 4.2.2/20	félíg túlnyomásos (vagy félíg hűtött) tankok	4.1.3.7/15
fedelek működési elve	4.1.3.3/17	fél-membrán tankok	4.1.3.7/13
fedélzet alatti gépi berendezések	4.2/2	fél-modell	2.1.3.2.1/29
fedélzet felhajlása	2.3/7	fél-oldal	2.3/7
fedélzet oldalvonala	2.2/8	felső fedélzet vonalában a mestersor vastagsága	4.1.3.3/23
fedélzet domborulata	2.2/8	felső holtpont	4.2/15
fedélzet oldalvonal felhajlás korrekció	2.3.2.3/27	felső oldaltank	4.1.3.3/8
fedélzet szélének bemerülése	2.3.2.2.1.2/15	felső szélső szál	4/7
fedélzet szélének vonala	2.3/7	felsőpályás futódaru	4.1.3/1
fedélzet víztelenítése	4.2.2/10	félisélesség	2.1.3.2.1/28, 2.2/8, 2.3/3
fedélzetek	4.1.3.3/12	felszerelés-modulok	4.1.3/11
fedélzetek merevítése	4.1.3.3/15	felszíni hajó	2.3.2.2.1.2/3
fedélzeti berendezések	2.4.4/1, 4.2.1.3/3, -10	féltengely	2.4/4
fedélzeti daru	4.2.3/19	feltételezett hajó	2.3.2.3/17
fedélzeti és géptéri tiszták	4.4/4	feltöltő kompresszor	4.2/15
fedélzeti gerenda	2.3/6, 4.1.3/26	felúszás-gátló ütköző	4.1.3.7/16
fedélzeti ház	2.3.2.2.1.2/11, 4.1.3.3/21	felület súlypontja	2.3/14
fedélzeti hosszmerő	4/9	felület előkészítés	4.1.3.8/10
fedélzeti keretgerenda	4.1.3.3/10	felületi hatásra épülő hajók (surface effect ship, SES)	3/14
fedélzeti nyílások kerete	4.1.3/26	felületi súrlódási formulák	2.2.1/11
fedélzeti rakomány	2.3.2.3/28, 3/3, 4.1.3.3/14	felület-kitöltési tényező	2.3.2.3/8
fedélzeti szárnytank	3/8	felületviszony	4.3.2.2/8
fedélzeti személyzet	4.4/4	felülnézet	2.3/4
fedélzet-lemezelés	4.1.3.3/13	fém inert-gáz, MÍG	4.1.2/25
fedélzetmosás	4.2.1.3/6	fémoxid film	4.1.3.8/3
fedett dokk	2.1.3.1/25	fenék	2.3.2.2/30
fedőporos ivheglesztés	4.1.2/23	fenék hosszabrdáinak fesztávolsága	4.1.3/21
fejfenkenti területértékek	4.4/4	fenék hosszmerő	4.1.3/16
fejfenkenti helyzet	4.1.2/22	fenék szerkezet	2.3.2.2.1.2/11, 4.1.3/15
fejlánc	4.2.3/5	fenékborda	4.1.3/19
fékező bak	4.1.4/6	fenékborda gerince	2.3/7
felborulás	2.3.2.2.1.2/16, 2.3.2.3/4, -33	fenékbordák osztása	4.1.3/19
felcsapó hullámokkal bejutó víz eltávolítása	3/4		
felépítmény	2.3.2.2.1.2/11, 4.1.3.3/21		
felépítmények	4.1.3.7/10		
felépítmény korrekció	2.3.2.3/27		
felépítmények belső fedélzetei	4.1.3.3/14		

### 3. kiadás 2014. 0.1 TARTALOMJEGYZÉK 02.TÁRGYMUTATÓ 1.BEVEZETÉS 2.HAJÓELMÉLET

## BBBZ-kódex

<i>fenékbordák szilárdságának folyamatossága</i>	<i>forgattyús tengely</i>	4.2/15
4.1.3/16	<i>forgóserleges olajégő</i>	4.2/6
<i>fenékferdeség</i>	<i>formaszekrény</i>	4.3.2.5/2
2.2/8, 2.3/7	<i>fotocellás lángvágó gép</i>	2.1.3.2.2/31
<i>fenéklemezelés</i>	<i>Fourier sorozatok</i>	2.4/13
4.1.3/24	<i>fő vízballaszt</i>	3.6/5
<i>fenéklemezelés lemezsorainak vastagsága</i>	<i>fő vízvételvező cső</i>	4.2.2/4
4.1.3/24	<i>főáramkörü megszakító</i>	4.2.1.3/1
<i>fenékszelep</i>	<i>főárboc</i>	4.3.3/17
4.2.1.3/8, 4.2.2/3	<i>főborda</i>	2.3/6
<i>fenékszerkezet tömegáru szállító hajóknál</i>	<i>főborda körvonala héjlemezzel</i>	2.3.2.4/6
4.1.3/22	<i>főborda-metszet</i>	2.3/3
<i>fenékszivattyú szívócsonkja</i>	<i>főborda-metszet területe</i>	2.3.2.4/6
4.2.2/6	<i>főborda-teltség</i>	2.3/21
<i>fenékvíz</i>	<i>főfedélzet</i>	2.3/6
4.1.3/18, 4.2.2/5	<i>főgép</i>	4.2/3, 4.3.1/4
<i>fenékvíz gyűjtő akna</i>	<i>főgép-alap</i>	4.1.3/23
4.1.3/18	<i>főgépek</i>	2.4.2/1
<i>fenékvíz szivattyú</i>	<i>főgépek alapozása</i>	4.4/10
4.2.1.3/4	<i>főgépek leállítása</i>	4.4/11
<i>fenékvíz szivattyú teljesítménye</i>	<i>főgéphez kapcsolt csőrendszerek</i>	4.4/11
4.2.2/7	<i>főgép-teljesítmény meghatározása</i>	2.4.2/1
<i>fenékvíz szivóág</i>	<i>főkapcsoló tábla</i>	4.2.1.3/2
4.2.2/6	<i>fő-kormánymű</i>	4.1.3.3/36
<i>fenékvíz-tank</i>	<i>főméretek</i>	2.3/5
4.2.2/6	<i>főüzem</i>	4.2/3, 4.4/10
<i>fenékvízrendszer</i>	<i>főüzem próbái</i>	4.4/12
4.2.2/5	<i>főüzemi berendezés</i>	2.4.2/1
<i>ferde úszás</i>	<i>fővitorla</i>	4.3.3/24
2.3.2.2.1.2/9	<i>fővitorla rúdja</i>	4.3.3/24
<i>ferdeségi szög</i>	<i>fregatt</i>	4.3.3/21
2.4.2/7	<i>Froude hipotézise</i>	2.2.1/9
<i>festékek</i>	<i>R. E. Froude</i>	2.2.1/13, 4.3.2.3/2, 4.3.2.4/1
4.1.3.8/6	<i>Froude, William</i>	2.2.1/6, 4.3.2/9
<i>fészekbe illesztés</i>	<i>Froude siklemező mérései</i>	2.2.1/12
2.1.3.2.2/31	<i>Froude súrlódási formulája</i>	2.2.1/13
<i>feszültség</i>	<i>Froude-szám</i>	2.2.1/6
4.1.2/15	<i>Fulton</i>	4.3.2/2, -7
<i>feszültség megengedett értéke</i>	<i>futókötelek</i>	4.3.3/23
4/19	<i>futópróba</i>	2.2.1/25
<i>feszültségmentesítés</i>	<i>függelékek</i>	2.2.1/1, 2.3/16
4.1.2/10	<i>függelékek ellenállása</i>	2.2.1/22
<i>Fitch, John</i>	<i>függély</i>	2.2/6
4.3.3/1, -7	<i>függélyek közötti hossz</i>	2.2/6, 2.3/6
<i>fix vezetőfelület</i>	<i>független A típusú tankok</i>	4.1.3.7/16
2.4.2/6	<i>független B típusú tankok</i>	4.1.3.7/16
<i>fogaskerék-szivattyú</i>	<i>független tankok</i>	4.1.3.7/13
4.2.1.3/7	<i>független tápegység</i>	4.1.3.3/37
<i>fogyasztócsoport</i>	<i>független vészvilágítási rendszer</i>	4.2.1.3/1
4.2.1.3/1	<i>függő teher</i>	2.3.2.2/26
<i>fogyó típusú elektróda</i>	<i>függőleges felületen függőleges helyzet</i>	4.1.2/21
4.1.2/20		
<i>fogyóanódok</i>		
4.1.3.8/5, 4.2.2/4		
<i>fokméretű tömegáru szállító</i>		
3/9		
<i>folyadék szállító teljesítmény</i>		
4.2.1.3/6		
<i>folyadék záró hosszválaszfal</i>		
4.1.3.7/15		
<i>folyamatos merevítő-keret</i>		
4.1.3.3/8		
<i>folyamatos sarokhegesztés</i>		
4.1.3.3/4		
<i>folyami hajó</i>		
1/1		
<i>folyami önjáró áruszállító</i>		
1.3/4		
<i>folyáshatár</i>		
4.1.2/16		
<i>folyékony rakomány</i>		
2.3.2.3/24		
<i>folyékony tüzelőanyag</i>		
4.2/3		
<i>fordulás</i>		
2.4.2/13		
<i>fordulási átmérő teljesen kifordított kormányval</i>		
2.3.2.2.1.2/25		
<i>fordulási kitérítő kar</i>		
2.3.2.2.1.2/24		
<i>fordulási próba zéró sebességről indulva</i>		
2.4.2/19		
<i>fordulatszám-csökkentő hajtómű</i>		
4.3.4/17		
<i>fordulatszám szabályozás</i>		
4.2/17		
<i>fordulókörök mérése</i>		
2.4.2/19		
<i>forgási tényező</i>		
4.3.1/14		
<i>forgási hatások</i>		
4.3.1/14, 4.3.2.4.2/4		
<i>forgástestek stabilitása</i>		
2.3.2.2.1.2/1		

## 3. kiadás 2014. 0.1 TARTALOMJEGYZÉK 02.TÁRGYMUTATÓ 1.BEVEZETÉS 2.HAJÓELMÉLET

függőleges felületen vízszintes helyzet  
4.1.2/21  
függőleges fenékborda 4.1.3/16  
függőleges kormányfelület 3.6/2  
függőleges metszet 2.1.3.2.1/28, 2.3/4  
függőleges nyíróerők 4/7  
függőleges tengelyű horgonycsörlő 4.2.3/8  
függőleges tolóajtó 4.1.3.3/5  
függőleges varratok 4.1.3/23  
fűtő-csőrendszer keringető szivattyúi  
4.2.1.3/9  
fűtőgáz 4.1.2/19  
fűtőrendszer 4.2.2/34

## G

Gaillard, D. D. 2.4/8  
gálya 4.3.3/17  
galvanikus korrózió 4.1.3.8/2  
galvanikus sorozatok 4.1.3.8/2  
Ganz tömítés 4.3.4/11  
Gaz Transport 4.1.3.7/17  
Gawn, R. W. L. 2.4.4/5, 4.3.2.3/3  
gázhegesztés 4.1.2/19  
gázhegesztési technikák 4.1.2/20  
gázturbina 4.2/12  
gém 4.2.3/12  
gém nyomóterhelése 4.2.3/17  
gémmozgató kötél 4.2.3/18  
geometria tervezés 2.3/1  
geometria tulajdonságok 2.3/10  
gépakna 4.1.3.3/13, 4.3.4/3, 4.4/1  
gépálap 4.1.3/23  
gépészeti berendezés 4.2/1  
gépi berendezések 1.3/4, 4.1.3/10  
gépi berendezéseket kiszolgáló rendszerek  
4.2.2/2  
gépi műveletek 4.3.2.5/4  
gépszemélyzet 4.4/4  
géptelegraf 4.2/18  
géptér 4.3.4/3, 4.4/8  
géptér elrendezése 4.4/8  
géptér és a tengelyalagút között közvetlen  
átjárás 4.1.3.3/5  
géptér helyének kijelölése 4.4/8  
géptérben levő berendezések 4.2.1.3/3  
gépterek zajszintje 4.4/11  
géptéri oszlopok 4.1.3.3/10  
géptéri válaszfalak 2.3.2.3/7, 4.1.3.3/2  
gerendakönyök 4.1.3.3/16  
gerinc 4/9, 4.1.3/15  
gerinc félszélessége 2.2/7, 2.3/7

gerinc lejtése a vízszinteshez képest  
4.1.4/1  
gerincblokk 4.1.4/1  
gerincferdeség 2.2/8  
gerinclemez szélessége és vastagsága  
4.1.3/24  
gerincmerülés 2.3/7  
gerjeszt 2.4/16  
gerjesztés frekvenciája 2.4/18  
gerjesztett billegés 2.4/22  
gerjesztő hatás 2.4/18  
gerjesztő erő 2.4/16  
Germanischer Lloyd (GL) 5/3  
Germanischer Lloyd legfontosabb hajócsavar  
előírásai 4.3.2.4.2/51  
Gertler 2.2.1.2/8  
Gertler, Morton 2.2.1.2/37  
giro-stabilizátor 2.4/25  
giroszkóp hatás 2.4/24  
Goldstein, Sydney 4.3.2.4/8,  
4.3.2.4.2/16  
Goldstein-tényező 4.3.2.4.2/17  
görbék meredeksége 4/11  
gördülőcsapágó 4.3.4/10, -14  
görgős szállítóberendezés 4.1.3/1  
Göttingeni 387 4.3.2.4/13  
Göttingeni 398 4.3.2.2/9  
gőzhajó 3/1  
gőzporlasztásos olajégő 4.2/6  
gőzturbina 2.4.2/1, 4.2/3, -11  
gravitációs hullám 2.4/2  
gyaloghíd 2.3.2.3/33  
gyártási rajzok 2.3/8  
gyártási sablon 2.1.3.2.2/30  
gyártási terv 2.2/1  
gyártástechnológiai eljárások 4.1.2/18  
gyártástervezési iroda 2.1.3.2.1/27  
gyümölcs- és zöldségrakomány 4.2.2/13  
gyűrű profiljának kialakítása  
4.3.2.3.1.2/28  
gyűrű szárnymetszet íveltsége  
4.3.2.3.1.2/29  
gyűrűben dolgozó hajócsavarok 4.1.3.3/40,  
4.3.2.3.1.2/34  
gyűrűn keletkező tolóerő 4.3.2/6  
gyűrűprofil ellenállása 4.3.2/6

## H

habbal oltó rendszer 4.2.1.3/6, 4.2.2/21  
habvéd 2.3.2.3/32, 2.4.4/13,  
4.1.3.3/20  
habvédek konstrukciója 4.1.3.3/20

## BBBZ-kódex

habvédek magassága	4.1.3.3/20	hajócsavar modellkísérletek	4.3.2/6,
hadihajó	3.6/1	4.3.2.3/1	
hadihajókra vonatkozó normák	4.4/3	hajócsavar nyíltvízi tolóerő-jelleggörbéje	
haditengerészet	1/1	4.3.2.2/12	
hágaai memorandum	5/4	hajócsavar-számítási előírások osztályozó	
hágcsó	4.1.3.3/9	intézeteknél	4.3.2.4.2/50
hagyományos elven működő tengeralattjáró		hajócsavar szárnyak szilárdsági méretezése	
3.6/1		4.3.2.4.1/8	
hagyományos tengeralattjáró	3.6/2	hajócsavar szárnyvastagságának számítása	
hajlításból eredő névleges megengedhető		4.3.2.4.2/51	
feszültség	4/20	hajócsavar szemléje	2.3.2.2.2/11
hajlítófeszültségek	4/8	hajócsavar szerelése	2.3.2.2.2/11
hajlító-nyomaték	4/3	hajócsavar szivattyúhatásfoka	4.3.2.4/6
hajlító-nyomaték ábra	4/11	hajócsavar tengely	2.3.2.3/7, 4.3.2/1
hajlító-nyomatékok hullámos vízen	4/7	hajócsavar tengely csapágynak fúrása	
hajlító-sablon	4.1.3/7	4.1.3/13	
hajlított tartó	4/1	hajócsavar tengely hátsó csapágya	4.1.3.3/37
hajó	1/1	hajócsavar-tengely vége	4.3.4/11
hajó alaktényezői	2.3/6	hajócsavar-tervezés örvénymélettellel	
hajó billegése a hullámok hatására	2.4/21	kétcsavaros hajónál	4.3.2.4.2/12
hajó ellenállása	2.2.1.1/3	hajócsavar tervezési eljárások	4.3.2.4/1
hajó építési specifikációja	2.2/5	hajócsavar tolóereje	4.3.1/3
hajó erőviszonyai dokkolásnál	2.3.2.3/34	hajócsavarok	4.1.3.3/38
hajó fedélzetének anyaga	4/7	hajócsavarok anyagai	4.3.2.4.2/11
hajó fenékszerkezete	4/7	hajócsavarok gyártás utáni ellenőrzése	
hajó főméretei	2.4.2/1	4.3.2.5/5	
hajó fő paraméterei	2.2/1	hajócsavaros hajók hajtására alkalmas	
hajó hullámrendszere	2.2.1/19	dugattyús gőzgépek	4.2/9
hajó igénybevételeit jelentő feszültségek	4/6	hajócsavaros hajtás	3/4
hajó kormányképessége	2.4.4/1	hajóelmélet	1.3/4
hajó középrészét terhelő maximális hajlító-		hajóelméleti számítások	1.3/4
nyomaték	4/20	hajóemelő	4.1.4/8
hajó maximális nyári merülés-vonala		hajóépítés	1/1
2.3.2.3/27		hajóépítés munkafolyamata	2.1.3.1/24
hajó, mint deformálható test	4/2	hajóépítési célokra szolgáló acél	4.1.2/10
hajó mint hajlított tartó	4/8	hajóépítési szerződés	2.2/5
hajó mint önálló egység szükségleteit kiszolgáló		hajóépítő	1/1
rendszerek	4.2.2/3	hajófar szerkezete	4.1.3.3/31
hajó mozgásainak elemzése	2.4/16	hajógőzgépek	2.4.2/3
hajó mozgásformái	2.4/14	hajógyár	1.1/2
hajó tömege	2.3/16	hajógyár telepítési tervei	2.1.3.1/24
hajó súlya	2.3/16	hajóipar	1.1/2
hajó szolgálati kritériuma	2.3.2.3/23	hajók ellenállásának kiszámíthatósága	
hajó védelmére szolgáló rendszerek		2.4/2	
4.2.2/2		hajók festékrendszere	4.1.3.8/11
hajó vízrebocsátás utáni mozgásának		hajók szerkezeti felépítése	1.3/4
megszüntetése	4.1.4/6	hajók szilárdsága	1.2/3
hajócsavar	4.3.2/1, 4.3.3/1	hajók szilárdsági számításainál alkalmazott	
hajócsavar beépítési mélységére vonatkozó		mértékegységek	4/16
előírás	4.3.2.4.2/53	hajóközép	2.2/6, 2.3/3
hajócsavar ideális hatásfoka	4.3.2.4/6	hajóközépen levő fedélzeti házak	4.1.3.3/22
hajócsavar javítása	2.3.2.2.2/11	hajókürt	4.2.1.3/8

## 3. kiadás 2014. 0.1 TARTALOMJEGYZÉK 02.TÁRGYMUTATÓ 1.BEVEZETÉS 2.HAJÓELMÉLET

hajóoldal bordázata	4.1.3/25	hátoldali kavitáció	4.3.2.4.1/6
hajóosztályozó intézet	1.3/4, 4.1.2/2	hatósági szabadoldal	2.3/7
hajóra kormányzás közben ható erők	2.4.2/14	hátsó felépítmény, tiszt lakóter, poop	3/1
hajó szerkezeti szekció	4.1.2/36	hátsó függély	2.3/4
hajótervezés	1.3/4	hátsó kollíziós válaszfal	4.2/2
hajótervezés fázisai	2.2./1	hátszél	4.3.3/24
hajótervező iroda	2.1.3.2.1/26	hegesztés	4.1.2/18
hajótest	2.3/2, 4/1	hegesztés gyakorlata	4.1.2/33
hajótest forma	2.3/2	hegesztések vizsgálata	4.1.2/37
hajótest geometriája	2.3.2.2/13	hegesztési hibák	4.1.2/37
hajótest, mint úszó hajlított tartó igénybevétele	4/2	hegesztési sorrendek	4.1.2/35, 4.1.3/13
hajótest szerkezeti elemeiben ébredő		hegesztés-vizsgálat	4.1.2/32
feszültségek	4/2	hegesztett fartőke	4.1.3.3/33
hajótest szilárdsága	4/1	hegesztett hajócsavarok	4.3.2.5/3
hajótest teherhordó profilja	4/9	hegeszthetőség	4.1.2/11
hajótípusok	1.3/4	hegesztő generátor	4.1.2/20
hajózás	1/1	hegesztő transzformátor	4.1.2/20
hajózási útvonal	1.3/4	hegesztőpálca	4.1.2/20
hajózó személyzet	1.2/3	hegesztőpisztoly	4.1.2/20
hajózóút	1.2/3	héllemezt	2.1.3.2.1/29
hajtókar	4.2/15	héllemezen keletkezett lék	2.3.2.3/1
hajtómű	2.4.2/2	héllemez-kiterítés	2.1.3.2.1/29
hajtórúd	4.2/15	héllemezek kiosztása	2.1.3.2.1/29
haladási sebesség	2.4/2	héllemezelés	4.1.3/23
halászhajó	2.4.2/1	héllemezelés belső merevítése	4.1.3/23
Hall típusú horgony	2.4.4/15, 4.2.3/6	héllemezelés helyi merevítése	4.1.3/27
Hallen lengődaru	4.2.3/15	héjszekció	4.1.2/36
hangolás tényezője	2.4/18	henger	4.2/15
harmatpont	4.2.2/12	hengeres középrész	2.2/8, 2.3/4
harmonikus gerjesztés	2.4/18	hengeres teltség	2.3/21
harmonikus gerjesztésű lengés	2.4/17	hengerfedél	4.2/15
harmonikus hullámok felharmonikusai	2.4/13	hengerfej	4.2/15
háromdimenziós hajótermék modell		hengerlés	4.1.2/13
	2.1.3.2.1/26	Herald of Free Enterprise	3/6
háromjártatú csap	4.2.2/10	hevítéssel történő domborítás	4.1.3/6
háromrészes (three-island) típus	3/2	hibrid mértékrendszer	4/16
három-terű hajó	2.3.2.3/17	híd	4.1.3.3/22
Harvald diagram	4.3.2.4/16, 4.3.2.4.2/2	híd mellső válaszfala	4.1.3.3/21
hasábos teltség	2.3/20, 4.3.1/8, 4.3.2.4.2/2	hideg bordahajlítás	4.1.3/7
hasábos teltség korrekció	2.3.2.3/27	hidegen bevert szegecsek	4.1.3.8/4
Haslar intézet	4.3.2.3/2	hidegen peremezett csomólemezek	4.1.3.8/4
hasznos sebességek	2.2.1/7	hídfedélzet	4.1.3.3/23
hasznosági arány	2.2.1/9	hídfelépítmények	4.1.3.3/22
hasznosági törvények	2.2.1.1.1/4, 4.3.2.3/1	hidraulikus indító	4.1.4/4
hasznos terhelés	2.2/3, 2.2/9, 3/9	hidraulikus indítóhengerek	4.1.4/6
határreteg	2.2.1.1.1/4	hidraulikus sajtók	1.3/5
határsebesség	2.4/10	hidraulikusan vezérelhető tolózár	4.2.2/17
határvonal	2.3.2.3/17	hidrodinamikai leválás	2.4.2/12
hátoldal	4.3.1/2, 4.3.2.2/1	hidrofor tartály	4.2.1.3/9
		hidrosztatikai jellemzők	2.3/8
		hidrosztatikai számítások	2.3/14
		hidrosztatikai tulajdonságok	2.3/1

## BBBZ-kódex

himbálózás	2.4/14	hossz-szimmetria sík	2.3/3
hirtelen átmenet	4.1.3.3/14	hossz-válaszfal	2.3.2.2/29, 4133/1
holland vagy skót kazán	4.2/4	hosszviszonyszám	4.3.2.3.1.2/29
Holst csavarszerkesztés	4.3.2.2/3	hossz-vitorlázat	4.3.3/18
Holtrop módszer	2.2.2/10	hosszú-csónak	1/1
homokdoboz	4.1.4/2	Hovercraft	4.3.3/13
Hooke	4.3.2/1	hozzáadott súly módszere	2.3.2.3/8, -15
hordképesség	1.3/4	hozzáadott víz tömege	2.4/18
hordozható fedelek	2.3.2.3/25	hőcserélő	4.2/7
hordozható gerendák	2.3.2.3/25	hő-hasznosítás	4.2.2/32
hordozó	4.1.3.8/6	hő-kezelt alumínium ötvözetek	4.1.2/12
hordszárny	2.4.2/7	hő-tágulás	2.3.2.2/30
horgony anyagának kiválasztása	2.4.4/20	hullám hossza	2.4/3
horgony hatásfoka	2.4.4/11	hullám magassága	2.4/3
horgonyberendezés	2.4.4/10	hullám haladási sebessége	2.4/4
horgonyberendezés tervezése	2.4.4/11	hullám sebessége	2.4/4
horgonycső	4.2.3/7	hullámcsoportok	2.4/6
horgonycső környezete	4.1.3/24	hullámhegy	2.2.1/6, 2.2.1/19, 2.4/3
horgonycsőrlő	4.1.3.3/25, 4.2.3/5	hullámhossz	2.2.1/20
horgonycsővek	4.1.3.3/29	hullámkeltő pont	2.2.1/19
horgonykapa	4.2.3/5	hullámkép	2.2.1/7
horgonylánc	4.2.3/7	hullámképző ellenállás	2.2.1.1.1/4
horgonylánc mosása	4.2.1.3/6	hullámképző összetevő	2.2.1.1.1/4
horgonyláncok ill. kötelek	2.4.4/12	hullámmozgás	2.4/1
horgonyláncok orrhorgonyokhoz	2.4.4/21	hullámok döngető-hatásának kitett zónák	4.1.3/20
horgonyok felszerelése a hajóra	2.4.4/18	hullámok partra gyakorolt hatása	2.4/2
horgonyok próbatesztelése	2.4.4/18	hullámok változása a mélység függvényében	2.4/9
horgonyszár	4.2.3/5	hullámperiódus	2.4/3
horgonytípusok	2.4.4/15	hullámrendszer	2.2.1/19, 2.4/2
horgonyzás karakterisztikája	2.4.4/11	hullámséma	2.2.1/20
Horn és Amstberg	4.3.2.3.1.2/26	hullámsémák interferenciája	2.2.1/21
Horn-fok megkerülése	4.3.3/18	hullámsor	2.2.1/6
hosszborda-rendszer	3/10, 4.1.3/18	hullám-szuperpozíció	2.4/6
hosszbordázat	4.1.3/27, 4.1.3.7/4	hullámvizsgálati medence	2.4/2
hosszbordázatu kettősfenék	4.1.3/20	hullámvölgy	2.2.1/19, 2.4/3
hossz- és keresztirányú tompavarratok		húr	4.3.2.2/2
sorrendje	4.1.2/36	húzó igénybevétel	4/7
hosszirányú hajlítás és nyírás	4/1	húzófeszültség	4.3.2.4.1/17
hosszirányú inercianyomaték	2.3/10, 2.3/15	húzólánc	4.1.4/6
hosszirányú metacentrikus sugár	2.3.2.4/3	hűtés	4.2.1.3/9, 4.2.2/13
hosszirányú metacentrum	2.3.2.2/4	hűtőkonténer	4.2.2/15
hosszirányú metacentrum magassága a gerinc felett	2.3.2.4/3	hűtőközeg	4.2.2/14
hosszirányú nyíróerők	4/8	hűtőtest	4.2.2/14
hosszirányú válaszfal	2.3.2.3/25	hűtött húsrakomány	4.2.2/13
hossz-mélység viszony (scope)	2.4.4/11	hűtött konténerszállító hajók	4.2.2/15
hosszmerevítésű	4.1.3/17	hűtött rakterek	4.2.2/13
hosszmerevítő	2.3/8	hűtött tankok	4.1.3.7/15
hosszstabilitás	2.3/10, 2.3/15, 2.3.2.2.2/1	hűtővíz rendszer	4.2.2/30
hossz-szélesség viszony	4.3.1/8	hűtővíz vészüzemi szivattyú	4.2.1.3/8
hossz-szilárdság	4/1, -9		

## 3. kiadás 2014. 0.1 TARTALOMJEGYZÉK 02.TÁRGYMUTATÓ 1.BEVEZETÉS 2.HAJÓELMÉLET

**I**

ideális propulziós hatások 4.3.1/4  
ideiglenes fedélzetű (shelter deck, védfedélzet) típus 3/3  
ideiglenes védőfestés építés közben 4.1.3.8/11  
időjárásnak kitett fedélzet 2.3/7  
időszakos ellenőrzések 4.1.2/5  
igénybevétel sima vízen 4/6  
IHI 4.1.3.7/18  
ILC (nemzetközi munkaügyi bizottság) 4.4/4  
illékony oldószer 4.1.3.8/6  
ILO (nemzetközi munkaügyi szervezet) 5/4  
IMO 2.3.2.3/7, 3/9, 5/1  
IMO hossz 2.2/7  
IMO Nemzetközi Gázszállító Előírások 4.1.3.7/12  
indító berendezések 4.1.4/4  
indukált ellenállás 2.4.2/8  
indukált veszteség 4.3.2.4/10  
indukciós tényező 4.3.2.4.2/35  
inercianyomaték számítási módja 4/15  
inert gáz rendszer 4.2.2/18  
inga 2.3.2.2/25  
instabil 2.3.2.2.1.2/2  
integer (egész számú) terek kialakítása 2.3.2.3/22  
integrált tankok 4.1.3.7/12  
interkosztális (bordaközi) 4.1.3/16  
International Towing Tank Conference 2.2.1/14, 4.3.2.3/4, 4.3.2.4/3  
inverz görbe módszer 4.1.3/7  
ion 4.1.3.8/1  
ionok áramlása 4.1.3.8/2  
irányváltó-hajtómű 4.3.4/18  
irányválogatás 4.3.3/25  
irreguláris hullámok 2.4/13  
ISO (nemzetközi szabványosítási szövetség) 5/1  
ISO TC 8 bizottsága 5/1  
iszapszekrény 4.1.3.3/27, 4.2.2/6  
ITTC 1957 görbe 2.2.1/18  
íves (kerületi) sablon 4.3.2.5/2  
ívet húz 4.1.2/20  
ívóvíz 2.3.2.2/20  
ívóvíz tank 2.3.2.2/29  
izomerizált gumi 4.1.3.8/8

**J**

járműfedélzet 3/5  
járművek közlekedésének biztosítása 3/5  
jellemző-görbe diagramok 2.3.2.2/5  
jellemző görbék 2.3/10, 2.3.2.2.1.2/6, 2.3.2.4/1

jellemzők kiszámítása a sérülés bekövetkezése után 2.3.2.3/7  
jobboldal 2.3/3  
Joessel 2.4.4/4  
jó gém alakzat 4.2.3/15  
jóváírás 2.4/14  
Jouffroy d'Abbans 4.3.2/2

**K**

K-típusú csavar 4.3.2/7, 4.3.2.3.1.2/29  
kalibrált szem 4.2.3/7  
kapaszkodóerő 4.3.1/1  
kapcsolótábla 4.2.1.3/1  
Kaplan típus 4.3.2.3.1.2/28  
kapu 4.2.3/20  
karak 4.3.3/18  
karavella 4.3.3/17  
karbonizáló láng 4.1.2/19  
karcsú 2.3/20  
karcsú far 4.3.2.4.2/3  
karcsúsági arány 2.4.2/7  
kartergáz robbanás elleni tehermentesítő szelep 4.4/11  
katód 4.1.3.8/2  
katódos védelem 4.1.3.8/5  
kavitáció 2.2.1.1.1/4, 2.4.2/12, 4.3.2.4.1/1  
kavitáció határgörbéje 4.3.2.4.2/42  
kavitációs károsodás 4.1.3.8/4  
kavitációs kísérletek 4.3.2.4/12  
kavitációs modellkísérleti csatorna 4.3.2.4/13  
kavitációs szám 4.3.2.2/17  
Kawada 4.3.2.4.2/35  
kazán 4.2/3, 4.4/12  
kazánalap 4.1.3/23  
kazánok főbb jellemzői 4.2/4  
kecs 4.3.3/19  
keményforrasztás 4.1.2/20  
kenőolaj szivattyú 4.2.1.3/7, 4.2.2/28  
kenőolajrendszer 4.2/17, 4.2.2/27  
kenőzsír 4.1.4/2  
képi minőségjelző etalon 4.1.2/39  
képlékenységi 4.1.2/15  
kereskedelmi hajó 2.3.2.2/6  
kereskedelmi hajók építéséhez használt acélminőségek 4.1.2/10  
keresztborda 4.1.3/18, -26  
keresztborda vízű kettősfenék 4.1.3/19  
kereszt csúcs-vitorlázati sóner 4.3.3/19  
keresztfejes konstrukció 2.4.2/3  
keresztfejes motor 4.2/15  
keresztirányú bordaosztás 4.1.3/21

## BBBZ-kódex

keresztirányú feszítő	4.1.4/3	kezdeti keresztstabilitási vizsgálatok	
keresztirányú hajlítás és nyírás	4/1		2.3.2.2/12
keresztirányú hajlító, nyomó és nyíró igénybevételek	4/23	kezdeti stabilitás kiszámítása	2.3.2.2/13
keresztirányú inercianyomaték	2.3/10	kezdeti sztatikus keresztirányú stabilitás	2.3.2.2/10
keresztirányú metacentrikus sugár	2.3.2.2/15	kezelhető méretű tömegáru szállító	3/9
keresztirányú metacentrum magassága a gerinc felett	2.3.2.4/2	kezelhető maximális méretű	3/9
keresztirányú stabilitás	2.3.2.2/8	kézi ívhegesztés	4.1.2/21
kereszt-merevítésű	4.1.3/18	kézi műveletek	4.3.2.5/4
keresztmerevítésű oldallemez	4.1.3.7/4	kézi tisztítás	4.1.3.8/11
keresztmetszet másodrendű nyomatéka	4/8	kéziszerszámok működtetése	4.2.1.3/8
keresztmetszet súlypontja	4/8	kiegészítő merevítések a hullámok döngetésének kitett zónában	4.1.3/21
keresztmetszeti tényező	4/8, -16, 4.3.2.4.1/14	kiegészítő megerősítések	4.1.3.3/22
keresztmetszeti tényező a hajó középső szakaszán	4/20	kiegészítő merevítők jégben való hajózás miatt	4.1.2/4
keresztstabilitás görbéi	2.3.2.2.1.2/11	kiegyenlítés	2.3/5
keresztstabilitás metacentruma	2.3.2.2/13	kiegyenlített vonalrajz	2.3/8
keresztstabilitási görbék megszerkesztése	2.3.2.2.1.2/11	kiegyensúlyozás és vizsgálatok	4.3.2.4.2/53
keresztzilárdság	4/22	kiegyensúlyozatlan kormánylapát	2.4.2/10
keresztválaszfal	4.1.3.3/1	kiegyensúlyozott kormánylapát	2.4.2/10
kereszt-vitorlázat	4.3.3/19, -20	kiemelkedő éktérfogat	2.3.2.2.1.2/4
keretbordák	4.1.3/26, 4.1.3.7/4	kiemelkedő ék-alakú térfogat súlypontja	2.3.2.2/13, -27
kész üres hajó	2.3/10	kifáradási törés	4/26
keszon	413/15	kifejtett felület	4.3.2.2/3
két kimenekülési lehetőség	4.1.3.3/9	kifűtás	4.1.2/31
kétalkotós	4.1.3.8/7	kigyózás	2.4/14
kétárbocos halász-sóner	4.3.3/19	kihajlás	2.2/7, 4.1.3.3/11
kétdimenziós mozgás	2.4/3	kiindulási adatok hajócsavar méretezéshez	4.3.2.4.2/6
kétterű hajók	2.3.2.3/17	kikötés	2.4.2/1, 2.4.4/8
kétestű siklóhajók (SWATH)	3/14	kikötési erő támadáspontja	2.4.4/9
kettős héjazatú olajszállító tankhajók	4.1.3.7/2	kikötő	1.1/2
kettős héjlemez konstrukciók	4.1.3.7/6	kikötőbak	4.2.3/4, -12
kettős oldal	3/4	kikötő-berendezés	2.4.4/8
kettős propulziós rendszer	3.6/2	kikötőcsörlő	4.2.3/4
kettősfenék	2.3/8, 3/8, -9, 413/15, -17	kikötő- és rakodó-berendezések	4.2.1.3/10
kettősfenék magassága	4.1.3/17	kikötői bárka	1.3/4
kettősfenék magasságának változtatása	4.1.3/17	kikötői vontató	2.4.2/1
kettősfenék tereinek próbái	4.1.3/22	kikötőkötél szakítószilárdsága	2.4.4/8
kettősfenék-tank	4.1.3/17	kilépő-él	4.3.2.2/1, -4
kettősfenékben vezetett csövek	4.1.3/16	kinematikai viszkozitás	2.2.1.1.1/4
kettősfenék-tank	2.3.2.2/29	kinetikus energia	2.4/6
kéttütemű	2.4.2/3	kioldómű	4.1.4/5
kéz alatti helyzet	4.1.2/22	kipattogzás	4.1.3.8/5
kezdeti egyensúlyi helyzet	2.3.2.2/11	kipufogó rendszer	4.2.2/31
kezdeti fázis	2.4.2/15, -16	kipufogó szelep	4.2/15
kezdeti keresztstabilitás	2.3/10, 2.3.2.2/8	kirakodás	2.3/10
kezdeti keresztstabilitás mérése	2.3.2.2/12	Kirsten-Boeing propeller	4.3.3/6
		kis súlyok módszere	2.3.2.2.2/13
		kis-automata	4.2.1.3/1

## 3. kiadás 2014. 0.1 TARTALOMJEGYZÉK 02.TÁRGYMUTATÓ 1.BEVEZETÉS

### 2.HAJÓELMÉLET



kisebb súlyú rakományok be- vagy kirakása 2.3.2.2.2/12	kormánylapát körül kialakuló áramlás 2.4.2/11
Kirsten-Boeing propeller 4.3.3/1	kormánylapát minimális felülete 2.4.2/8
kisméretű oszlopok 4.1.3.3/12	kormánylapát nyomáspróbája 4.1.3.3/34
kitérés 2.4.2/13	kormánylapát tengelyének középvonala 2.3/6
kitérítő nyomaték 2.3.2.2/11, 2.3.2.2.1.2/1	kormánylapáton keletkező erők 2.4.4/2
kitérítő és visszatérítő nyomaték görbék 2.3.2.2.1.2/21	kormánymozgató berendezések 2.4.4/1, 4.2.3/1
kitöltési tényező 2.3.2.3/7	kormánymű 4.1.3.3/36
klasszikus hullámelmélet 2.4/2	kormánymű-géptér 4.1.3.3/37
klipper 1/1, 4.3.3/21	kormánymű tervezése 2.4.2/5
klipper vitorlázata 4.3.3/22	kormány-nyomaték 2.4.2/8
klórozott gumi 4.1.3.8/8	kormányoszlop 2.4.2/6, 4.1.3.3/33
Knapp 4.3.2.4/14	kormányoszár 2.4.2/6
kollíziós válaszfal 2.3.2.3/6, 4.1.3/26, 4.133/1, -27	kormányoszár 2.4.2/6
komp 2.3.2.2.2/9	kormányoszár 4.1.3.3/36
kompenzációs betétlemez 4.2.2/4	kormányoszár 2.4.2/5
komplett fizikai egyenlőség 2.2.1.1.1/4, 4.3.2.3/1	kormányoszár 2.4.2/6, 4.1.3.3/35
komplett tengeri mentőrendszer 2.4.4/25	kormánytőke 2.4.2/11
kompresszió-gyújtású belsőégésű motor 4.2/13	kormányvezérlő eszköz 4.2.3/2
kompresszor 4.2.1.3/8, 4.2.2/29	kormányzást befolyásoló tényezők 2.4.2/12
koncentrált terhelés 4/5, 4.133/14	korrekciós réteg vízkiszorítása 2.3.2.2.2/9
konceptiós terv 2.2/1	korrelációs korrekció 2.2.1/26
kondenzátor 4.2/3, -7	korrigált vízkiszorítás 2.3.2.2.2/8
konstrukciós vízvonal 2.3/5	korrózió 4.1.3.8/1
konténerszállító 1.3/4, 2.3.2.2.1.2/23, 3/4	korrózió a vízbemerült felületen 4.1.3.8/1
kontrakciós tényező 4.3.1/7	korrózió sebessége 4.1.3.8/1
korlátszelvény 4.1.3.3/20	korróziós áram 4.1.3.8/2
kormány 2.3/16	korróziós elem 4.1.3.8/2
kormány hatásának csökkenése 2.4/15	korróziós reakció 4.1.3.8/1
kormány kitérítési szöge 2.4.2/14	korróziós termék 4.1.3.8/1
kormányberendezés 2.4.2/5, 4.2.1.3/10	korrózióvédelem 4.1.3.8/1, -5
kormánycsapágó 4.1.3.3/35	korrózióvédelmi intézkedések 4.1.3.8/1
kormányerő 2.4.2/15, 2.4.4/1	Kort, Ludwig 4.3.2/5
kormányvezető 2.4.2/6	Kort-gyűrű 4.3.2/5
kormánygép 4.2.3/1	Kort-gyűrű adatainak megválasztása 4.3.2.3.1.2/26
kormánygép kiválasztása 2.4.4/1	Kort-gyűrű működésének elve 4.3.2/5
kormánygép teljesítményének meghatározása 2.4.4/1	Kort gyűrűben és sugárhajtóműben dolgozó hajócsavarok méretezése örvényelmélettel 4.3.2.4.2/37
kormánygép-tér 4.4/14	Kort-gyűrűs csavar 4.3.2/4
kormánykitérítés 2.4.2/9	Kort-gyűrűs propeller főméretei 4.3.2.4.2/37
kormánykitérítési szög 2.4.4/3	Kort-kormány 4.3.2/8
kormánylapát 2.4.2/6, 4.1.3.3/33	koszos ballaszt 4.2.2/8
kormánylapát csap 4.1.3.3/35	kotró 2.4.4/15
kormánylapát felülete 2.4.2/7	kotróhajó 4.2.3/7
kormánylapát jellemző paraméterei 2.4.2/7	kovácshegesztés 4.1.2/19
kormánylapát-konstrukciók 4.1.3.3/34	Kovács-motor 4.3.3/13
	kovácsolt acél 4.1.2/11
	kovácsolt bekötőlemez 4.1.3.3/12

## BBBZ-kódex

---

kovácsolt fartőke 4.1.3.3/33  
köbözés 3/3  
köbözési jel 3/4  
könnyítések 4.1.3/23  
könnyítések felülete 4.1.3.3/8  
könnyített hosszválaszfal 4.1.3.3/27  
könnyítő nyílások 4.2.2/9  
kőolajszállító tankhajók 2.4.2/3  
kör-alakú pálya 2.4.2/13  
kördiagram 4.2/15  
körmozgás 2.4/3  
körpálya 2.4/3  
körszelet profil 4.3.2.3/2  
körszimmetrikus hajótest 2.3.2.2.1.2/2  
Körting-égő 4.2/5  
körvezeték elve 4.2.2/17  
kötélsoroló 4.2.3/9  
kötélzet 4.3.3/22  
közberső bordák 4.1.3/26  
közberső fedélzet 4.1.3.3/4, -13  
közberső fedélzet magassága 2.2/8, 3/3  
közberső oszlopok 4.1.3.3/11  
közberső tengely 4.3.4/14  
közepes fordulatszámú dízelmotorok 2.4.2/2, 4.2/13  
közepes merülés 2.3/10, 2.3.2.2.2/8, 2.3.2.4/1  
közepes profilhossz 2.4.2/7  
közepes szárny szélesség viszony 4.3.2.2/8, 4.3.2.3/3  
közepes szélesség 2.4.2/7  
közepes vastagság 2.4.2/7  
középső géptér 4.2/2  
középső hosszválaszfal 4.1.3.3/8  
közlekedő folyosó 3/4, -8, 4.2.2/9  
közös elektromos hálózat 2.4.2/2  
közös merevsínes rendszer 4.2.1.3/2  
központi szeleptor 4.2.2/6  
közvetlen befecskendezés 4.2/18  
Kramer 4.3.2.4.2/14  
kritikus méretű csillapítási tényező 2.4/18  
kritikus merülés 2.3.2.3/35  
kritikus Reynolds-szám 2.2.1/15, 4.3.2.3/2  
kritikus sebesség 2.2.1/15  
kúpörgős csapágó 4.3.4/15  
kúposági arány 2.4.2/7  
külmotor 4.3.3/13  
különleges szerkezetű hajótestek 4.1.3.7/1  
külső vízmentes ajtók 4.1.3.3/24  
külső víztér 2.3.2.3/2  
külső zóna 4.1.2/19  
Kvaerner-Moss 4.1.3.7/17

**L**  
láb 2.2.1/7  
labilis egyensúlyi állapot 2.3.2.2/10, 2.3.2.2.1.2/17  
laffog 4.3.3/24  
lágycél 4.1.3.7/3  
lágýtás 4.1.2/9  
lakó- és szolgálati helyiségek szellőzése 4.4/5  
lakó- és szolgálati terek kialakítása 4.4/5  
lakótér 4.1.3/10  
lakóterek és üzemi terek 4.4/1  
lamináris áramlás 2.2.1/14  
láncsó 4.1.3.3/27  
láncdió 4.2.3/7  
lánckamra 4.1.3.3/25, -27, 4.2.3/7  
lánckamra méretei 4.1.3.3/27  
láng paraméterei 4.1.2/19  
Langley Aeronautical Reserch Center 4.3.2.2/9  
lángvágás gázzal 4.1.2/29  
lapátkerék 4.3.3/7  
lapátkerekes hajó 4.3.3/8  
lapátkerekes hajók hajtására alkalmas dugattyús gőzgépek 4.2/8  
lapátkerék 4.3.1/11, 4.3.3/1  
lapátkerék működési elve 4.3.3/9  
lapátkerekes meghajtás 3/4  
lapos gerinc 4.1.3/15  
lapos gerinclemez 2.3/7  
lapos-acél 4.1.3/20  
lassú-járású főgépek 4.2/13  
laterális ellenállás felületének súlypontja 2.3.2.2.1.2/24  
laterális felület 2.3.2.2.1.2/23  
laterális tolóerő egység 2.4.2/18  
lavírozás 4.3.3/18  
lavírozva 4.3.3/24  
laza tank 2.3.2.2/27  
LCG módszer 2.3.2.2.2/20  
lecsapódott víz elvezetése 4.2.2/15  
leélezés 4.1.2/31  
légcsaváros hajóhajtás 4.3.3/12  
légellenállás 2.2.1.1.1/4  
legénység 2.3.2.2/20  
legénységi lakó- és szolgálati helyek megközelítése 4.4/5  
legénységi lakótérre vonatkozó normák 4.4/4  
legénységi szállás, forecastle 3/1  
legfelső fedélzet 4.1.3.3/21

legfelső határgörbe	2.4/4	levegő táptartály	4.2/15
légkamra	4.2/19	levegőrendszer	4.2.2/28
légkondicionálás	4.2.2/13	levegőrendszer kompresszorai	4.2.1.3/8
légkondicionáló berendezés	3/13,	levegősődés	2.4.2/12
4.2.1.3/9		levegővel kémiaileg reakció	4.1.3.8/6
légkondicionáló rendszer	4.2.2/12	Leviathan	2.2.2/4
légnedvesség abszorbeáló oldat	4.2.2/12	lézer-vágás	4.1.2/32
legördülés	2.4/5	lift	3/5
legördülő kör	2.4/3	Lloyd, Edward	5/2
légpalack	4.2.1.3/8, 4.2.2/29	Lloyd's osztályozás gázzszállító hajókhoz	4.1.3.7/18
légpárnás hajó	4.3.3/12	Lloyd's Register of Shipping	2.3.2.3/24,
légrés	4.2.2/15	5/2	
légző-cső felső nyílása	4.1.3/22	lógás vagy lollázás	2.3.2.2.1.2/18
légszakok	4.2.2/10	lógási szög	2.3.2.2.1.2/18
lehúzás	4.3.2.5/2	lokális feszültségek	4/24
lehúzó-gyűrű	4.2/17	Lord Kelvin	2.2.1/19
lehúzó-sablon	4.3.2.5/2	lovaglás	2.4/15
lék	2.3.2.3/1	Ludwig és Ginzel	4.3.2.4.2/28
lekerekített (cirkáló) far	4.1.3.3/31	Ludwig-Ginzel korrekciós tényező	4.3.2.4.2/28
lekerekített keresztmetszet	4.1.3/25	Lyttleton	4.3.2/2
lekerekített szélű koszorúsor rádiusza	4.1.3/25		
lékesedés	2.3.2.3/1	<b>M</b>	
lékesedési állapotban fellépő stabilitási		Mac Nab tömítés	4.3.4/11
probléma	3/6	magas fordulatszámú dízelmotorok	2.4.2/2
lékesedett állapot	2.3.2.2.1.2/11	magas oldal	2.3.2.2/13
lékesedett állapot vízvonala	2.3.2.3/3	magasabb szakítószilárdságú acél	4.1.3.7/3
lékesedett tér	2.3.2.3/3	magasság az alapvonalától	2.3/3
lékszámítás	2.3/1, 2.3.2.3/1	magassági határhelyzet	4.2.3/17
lemerítő ballaszt	3.6/6	magassági helyzet szabályozása	3.6/2
lemerülést biztosító terhelés	3.6/5	mágneses részecskevizsgálat	4.1.2/38
lemezről kiszabott gerinc és lapos-acél öv	4.1.3/26	magyar hajóépítés	1.1/2
lemezről kiszabott gerincű	4.1.3/19	magyar hajógyártás	2.1.3/23
lemezgek gépi megmunkálása	4.1.3/2	Maid of England	4.3.3/20
lemez-előkészítés	2.1.3.1/25, 4.1.3/1	manőverezési képesség mérése	2.4.2/19
lemezhengerek	4.1.3/5	maradék ellenállás	2.2.1.1.1/4
lemezjárgorló	4.1.3/2	maradék kiszívása	4.2.1.3/7
lemezminőség fokozatok héjlemezekhez	4.1.3/25	MARIN modellkísérleti intézet	2.2.2/10,
lemezollók	4.1.3/5	4.3.2.3/3, 4.3.2.4/1	
lemezterv	4.1.2/36	MARPOL konvenció	4.1.3.7/1
lemezvágás	4.1.3/3	Mary Celeste	4.3.3/20
lengéscsillapító gerinc	2.4/25	második fázis	2.4.2/15, -23
lengéscsillapító gerincek elhelyezése	2.4/26	másodrendű nyomaték	2.3/10
lengéscsökkentő tank	2.4/25	matematikai elemzés	2.4/2
léptékhatás hibák	2.2.1/27	matematikai hullámok	2.4/3
Lerbs, H. W.	4.3.2.4.2/35	matematikai hullámsor	2.4/3
leválás	2.4.4/2	mátrix vagy 'tojástartó' rész-szekciók	4.1.3/10
leválási ellenállás	2.2.1.1.1/4	maximális merülés	2.2/7
levegő relatív nedvességtartalma	4.1.3.8/1	maximális nyomás	4.2/15
		maximális oldalmagasság	2.2/7

## BBBZ-kódex

<i>maximális vastagság</i>	4.3.2.2/10	<i>merülés-vonalra vonatkozó szabályok</i>	
<i>McGregor Nemzetközi Szervezet</i>	3/8		2.3.2.3/24
<i>mechanikus szélezés</i>	4.1.3/5	<i>mesterséges szellőztetés</i>	4.2.2/12
<i>medersor</i>	2.1.3.2.1/28, 2.3/4, 4/9, 4.1.3/18	<i>mestersor</i>	4/9, 413/25
<i>medersor sugara</i>	2.3/7	<i>metacentrikus magasság</i>	2.3.2.2/13
<i>medersori akna</i>	4.2.2/6	<i>metacentrikus sugár</i>	2.3.2.2/13, -27
<i>medersori blokk</i>	4.1.4/1	<i>metacentrum</i>	2.3.2.2/13
<i>medersori stabilizátor</i>	2.2.1/22, 2.3/16, 4.1.3/27	<i>meteorológiai világszervezet, WMO</i>	2.4/13
<i>megállási tesztek</i>	2.4.2/20	<i>metszet beállítási szöge</i>	4.3.2.3.1.2/29
<i>megdőlés</i>	2.3.2.2/10	<i>minimális elfogadható szabadoldal a főbordánál</i>	2.3/7
<i>megdőlés állandó sugarú körön történő fordulásnál</i>	2.3.2.2.1.2/24	<i>minimális engedélyezett szabadoldal</i>	2.3.2.3/3
<i>megdőlés szöge</i>	2.3.2.2/12	<i>minimális keresztmetszeti tényező</i>	4/19
<i>megengedhető feszültségek</i>	2.4.4/9	<i>minimális szabadoldal</i>	2.3.2.3/28
<i>megengedhető kopás horgonyláncoknál</i>	2.4.4/24	<i>minimális távolságok</i>	4.3.2.4.2/10
<i>megfeneklés</i>	2.3.2.3/33	<i>Mitchell csapágy</i>	4.3.4/15
<i>megfűvási szög</i>	2.4.2/7	<i>modell</i>	2.2.1/7
<i>megmunkálás</i>	4.3.2.5/4	<i>modell, 3-dimenziós</i>	2.1.3.2.2/31
<i>megoszló terhelés</i>	4/5	<i>modell-hajó korrelációs görbék</i>	2.2.1/11
<i>megszakítások</i>	4.1.3.3/22	<i>modell-hajó korrelációs korrekció</i>	2.2.1/10
<i>megszakítók névleges értéke</i>	4.2.1.3/2	<i>modellkísérletek</i>	2.2.1.1.1/3, 4.3.2/5
<i>megszakított fordulási manőver</i>	2.4.2/19	<i>modellkísérleti eredmények</i>	2.4.2/1
<i>megzavarás</i>	2.3.2.2/10	<i>modellkísérleti fordulósugár teszt</i>	2.3.2.2.1.2/25
<i>mellső függély</i>	2.3/4	<i>modellkísérleti intézetek</i>	2.2.1/14
<i>mélyhornyú csapágy</i>	4.3.4/15	<i>modellkísérleti medence</i>	2.2.1/9
<i>mélytank</i>	3/4	<i>modellkísérleti mérések</i>	2.2/4
<i>mélyvízi trochoidális hullámok</i>	2.4/5	<i>modellkísérlet-sorozat</i>	2.2.1.1.1/4, 4.3.2.3/1
<i>membrántankok</i>	4.1.3.7/12	<i>modellsebességi paradoxon</i>	2.2.1/8
<i>mentési gyakorlatok</i>	2.4.4/25	<i>modellsorozatok</i>	2.2.1.2/1
<i>mentési terv</i>	4.4/8	<i>modern súrlódási formulák</i>	2.2.1/16
<i>mentő-csőrendszer</i>	4.2.2/26	<i>módosított köbözés</i>	3/3
<i>mentőcsónak-daru</i>	4.1.3.3/23	<i>motorok indítása</i>	4.2/17
<i>mentőcsónakok</i>	2.4.4/24, 4.2.3/10	<i>Mumford Denny</i>	2.2.1.2/38
<i>mentőmellények</i>	4.4/6	<i>munkaciklus</i>	4.2/13
<i>mentőszivattyú</i>	4.2.1.3/7, 4.2.2/26	<i>munkafolyamat</i>	4.2/15
<i>mentőtutajok</i>	4.4/7	<i>munkaütem</i>	4.2/14
<i>mérettáblázat</i>	2.1.3.2.1/28, 2.3/5, 2.3/8	<i>működési ciklus</i>	4.2.1.2/5
<i>merev-lapátos lapátkerék</i>	2.4.2/4, 4.3.3/9	<i>működési mód</i>	2.4.2/1
<i>mértékegység-elemzés</i>	2.2.1/5		
<i>Mértékegységek Nemzetközi Rendszere</i>	2.3.2.2/2	<b>N</b>	
<i>merülés</i>	2.3/7	<i>NACA</i>	4.3.2.2/9, 4.3.2.4/1
<i>merülési értékek</i>	2.3.2.2.2/6	<i>NACA eloszlás</i>	4.3.2.2/9
<i>merülési mérce</i>	2.3/7	<i>NACA profilok szerkesztése</i>	4.3.2.2/10
<i>merülés-változás</i>	2.3.2.2.2/6	<i>NACA számozás</i>	4.3.2.2/9
<i>merülés-vonal engedélyezési feltételek</i>	4.2.2/11	<i>NACA szárnyprofil</i>	4.3.2.3/3
<i>merülés-vonalakhoz tartozó szabadoldal engedélyezésének feltételei</i>	4.1.3.3/17	<i>nadrágcső</i>	4.1.3.3/31, -38, 4.3.4/4
		<i>nadrágcső környéke</i>	4.1.3/24
		<i>nagy cinktartalmú festékek</i>	4.1.3.8/8

nagy dőlésszögeknekél érvényes keresztirányú stabilitás	2.3.2.2.1.2/1	numerikus integrálás	2.3/11
nagy gerincmagasságú keretbordák	4.1.3/25	nyári faáruszállító szabadoldal	2.3.2.3/28
nagy megtartóerővel rendelkező HHP horgony	2.4.4/15	nyári terhelt vízvonat	2.2/7
nagy súlyok módszere	2.3.2.2.2/20	nyári zóna	2.3.2.3/28
nagyfordulatszámú főgépek	4.2/13	nyereglemezek	4.1.4/3
nagyobb szilárdságú szerkezeti anyagok	4/20, 4.1.2/11	nyílás pozíciója	4.1.3.3/18
nagysebességű személyszállító komphajó	3/14	nyílások	2.3.2.2.1.2/17
napi tartály	4.2.2/27	nyílászáró	3/3
nedvesített felület	2.2.1/6, 2.3.2.4/4	nyílászáró fedelek	4.1.3.3/17
negatív függelék	3.6/4	nyíltvízi átrakodás	2.4.4/26
negatív kezdeti stabilitás	2.3.2.2.1.2/17	nyíltvízi kísérletek	4.3.2.4.1/1
negatív tolóerő	4.3.2/8	nyíróerő	4/3
négyárbocos sóner	4.3.3/20	nyíróerő ábra	4/11
negyed-vonal	2.4.2/8	nyitható kapu	3/5
négyütemű	2.4.2/3	nyitott fedélzet korrekció	2.3.2.3/26
nehéz üzemolaj	4.2/13	nyitott felépítmény fedélzet	2.3.2.3/24
nehézolaj	4.2/4	nyitott műhely elrendezés	4.1.3/12
nehézolaj előkészítő rendszer	4.2.1.2/3	nyitott regiszter	5/4
nem homogén hidegalakítás	4.1.3.8/4	nyitott regiszterű országok zászlója	5/4
nem teljesen megtöltött tank	2.3.2.2/27	nyitott szabadoldal fedélzet	2.3.2.3/24
nem-fogyó wolfram elektróda	4.1.2/25	nyitott szelvényű	4/2
nem-vízszáró rakodótér-fedél	4.1.3.3/13	nyitott/zárt ideiglenes fedélzetű	3/3
nemzeti osztályozó intézetek	2.3.2.2/24	nyomás alatti edények	4.1.3.7/14
Nemzetközi Egyezmény a Hajók Környezetszennyezésének Megelőzésére	3/10	nyomáseloszlás	2.2.1/18
nemzetközi hajóbiztonsági intézmények	2.3.2.2/24	nyomásközéppont	2.4.2/7
Nemzetközi Konferencia az Élet Védelméről a Tengeren, SOLAS	2.3.2.3/22, 2.4.4/25, 4.1.3.3/3	nyomáspróba	4.1.3.7/8
Nemzetközi Konvenció a Hajók Merülés-vonalairól	2.3.2.2/6, 2.3.2.3/24, 3/9, 4.1.3.3/3, -17	nyomaték karja	2.3/13
nemzetközi konvenciók	2.3.2.2.2/2	nyomaték-tényező	4.3.2.2/17
Nemzetközi modellkísérleti konferencia (ITTC)	2.4.2/19	nyomó igénybevétel	4/7
Nemzetközi Tengerhajózási Szervezet, IMO	2.3.2.3/7	nyomócsonk	4.2.2/6
névleges sodor	4.3.1/10	nyomófeszültség	4.3.2.4.1/15
névleges terhelés (Safe Working Load, SWL)	2.4.4/10	nyomvonal-változtatási tesztek	2.4.2/20
Nippon Kaiji Kyokai (ClassNK)	5/3	nyújtott felület	4.3.2.2/2, -3
normálerő	2.4.2/7		
normalizálás	4.1.2/9	<b>O</b>	
nukleáris energia	2.4.2/4	Oasis of the Seas	4.3.3/16
nukleáris főüzem	4.2/19	óceán hullámai	2.4/11
		óceánjáró ércszállító	3/7
		Oerlikon Spiromatic	4.3.3/16
		Oil Companies International Marine Forum (OCIMF)	2.4.4/24
		olaj/érc szállító	3/8
		olaj-alapú festék	4.1.3.8/7
		olaj- és zsírkenésű csúszócsapágy	4.3.4/10
		olajkazan táplálása	4.2.1.3/8
		olajmentes hosszválaszfalak	4.1.3.7/7
		olajos-gyantás festék	4.1.3.8/7
		olajrakomány	2.3.2.2/30
		olajszállító tankhajók	4.1.3.7/1
		Olajszennyezési Törvény	3/11
		olajtankhajó	3/9
		olajtüzelés	3/4, 4.2/5

## BBBZ-kódex

oldalirányban történő vízrebecsátás	5/3
4.1.4/6	5/4
oldalkapu	4.2.3/22
oldal-lapátkerék	4.3.3/8
oldalmagasság	2.3/6
oldalmagasság korrekció	2.3.2.3/27
oldalnézet	2.1.3.2.1/28
oldalprofil	2.1.3.2.1/27
oldalsó fenék hosszmerítő	4.1.3/20
oldalsó héjlemezek vastagsága	4.1.3/24
oldalsó héjlemez	4.1.3/24
oldalsó támasztókötelek	4.3.3/23
oldalszél	2.3.2.2.1.2/23, 4.3.3/24
oldalszerkezet	2.3.2.2.1.2/11, 4.1.3/23
oldószer	4.1.3.8/6
oldószerben oldott szilárd gyantás anyag	4.1.3.8/6
ollós emelő	4.2.3/24
ólom ballaszt	3.6/5
olvadó biztosító	4.2.1.3/1
optimális átmérő	4.3.2.4/18, 4.3.2.4.2/9
optimális fordulatszám	4.3.2.4/16, 4.3.2.4.2/8
orr	2.3/3
orr bukó mozgása	4.1.4/1
orr minimális magassága	4.1.3.3/22
orral előre elsüllyed	2.3.2.3/4
orrész	2.2/8, 4.1.3.3/25
orrfelépítmény	4.1.3.3/13, -21, -22
orrhorgony	2.4.4/12
orrkamra	4.1.3.7/9
orrkamra válaszfala	4.1.3.3/4
orrkapu	4.2.3/21
orrkormány-berendezések	4.1.3.3/29
orrpropeller	4.3.2/4
orr-sudár	4.3.3/22
orrsugár-kormány	2.4.2/18, 4.1.3.3/29
orrszerkezet	4.1.3.3/25
ortőke	2.3/6, 4.1.3.3/22, -25
ortőke előrehajlása	2.2/8
ortőke felső része	4.1.3.3/25
orrtrim	2.3.2.2.2/1
orrvitorla	4.3.3/24
orr-vitorlarúd	4.3.3/22
oszlopok	4.1.3.3/10
oszlopok konstrukciója	4.1.3.3/11
osztályozó intézetek	2.2/4
osztályozó intézetek anyagvizsgálati gyakorlata	4.1.2/16
osztályozó intézetek előírásai a	
horgonyberendezésekre	2.4.4/11
osztályozó intézetek előírásai	4.1.3.3/17
osztályozó intézetek munkája	5/3
osztályozó intézetek, működő	5/4
Osztályozó Intézetek Nemzetközi Föderációja (IFCS)	5/5
Osztályozó Intézetek Nemzetközi Szövetsége, IACS	2.4.4/8, 5/5
osztályozó intézeti hegesztés-vizsgálatok	4.1.2/40
osztályozó intézeti hossz	2.2/7
osztályozó intézeti jelzés	2.3.2.3/24, 4.1.2/3
osztott égéstér	4.2/19
osztott-sínes rendszer	4.2.1.3/2
oxidáció	4.1.3.8/1
oxidáló láng	4.1.2/19
oxigén	4.1.2/19
oxigén-acetilén láng	4.1.2/19
oxigén-acetilén láng alkalmazása	4.1.3.8/11
ömlasztó hegesztés	4.1.2/19
önálló vízmentes terek	2.3.2.3/1
önbeálló hordógörgős csapágy	4.3.4/15
önfelszívó rendszerű	4.2.1.3/4
önhordó acél fedelelek	4.1.3.3/17
önhordó acél nyílászáró fedelelek	4.1.3.3/17
önhordó kabin/toalet modul	4.1.3/12
önjáró hajó	1.3/4, 4.3.2.2/14
önmerítés	4.1.3.3/3
önmerített válaszfal	4.1.3.3/3
önpolírozó algásodás elleni anyagok	4.1.3.8/9
öntött fartőke	4.1.3.3/33
öntött vagy kovácsolt orrtőke alsórész	4.1.3.3/25
örvény	4.3.2.4/8
örvényelmélet	4.3.2/10, 4.3.2.4/1
örvényelmélet alapfogalmai	4.3.2.4/8
örvényelmélettel történő hajócsavar méretezés	4.3.2.4.2/1
örvényelmélettel való tervezés	4.3.2.4/11
örvénykamra	4.2/19
örvényképző ellenállás	2.2.1.1.1/4
örvényképző összetevő	2.2.1.1.1/4
összekötő merevítő	4.1.3/20
ötözött alumínium	4.1.2/12
öv	4/9
<b>P</b>	
pakura	2.4.2/4, 4.2/3
palletta elv	4.1.3/12
Panama Csatorna	3/4
párátlanító berendezés	4.2.2/12
párhuzamos bemerülés	2.3.2.2/4, 2.3.2.2.2/13

## 3. kiadás 2014. 0.1 TARTALOMJEGYZÉK 02.TÁRGYMUTATÓ 1.BEVEZETÉS 2.HAJÓELMÉLET

párhuzamos üzem	4.2.1.2/1, 4.2.1.3/2	radiális fűrőgépek	4.1.3/5
párizsi memorandum	5/4	rajzpadlás	2.1.3.2.1/27, 2.1.3.2.2/30
párnalemez	4.1.3.3/11, 4.2.2/16	rajzpadlás-munka 1:10 léptékben	2.1.3.2.2/31
párologtató	4.2.2/14	rajzpadlás-munka, CAD/CAM	2.1.3.2.2/31
parti nagy halász-sóner	4.3.3/19	rajzpadlási méretek	2.2/7
parti sóner	4.3.3/19	rajzpadló	2.3/9
part-menti és halászhajók	4.3.3/18	rakodási állapot	2.3/9, 2.3.2.2/13, 2.3.2.2.1.2/3
passzív állapot	4.1.3.8/3	rakodási-állapot változás hatása a stabilitásra	2.3.2.2/20
peremezni	4.1.3/21	rakodási mód	2.3/10
perforált álfenék	4.1.3.3/27	rakodási terv	2.3.2.2/19
periodikus hullámok	2.4/1	rakodó-berendezés	2.4.4/26
periódusidő	2.4/2	rakodónyílás	2.3.2.3/33, 3/4, -8, 4.1.3.3/10
periszkóp	3.6/3	rakodónyílások	4.1.3.7/7
Perkins	4.3.2/2	rakodónyílás keret	4.1.3.3/16, -18
pigment-anyag	4.1.3.8/6	rakodónyílások konstrukciója	4.1.3.3/17
pillangó gémmalakzat	4.2.3/15	rakodószivattyú	4.2.1.3/7
pisztoly	4.1.2/19	rakodótér	1.3/4
plazma-vágás	4.1.2/30	rakomány	2.3.2.2/20
pockfa	4.1.3.3/5, 4.3.4/5, -8	rakomány- és ballasztankok korrózióvédelme	4.1.3.8/12
polclemmez	4.1.3.3/4	rakomány kezelése	4.2.3/19
poliuretán gyanta	4.1.3.8/8	rakomány kezelésére szolgáló berendezések	3/7
poliuretán hab szigetelés	4.1.3.7/17	rakomány rögzítése	4.2.3/24
pólus	2.3.2.2.1.2/11, 4.1.2/20	rakomány-átrendezés	2.3.2.2/20
póluspont	2.3.2.2.1.2/12	rakomány-eloszlás	1.2/3
ponton	2.3.2.2/5	rakományemelő kötél	4.2.3/17
ponyva	4.1.3.3/17, -19	rakományhűtő rendszerek	4.2.2/13
postázó üzem	4.2.3/14	rakománykezelő csőrendszer	4.2.2/17
potenciál	4.1.3.8/2	rakománytank	2.3.2.2/29
potenciális energia	2.4/6	rakomány-tankok maximális megengedhető	hossza 4.1.3.7/6
pozitív függelék	3.6/4	rakománytankok mosása	4.2.2/18
Prandtl Ludwig	4.3.2.4/7	rakománytípus	2.3.2.2/27
precíziós öntés	4.3.2.5/1	rakománytovábbító szivattyú	4.2.2/16
próbaúti sebesség	2.2/3	raktér	2.3.2.2.2/7, 3/3
profil	2.3/5, 2.4.2/7	raktéri oszlopok	4.1.3.3/10
profilacélok	4.1.2/10	raktéri oszlopok osztása	4.1.3.3/10
propulzió	1.3/4, 4.2/3, 4.3.1/1	raktéri válaszfal	2.3.2.3/7
propulziós berendezés	2.4.2/1	rámpa	3/5, 4.2.3/20, -21
propulziós elektromotor	4.2.1.2/3	Rankine, W. J. M.	2.4/3
propulziós energia	4.3.1/4	Rankine-Froude elmélet	4.3.2.4/5
propulziós erőforrás	3/1	Rankine tárcsaelve	4.3.2.4.1/8
propulziós eszköz	2.2.2/1, 2.4.2/4, 4.3.1/1	reakcióerő	4/2, 4.3.1/1
propulziós főgép	4.3.2/1	reakcióerő elvén működő eszközök	4.3.3/1
propulziós hatásfok	4.3.2.2/17	redukciós tényező	4.3.2.4.2/16
propulziós teljesítmény	2.2/3	referenciasík	2.3/3
puha-orr orrtőke	4.1.3.3/25	referenciatengely	2.3/13
pumpálás	4/23	regiszteri hossz	2.2/7
púpos	4/7	regisztertonna	2.2/8, 3/3
PVC-gyanta	4.1.3.8/8	rendelkezésre álló hely	2.4.2/1
Pyroscaphe	4.3.2/2, 4.3.3/1, -7	rendszerek	4.2.2/1

## R

rács 4.2.2/4

## 3. kiadás 2014. 0.1 TARTALOMJEGYZÉK 02.TÁRGYMUTATÓ 1.BEVEZETÉS 2.HAJÓELMÉLET

## BBBZ-kódex

rendszer súlypont	2.3.2.2/9, 2.3.2.2/17	sebesség-ingadozás, lódulás	2.4/14
repedés-felderítés	4.1.3.7/14	sebességtényező	2.2.1.2/3, 4.3.2/6, 4.3.2.2/17
részlegesen zárt motoros mentőcsónak		sebesség-hossz viszonyszám	2.2.1/7
	2.4.4/25	segédgépek	4.2.1.2/1, 4.2.1.3/1
részletrajzok	2.1.3.2.1/26	segédgépek konstrukciója és telepítése	4.4/12
rész-szekciók	4.1.3/10	segéd-kormánymű	4.1.3.3/36
retesz	4.3.4/12	segédüzemi berendezések	4.2.1.3/2
reverzalható dízelmotorok irányváltása		segédüzemi berendezések kiválasztási szempontjai	4.2.1.3/4
	4.2/18	segédüzemi hálózat	4.2.1.3/3
részűs oldal	3/8	segédüzemi kompresszor	4.2.1.3/8
Reynolds, Osborne	2.2.1/14	sekélyvízi hullámterjedés	2.4/10
Reynolds-szám	2.2.1/6, 4.3.2.2/9	semleges egyensúlyi állapot	2.3.2.2/10
Rice Speed Nozzle	4.3.2/9	semleges láng	4.1.2/19
rideg törés	4/24	semleges szál	4/8
RINA	5/3	sérülés tényleges mértéke	2.3.2.3/7
robotok	4.1.3/8	sérülések kijavítása	4.1.2/7
Romsom, J. A.	4.3.2.4.2/20	Shorter	4.3.2/2
roncsolás-mentes vizsgálatok	4.1.2/38	SI rendszer	2.3/9
roncsolásos vizsgálatok	4.1.2/17	siklócsapágy	4.3.4/14
Ro-Ro hajó	1.3/4, 3/4	siklószám	4.3.2.4/10
rosszul éghető szerkezeti anyagok	3/13	sima lemezválaszfal	4.1.3.3/9
Royal Institute of Naval Architects (RINA)		Simplex tömítés	4.3.4/11
	2.2.1.2/41	Simpson-szabály	4.3.2.4.2/19
rögzítő-kötél	4.2.3/18	Smith	4.3.2/3, -7
röntgenvizsgálat	4.1.2/38	SNAME (Society of Naval Architects and Marine Engineers)	2.2.1.2/37
rugalmassági tényező	4.1.2/16	sodorhatás	4.3.1/7
rugóállandó	2.4/16, -18	sodormező adatok	4.3.2.4.2/6
Russian Maritime Register of Shipping (RS)	5/3	sodortényező	4.3.1/9, 4.3.2.4.2/2
rutilos elektróda	4.1.2/21	sodródási szög	2.4.2/14
<b>S</b>		SOLAS tűzvédelmi követelmények	4.2.2/22
sablon 1:10 arányban	2.1.3.2.2/31, 2.3/5	sólyatér	2.1.3.1/24, 4.1.3.3/4, 4.1.4/1, 4.3.4/4
sablon szerinti	2.3/5	sóner-vitorlázat	4.3.3/18
sablon szerinti alapvonal	2.3/7	sóoldatos csapda	4.2.2/15
sablon szerinti merülés	2.3/7	sorhajó	4.3.3/21
sablon szerinti nyári faáruszállító merülés		sorozatmodell kísérlet	2.4/2
	2.3.2.3/28	sorozatcsavar	4.3.2.2/2
sablon szerinti szélesség	2.3/6	sörétfűvás	4.1.3/2
sablonméretek	2.2/7	spirális diagram	2.2/1
sablonos formázás	4.3.2.5/2	spirális görbe	2.4.2/13
salak alatti eljárások	4.1.2/20	stabil egyensúlyi állapot	2.3.2.2/10, 2.3.2.2.1.2/16
Sámson-oszlop	4.2.3/12	stabilitás	1.2/3, 2.3/1, 2.3/8
sarkot fog	2.3.2.2/30	stabilitás alapvető egyenlete	2.3.2.2.1.2/6
sarokfogás	2.3.2.2/30	stabilitás lemerült helyzetben	3.6/7
sarokpántos típusú ajtó	4.1.3.3/5	stabilitás megszűnésének szöge	2.3.2.2.1.2/16
sarokpont	2.4.2/14	stabilitás tartománya	2.3.2.2.1.2/16
sarokvarrat	4.1.2/34	stabilitási és trim-számítások	2.3.2.2/25
sátorkazán	4.2/5	stabilizáló berendezés	3/13
savazás	4.1.3.8/11		
Schaffran, Dr. Karl	4.3.2.3/2		
Schoenherr Karl E.	2.2.1/17, 4.3.2.3/3		
Schoenherr középértékek	2.2.1/17		

## 3. kiadás 2014. 0.1 TARTALOMJEGYZÉK 02.TÁRGYMUTATÓ 1.BEVEZETÉS 2.HAJÓELMÉLET



standard modell-sorozat	2.2.1/7, 2.2.1.2/1	
standard súly-osztályozás	2.3.2.2/18	
Stevenson, Thomas	2.4/12	
Stockholmi Egyezmény, 1997		3/6
Stulken daru	4.2.3/15	
sugár	2.4/3	
súly oldalirányú elmozdítása	2.3.2.2/23	
súlyeloszlási állapot	2.3/9	
súlyerő	2.3.2.2/9	
súlyerők és felhajtóerők eredője	4/2	
súlymozgatás	2.3/10	
súlyok osztályozása	2.3.2.2/18	
súlyösszetevő	2.3.2.2/17	
súlyösszetevő elmozdítása	2.3.2.2/20	
súlyponti helyzet	1.3/4	
súlytöbblet hatásvonala	2.3.2.2/4	
súrlódási ellenállás	2.2.1.1.1/3	
súrlódási ellenállás, ATTC 1947 görbe	2.2.2/5	
súrlódási ellenállás, Froude	2.2.2/4	
súrlódási ellenállás, ITTC 1957 görbe	2.2.2/5	
súrlódási ellenállás, Taylor effektív teljesítmény	2.2.2/6	
súrlódási ellenállás	4.3.2.4/10	
súrlódási ellenállás diagram	2.2.1.2/35	
súrlódó-hegesztés	4.1.2/29	
sűrített levegő	4.2.1.3/8	
sűrűség	2.3.2.2/2	
szabad áramlási irány	2.4.2/7	
szabad fedélzet	2.3/7	
szabad felület hatása a stabilitásra	2.3.2.2/26	
szabad-felület korrekció	2.3.2.2/27	
szabad-felület nyomaték	2.3.2.2/27	
szabad felületű folyadék	2.3.2.2/27	
szabadalmazott rakodónyílás-záró szerkezet	3/7	
szabadalmaztatott acél záró-fedelelek	4.1.3.3/17	
szabadalmaztatott rámpa	3/5	
szabadoldal	2.2/8, 2.3/7	
szabadoldal érték korrekció	2.3.2.3/26	
szabadoldal fedélzet	2.3.2.2.1.2/17, 3/1, 4.1.3.3/12	
szabadoldal jóváhagyásának feltételei	2.3.2.3/28	
szabadoldal számítása	2.3.2.3/24	
szabadoldal-fedélzet	4.1.3.3/21	
szabadoldal-fedélzeti szerkezet	2.3.2.2.1.2/11	
szabadon elárasztható terek	2.3.2.2.1.2/11	
szabadon függő súlyok hatása a stabilitásra	2.3.2.2/25	
szabadságfok	2.4/14	
szakaszos sarokvarrat	4.1.3/23	
szakaszos varrat	4.1.2/34	
szakítófeszültség	4.1.2/16	
szakítópróba	4.1.2/17	
szakítószilárdság	4.1.2/15	
szállásfedélzet	3/3	
szálláshelyek kialakítása	4.4/1	
szállítómagasság	4.2.1.3/5	
szállított folyadék mennyisége	4.2.1.3/5	
számítógépes gyártás	2.1.3.2.1/26	
számítógépes mérnöki tevékenység	2.1.3.2.1/26	
számítógépes tervezés	2.1.3.2.1/26	
számjegyvezérlés	4.1.3/7	
számjegyvezérlésű megmunkáló-gép	2.1.3.2.1/26	
szaniter vízrendszer	4.2.1.3/9	
szántalp	4.1.4/2	
szárazáru szállító	2.3/8	
szárazáru szállító hajó	3/1	
szárazdokk	2.1.3.1/25, 4.1.3/15, 4.1.4/7	
szárny tövének szilárdsági ellenőrzése	4.3.2.4.2/31	
szárnyalkotó	4.3.2.2/8	
szárnyashajó	3/14	
szárny-ballaszt tank	3/4	
szárnycsúcs-rés	4.3.2.3.1.2/31	
szárnyelemezen ébredő erők	4.3.2.2/11	
szárnyfelület	4.3.2.4.2/11	
szárny-hátrahajlás	4.3.2.2/8	
szárnymetszetek hidrodinamikai számítása	4.3.2.4.2/18, -49	
szárnymetszetek igénybevétele a centrifugális erőből	4.3.2.4.2/20	
szárnymetszetek igénybevétele hidrodinamikai erőkből	4.3.2.4.2/19	
szárnymetszetek mérete a kavitáció elkerüléséhez	4.3.2.4.2/24	
szárnymetszetek szilárdsági és kavitációs számítása	4.3.2.4.2/19	
szárnymetszethez megrajzolható sebességi háromszög	4.3.2.2/12	
szárnyprofil	4.3.2.2/1	
szárnyprofil erő- és sebességviszonyai	4.3.2.2/11	
szárnyszám	4.3.2.4.2/10	
szárnyszelvény	4.3.2.2/9	
szárnyszelvény maximális vastagságú helye	4.3.2.2/4	
szárnyszelvény vázvonala	4.3.2.4/8	

## BBBZ-kódex

szárnytank	3/8	szerkezeti tűzvédelem	4.2.2/21
szárnyvastagság	4.3.2.2/8	szezonális jég	4.1.2/4
szárnyvég-örvénylés	2.4.2/8	szigetelés	4.2.2/12, -14
szegecselés	4.1.2/14	szigetelt ajtó	4.2.2/15
szekciógyártás	2.1.3.1/25, 413/8	szigetelt semleges földelési rendszer	4.2.1.3/2
szekciógyártás menete	4.1.3/11	szilárd tüzelőanyag	4.2/3
szekciók összeépítése	4.1.3/12	szilárdság	4.1.2/15
szekciók összeépítése vízen	4.1.3/14	szilárdsági fedélzet	4/9
szekunder biztonsági rendszer	4.1.3.7/14	szilárdsági fedélzet koszorúsora	4.1.3/24, 4.1.3.3/14
szekunder védőrendszer	4.1.3.7/14	szilárdsági (teherhordó) fedélzet	4.1.3.3/12, -24
szél ellen	4.3.3/18, -24	szimpla fenék	4.1.3/15, -16
szél és hullámok kapcsolata	2.4/11	szimpla héjazatú olajszállító tankhajók	4.1.3.7/2
szél gradiense	2.2.1/25	szinkron-billegés	2.4/22
szélcsatorna	2.2.1/24	szippantó árboc	3.6/3
szélellenállás	2.2.1/25	szívási tényező	4.3.1/13, 4.3.2.4.2/4
szelep-mechanizmus	4.2/17	szivattyú karakterisztikája	4.2.1.3/5
szelepszor	4.2.2/10	szivattyú-hatásfok	4.3.1/6
szélerő	2.2.1/25	szivattyúk feltöltése	4.2.1.3/4
szélesség	2.3/6	szivattyútér	4.4/14
szélesség-hossz viszonyszám	4.3.2.4.2/3	szívóakna	4.2.2/6
szélesség-hosszúsági arány	2.4.2/7	szívókosár	4.2.1.3/5, 4.2.2/6
szélesség-hosszúsági hányados	2.4.2/8	szívósság	4.1.2/15
szélesség-merülés viszony	4.3.1/8	szívószelep	4.2.1.2/5
szélező-gépek	4.1.3/4	szívóvezeték	4.2.2/6
szélirányok ábrája	4.3.3/24	szlip	4.3.2.2/10
szellőzés	4.1.3/10	szlup	4.3.3/19
szellőzőcsatorna	4.2.2/14	szokásos feszültségértékek	4.2.1.3/1
szellőzőcső rendszer	4.2.2/11	szolgálati csónak	4.2.3/10
szellőző-szellőztető rendszer	4.2.1.3/9	szolgálati járművek	2.4.4/24
szellőztetés, hűtés és szigetelés	4.2.2/12	szondarendszer	4.2.2/15
szellőztető rendszer	4.2.2/34	szondázó cső	4.2.2/16
szelvények gépi megmunkálása	4.1.3/2	szórás	4.1.3.8/10
szelvény-előkészítés	2.1.3.1/25, 4.1.3/1	szögacél	4.1.3/20, 4.1.3.3/11
szemcseszerkezet átalakulás	4.1.3.8/4	szögacél fedélzeti hosszmelevítő	4.1.3.3/12
személyhajók felépítményei	4.1.3.3/24	szögsebesség	2.4/4
személyszállító hajó	1/1, 3/12	sztatikai erőegyensúly egyenletei	4/2
személyszállító hajókon előírt menekülési útvonal	4.4/7	sztatikus egyensúlyi helyzet	2.3.2.2/1
személyzet és az utasok életfeltételeit biztosító rendszerek	4.2.2/2	sztatikus frekvencia-konverter	4.2.1.3/2
szemes rakomány	3/8	sztatikus stabilitás	2.2/3
szemrevételezés	4.1.2/38	sztatikus stabilitás görbéje	2.3.2.2.1.2/2, -12
szemüvegkeret	4.1.3.3/38	sztatikus stabilitási görbe elemzése	2.3.2.2.1.2/14
szénhidrogén	4.2/13	sztatikus stabilitási görbe maximuma	2.3.2.2.1.2/16
széntüzelésű kazán	4.2/5	szuper nagy megtartóerővel rendelkező SHHP horgonyok	2.4.4/16
szennyvíz- és fekália rendszer	4.2.2/33	szuperkavitáció	4.3.2.4/14
szennyvízszelep	4.2.1.3/8		
szeparátor	4.2.2/27		
szerkezeti anyagok	4.1.2/1		
szerkezeti anyagokra vonatkozó szabályozás	4.1.2/1		
szerkezeti bordakeret	2.3/8		

## 3. kiadás 2014. 0.1 TARTALOMJEGYZÉK 02.TÁRGYMUTATÓ 1.BEVEZETÉS 2.HAJÓELMÉLET

szükséges keresztmetszeti tényező 4.3.2.4.2/20  
szükséges teljesítmény 2.4.2/5

## T

tágulási tank 3/9  
taktikai átmérő 2.4.2/14  
talpalókötelek 4.3.3/23  
támasz 4.1.4/1  
tank felső lapja 2.3/8  
tank inercianyomatéka 2.3.2.2/28  
tankfedél 2.3.2.2/30, 4.1.3/18  
tankhajó 2.3.2.2/29  
tankhajók 4.1.3.7/1  
tankoldal csomólemeze 4.1.3/27  
tanktér határoló fala 4.1.3.3/3, -4  
tápvíz 4.2/5  
tarajos hullámrendszer 2.4/3  
tarcsvitorla 4.3.3/21  
tároló (bunker) 3/4  
tartalék hajócsavar tengely tárolása 4.1.3.3/9  
tartalék vízkiszorítás 2.3.2.3/2  
tartóberendezés 4.1.4/1  
tartóblokk 4.1.4/2  
tartócsapágó 4.3.4/14  
tatárboz 4.3.3/17  
távvezérlés 4.2/18  
Taylor, David. W. 2.2.1/7, 2.2.1.2/1, 4.3.2.3/3, 4.3.2.4/1  
Taylor hajócsavar modellkísérleti diagramok 4.3.2.3/32  
Taylor sebességtényező 4.3.2.3/15  
Taylor Standard sorozatok 2.2.1.2/3  
Taylor teljesítménytényező 4.3.2.3/15  
Technigaz 4.1.3.7/17  
teherhordó keresztmetszet 4.1.3.3/24  
telepítési tervek 2.1.3.1/24  
téli faáruszállító szabadoldal 2.3.2.3/28  
téli szabadoldal 2.3.2.3/28  
téli vitorlázat 4.3.3/19  
téli zóna 2.3.2.3/28  
teljes alakváltozás 4.1.2/15  
teljes alumínium minta 4.3.2.5/2  
teljes ellenállás 2.2.1/10  
teljes hajó módszer 2.3.2.2.2/20  
teljes hasznos terhelés 2.3.2.2/20  
teljes hossz 2.2/7, 2.3/6  
teljes merevítésű (full scantling) hajók 3/3  
teljes (sablon) merülés 2.2/7  
teljes (sablon) oldalmagasság 2.2/7  
teljes szélesség 2.3/6  
teljes (sablon) szélesség 2.2/7

teljes terhelésű hajó 2.3/10  
teljes test módszer 2.3.2.2.1.2/4  
teljes vitorlázatú hajó 4.3.3/21  
teljes vízkiszorítás 2.3/16  
teljesítmény 2.4.2/1  
teljesítményigény 2.3/16  
telt 2.3/20  
telt far 4.3.2.4.2/3  
teltségi fokok 2.3/20  
teltségi tényezők 2.3.2.4/3  
temperálás 4.1.2/9  
tengelyalagút 3/4, 4.1.3.3/9, 4.2.2/6  
tengelyalagút konstrukciója 4.1.3.3/9  
tengelyalagút mérete 4.1.3.3/9  
tengelybak-csapágó 4.3.4/6  
tengelybakok 4.1.3/24, 4.1.3.3/31, -38, 4.3.4/4  
tengelygenerátor 4.2.1.2/1  
tengelykapcsoló 4.3.4/15  
tengelykapcsolók konstrukciója 4.4/12  
tengelykilépés 2.3.2.3/7  
tengelykompresszor 4.2.1.3/8  
tengelyrendszer 4.3.4/1  
tengelyrendszer egységei 4.3.4/4  
tengelyrendszer hatásfoka 4.3.4/21  
tengelyrendszer méretezése 4.3.4/19  
tengelyvég kúposága 4.3.4/13  
tengelyvég-anya 4.3.2.2/3, 4.3.4/13  
tengelyvonal 4.3.4/3  
tengeralattjáró 3.6/1  
tengeralattjáró dinamikus stabilitás 3.6/4  
tengeralattjáró főgép teljesítménye 3.6/4  
tengeralattjáró hidrosztatika 3.6/3  
tengeralattjáró stabilitás 3.6/3  
tengeralattjáró szilárdság 3.6/3  
tengeralattjáróban levő levegő kezelése 3.6/3  
tengerálló képesség 2.3/20  
tengerállósági próba 2.2.1/25  
tengerészeti intézmény 2.3.2.2/18  
tengeri áruszállító 1.3/4  
tengeri vontató 2.4.2/1  
tényleges rendszersúlypont helyzet korrekció 2.3.2.2.1.2/12  
ténylegesen vízbemerült térfogat 2.3.2.2.2/9  
térleválasztó válaszfal 2.3.2.3/2, 4.1.3.3/1  
térfogatelemek kiszámítása 2.3.2.2.1.2/4  
terhelési ábra 4/5, -11  
terhelési próba 4.2.3/18  
terhelési tényező 4.3.1/5  
terhelő erő 4/2

## BBBZ-kódex

terhelt vízvonal	2.2/3, 2.3/5	tömítéssel és szorítószerkezetekkel ellátott	
természetes logaritmuszám	2.4/4	vízmentes vízzáró fedelek	2.3.2.3/25
természetes szellőztetés	4.2.2/12	tömítő-szelence	2.4.2/6, 4.1.3.3/37, 4.3.4/4
termithegesztés	4.1.2/28	tömlő	4.2.2/20
tern sóner	4.3.3/20	tömlőtartó dob	4.2.1.3/6
tervezési merülés	2.3/7	tömör gerinc	4.1.3/15
tervezési vízvonal	2.3/5	tömör kör-keresztmetszetű acél oszlopok	
testtank	3/10, 413/26, 4133/7		4.1.3.3/12
testtankok	4.1.3.7/6	tömör orrtőke	4.1.3.3/25
testtankok konstrukciója	4133/7	tönkcső	2.3.2.3/7, 4.1.3.3/37, 4.3.4/4
testtankok próbálása	4133/8	tönkcső-konstrukció	4.3.4/4
testtényező	4.3.1/16	tönkcső-tömítés	4.3.4/10
The Great Eastern	4.3.3/7	transzformátor	4.2.1.3/2
Thornycroft, John	2.4/27, 4.3.2/4	transzverzális hullám	2.2.1/20
Tideman héjsúrlódás	2.2.1.2/8	trim	2.3/10, 2.3.2.2.2/6
Tideman konstansai	2.2.1.2/8	trim és stabilitási könyv	2.3.2.2/19, -30,
tiszta trochois	2.4/4		2.3.2.2.2/18
tolattyú	4.2/8	trim értelme	2.3.2.2.2/3
toló-csapágy	4.3.4/1, 4.3.4/15	trim mechanikája	2.3.2.2.2/3
tolóerő	4.3.2/1	trim nagysága	2.3.2.2.2/3
tolóerő eloszlás	4.3.2/6	trim tengelye	2.3.2.2.2/4
tolóerő- és nyomaték-jelleggörbe	4.3.2.2/13	trimdiagram	2.3.2.2.2/18
tolóerő-tényező	4.3.1/5, 4.3.2.2/17	trimelődés	2.3.2.2.2/4
tolóhajó	1.3/4	trimmel úszó hajó	2.3.2.2.2/8
tolóhajózás	1.3/4		2.3.2.2.2/11
toló-oldal	4.3.1/2, 4.3.2.2/1	trimmelési és döntéspróba	3.6/3
toló-oldali emelkedés	4.3.2.2/2	trimszög	2.3.2.2.2/2
tolóoldali kavitáció	4.3.2.4.1/6	trimtáblázat	2.3.2.2.2/18
toló-tengely	4.3.4/15	trimváltozás	2.3.2.2.2/1, -3, -6
tompavarrat	4.1.2/33	trimváltozást okozó megközelítő nyomaték	
tonna per centiméter merülés-változás			2.3.2.2.2/12
	2.3.2.2/4, 2.3.2.4/2	trimváltozást okozó nyomaték	2.3.2.2.2/11
tonna per hüvelyk merülés-változás		trochoidális hullámmélet	2.4/3
	2.3.2.2/4, 2.3.2.4/2	trochoidális hullámok	2.4/3
torló-nyomás	2.2.1/6	trochoidális hullámprofil	2.4/5
torló-nyomásból adódó ellenállás	4.3.2.4/10	trochois görbe	2.4/3
torló-pont	2.2.1/6	Troost sorozatok	4.3.2.3/3
torló-válaszfal	4.1.3.7/15	túlfutás	2.4.2/13
torony magassági kormány	3.6/6	tulipánosság	2.3/7
toronyfedélzetű	3/7	túlnyomásos tankok	4.1.3.7/14
torziós doboz	4/23	túlterhelés-gátló	4.2.3/18
torziós lengés	4.3.2.4/17	turbina-üzemmód	4.3.2.2/13
torziós-lengés számítás	4.3.4/16	turbulens áramlás	2.2.1/14
torzulás	4/23	tusírozott kúpos illesztés	4.3.2.2/3
többséves jég	4.1.2/4	tükrös (tranzom) far	4.1.3.3/31
többfokozatú centrifugál szivattyú	4.2.1.3/6	tűzcsap	4.2.2/20
töltési fok	2.3.2.2/27	tűzcsöves kazán	4.2/4
töltésszabályozás	4.2/18	tűzelőberendezések	4.2/5
tömégáru	2.3.2.3/24	tűzoltó CO <sub>2</sub> rendszer	4.2.2/20
tömégáru szállító hajók	2.3.2.3/25, 3/7	tűzoltó vízrendszer	4.2.2/20
tömég-középpont	2.3.2.2/9	tűzoltó vízrendszer szivattyúja	4.2.1.3/6
tömítéssel ellátott vízmentes fedél	2.3.2.3/24	tűzoltószivattyú teljesítménye	4.2.2/20

## 3. kiadás 2014. 0.1 TARTALOMJEGYZÉK 02.TÁRGYMUTATÓ 1.BEVEZETÉS 2.HAJÓELMÉLET

tűzvédelem 4.2.2/20  
tűzvédelmi ernyő 2.3.2.3/7

## U

'U' formájú gumiprofil 4.1.3/15  
U-bordák 4.3.2.4.2/3  
ultrahangos vizsgálat 4.1.2/40  
Uniflex 4.3.4/17  
univerzális tömegáru szállító 3/8  
U. S. Experimental Model Basin 2.2.1.2/4  
uszályszállító hajó 3/4  
úszás feltétele 2.3.2.2/1  
úszási állapot 2.3.2.2/1  
úszásvonal 2.3.2.2.1.2/6  
U-szelvény 4.1.3/20, 4.1.3.3/11  
úszó raktározó egységek 4.1.3.7/10  
úszó termelő, raktározó és kirakó járművek  
4.1.3.7/10  
úszó test egyensúlyi állapota 2.3.2.2/8  
úszódaru 2.3.2.2/26  
úszóképesen maradás valószínűsége  
2.3.2.3/23  
úszóképesség 1.3/4, 2.3/8  
uszony 2.4.2/6  
utas helyiségek kijárata 4.4/6  
utas helyiségek szellőztetése 4.4/6  
utas szállásterek kialakítása 4.4/6  
utasok elhelyezésére vonatkozó követelmények  
3/13  
utasok védelme 4.4/6  
utastéri ablakok 4.4/6  
utas-ülések 4.4/6  
ülepítő tartály 4.2.2/27  
üres hajó 3.6/5  
üres hajósúly 2.3.2.2/18  
üres súly 2.2/3  
üres tömeg 2.3.2.2/18  
üres vízkiszorítás 2.3.2.2/18  
ütőmunka teszt 4.1.2/17  
üzemanyag 2.3.2.2/20  
üzemanyag rendszer 4.2.2/26  
üzemanyag szivattyú 4.2.1.3/7, 4.2.2/27  
üzemanyag típusa 2.4.2/1  
üzemi fordulatszám 2.4.2/1  
üzemi sebesség 2.2/3, 3/10  
üzemi terek kialakítása 4.4/1, -8

## V

V-alakú önmerevítés 4.1.3.3/3  
V-bordák 4.3.2.4.2/3  
váltakozó önmerevítés 4.1.3.3/3  
vágási eljárások 4.1.2/29

vágógép 4.1.3/3  
vágógép vezérlési formák 4.1.3/3  
válaszfal 4.1.3.3/1  
válaszfalak kiosztására vonatkozó  
követelmények 2.3.2.3/6, 2.3.2.3/22  
válaszfal-csapág 4.3.4/6  
válaszfalfedélzet 2.3.2.3/2, -17, 4.2.2/11  
válaszfal-kiosztási merülés-vonal 2.3.2.3/17  
válaszfal-kiosztási tényező 2.3.2.3/17, -23  
valóságos lékesedési szituáció 2.3.2.3/7  
valóságos óceáni hullámok 2.4/1  
valóságos sodor 4.3.1/10  
váltakozó áramú 4.2.1.3/1  
váltakozó hegesztés 4.1.2/35  
változó ballaszt 3.6/6  
változó terhelés 3.6/6  
Van Iterson 4.3.2.4/14  
van Manen 4.3.2.3.1.2/28  
varratípusok 4.1.2/33  
vasszerkezet megerősítése 2.4.4/9  
vasszerkezeti rajz 2.1.3.2.1/26, 2.2/2  
vasszerkezeti részletrajzok 2.1.3.2.1/26  
vasszerkezet tervező programok 4.1.2/4  
vasudvar 4.1.3/1  
védőgáz hegesztési eljárások 4.1.2/25  
védőkorlát 2.3.2.3/32  
végbekötések konstrukciója 4.1.3.3/3  
végiggördül 2.4/3  
végtelen vízmélység 2.4/3  
vegyileg ellenálló festék 4.1.3.8/7  
vegyszerszállító tankhajók 4.1.3.7/11  
ventilátor 4.2.2/12  
vész-búvónyílás 4.1.3.3/9  
vészkábel rendszer 4.2.1.3/1  
vetített felület 4.3.2.2/3  
vetület 2.3/3  
vezérelhető uszony 2.4/25  
vezérelt-lapátos lapátkerék 2.4.2/4,  
4.3.3/8, -10  
vezérelt uszonyokkal dolgozó propulziós eszköz  
2.4.2/4  
vezérfelület 2.4.2/6  
vezérlési pont 4.3.3/3  
vezértengely 4.2/18  
viharfokozat 2.4/13  
viking hajó 4.3.3/18  
villás targoncák 4.1.3.3/14  
virtuális és névleges emelkedés 4.3.2.3/12  
virtuális súlypont 2.3.2.2/26, -27  
virtuális súlypontemelkedés 2.3.2.2/28  
viszkózitás 2.2.1/9, 4.3.1/9  
viszkózus ellenállás 2.2.1.1.1/4

## 3. kiadás 2014. 0.1 TARTALOMJEGYZÉK 02.TÁRGYMUTATÓ 1.BEVEZETÉS 2.HAJÓELMÉLET

## BBBZ-kódex

visszacsapó szelep	4.2.1.3/5	vízkişzorítás súlypontja	2.3.2.2/9
visszanyert vízkişzorítás	2.3.2.3/3	vízkişzorítás súlypontjának függőleges koordinátája	2.3/16
visszatérítı erı	2.4/16	vízkişzorítás súlypont pályája	2.3.2.2/12
visszatérítı kar	2.3.2.2.1.2/1	vízkişzorítás súlypontjának hosszirányú koordinátája	2.3/16, 2.3/19, 2.3.2.4/2
visszatérítı kar legnagyobb értéke	2.3.2.2.1.2/16	vízkişzorítás súlypontjának magassága a gerinc felett	2.3.2.4/3
visszatérítı karok meghatározása	2.3.2.2.1.2/3	vízkişzorítás térfogata	2.3/16, 2.3.2.2/15
visszatérítı nyomaték	2.3.2.2/11, 2.3.2.2.1.2/1	vízkişzorítás-változás a trim függvényében	2.3.2.2.2/10
visszatérítı nyomaték karja	2.3.2.2/12	vízkişzorítás-változás, egy centiméter merülés-változásra esı	2.3.2.2/4
vitörla	1/1, 4.3.3/16	vízkişzorítás-változás, egy hüvelyk merülés-változásra esı	2.3.2.2/4
vitörla mechanikája	4.3.3/25	vízmélység	2.4/4
vitörlafelület	4.3.3/23	vízmentes ajtó	2.3.2.2.1.2/11, 4.1.3.3/4
vitörlak kurtiása vagy reffelése	4.3.3/23	vízmentes ajtók vízoszlop-nyomás próbája	4.1.3.3/6
vitörlarúd	4.3.3/21	vízmentes ajtók vízugarpróba	4.1.3.3/6
vitörlás hajó	1/1, 3/1	vízmentes fedélzet	4.1.3.3/12
vitörlás-hajó típusok	4.3.3/18	vízmentes keresztválaszfal	2.3.2.3/2
vitörlás	4.3.3/24	vízmentes tér	2.3.2.3/2, 4.1.3.3/1
vitörlásási pozíciók	4.3.3/24	vízmentes válaszfalak elhelyezése személyhajóknál	4.1.3.3/3
vitörlászat	4.3.3/22	vízmentes válaszfalak elhelyezése teherhajóknál	4.1.3.3/1
víz- és olajmentes lemez fenékbor	4.1.3/19	vízmentes válaszfalak kiosztása	2.3.2.3/5
víz feljutása a fedélzetre	2.3.2.2.1.2/4	vízmentes válaszfalak konstrukciója	4.1.3.3/3
víz hajótestbe történı bejutása	2.3.2.3/1	vízmentes válaszfalak minimális száma	4.1.3.3/1
víz kerül a hajótestbe	2.3.2.2.1.2/17	vízmentes válaszfalakon való átvezetés	4.2.2/8
vízballaszt	3/8	vízmentes válaszfalzóró ajtók mőködtetése	4.2.1.3/9
vízbejutás	2.3.2.2.1.2/17, 2.3.2.3/1	vízmentes záró-elem	4.1.3.3/4
vízbejutási szög	2.3.2.2.1.2/17	vízmentesség	2.3.2.2.1.2/11, 4.1.3/22
vízbererülő fedélzeti házak	2.3.2.2.1.2/4	víznyomás	2.2.1.1.1/4
vízbererült bordaterület	2.3/16	víznyomásos próbák	4.1.3/22
vízbererült függelék	2.3.2.2.1.2/11	vízrebocsátás	4.1.4/1
vízbererült hajótest	2.3/10	vízrebocsátási kenıanyag	4.1.4/3
vízbererült hajótest vízkişzorítása	3.6/4	vízugar vágás	4.1.2/32
vízbererült rész	2.3/6	vízugarhajítás	4.3.3/12
vízbererült térfogat	2.3.2.2.1.2/4	vízszekrény	2.3.2.2.1.2/11, 4.2.2/3
vízbererült térfogat súlypontja	2.3.2.2/9	vízszintes gerincő hosszmererítő	2.3/8
vízbererült terület	2.3.2.2.1.2/4	vízszintes keresztmererítő	4.1.3.3/8
vízcsöves kazán	4.2/4	vízszintes mererítettlen lemezek	4.1.3.3/27
vízellátó rendszer	4.2.2/33	vízszintes síkban végbemenő mozgások	2.4.2/21
vízellátó rendszer szivattyúi	4.2.1.3/8	vízszintes tengelyő horgonycsörő	4.2.3/7
vízfelszíni hullámok	2.4/8	vízszintes tolóajtó	4.1.3.3/6
vízhez képesti relatív sőrűséggel	2.3.2.2/8		
vízi összeszerelı csarnok	2.1.3.1/25		
vízi szerelıcsarnok	2.1.3.1/24		
vízi-jármő	1/1		
vízi-utak	1/1		
vízgőz-nyomás	2.2.1.1.1/4		
vízigény számítása	4.2.1.3/9		
vízkenéső csúszócsapág	4.3.4/8		
vízkişorítás	2.2/3, 2.3.2.4/1		
vízkişorítás-áthelyezés	2.3.2.2/27		

## 3. kiadás 2014. 0.1 TARTALOMJEGYZÉK 02.TÁRGYMUTATÓ 1.BEVEZETÉS 2.HAJÓELMÉLET

vízszintes válaszfal keresztmervítő 4.1.3.3/3  
 vízvételvezető rendszer 4.2.2/3  
 vízvonal 2.1.3.2.1/27, 2.3/4  
 vízvonal hossza 2.3/6  
 vízvonal keresztirányú inercianyomatéka  
 2.3.2.2/15  
 vízvonalfelület 2.3/4, 2.3/10  
 vízvonalfelület súlypontja 2.3/10  
 vízvonalfelület súlypontjának hosszirányú  
 helyzete 2.3.2.4/2  
 vízvonalfelület súlypontjánál mérhető merülés  
 2.3.2.2.2/9  
 vízvonalfelület területe 2.3.2.4/6  
 vízvonalszélesség 2.3.2.2.1.2/4  
 vízvonalteltség 2.3/22  
 vízzáró rakodótér-fedél 4.1.3.3/13  
 vízzsákok 4.2.2/10  
 Voith-Schneider propeller 2.4.2/4, 4.3.1/11,  
 4.3.3/1, -2  
 Volvo-Penta 4.3.3/14  
 vonalhajó (cargo liner) 3/4  
 vonalrajz 1.3/4, 2.3/2  
 vonalterv 2.1.3.2.1/27, 2.3/2  
 vonalterv kiegyenlítése 2.1.3.2.2./31  
 vontatáshoz szükséges erő 2.2.1.1/3  
 vontató 2.4.4/15  
 vontató állópróbái görbéje 2.4.4/16

vontató- és kikötő-berendezések elrendezése  
 2.4.4/10  
 vontató hajó 1.3/4  
 vontató-berendezés 2.4.4/24  
 vontatócsörlő 4.2.3/9  
 vontatóhorog 4.2.3/9  
 vontató- illetve tolóhajó 4.3.2.2/14  
 vontatókísérleti állomás 2.2.1/1

## W

wageningeni MARIN intézet  
 4.3.2.3.1.2/28  
 Watt 4.3.2/1  
 wolfram inert-gáz, TIG 4.1.2/25  
 Woodcroft 4.3.2/4  
 Worthington-szivattyú 4.2/11

## Z

Z-Antrieb 4.3.3/15  
 Z-hajtás 4.3.2/3, 4.3.3/13  
 Z-hajtómű 4.3.3/14  
 zárható visszacsapó szelep 4.2.2/7, -10  
 zárt burkolatú megszakító 4.2.1.3/1  
 zárt szelvényű 4/2  
 zászló 5/4  
 zónák 4.1.3/10, 4.1.3.3/18  
 Zsukovszkij 4.3.2.4/7

## **1 Bevezetés**

Az ember helyváltoztatási tevékenysége során a természetes vizeket kezdetben akadállynak érezte, veszélyforrásnak, amelyeket lehetőleg el kell kerülnie életben maradásához. Akkor fedezte fel azok kedvező tulajdonságait, amikor nagy távolságokat kellett megtennie egy folyó mentén, vagy át kellett kelnie egy tavon, és a vízi-járművek segítségével fáradságot takaríthatott meg magának, nem kellett a magával vitt nehéz felszerelést a hátán cipelnie – hiszen a teherhordó állatok megszelídítése, nem is említve a kerék feltalálását, még hátra volt – és nem kellett kerülőket tennie, hanem egyenes úton juthatott el a túlsó partra.

Ahogy a tűz kezdetben ellenség volt, hiszen elpusztította az életteret nyújtó erdőt vagy szavannát, de ez megváltozott, amikor az ember megismerte a tűz jó oldalát, éppúgy változott át a víz akadályból közlekedési és szállítási útvonallá. Akkor következett be ez a fordulat, amikor az ember elsajátította a vízi-járművek készítésének ismereteit.

A járművek legősibb fajtája a *vízi-jármű*. Erre bizonyítékot szolgáltat az a tény, hogy a legprimitívebb törzsek is, amelyek tagjai még napjainkban is ismerik a köeszközök készítésének módját, sőt, készítenek is kőbaltákat és kereskednek is velük, még azok is készítenek tutajokat vagy fatörzsből kivájt csónakokat. A kerék feltalálása és a teherhordó állatok háziasítása differenciálni tudta a közlekedési és szállítási lehetőségeket, de komoly alternatívát csak ott jelentett, ahol a *vízi-utak* nem álltak bőséggel rendelkezésre.

A munkamegosztás kialakulása kitermelte a *hajóépítéshez* értő mesterembereket, az ember földrajzi ismereteinek bővülése pedig az utazásban résztvevők számának növekedését idézte elő (és vice versa), ami ennek következtében a *hajók* különböző típusait fejlesztette ki. Más járműre volt szüksége a *vízi-utakkal* sűrűn behálózott lapos területek kereskedőinek, mint a nagy folyamokon mindkét irányban közlekedő hivatalnokoknak vagy katonáknak. A szeles területeken *vitorlát* használhattak, máshol evezniük kellett. A vikingek könnyű, hajlékony, hossz-szilárdsággal szinte egyáltalán nem rendelkező *hosszú-csónakjai* könnyen átszállíthatók voltak az egyes *vízi-utakat* elválasztó földnyelveken vagy a *vízi-út* szerves részét alkotó zuhatagos szakaszokon. A hajóépítők kezdetben egyek voltak a *hajók* üzemeltetőivel, a régi görögök mondáiban a nagyobb útra vállalkozó hősök előbb megépítették saját járműveiket. Ez azonban a *hajóépítő* szakma bonyolultabbá válásával és a hajósmesterség ismereteinek kibővülésével megváltozott. Bár a karbantartás a mai napig elsősorban a hajózó ember feladata maradt, az építés már olyan infrastruktúrát igényel, amely a *hajóépítést* iparrá tette hosszú idővel ezelőtt, és ez a tendencia a jövőben is csak tovább erősödhet.

A mai világban a *hajóépítő* szakember sokéves tanulással sajátítja el azokat az ismereteket, amelyek szakmájának urává teszik, nem is említve a szakma gyakorlása közben megszerzett átfogó tudást, amely nélkül nem épülhettek volna meg a világ híres *hajói*, mint a brit *haditengerészet vitorlás hajói*, a 19. század *klipperei* vagy a 20. századi atlanti *személyszállító hajóóriások*, amelyek az építés és a *hajózás* során elkövetett minden emberi hiba ellenére a fejlődést szolgálták. De nem juthatott volna el a *folyami hajó* sem a mai műszaki szintre a szakma kiváló képviselői nélkül.



---

Ez a kézikönyv a szerkesztők szándéka szerint arra hívatott, hogy nyomába lépjen az előző században a szakma bibliájaként tisztelt *Balogh-Vikár könyvnek*, illetve a századvég követelményeinek megfelelően íródott *Benedek* kötetnek. Szerkesztési módja lehetővé teszi az állandó frissítést, az újabb kiadások folyamatos megjelenítését.

## 1.1 Előszó

A magyar hajóépítés az elmúlt évszázadok során, kivéve egy viszonylag rövid időszakot, szinte folyamatosan kizárólag az ország gazdaságának kiszolgáló ágazata volt. Ez a rövid kivételes időszak a II. Világháború után következett be, amikor a kelet-európai gazdasági régióban a kölcsönös előnyök alapján a magyar hajógyártás olyan terméket tudott előállítani, amely csereértéket képezett az ország gazdasága számára elengedhetetlen nyersanyagok és berendezések ellenében. A termelőerők színvonalának emelkedése többé-kevésbé folyamatos, ezért semmi meglepő sincs abban, hogy a 20. század közepén még fejlett technikának számító hajóépítő szakma olyan országok számára is hozzáférhetővé vált, ahol addig az ipari háttér nem biztosított hasonló színvonalú termelő tevékenységet. Az életszínvonalban, a dolgozók igényeiben és ennek következtében a bérekben megmutatkozó különbségek miatt azonban ez a folyamat azt eredményezte, hogy a korábbi hajóépítő országokban, így nálunk is, a hajóépítés elvesztette gazdaságosságát, a hajóipar leépült. A mi esetünkben más tényezők is hatottak, így a nagy létszámú fizikai dolgozót foglalkoztató állami cégek ismét magánkézbe adása, ezzel együtt a támogatási rendszer gyökeres átalakulása, de az említett változások csak elindították magát a folyamatot, hiszen ugyanez már több évtizeddel korábban a sokkal nagyobb hagyományokkal rendelkező angol és német hajógyárakban is lezajlott.

A világméretű folyamatok azonban megint nem követik a korábbi irányokat, hanem újra és újra megváltoznak. A változások időnként egyes helyzeteket visszafordítanak, ami átmenetileg gazdaságtalan volt, az egy új szituációban jövedelmezővé válik. Mi is növelte a korábbi évszázadokban a hajózás fontosságát igazán? Az egyre hatalmasabb áruforgalomhoz szükség volt rá, hiszen sem a vasút, sem az országúti szállítás nem volt képes az igényeket kielégíteni. Mi is okozta ennek a fontosságnak a csökkenését, különösen a belvízi hajózásnál? Az áruforgalom szerkezete átalakult, nőtt azoknak az áruknak az aránya, amelyeket gyorsan kellett továbbítani, erre pedig a hajók nem képesek. Mire alapozom optimizmusomat a hajózás fontosságának újabb előretörésében? Amit korábban az egyszerű fizikai törvényszerűség követelt meg, hogy a nagy tömegű árut vízen továbbítsák, azt meg fogja követelni az az igény, hogy az árut minél olcsóbban és a környezetre gyakorolt minél kisebb negatív hatással továbbíthassák rendeltetési helyükre.

Ha pedig igaz a fenti megállapítás, akkor szükség lesz újabb hajókra (bizonyára másokra, mint a korábbi konstrukciók voltak, mivel ez történik mindig, amikor egy folyamat megismétlődik, nem ugyanazon a szinten teszi, hanem új műszaki színvonalon), amelyeket ismét csak a hajógyárak fognak megépíteni, és az egyetlen dolog, ami itt nem változik, hogy a hajógyárnak lehetőleg víz mellett kell elhelyezkednie és biztonságos kikötővel kell rendelkeznie. Legyen az akármelyik

*hajógyár*, eredeti funkciójára tökéletesebben alkalmas, mint üdülőtérületnek vagy kereskedelmi bázisnak. Akik pedig a *hajógyárakban* a munkát fogják elvégezni, azoknak szükségük lesz megbízható és kezelhető szakirodalomra.

### 1.2 A kézikönyv célja

Ezt a kézikönyvet első sorban azzal a céllal kezdtem megszerkeszteni, hogy a *hajóépítő* szakma műszaki végzettséggel rendelkező képviselőinek azt a tudásanyagot biztosítani lehessen, amely túllép a közép- vagy felsőfokú műszaki szakemberek általános ismeretein. A szakképzésben lehetetlen minden szakra és ágazatra tökéletesen felkészíteni a tanulókat és hallgatókat, az okleveles végzett szakember ahhoz a gépjármű vezetői vizsgát tett emberhez hasonlít, akinek a jogosítvány kézhez vétele után már joga van megtanulnia autót vezetni úgy is, hogy nem ül mellette oktató. A friss diplomás talán többet is tud elméletben, mint a szakma idősebb tagjai, bár ez sem mindig igaz, mert akinek szívügye a szakma, az sohasem áll meg saját továbbképzésével, minden esetre a gyakorlatot csak munka közben lehet megszerezni. A gyakorlat csak hosszú évek alatt szerezhető meg, és közben nagyon sokszor kell konzultálni olyan szakirodalommal, amely az általános és a specifikus tudás különbségeit egyenlíti ki. Szeretném, ha ez a kézikönyv ezt a feladatot képes lenne megoldani. Ez volt az első, és talán legfontosabb célom.

Nem jelentéktelen azonban az a feladata sem a kézikönyvnek, hogy a *hajóépítő* kívül a *hajók* üzemeltetőinek is megadja azt a segítséget, amelyre időről-időre szükségük lehet. A *hajók stabilitási* kérdései a *hajózó személyzet* számára is elsődleges fontosságúak, de ugyanaz elmondható a *hajók szilárdságáról* is, hiszen számos *hajó* borult fel vagy tört ketté a nem megfelelő *rakomány-eloszlás* miatt, vagy azért, mert a *hajózóút* jellemzői nem olyanok voltak, amelyeket a *hajó* tervezése és építése során figyelembe vettek. A kézikönyv olyan fejezetei, amelyek a *hajózást* könnyíthetik meg, minden *hajó fedélzetén* a felelős személyek rendelkezésére kell, hogy álljanak.

### 1.3 A kézikönyv használata

A kézikönyv felépítése megfelel a könnyű kezelhetőség és állandó frissíthetőség és bővíthetőség követelményeinek. A digitális szerkezet nemcsak a lapok kivételét és cseréjét egyszerűsíti, hanem egyes fejezetek másolását, elektronikus levilágítását, külön kezelését is lehetővé teszi.

A kézikönyv 1., 2. ill. 3. kiadásának megjelenése távolról sem jelenti a könyv teljességét. A digitális szerkezet ebben jelenti a legnagyobb potenciált a hagyományos kötött könyvekkel ellentétben, mivel egy új kiadás a könyvknél az egész mű újbóli megjelentetését teszi szükségessé, ellentétben az adathordozókon rögzített szerkezettel, ahol az alap 1. kiadás már megjelenhet, amikor a minimálisan szükséges alapfogalmak belekerültek (a terjedelemnek megfelelő költség- és árszínvonalon), és az idő folyamán kidolgozott (vagy előírások és technikai megoldások területén módosult) új fejezetek bővítő-csomagként szerezhetők be. Ha pedig egy szakember számára az alapterjedelem kielégítő, nem kell a bővítéseket megvásárolnia.

A kézikönyv elején részletes tartalomjegyzék van elhelyezve, amely megkönnyíti az adott szakterületre vonatkozó ismereteket tartalmazó fejezet megtalálását. Amennyiben szűkebb fogalmat vagy kifejezést keresünk, azt a betűrendes tárgymutató segítségével tehetjük meg. Az ebben található fogalmak és kifejezések dőlt betűvel fordulnak elő azon a helyen, amelyre a tárgymutató utal.

A bevezetés célja az, hogy a kézikönyv kezelésének minél gyorsabb elsajátítását biztosíthassa.

A *hajóelméletben* azok az ismeretek találhatók, amelyek azt teszik lehetővé, hogy az adott feladathoz a követelményekből kiindulva meghatározzuk az optimális hajótestet, megrajzoljuk a hajótest *vonalarajzát*, és annak alapján elvégezzük a *hajóelméleti számításokat*. Mivel a *stabilitási, úszóképességi és hordképességi* számítások már a valóságos berendezések súlyát és *súlyponti helyzetét* is ismertnek tételezik fel, ezeket a számításokat a *hajótervezés* egyes stádiumaiban (*ajánlati terv, építési terv, építés utáni korrekciók*) újból és újból meg kell ismételni az egyre pontosabbá váló adatok felhasználásával.

A *hajótípusok* fejezet azoknak a szakembereknek kíván segítséget adni, akik nem a megszokott úton járnak, hanem olyan hajó tervezése és építése a feladatuk, amely számukra ismeretlen részleteket tartalmazhat. Amikor például a hajózási mód változik, mint ahogy a *folyami önjáró áruszállító hajók* helyett az áruk mennyisége és fajtája a *tolóhajózást* hívja életre, a *tolóhajók* minden területét meg kell ismernie azoknak, akik korábban az *önjáró hajókkal* foglalkoztak. Ugyanez érvényes arra a tervezőre is, aki már évtizedes tapasztalattal bír a *tengeri áruszállító és vontató hajókról*, de *Ro-Ro hajót* vagy *kikötői bárkát* kell terveznie és építenie. A fejezet segítséget ad a megfelelő *hajóosztályozó intézetek* előírásaiban való eligazodásnál is.

A legösszetettebb rész a kézikönyvben a *hajók szerkezeti felépítésének* leírása. A *hajó*, bár komplex termék, nem öncélú használati tárgy. A feladat határozza meg, milyen lesz, milyen egységeket fog magában foglalni. Az építető a feladat végzésére kívánja használni, ami ahhoz felesleges, azt nem fizeti meg.

Ha például egy adott területen belül valamilyen árut kell két pont között rendszeresen elszállítani, az áru mennyisége és külső jellemzőinek összessége dönti el, mekkora legyen a hajó *hordképessége* és milyen legyen a *rakodótér* vagy terek mérete. A feladat a *hajótípust* is félig-meddig kijelöli, de az sem lehetetlen, hogy a feladat teremtsen új típust, ahogy a *konténerszállítókat* vagy a *tolóhajókat* a feladat hozta létre. A típus, a méret és a *hajózási útvonal* már leszűkíti az *osztályozó intézetek* listáját, amelyek közül kiválasztható az az egyetlen, amelynek előírásai alapján fog a hajó megépülni és a későbbiekben üzemelni. Az előírások és az *előzetes hajótest tervezés* eredményei mondják meg a *gépi berendezések* paramétereit. Ezek alapján lehet a gépeket és berendezéseket kiválasztani, az automatizáció fokának megfelelő legénység számára a munka- és életfeltételeket biztosítani.

A fejezet mindezekhez segítséget ad, és lehetővé teszi a hajó meghajtásának, szaknyelven *propulziójának* megtervezését és gyártását is. A *propulzió* területe képviseli a kézikönyv legterjedelmesebb részét, mert egyrészt az elmúlt évtizedekben tapasztalt műszaki fejlődés sem hozott létre olyan megoldásokat, amelyek a végső, legjobb megoldásoknak tekinthetők, másrészt az emberi törekvések sohasem szűnnek

meg annak érdekében, hogy a legnagyobb teljesítményt a legkisebb ráfordítással lehessen elérni. A kézikönyv ezért minden olyan ismeretet tartalmaz, amelyek a szakembernek lehetővé teszik a számára optimális megoldás kiválasztását. A kézikönyv leggyakrabban használt fejezete valószínűleg az osztályozó intézetek és nemzeti illetve nemzetközi szabványok ismertetése lesz. Ezek azok a szakismeretek, amelyeket a gyakorlat ugyan rögzít az agyban, de a fejlődés és az előírások folytonos változása nem engedi, hogy valaki elégedett legyen saját tudásával, ha jól akar dolgozni, akkor szükség van a segédletek használatára. Ugyanez az oka annak is, hogy a frissítés bizonyára ezt a fejezetet fogja leginkább érinteni.

### 1.4 Irodalomjegyzék

Az alábbi szakirodalmi művek jegyzéke legnagyobb sajnálatomra nem teljes. Nem tartalmazza egyrészt azokat a cikkeket, könyvrészleteket, stb., amelyeket az Internet különböző honlapjairól szabadon le tudtam tölteni, de feledékenységéből nem jegyeztem meg a címeket. Bízom benne, hogy akinek ezekre szüksége lehet a könyv alapján, annak a megfelelő keresőszó segítségével sikerül ezekre rábukkanni. A másik csoportba azok a saját kezemmel készített jegyzetek tartoznak, amelyeket egyetemi tanulmányaim során a BBBZ-kódex nevét adó két személy előadásain vettem papírra. Ezeket kiegészítik még azok a számítások, amelyeket szakmai gyakorlatom során kellett elvégezniem.

1. Balogh - Vikár: A Hajók elmélete, Akadémiai Kiadó, 1955
2. Benedek Zoltán: Optimális örvényeloszlás kétcsavaros hajók hajócsavarjainál, Járművek, Mezőgazdasági Gépek, 1962
3. Benedek Zoltán: Kutatási eredmények és felhasználásuk Kort-gyűrűs propellerek főmérteinek meghatározásánál, Magyar Hajó- és Darugyár Műszaki Tájékoztató, 1967/4
4. Benedek Zoltán: Sugárhajtóműben és gyűrűben működő hajócsavar tervezése, Magyar Hajó- és Darugyár Műszaki Tájékoztató, 1968/1
5. Betz, A.: Ergebn. Aerodyn. Vers. Anst., Göttingen, 1919.
6. Betz, A. – Prandtl, L.: Schraubenpropeller mit geringstem Energieverlust. Nachrichten von d. Kön. Ges. Wis. zu Göttingen 1919
7. Burrill, L.C.: Calculation of Marine Propeller Performance Characteristics. Trans. ECIES, 1944.
8. Burrill, L.C.: On propeller Theory. Trans.IESS, 1947.

- 
9. Burrill, L. C.: A New Design Method. N.E.C. I. 1955
  10. Burrill, L.C.: „A Short Note on the Stressing of Marine Propellers”, The Shipbuilder and Marine Engine Builder, Vol. 66, No. 619, August 1959.
  11. Burrill, L.C. and Emerson, A.: Propeller Cavitation: Some Observations from the 16–inch Propeller Tests in the New King’s College Cavitation Tunnel, Trans. NECIES, Vol. 79, 1963.
  12. Carlton, J.S.: Marine Propeller & Propulsion. Butterworth Heinemann, 1994.
  13. Eyres, D. J. M.Sc., F.R.I.N.A.: Ship Construction, Sixth edition 2007, Elsevier, Linacre House, Jordan Hill, Oxford, OX2 8DP, 30 Corporate Drive, Burlington, MA 01803
  14. Froude, W.: On the Elementary Relation Between Pitch, Slip and Propulsive Efficiency. *Trans. RINA*, 19,1878.
  15. Gillmer, Thomas C. - Johnson, Bruce: Introduction to Naval Architecture, U. S. Naval Institute Press, Annapolis, Maryland, 1982
  16. Goldstein, S.: On the Vortex Theory of Screw Propeller, Proceedings of the R. S. of Ser. A, 123, London 1929
  17. Holtrop, J. and Mennen, G.: „An Approximate Power Prediction Method”, International Shipbuilding Progress, Vol 29, July, 1982
  18. Holtrop, J.: „A Statistical Re-Analysis of Resistance and Propulsion Data”, International Shipbuilding Progress, Vol 31, Nov, 1984
  19. INTERNATIONAL ASSOCIATION OF CLASSIFICATION SOCIETIES: Requirements Concerning Machinery Installations, IACS Req. 2003
  20. International Towing Tank Conference (ITTC) Symbols and Terminology List, Draft Version 1999, August 19, 1999
  21. Keyser, R. and Arnoldus, W.: „Strength Calculation of Marine Propellers”, International Shipbuilding Progress, Volume 6, No. 53, January 1959.
  22. Kramer, K. N.: Weiterführung von Goldsteins Lösung d. Optimalproblems für Schraubenpropeller, D. V. für Luftfahrt 1941
  23. Kuiper, G.: Cavitation Research and Ship Propeller Design, Volume 58, Issue - 1  
<http://www.springerlink.com/content/n71042243r913621>
-

24. Lammeren, W.P.A. van et al. (1969): The Wageningen B-screw series, SNAME
25. Lerbs, H.W.: Moderately Loaded Propellers With a Finite Number of Blades and an Arbitrary Distribution of Circulation. *Trans.* SNAME, 60, 1952.
26. Lewis, Edward V.: Principles of Naval Architecture, Vol.2 Resistance, Propulsion and Vibration. The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Jersey City, NJ.
27. Manen, J.D. van, Lammeren, W.P.A. van.: The Design of Wake-Adapted Screws and their Behaviour Behind the Ship. *Trans.* IESS, 1955.
28. Manen, Dr. J. D. van - Superina, A.: The Design of Screw Propeller sin Nozzles, Int. Shipbuilding Progress, 1959
29. Moor, D., Parker, M. and Pattulo, R., „The BSRA Methodical Series - An Overall Presentation”, Trans. RINA, Vol. 103, 1961
30. Oosterveld, M.W.C., Ossanmen, P. van: „Further Computer Analysed Data of the Wageningen B-screw Series”. ISP, 22, July 1975.
31. Rankine, W.J.: On the Mechanical Principles of the Action of Propeller. *Trans.* RINA, 6, 1865.
32. Rawson, K.J. - Tupper, E.C.: Basic Ship Theory, Vols. 1 and 2, Fifth Edition, 2001
33. Romsom, J.A.: Propeller Strength Calculation, Marine Engineering & Naval Architecture, 1952, Vol. 75.
34. Taylor, D.W.: The Speed and Power of Ships, U.S. Gov. Printing House, 1943
35. Troost, L.: Open Water Test Series With Modern Propeller Form. Part 3 – Two-bladed and Five-bladed Propellers - Extension of the Three and Four Bladed B-series. *Trans.* NECIES, 67, 1951.
36. Zubaly, Robert B.: Applied Naval Architecture, Cornell Maritime Press, Centreville, Maryland, 1996
37. N. W. H. Bulten: Numerical Analysis of a Waterjet Propulsion System, Technische Universiteit Eindhoven, 2006, ISBN-10: 90-386-2988-5, ISBN-13: 978-90-386-2988-9

## 1.5 Köszönetnyilvánítás

---

Szeretnék köszönetet mondani azoknak, akik hozzájárultak, hogy ezt a szakmai kézikönyvet össze tudtam állítani, és azoknak a kezébe adhatom, akik számára segítséget nyújthat.

Azokat, akiknek köszönetet mondok, nem szeretném név szerint említeni, felsorolom inkább azokat az okokat, amiért nekik köszönettel tartozom.

A legelső helyre kell tennem a hajóépítés tárgy előadóját a Budapesti Műszaki Egyetemen az 1962/63 és 1963/64 tanévben, B.B. professzort, aki a hallgatókkal való kapcsolatában saját lényével elérte (nálam mindenesetre), hogy nemcsak megélhetést biztosító szakmának tekintettem a hajótervezés és hajóépítés területét, hanem életcélnak. Köszönöm, hogy természetessé tette számomra azt, hogy az egyetem befejezése után egyrészt teljes tudással kell a kapott feladatokat elvégezni, másrészt a szakembernek saját képzését sohasem szabad befejezettnek tekinteni, ahogy a jó pap, úgy a jó hajóépítő is holtig tanul.

Talán még ennél is nagyobb köszönettel tartozom a hajók propulziója tárgyát előadó B.Z. adjunktusnak (akkor adjunktus, azóta akadémiai doktor, a szakma legtekintélyesebb alakja). Az ő egyénisége tökéletesen magával tudott ragadni, későbbi munkám során a tőle tanultakat hasznosítottam leginkább a megtervezett hajócsavarokban.

Köszönöm azoknak a kollégáknak és főnököknek, akik szakmai pályám során olyan feladatokkal hoztak össze, amelyek tudásomat folyamatosan bővítették, ez tette lehetővé, hogy tudásom mai szintjét elérhessem. K.F. meglátta bennem azt a fiatal mérnököt, akiből egyik legjobb munkatársa válhat. J.Gy. nem győzte ostorozni bennem az ösztönös kitérési szándékot az új nehézségek elől, minél jobban szerettem volna egy beláthatatlan feladat alól kibújni, annál inkább erőltette, hogy csináljam meg.

Köszönöm mind a kettőnek, hogy az adott pillanatban a legjobbat tette.

Később, amikor már az újtól nem rettentem meg, S.F. és W. J. is rám tette a legnagyobb terheket, hogy ösztönözzenek, és törekedjem a legjobb megoldásokra.

Tudnám még folytatni a sort, de nem sorolhatom fel valamennyi munkatársamat.

Ők voltak azok, akik lehetővé tették, hogy összegyűjtsem magamban azt a tudásanyagot, ami ennek a könyvnek az összeállításához elengedhetetlen volt.

Köszönöm nekik.

## **2 Hajóelmélet**

A hajó bonyolult szerkezet, amelynek megalkotásához és tartós megőrzéséhez ki kell elégíteni számos, időnként ellentmondó feltételt. Első és legfontosabb ezek közül *Archimédész törvénye*, amely, amint a későbbiekben látni fogjuk, a folyadékokba merített testek viselkedését írja le. Ennek kielégítése teszi lehetővé a hajó úszását. Hasonlóan fontosak a hidrosztatika törvényei, amelyek a hajó úszás közben elfoglalt helyzetét és szilárdságát befolyásolják.

A sztatika és szilárdságtan törvényei határozzák meg a hajó egyensúlyi állapotát és szilárdságát. A kinematika a hajó, mint tömeggel bíró szilárd test mozgásait írja le, a dinamika a mozgással kapcsolatos erőviszonyok tanulmányozásához ad lehetőséget. A hajó haladása közben tanúsított *ellenállását* és az annak legyőzéséhez szükséges energiát a hidrodinamika törvényei szerint tudjuk meghatározni.

Lehetne tovább sorolni a természettudományok többi ágazatát, amelyek a hajóépítés és üzemeltetés során nemcsak fontos információkat szolgáltatnak, de ki is jelölik azokat a feltételeket, amelyek figyelmen kívül hagyása okozza általában a gondokat.

A hajó akkor úszik megfelelően, ha annyi szerkezeti anyagot és egyéb szükséges holmit (többek között a szállítandó rakományt) helyezünk el benne a megfelelő koordinátájú helyeken, amelynek alapján a vízen elfoglalt helyzet úszásvonala a hajófenék felett megfelelő magasságban jön létre, és azzal a kívánt szöget zárja be. Szilárdsága akkor megfelelő, ha ezek közül az anyagok közül a szerkezethez felhasznált anyagok a kívánt minőségűek és a megfelelő elosztásban építették be őket a hajóba.

Hossz- és keresztstabilitása akkor kielégítő, ha a hajótest főméreteinek kiválasztása a hajó típusának, nagyságának, funkcióinak megfelelően történt, természetesen itt már ellentmond egymásnak a stabilitás és a hajótest ellenállása. Minél megfelelőbb a hajótest a stabilitás szempontjából (széles, telt víz alatti forma), annál kedvezőtlenebb a nagyobb sebességtartományokban az ellenállás szempontjából, vagyis a beépítendő főgép-teljesítmény oldaláról. Mindezek a megállapítások végső soron a hajónak azt a mutatóját befolyásolják, hogy milyen határfokkal képes a hajó azt a feladatot teljesíteni, amely megépítését szükségessé tette. Vagyis az építéshez és a használathoz felhasznált pénzeszközök megtérülését.

### **2.1 Történeti áttekintés és elméleti alapok**

A hajók tervezésének és használatának elméleti alapjai sokkal rövidebb múltra tekintenek vissza, mint amilyen hosszú idő óta építenek kiváló (és kevésbé jó) hajókat, és használják azokat igazán szakszerűen és mesterien (de néha pocsékul). A műszaki tudományok terén a gyakorlatnak és az elméletnek szerves egységben kell lenni, ami azt jelenti, hogy a legkiválóbb elméleti tudás is elégtelen a gyakorlat nélkül, a megfelelő gyakorlat pedig időnként képes arra, hogy akár elméleti felkészültség nélkül is jó szakember váljék valakiből.

#### **2.1.1 Történeti áttekintés**



A legrégebbi olyan szabály, amely a hajók úszóképességét meghatározza, *Archimédész törvénye*.

Archimédész i.sz. 287-ben született a szicíliai Szirakuzában. Apja csillagász volt, Feidiász, róla keveset tudunk, de Archimédész szinte a tudomány minden ágában eredményeket ért el. Sokfelé járt, Egyiptomban is, ott fedezte fel a róla elnevezett Archimédészi spirálist, ami lényegében szivattyúként működik, még ma is alkalmazzák. Euklidesz követőinél tanult Alexandriában, így nemcsak az ottani matematikát ismerte, hanem magukat az ottani matematikusokat is. Archimédész legismertebb találmányai a hadigépezetek voltak, amelyeket a rómaiak ellen szülővárosa védelmében fejlesztett ki. Ez azonban már közvetlenül halála előtt volt, egyéb találmányai sokkal korábbiak. Hieronimosz királynak írt levelében azt állította, hogy a megfelelő fix pontból ki tudja mozdítani még a Földet is sarkaiból (akkor még laposnak gondolták). A király megbízta egy hajó kivontatásával, amit végre is hajtott a megfelelő kézi csigasorral.

A testek úszásával kapcsolatos törvényét úgy fedezte fel, hogy a közfürdőben észrevette, amikor a medencében belemerül a vízbe, a víz szintje megemelkedik, tehát a teste vizet szorít ki. A hirtelen felfedezés örömétől hajtva kiugrott a fürdőből, és ahogy volt, lepel nélkül szaladt végig a városon azt kiabálva: „Heuréka!” (megtaláltam). A görög szóból származik a heurisztika nevű tudományág a véletlenszerű találmányok területén.

A matematikában az integrálszámítás alapjainak lerakását és a közelítő gyökvonás módszerét neki tulajdonítják. Halála 212-ben a második pún háború alatt következett be, amikor a rómaiak Szirakuzát bevették. A legenda szerint kérte a római katonát, hogy tegyen amit akar, csak „ne zavarja köreit”, mivel éppen egy mértani probléma megoldásán dolgozott. A katona, aki nem is sejtette ki ő, megölte.

*Archimédész törvénye* szerint minden folyadékba mártott testre a test térfogatával és a folyadék sűrűségével arányos felhajtóerő hat. Ennek eredeti megfogalmazása szerint a folyadékba mártott test annyit veszít a súlyából, amennyi az általa kiszorított folyadék súlya.

A hajók stabilitása csak azt követően vált központi kérdéssé, hogy a legősibb hajtási módról, az evezőről áttértek a szél erején alapuló vitorlás propulzióra. A vitorlát ugyan használták már korábban is, de csak segéd-hajtóeszközként. Amikor azonban a vitorlás hajók árbocmagassága jelentősen megnőtt, és a rajtuk levő vitorla felülete számottevő billentő nyomatékot képviselt, előfordultak balesetek. Tovább növelte ezt a hatást az is, hogy a tengereken a hadihajók lettek a katonai erő megtestesítői, és a nehéz hajóágyuk a fedélzeten és az alatta levő fedélzeteken voltak elhelyezve. A súlypont magasabb helyzete és a szél billentő hatása okozta a hasonló felborulásokat. Legismertebb ezek közül a Vasa svéd hadihajó 17. századi katasztrófája.

A stabilitás számításához szükség volt a matematikára, amelynek nagy fejlődése a 18. században következett be. A hajók kereszt- és hosszstabilitásának számítását azóta lehet egzakt módon elvégezni.

A stabilitással szoros kapcsolatban van a sérült hajók úszóképességének vizsgálata. Mindkét esetben integrálszámítás helyett véges számú rész összegzését alkalmazzuk, tehát lényegében közelítések vannak ezekben a vizsgálatokban, amelyek azonban azok

pontosságát lényegesen nem befolyásolják, hiszen a számolásnál feltételezett körülményektől minden esetben egyéb eltérések is vannak, amelyeket figyelmen kívül kell hagyni.

A hajók szilárdsága viszonylag új területe a hajóelméletnek. A legrégebbi korokban a hajók elsüllyedésének két fő oka volt. Túlterhelés miatti vízbejutás a hajótestbe, ezáltal az úszóképesség megszűnése, illetve kedvezőtlen időjárásban történő megfeneklés, sziklához csapódás vagy hullámozás miatti vízbejutás.

A hajók méreteinek növekedése, különösen a nagyobb sebességre való törekvés következtében a hajó hossz-szélesség viszonyának megnövelése azt eredményezte, hogy a hajó, mint hajlított és csavart tartószerkezet szilárdságtanilag nem bírta elviselni a hullámos vízen a vízkiszorítás felhajtóereje és a súlyeloszlás következtében fellépő igénybevételeket, és valamelyik szélső szálban törés következett be. Az ilyen balesetek a 20. század második harmadában szaporodtak meg. Az igénybevétel növekedése mellett az is okozta őket, hogy a vashajók építése során alkalmazni kezdték a hegesztést, és annak elméleti háttere még nagyon hiányos volt. Számos esetben a balesetet egyszerűen az okozta, hogy az anyag nem volt hegeszthető, és a varratnak szinte egyáltalán nem volt szilárdsága.

A hajók hossz- és keresztzilárdságának számításánál a tartószerkezetek méretezésénél használt szilárdságtani elveket alkalmazzuk.

A hajóelméletnek az a területe, amely legkésőbb tudott szert tenni elméleti háttérre (bár annak bonyolultsága a mai napig nagyon sok közelítést tesz szükségessé, ezért ez a háttér legfeljebb kvázi-elméleti), a hajók ellenállása és meghajtása (propulziója).

Kezdetét az jelentette, hogy a 19. század elejétől a vitorlás hajók soha nem látott fejlődésen mentek keresztül. Az Egyesült Államok sok olyan hajóépítővel dicsekedhetett, akik kisebb hajótestek (főleg a kétárbocosok számos változatánál) precíz kidolgozásával utat nyitottak a legendás klipperek megteremtéséhez. A hajótervezők elkészítették fából a hajótest fél-modelljét, arra rárajzolták a vízvonalakat, elméleti bordákat és diagonál-metszeteket, ennek alapján voltak képesek olyan tökéletes hajótesteket megalkotni, amelyek ellenállása a tervezési sebességnél minimális volt. Ezeket a vonalrajzokat használták fel a vitorlás, majd vitorlás-gőzös, később pedig kizárólag gőzmeghajtású hadihajóknál is. A hajók ellenállásának vizsgálatát az angol és az amerikai haditengerészet önállóan kezdte végezni, a ma ismert és leginkább használható eredmények az amerikai David W. Taylor tengernagy által vezetett kísérlet-sorozatból valók, amelyet az azóta róla elnevezett és az idők folyamán állandóan korszerűsített modellkísérleti medencében végzett.

Taylor kísérleteivel és azok eredményeivel a 2.2.1 fejezetben foglalkozunk.

## **2.1.2 Alapfogalmak, mértékegységek, jelek és rövidítések**

A következőkben a hajótervezésben-, építésben és hajózásban, illetve az ahhoz kapcsolódó alaptudományokban használatos mennyiségeket, mértékegységeket, jeleket és rövidítéseket soroljuk fel. Forrásként ezek összegyűjtéséhez elsősorban az International Towing Tank Conference (ITTC) 1999-es ülésének jegyzőkönyve szolgált.

---

## **3. kiadás 2014. 0.1 TARTALOMJEGYZÉK 02.TÁRGYMUTATÓ 1.BEVEZETÉS 2.HAJÓELMÉLET**

### 2.1.2.1 Általános hajóelmélet

#### 2.1.2.1.1 Alapvető mennyiségek

$a$  – lineáris gyorsulás [hossz/idő<sup>2</sup>, m/s<sup>2</sup>]

$A$  – felület jelölése általában [hossz<sup>2</sup>, m<sup>2</sup>]

$B$  – szélesség [hossz, m]

$C$  – ellenállásra és felhajtóerőre merőleges oldalirányú erő [tömeg\*hossz/idő<sup>2</sup>, kgm/s<sup>2</sup>, N]

$D$  – ellenálláserő, ellentétes a haladási iránnyal [tömeg\*hossz/idő<sup>2</sup>, kgm/s<sup>2</sup>, N]

$d, D$  – átmérő [hossz, m]

$E$  – energia, munka [tömeg\*hossz<sup>2</sup>/idő<sup>2</sup>, kgm<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>, Nm, J]

$f$  – frekvencia [1/idő, 1/s, Hz]

$F$  – erő általában [tömeg\*hossz/idő<sup>2</sup>, kgm/s<sup>2</sup>, N]

$g$  – gravitációs gyorsulás [hossz/idő<sup>2</sup>, m/s<sup>2</sup>]

$h, H$  – mélység, magasság [hossz, m]

$I$  – másodrendű (inercia) nyomaték [tömeg\*hossz<sup>2</sup>, kgm<sup>2</sup>]

$L$  – hossz [hossz, m]

$L$  – haladási irányra merőleges felhajtóerő [tömeg\*hossz/idő<sup>2</sup>, kgm/s<sup>2</sup>, N]

$m$  – tömeg [tömeg, kg]

$n$  – fordulatszám percenként [1/idő, 1/min]

$P$  – teljesítmény, időegység alatt végzett munka [tömeg\*hossz<sup>2</sup>/idő<sup>3</sup>, kgm<sup>2</sup>/s<sup>3</sup>, Nm/s, J/s, W]

$r$  – sugár [hossz, m]

$R$  – ellenálláserő, ellentétes a haladási iránnyal [tömeg\*hossz/idő<sup>2</sup>, kgm/s<sup>2</sup>, N]

$s$  – megtett útszakasz [hossz, m]

$t$  – idő [idő, s]

$t$  – hőmérséklet [°K]

$T$  – periódusidő [idő, s]

$U$  – folyadék zavartalan áramlási sebessége [hossz/idő, m/s]

$v$  – test lineáris haladási sebessége [hossz/idő, m/s]

$V$  – térfogat [hossz<sup>3</sup>, m<sup>3</sup>]

$W$  – testre ható gravitációs erő, súly [tömeg\*hossz/idő<sup>2</sup>, kgm/s<sup>2</sup>, N]

$\gamma$ (gamma) – fajsúly, egységnyi térfogatú anyag súlya viszonyítva egységnyi térfogatú 4°C hőmérsékletű víz súlyához [- , tömeg/idő<sup>2</sup>\*hossz<sup>2</sup>, kg/s<sup>2</sup>m<sup>2</sup>, N/m<sup>3</sup>]

$\eta$ (éta) – hatásfok, nyert teljesítmény/betáplált teljesítmény [-]

$\rho$ (ró) – fajlagos tömeg, sűrűség [tömeg/hossz<sup>3</sup>, kg/m<sup>3</sup>]

$\tau$ (tau) – nyírófeszültség [N/m<sup>2</sup>, Pa]

$\lambda$ (lambda) – méretarány, hajó/modell méretei [-]

$\sigma$ (szigma) – húzó- ill. nyomófeszültség [N/m<sup>2</sup>, Pa]

$\omega$ (omega) – szögsebesség,  $2\pi n$  [1/idő, rad/s]

#### 2.1.2.2 Geometria és hidrosztatika

**2.1.2.2.1 Hajótest geometriája****2.1.2.2.1.1 Alapvető mennyiségek**

- $A_{BL}$  – bulbaorr felülete a mellső függély előtt az oldalnézeten [hossz<sup>2</sup>, m<sup>2</sup>]  
 $A_{BT}$  – bulbaorr keresztmetszete a mellső függélyen (bal és jobb együtt) [hossz<sup>2</sup>, m<sup>2</sup>]  
 $A_M$  – főborda-metszet felülete (bal és jobb együtt) [hossz<sup>2</sup>, m<sup>2</sup>]  
 $A_T$  – tranzom (tükros) far keresztmetszete a hátsó függélyen (bal és jobb együtt) [hossz<sup>2</sup>, m<sup>2</sup>]  
 $A_V$  – szélnek kitett felület a szélirányra merőlegesen a vízvonal felett [hossz<sup>2</sup>, m<sup>2</sup>]  
 $A_W$  – vízvonalfelület [hossz<sup>2</sup>, m<sup>2</sup>]  
 $A_{WA}$  – vízvonalfelület a főborda mögött [hossz<sup>2</sup>, m<sup>2</sup>]  
 $A_{WF}$  – vízvonalfelület a főborda előtt [hossz<sup>2</sup>, m<sup>2</sup>]  
 $A_{WS}$  – hajó nedvesített felülete [hossz<sup>2</sup>, m<sup>2</sup>]  
 $A_X$  – maximális bordametszet felülete [hossz<sup>2</sup>, m<sup>2</sup>]  
 $B$  – hajótest szélessége sablon szerint [hossz, m]  
 $B_M$  – hajótest szélessége a főbordánál a konstrukciós vízvonalon [hossz, m]  
 $B_T$  – tranzom far szélessége a hátsó függélyen a konstrukciós vízvonalon [hossz, m]  
 $B_{WL}$  – maximális szélesség sablon szerint a konstrukciós vízvonalon [hossz, m]  
 $B_X$  – maximális keresztmetszetenél mért szélesség a konstrukciós vízvonalon [hossz, m]  
 $T$  – hajótest merülése sablon szerint [hossz, m]  
 $d_{kl}$  – gerincvonal ferdesége a hátsó és mellső függély között [hossz, m]  
 $D$  – hajótest oldalmagassága sablon szerint [hossz, m]  
 $f$  – szabadoldal magasság a szabadoldal jel és szabadoldal fedélzet között a szabályok szerint [hossz, m]  
 $i_E$  – vízvonal belépési szöge a hajó középső szimmetriasíkjához képest [szög, rad]  
 $i_R$  – vízvonal kilépési szöge a hajó középső szimmetriasíkjához képest [szög, rad]  
 $L$  – hajóhossz (általában függélyek között) [hossz, m]  
 $L_E$  – hajótest mellsőrész hossza a mellső függély és a hengeres középrész mellső határa között [hossz, m]  
 $L_{OA}$  – hajó teljes hossza [hossz, m]  
 $L_{OS}$  – hajó vízbemerült részének teljes hossza [hossz, m]  
 $L_p$  – hajó hengeres középrészének hossza [hossz, m]  
 $L_p$  – hajó függélyek közötti hossza [hossz, m]  
 $L_R$  – hajótest hátsórész hossza a hátsó függély és a hengeres középrész hátsó határa között [hossz, m]  
 $L_{WL}$  – vízvonal hossza [hossz, m]  
 $L_{FS}$  – bordaosztás a vasszerkezetben [hossz, m]  
 $L_{SS}$  – elméleti bordaosztás a vonalrajzon [hossz, m]  
 $t$  – a vízvonal alatti bordametszetek görbéjének Taylor tangense (a görbének az orrnál levő pontjához húzott érintő metszéspontja a hajóközép ordinátáján) [-]  
 $T$  – hajótest merülése sablon szerint [hossz, m]  
 $T_A$  – merülés a hátsó függélynél [hossz, m]  
 $T_{AD}$  – konstrukciós merülés a hátsó függélynél [hossz, m]  
 $T_F$  – merülés a mellső függélynél [hossz, m]
-

$T_{FD}$  – konstrukciós merülés a mellső függélynél [hossz, m]  
 $T_H$  – hajótest maximális merülése gerinc és uszony nélkül [hossz, m]  
 $T_M$  – merülés a főbordán, egyenes gerincű hajónál  $T_A + T_F/2$  [hossz, m]  
 $T_{MD}$  – konstrukciós merülés a főbordán, egyenes gerincű hajónál  $T_{AD} + T_{FD}/2$  [hossz, m]  
 $T_T$  – merülés a tranzomnál a hátsó függélynél a gerincen [hossz, m]  
 $\nabla, V$  – vízkiszorítás térfogata [hossz<sup>3</sup>, m<sup>3</sup>]  
 $\nabla_{BH}$  – csupasz hajótest vízkiszorítás-térfogata [hossz<sup>3</sup>, m<sup>3</sup>]  
 $\nabla_{AP}$  – függelékek vízkiszorítás-térfogata [hossz<sup>3</sup>, m<sup>3</sup>]  
 $\Delta$  – vízkiszorítás súlya,  $g\rho\nabla$  [tömeg\*hossz/idő<sup>2</sup>, kgm/s<sup>2</sup>, N]  
 $\Delta_{BH}$  – csupasz hajótest vízkiszorítás súlya,  $g\rho\nabla_{BH}$  [tömeg\*hossz/idő<sup>2</sup>, kgm/s<sup>2</sup>, N]  
 $\Delta_{AP}$  – függelékek vízkiszorítás súlya,  $g\rho\nabla_{AP}$  [tömeg\*hossz/idő<sup>2</sup>, kgm/s<sup>2</sup>, N]  
 $\lambda$  (lambda) – méretarány, hajó/modell méretei [-]

### 2.1.2.2.1.2 Származtatott mennyiségek

$B^C$  – R.E. Froude szélességi koefficiense,  $B/\nabla^{1/3}$  [-]  
 $C_B$  – hasábos teltség,  $\nabla/(LBT)$  [-]  
 $C_{IL}$  – vízvonál hosszirányú másodrendű nyomaték koefficiens,  $12I_L/(BL^3)$  [-]  
 $C_{IT}$  – vízvonál keresztirányú másodrendű nyomaték koefficiens,  $12I_T/(B^3L)$  [-]  
 $C_M$  – főborda-teltség,  $A_M/(BT)$  [-]  
 $C_P$  – hengeres teltség,  $\nabla/(A_XL)$  vagy  $\nabla/(A_ML)$  [-]  
 $C_{PA}$  – hajótest főborda mögötti részének hengeres teltsége,  $\nabla_A/(A_XL/2)$  vagy  $\nabla_A/(A_ML/2)$  [-]  
 $C_{PF}$  – hajótest főborda előtti részének hengeres teltsége,  $\nabla_F/(A_XL/2)$  vagy  $\nabla_F/(A_ML/2)$  [-]  
 $C_{PE}$  – hajótest mellsőrész hengeres teltsége,  $\nabla_E/(A_XL_E)$  vagy  $\nabla_E/(A_ML_E)$  [-]  
 $C_{PR}$  – hajótest hátsórész hengeres teltsége,  $\nabla_R/(A_XL_R)$  vagy  $\nabla_R/(A_ML_R)$  [-]  
 $C_{WS}$  – nedvesített felület koefficiens,  $A_{WS}/(\nabla L)^{1/2}$  [-]  
 $C_{VP}$  – függőleges hengeres teltség,  $\nabla/(A_W T)$  [-]  
 $C_{WP}$  – vízvonalteltség,  $A_W/BL$  [-]  
 $C_{WA}$  – vízvonál főborda mögötti részének teltsége,  $A_{WA}/BL/2$  [-]  
 $C_{WF}$  – vízvonál főborda előtti részének teltsége,  $A_{WF}/BL/2$  [-]  
 $C_X$  – maximális bordametszet teltsége,  $A_X/BT$  ( $B$  és  $T$  a maximális bordametszetenél mért szélesség és merülés) [-]  
 $C_V$  – térfogati koefficiens,  $\nabla/L^3$  [-]  
 $f_{BL}$  – bulbaorr felületaránya,  $A_{BL}/LT$ , [-]  
 $f_{BT}$  – bulbaorr keresztmetszetaránya,  $A_{BT}/A_X$   
 $f_T$  – tranzom far keresztmetszetaránya,  $A_T/A_X$  [-]  
 $M^C$  – R.E. Froude hossz koefficiense,  $L/\nabla^{1/3}$  [-]  
 $S^C$  – R.E. Froude nedvesített felület koefficiense,  $A_{WS}/\nabla^{2/3}$  [-]  
 $T^C$  – R.E. Froude merülés koefficiense,  $T/\nabla^{1/3}$  [-]

### 2.1.2.2.1.3 Indexjelek magyarázata

A, AB (after body) hajótestnek a főborda mögötti része

## BBBZ-kódex

---

AP (aft perpendicular)	hátsó függély
LPP (appendages)	függelékek
B, BH (bare hull)	csupasz hajótest
DW (design waterline)	konstrukciós vízvonal
E, EN (entry)	hajótest mellsőrész
F, FB (fore body)	hajótestnek a főborda előtti része
FP (fore perpendicular)	mellső függély
FS (frame spacing)	bordaosztás (vasszerkezet)
H, HE (hull)	hajótest
LR (reference line)	referencia (alap)vonal
LP	$L_{PP}$ -re vonatkoztatva
LW	$L_{WL}$ -re vonatkoztatva
M, MS (midships)	főborda
PB (parallel body)	hengeres középrész
R, RU (run)	hajótest hátsórész
SS (station spacing)	elméleti bordaosztás (vonalarajz)
W, WP (water plane)	vízvonal
S, WS (wetted surface)	nedvesített felület

### 2.1.2.2.2 Propulziós eszközök geometriája

#### 2.1.2.2.2.1 Hajócsavar

- $A_D$  – hajócsavar szárnyainak kifejtett felülete az agy kivételével [hossz<sup>2</sup>, m<sup>2</sup>]  
 $A_E$  – hajócsavar szárnyainak nyújtott felülete az agy kivételével [hossz<sup>2</sup>, m<sup>2</sup>]  
 $A_0$  – hajócsavar-kör teljes felülete,  $D^2\pi/4$  [hossz<sup>2</sup>, m<sup>2</sup>]  
 $A_P$  – hajócsavar szárnyainak vetített felülete az agy kivételével [hossz<sup>2</sup>, m<sup>2</sup>]  
 $a_D$  – kifejtett felület viszonyszáma,  $A_D/A_0$  [-]  
 $a_E$  – nyújtott felület viszonyszáma,  $A_E/A_0$  [-]  
 $a_P$  – vetített felület viszonyszáma,  $A_P/A_0$  [-]  
 $c$  – szelvényhossz [m]  
 $c_m$  – közepes szelvényhossz (egy hajócsavarszárny nyújtott vagy kifejtett felülete elosztva a szárnycsúcs és az agy közötti sugárirányú távolsággal) [m]  
 $c_s$  – szárny íveltségének mértéke adott szárnyszelvénynél (a szelvény közepének távolsága a szárnyalkotótól), pozitív, ha a szelvényközép a kilépőél felé esik [m]  
 $d_h$  – hajócsavar agy átmérője [m]  
 $D$  – hajócsavar átmérője [m]  
 $f$  – szárnyszelvény középvonal íveltsége [m]  
 $G_z$  – szomszédos hajócsavar-szárnyak azonos pontjai közötti távolság,  $2r\pi\sin(\varphi)/z$  [m]  
 $h_0$  – bemerülés, hajócsavar középpontjának távolsága a szabad vízfelszíntől [m]  
 $H_{TC}$  – hajócsavarszárny csúcsa és a hajótest közötti távolság [m]  
 $i_G$  – hajócsavarszárny hátrahajlása adott szelvénynél, szárnyalkotó tengelyirányú távolsága a hajócsavar síkjától, pozitív, ha az alkotó a csavar síkja mögött van [m]

---

## 3. kiadás 2014. 0.1 TARTALOMJEGYZÉK 02.TÁRGYMUTATÓ 1.BEVEZETÉS 2.HAJÓELMÉLET

- 
- $i_S$  – hajócsavarszárny íveltsége miatt mérhető hátrahajlás adott szelvényénél, pozitív, ha hátrafelé mérhető [m]  
 $i_T$  – hajócsavarszárny teljes hátrahajlása adott szelvényénél,  $i_T = i_G + i_S$  [m]  
 $N_{PR}$  – hajócsavarok száma [-]  
 $P$  – hajócsavar emelkedése [m]  
 $p$  – hajócsavar emelkedési viszonya,  $P/D$  [-]  
 $r$  – adott szárnyszelvény sugara [m]  
 $r_h$  – hajócsavaragy sugara [m]  
 $R$  – hajócsavar sugara [m]  
 $t$  – adott hajócsavar szelvény vastagsága [m]  
 $t_0$  – hajócsavarszárny vastagsága a csavar tengelyén a hátoldali és tolóoldali sugárirányú érintő meghosszabbításával [m]  
 $x_B$  – agyátmérő viszonzyszám,  $d_h/D$  [-]  
 $x_p$  – hajócsavar hosszirányú helyzete, a hajócsavar középpontjának távolsága a hátsó függélytől előre [m]  
 $y_p$  – hajócsavar keresztirányú helyzete, az oldalsó hajócsavar középpontjának távolsága a hajó középső szimmetriasíkjától arra merőlegesen [m]  
 $z_p$  – hajócsavar magassága, a hajócsavar középpontjának függőleges távolsága az alapvonal felett [m]  
 $Z, z$  – hajócsavar szárnyszáma [-]  
 $\varepsilon, \psi^{bp}$  – hajócsavar tengely szöge a hajó alapvonalához és középső szimmetriasíkjához képest [szög, rad]  
 $\theta_S$  – íveltségi szög, a hajócsavar tengely körül mérhető szögeltérés az adott szárnyszelvény referenciapontja és a szárnyalkotónak a forgás síkjában levő vetülete között; pozitív, ha a forgásiránnyal ellenkező értelmű [szög, rad]  
 $\theta$  – hajócsavarszárny hátrahajlási szöge [szög, rad]  
 $\theta_{EXT}$  – hátrahajlási szög intervalluma, a maximális és minimális hátrahajlási szög különbsége [szög, rad]  
 $\varphi$  – hajócsavar emelkedési szöge,  $\arctg(P/(2R\pi))$  [szög, rad]  
 $\varphi_F$  – hajócsavar adott szelvényén mért emelkedési szög a tolóoldalon mérve [szög, rad]  
 $\psi^{ap}$  – hajócsavar tengely szögeltérése a vízszintes síkhoz képest [szög, rad]  
 $\tau_b$  – hajócsavarszárny vastagsági viszony,  $t_0/D$  [-]

## 2.1.2.2.2 Gyűrű

- $A_{DEN}$  – gyűrű belépőnyílás felülete [m<sup>2</sup>]  
 $A_{DEX}$  – gyűrű kilépőnyílás felülete [m<sup>2</sup>]  
 $d_D$  – hajócsavarszárny-vég rész, sugárirányú távolság a csavarszárny vége és a gyűrű belső felülete között [m]  
 $f_D$  – gyűrűprofil középvonalának íveltsége [m]  
 $L_D$  – gyűrű hossza [m]  
 $L_{DEN}$  – gyűrű belépőhossz, axiális távolság a gyűrű belépőéle és a hajócsavar síkja között [m]

## BBBZ-kódex

---

$L_{DEX}$  – gyűrű kilépőhossz, axiális távolság a gyűrű kilépőéle és a hajócsavar síkja között [m]

$t_D$  – gyűrűprofil vastagsága [m]

$\alpha_D$  – gyűrűprofil szöge, a gyűrűprofil belépő- és kilépőélét összekötő egyenes és a hajócsavar tengely által bezárt szög [szög, rad]

$\beta_D$  – gyűrű diffúziós szöge, a gyűrűprofil kilépőélénél a hátoldal érintője és a hajócsavar tengely által bezárt szög [szög, rad]

### 2.1.2.2.2.3 Vízszághajtás

$A_j$  – j metszetenél mérhető keresztmetszet felülete [m<sup>2</sup>]

$b_1$  – a keresztmetszet maximális szélessége az 1-es elméleti bordán [m]

$h_1$  – a keresztmetszet maximális magassága az 1-es elméleti bordán [m]

$h_j$  – vízszághajtás középvonala az érintetlen vízfelület felett [m]

$\alpha$  – vízszághajtás középvonala és vízszintes sík által bezárt szög [szög, rad]

### 2.1.2.2.2.4 Indexjelek magyarázata

a (absolute)	fix térbeli alaphoz viszonyított érték
b (body)	hajótest referenciavonalhoz vagy síkhoz viszonyított érték
P (propeller)	hajócsavar
D (duct)	gyűrű

### 2.1.2.2.3 Függelékek geometriája

#### 2.1.2.2.3.1 Alapmennyiségek

$A_C$  – sikló- vagy hordszárny alatti felület [m<sup>2</sup>]

$A_{FB}$  – mellső magassági kormány felülete [m<sup>2</sup>]

$A_{FR}$  – függelék vetített felülete előlnézetben [m<sup>2</sup>]

$A_{RF}$  – mozgatható áramvonalas szelvényű lapát felülete [m<sup>2</sup>]

$A_R$  – kormányfelület [m<sup>2</sup>]

$A_{RX}$  – kormány fix részének felülete [m<sup>2</sup>]

$A_{RP}$  – kormány felülete a hajócsavar sodrában [m<sup>2</sup>]

$A_{RT}$  – kormány teljes felülete,  $A_{RX} + A_{RP}$  [m<sup>2</sup>]

$A_{FS}$  – hátsó magassági kormány felülete [m<sup>2</sup>]

$A_{SK}$  – uszony felülete [m<sup>2</sup>]

$A_{WBK}$  – medersori lengéscsillapító gerinc nedvesített felülete [m<sup>2</sup>]

$c$  – áramvonalas szelvény hossza [m]

$c_m$  – közepes szelvényhossz,  $A_{RT}/S$  [m]

$c_r$  – szelvényhossz a lapáttőnél [m]

$c_t$  – szelvényhossz a lapátvégnél [m]

$f$  – áramvonalas szelvény középvonal íveltsége [m]

$L_F$  – kormánylapát hajógerinccel párhuzamos hosszmérete [m]

---

## 3. kiadás 2014. 0.1 TARTALOMJEGYZÉK 02.TÁRGYMUTATÓ 1.BEVEZETÉS 2.HAJÓELMÉLET



---

$t$  – áramvonalas szelvény maximális vastagsága a középvonalra merőlegesen mérve [m]  
 $\delta_{FB}$  – mellső magassági kormány szöge [szög, rad]  
 $\delta_{FS}$  – hátsó magassági kormány szöge [szög, rad]  
 $\delta_F$  – mozgatható áramvonalas szelvényű lapát szöge az előtte levő fenékhez képest (általában) [szög, rad]  
 $\delta_W$  – ék szöge az előtte levő fenékhez képest [szög, rad]  
 $\delta_R$  – kormány szöge [szög, rad]  
 $\lambda_R$  – kormánylapát kúposága,  $c_t/c_r$  [-]  
 $A_R$  – kormánylapát magassági viszonya,  $S2/A_{RT}$  [-]

#### 2.1.2.2.4 Hidrosztatika és stabilitás

##### 2.1.2.2.4.1 Súlypontok

$A$  – feltételezett súlypont a gerinc felett a keresztstabilitási görbék adatainak meghatározásánál  
 $b$  – a hajótest vízbemerült részéhez hozzáadódó vagy abból levonandó elemi vízkiszorítás súlypontja  
 $B$  – a hajótest vízkiszorításának súlypontja  
 $F$  – adott vízvonalsúlypontja  
 $g$  – a rendszerhez hozzáadott vagy levont elemi súlyegység súlypontja  
 $G$  – a hajó rendszersúlypontja  
 $K$  – gerincpont (bordametszetben a szimmetriasík és alapvonal metszéspontja)  
 $M$  – metacentrum  
 $x_{cb}$  – hozzáadott vagy levont elemi vízkiszorítás hosszirányú koordinátája, a referenciaponttól (hátsó függély vagy főborda, előre pozitív) mérve [hossz, m]  
 $X_{CB}$  – vízkiszorítás-súlypont hosszirányú koordinátája a referenciaponttól mérve [hossz, m]  
 $X_{CF}$  – vízvonalfelület-súlypont hosszirányú koordinátája a referenciaponttól mérve [hossz, m]  
 $x_{cg}$  – hozzáadott vagy levont elemi  $g$  súly súlypontjának hosszirányú koordinátája a referenciaponttól mérve [hossz, m]  
 $X_{CG}$  – rendszersúlypont hosszirányú koordinátája a referenciaponttól mérve [hossz, m]  
 $y_{CG}$  – rendszersúlypont keresztirányú koordinátája a referenciaponttól (hajóközép, jobbra pozitív) mérve [hossz, m]  
 $Z$  – stabilizáló nyomaték karjának metszéspontja a vízkiszorítás súlypontjából húzott függőleges egyenessel

##### 2.1.2.2.4.2 Sztatikus stabilitás

$\overline{AB}$  – vízkiszorítás-súlypont hosszirányú távolsága a hátsó függélytől [hossz, m]  
 $\overline{AF}$  – vízvonalsúlypont hosszirányú távolsága a hátsó függélytől [hossz, m]  
 $\overline{AG}_L$  – rendszersúlypont hosszirányú távolsága a hátsó függélytől [hossz, m]

## BBBZ-kódex

---

- $\overline{AG}_T$  – valóságos rendszersúlypont (G) keresztirányú távolsága a feltételezett rendszersúlyponttól (A) [hossz, m]
- $\overline{AG}_V$  – valóságos rendszersúlypont (G) függőleges távolsága a feltételezett rendszersúlyponttól (A) [hossz, m]
- $\overline{AZ}$  – keresztstabilitás karja, a feltételezett rendszersúlypont (A) és a Z pont közötti vízszintes távolság (a keresztstabilitási görbék táblázatában) [hossz, m]
- $\overline{BM}$  – kezdeti keresztstabilitás metacentrumának magassága a vízkiszorítás súlypontja felett, metacentrikus sugár:  $I_T/\nabla = \overline{KM} - \overline{KB}$  [hossz, m]
- $\overline{BM}_L$  – kezdeti hosszstabilitás metacentrumának magassága a vízkiszorítás súlypontja felett, hosszirányú metacentrikus sugár:  $I_L/\nabla = \overline{KM}_L - \overline{KB}$  [hossz, m]
- $\overline{GG}_H$  – súlyegység elmozdítása vagy hozzáadása illetve elvétele által okozott keresztstabilitás karja vízszintes vetületben [hossz, m]
- $\overline{GG}_L$  – súlyegység elmozdítása vagy hozzáadása illetve elvétele által okozott hosszstabilitás karja vízszintes vetületben [hossz, m]
- $\overline{GM}$  – keresztstabilitás metacentrikus magassága, rendszersúlypont függőleges távolsága a metacentrumtól:  $\overline{KM} - \overline{KG}$  [hossz, m]
- $\overline{GM}_{Eff}$  – keresztstabilitás effektív metacentrikus magassága,  $\overline{GM}$  korrigálva a szabad felszín, stb. hatásával [hossz, m]
- $\overline{GM}_L$  – hosszstabilitás metacentrikus magassága, rendszersúlypont függőleges távolsága a hosszstabilitás metacentrumától:  $\overline{KM}_L - \overline{KG}$  [hossz, m]
- $\overline{GZ}$  – keresztstabilitás karja:  $\overline{AZ} - \overline{AG}_V \sin\varphi - \overline{AG}_T \cos\varphi$  [hossz, m]
- $\overline{GZ}$  – keresztstabilitás maximális karja [hossz, m]
- $\overline{KA}$  – feltételezett rendszersúlypont magassága az alapvonal (sablon szerinti gerinc) felett [hossz, m]
- $\overline{KB}$  – vízkiszorítás súlypontjának magassága az alapvonal (sablon szerinti gerinc) felett [hossz, m]
- $\overline{KG}$  – rendszersúlypont magassága az alapvonal (sablon szerinti gerinc) felett [hossz, m]
- $\overline{Kg}$  – hozzáadott vagy levont elemi g súly súlypontjának magassága az alapvonal (sablon szerinti gerinc) felett [hossz, m]
- $\overline{KM}$  – keresztstabilitás metacentrumának magassága az alapvonal (sablon szerinti gerinc) felett [hossz, m]
- $\overline{KM}_L$  – hosszstabilitás metacentrumának magassága az alapvonal (sablon szerinti gerinc) felett [hossz, m]
- $l$  – trimet okozó nyomaték karja:  $x_{cb} - x_{CB}$  [hossz, m]
- $t$  – keresztirányú stabilizáló nyomaték egyenértékű karja: stabilizáló nyomaték/ $\Delta$  [hossz, m]

### 2.1.2.2.4.3 Stabilitás dinamikus hatás ellen és lékesedett állapotban

- $C_{MTL}$  – trim viszonyszám, a trimet okozó nyomaték és a trimváltozás hányadosa, ami megközelítőleg:  $\overline{BM}_L/L$  [-]
- $f$  – szabadoldal, a szabadoldal-jeltől a szabadoldal fedélzetig mért függőleges távolság a szabályok szerint [hossz, m]
- $M_S$  – hajó stabilizáló nyomatéka általában [tömeg hossz<sup>2</sup> / idő<sup>2</sup>, kgm<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>, Nm]

---

## 3. kiadás 2014. 0.1 TARTALOMJEGYZÉK 02.TÁRGYMUTATÓ 1.BEVEZETÉS 2.HAJÓELMÉLET

---

$m$  – hajó tömege, W/g [tömeg, kg]  
 $M_{TC}$  – 1 cm trimet okozó nyomaték [tömeg hossz / idő<sup>2</sup>, 100kgm/s<sup>2</sup>, Nm/cm]  
 $M_{TM}$  – 1 m trimet okozó nyomaték [tömeg hossz / idő<sup>2</sup>, kgm/s<sup>2</sup>, Nm/m]  
 $R_{si}$  – előírt térbeosztási index [-]  
 $t_s$  – sztatikus trim,  $T_A - T_F - d_{KL}$  [hossz, m]  
 $W$  – hajó súlya, mg [tömeg hossz / idő<sup>2</sup>, kgm/s<sup>2</sup>, N]  
 $\Delta$  – vízkiszorítás súlya,  $g \rho \nabla$  [tömeg hossz / idő<sup>2</sup>, kgm/s<sup>2</sup>, N]  
 $\nabla$  – vízkiszorítás térfogata,  $\Delta / (g \rho)$  [hossz<sup>3</sup>, m<sup>3</sup>]  
 $\theta_s$  – sztatikus trimszög,  $\arctg(t_s/L)$  [szög, rad]  
 $\mu$  – térkitöltési tényező, a térbe lékesedés miatt beáramló víz térfogata osztva a tér térfogatával [-]  
 $\varphi$  – hajó dőlési szöge [szög, rad]  
 $\varphi_F$  – hajó dőlési szöge lékesedés esetén [szög, rad]  
 $\varphi_{VS}$  – hajó dőlési szöge zéró stabilitásnál [szög, rad]

#### 2.1.2.2.4.4 Indexek jelentése

a (apparent)	látszólagos, alap
A, att (attained)	származtatott
d, dyn (dynamic)	dinamikus
e, eff (effective)	hatékony, érvényes
f (false)	hamis
KL (keel line)	gerincvonal
L (longitudinal)	hosszirányú
MAX (maximum)	maximális
MTL (longitudinal trimming moment)	trimet okozó hosszirányú nyomaték
R, req (required)	előírt
s (static)	sztatikus
S, sqt (sinkage, squat)	beljebb merülés
TC (trim in cm)	trim cm-ben
TM (trim in m)	trim m-ben
T (transverse)	keresztirányú
V (vertical)	függőleges
0 (initial)	kezdeti
$\varphi$ (at heel angle $\varphi$ )	$\varphi$ dőlésszögnél
$\theta$ (at trim angle $\theta$ )	$\theta$ trimszögnél

#### 2.1.2.3 Ellenállás és propulzió

##### 2.1.2.3.1 Hajótest ellenállása

##### 2.1.2.3.1.1 Alapvető mennyiségek

## BBBZ-kódex

---

- $m$  – blokkolási paraméter, hajómodell maximális bordametszete osztva a tank keresztmetszetével [-]
- $R_A$  – modell ellenállás-korrekció, elemi ellenállásérték, amelyet hozzá kell adni a sima hajó ellenállásához a modell/hajó átszámítás pontosságának javítása érdekében [tömeg hossz / idő<sup>2</sup>, kgm/s<sup>2</sup>, N]
- $R_{AA}$  – lég- vagy szélellenállás [tömeg hossz / idő<sup>2</sup>, kgm/s<sup>2</sup>, N]
- $R_{AP}$  – függelékek ellenállása [tömeg hossz / idő<sup>2</sup>, kgm/s<sup>2</sup>, N]
- $R_{AR}$  – érdességi ellenállás [tömeg hossz / idő<sup>2</sup>, kgm/s<sup>2</sup>, N]
- $R_C$  – ellenállás-korrekció a propulzió nélkül és propulzióval végzett modellkísérlet hőmérséklet-eltérése miatt,  $R_{TM} ((1 + k) C_{FMC} + C_R) / ((1 + k) C_{FM} + C_R)$ , ahol  $C_{FMC}$  a súrlódási tényező a propulziós teszt hőmérsékletén [tömeg hossz / idő<sup>2</sup>, kgm/s<sup>2</sup>, N]
- $R_F$  – test súrlódási ellenállása folyadékban [tömeg hossz / idő<sup>2</sup>, kgm/s<sup>2</sup>, N]
- $R_{F0}$  – sík lemez súrlódási ellenállása folyadékban [tömeg hossz / idő<sup>2</sup>, kgm/s<sup>2</sup>, N]
- $R_P$  – test torló-ellenállása folyadékban [tömeg hossz / idő<sup>2</sup>, kgm/s<sup>2</sup>, N]
- $R_{VP}$  – test torló-ellenállása viszkózus folyadékban [tömeg hossz / idő<sup>2</sup>, kgm/s<sup>2</sup>, N]
- $R_R$  – maradék ellenállás,  $R_T - R_F$  vagy  $R_T - R_{F0}$  [tömeg hossz / idő<sup>2</sup>, kgm/s<sup>2</sup>, N]
- $R_{RH}$  – csupasz hajótest maradék ellenállása [tömeg hossz / idő<sup>2</sup>, kgm/s<sup>2</sup>, N]
- $R_S$  – permetképző ellenállás [tömeg hossz / idő<sup>2</sup>, kgm/s<sup>2</sup>, N]
- $R_T$  – teljes ellenállás vontatásnál [tömeg hossz / idő<sup>2</sup>, kgm/s<sup>2</sup>, N]
- $R_{TBH}$  – csupasz hajótest teljes ellenállása vontatásnál [tömeg hossz / idő<sup>2</sup>, kgm/s<sup>2</sup>, N]
- $R_V$  – teljes viszkózus ellenállás,  $R_F + R_{VP}$  [tömeg hossz / idő<sup>2</sup>, kgm/s<sup>2</sup>, N]
- $R_W$  – hullámképző ellenállás [tömeg hossz / idő<sup>2</sup>, kgm/s<sup>2</sup>, N]
- $R_{WB}$  – hullámtörő ellenállás [tömeg hossz / idő<sup>2</sup>, kgm/s<sup>2</sup>, N]
- $R_{WP}$  – hullámforma ellenállás [tömeg hossz / idő<sup>2</sup>, kgm/s<sup>2</sup>, N]
- $S$  – nedvesített felület menet közben,  $S_{BH} + S_{AP}$  [hossz<sup>2</sup>, m<sup>2</sup>]
- $S_0$  – álló hajó nedvesített felülete,  $S_{BH0} + S_{AP0}$  [hossz<sup>2</sup>, m<sup>2</sup>]
- $S_{AP}$  – függelékek nedvesített felülete menet közben [hossz<sup>2</sup>, m<sup>2</sup>]
- $S_{AP0}$  – függelékek nedvesített felülete álló hajónál [hossz<sup>2</sup>, m<sup>2</sup>]
- $S_{BH}$  – csupasz hajótest nedvesített felülete menet közben [hossz<sup>2</sup>, m<sup>2</sup>]
- $S_{BH0}$  – csupasz álló hajótest nedvesített felülete [hossz<sup>2</sup>, m<sup>2</sup>]
- $V$  – modell vagy hajó haladási sebessége [hossz / idő, m/s]
- $V_{KN}$  – sebesség csomóban [kn]
- $V_R$  – relatív szélsebesség [hossz / idő, m/s]
- $z_{VF}$  – menet közben mérhető süllyedés a mellső függélynél [hossz, m]
- $z_{VA}$  – menet közben mérhető süllyedés a hátsó függélynél [hossz, m]
- $z_{VM}$  – közepes süllyedés menet közben,  $(z_{VF} + z_{VA}) / 2$  [hossz, m]
- $\eta$  – pillanatnyi hullámmagasság adott helyen [hossz, m]
- $\theta_V, \theta_D$  – menet közbeni (dinamikus) trimszög,  $\arctg((z_{VF} - z_{VA}) / L)$  [szög, rad]
- $\tau_W$  – helyi határréteg-súrlódás [tömeg / hossz idő<sup>2</sup>, kg/ms<sup>2</sup>, N/m<sup>2</sup>]

### 2.1.2.3.1.2 Származtatott mennyiségek

$C_A$  – elemi ellenállás-tényező modell/hajó viszonyhoz,  $R_A/(Sq)$  [-]

---

## 3. kiadás 2014. 0.1 TARTALOMJEGYZÉK 02.TÁRGYMUTATÓ 1.BEVEZETÉS 2.HAJÓELMÉLET

- 
- $C_{AA}$  – lég- vagy szélellenállás tényező,  $R_{AA} / (A_V q_R)$  [-]  
 $C_D$  – vontatási ellenállás tényezője,  $D/Sq$  [-]  
 $C_F$  – test sűrűdési ellenállása folyadékban,  $R_F/Sq$  [-]  
 $C_{F0}$  – megfelelő sík lemez sűrűdési ellenállása folyadékban,  $R_{F0}/Sq$  [-]  
 $C_p$  – helyi torló-nyomás tényező [-]  
 $C_{PR}$  – torló-ellenállás tényező, beleértve a hullámhatást is,  $R_P/Sq$  [-]  
 $C_{VP}$  – viszkózus torló-ellenállás tényező,  $R_{VP}/Sq$  [-]  
 $C_R$  – maradék-ellenállás tényező,  $R_R/Sq$  [-]  
 $C_S$  – permetképző ellenállás tényező,  $R_S/Sq$  [-]  
 $C_T$  – teljes-ellenállás tényező,  $R_T/Sq$  [-]  
 $C_{TL}$  – Telfer ellenállás-tényező,  $g R L / (\Delta V^2)$  [-]  
 $C_{TQ}$  – minősített ellenállás tényezője,  $C_{T\bar{V}} / (\eta_H \eta_R)$  [-]  
 $C_{T\bar{V}}$  – ellenállás/víz kiszorítás tényező,  $R_T / (\bar{V}^{2/3} q)$  [-]  
 $C_V$  – teljes viszkózus-ellenállás tényező,  $R_V/Sq$  [-]  
 $C_W$  – hullámképző-ellenállás tényező,  $R_W/Sq$  [-]  
 $C_{WP}$  – hullámforma ellenállás tényező hullámelemzésnél [-]  
 $C^C$  – R.E.Froude ellenállás-tényező,  $1000 R / (\Delta(K^C)^2)$  [-]  
 $F^C$  – R.E.Froude sűrűdési-ellenállás tényező,  $1000 R_F / (\Delta(K^C)^2)$  [-]  
 $f$  – sűrűdési tényező, két elcsúszó test között ébredő érintőirányú erő viszonya a felületre merőleges erőhöz [-]  
 $k$  – háromdimenziós alakfaktor sík lemez sűrűdésánál,  $(C_V - C_{FO}) / C_{FO}$  [-]  
 $k(\theta)$  – szélirány tényező,  $C_{AA} / C_{AA0}$  [-]  
 $K^C$  – R.E.Froude sebesség/víz kiszorítás tényező,  $(4\pi)^{1/2} F_{n\bar{V}}$  vagy  $(4\pi / g)^{1/2} V_K / \bar{V}^{1/6}$  [-]  
 $K_R$  – ellenállás-tényező  $K_Q$  ill.  $K_T$  szerint,  $R / (\rho D^4 n^2)$  [-]  
 $q$  – dinamikus nyomás, áramlás kinetikai energiájának sűrűsége,  $\rho V^2/2$  [tömeg / (hossz idő<sup>2</sup>), kg/(ms<sup>2</sup>), N/m<sup>2</sup>, Pa]  
 $q_R$  – dinamikus nyomás a látszólagos szélesebbség alapján,  $\rho V_{WR}^2/2$  [tömeg / (hossz idő<sup>2</sup>), kg/(ms<sup>2</sup>), N/m<sup>2</sup>, Pa]  
 $S^C$  – R.E.Froude nedvesített felület tényező,  $S/\bar{V}^{2/3}$  [-]  
 $\varepsilon$  – ellenállás/víz kiszorítás viszony általában,  $R/\Delta$  [-]  
 $\varepsilon_R$  – maradék ellenállás/víz kiszorítás viszony,  $R_R/\Delta$  [-]

### 2.1.2.3.1.3 Indexek jelentése

FW (fresh water)	édesvíz
MF (faired model data)	kiegyenlített modell-adatok
MR (raw model data)	nyers modell-adatok
OW (open water)	nyíltvíz
SF (faired full scale data)	kiegyenlített teljes léptékű adatok
SR (raw full scale data)	nyers teljes léptékű adatok
SW (salt water)	sós víz

### 2.1.2.3.2 Hajó teljesítménye

**2.1.2.3.2.1 Alapvető mennyiségek**

$F_D$  – határréteg súrlódási korrekció a propulziós teszténél [tömeg hossz / idő<sup>2</sup>, kgm/s<sup>2</sup>, N]  
 $F_P$  – hajó vontatásához vagy tolásához szükséges erő [tömeg hossz / idő<sup>2</sup>, kgm/s<sup>2</sup>, N]  
 $F_{P0}$  – állópróbai tolóerő [tömeg hossz / idő<sup>2</sup>, kgm/s<sup>2</sup>, N]  
 $n$  – frekvencia, fordulatszám [1/idő, 1/s, 1/min, Hz]  
 $P_B$  – fékpadi teljesítmény, főgép tengelyén leadott teljesítmény [tömeg\*hossz<sup>2</sup>/idő<sup>3</sup>, kgm<sup>2</sup>/s<sup>3</sup>, Nm/s, J/s, W]  
 $P_D, P_P$  – hajócsavarra leadott teljesítmény,  $Q\omega$  [tömeg\*hossz<sup>2</sup>/idő<sup>3</sup>, kgm<sup>2</sup>/s<sup>3</sup>, Nm/s, J/s, W]  
 $P_E, P_R$  – effektív teljesítmény, az ellenállás legyőzésére fordított teljesítmény,  $RV$  [tömeg\*hossz<sup>2</sup>/idő<sup>3</sup>, kgm<sup>2</sup>/s<sup>3</sup>, Nm/s, J/s, W]  
 $P_I$  – indikált teljesítmény [tömeg\*hossz<sup>2</sup>/idő<sup>3</sup>, kgm<sup>2</sup>/s<sup>3</sup>, Nm/s, J/s, W]  
 $P_S$  – hajócsavar-tengelyen mért teljesítmény [tömeg\*hossz<sup>2</sup>/idő<sup>3</sup>, kgm<sup>2</sup>/s<sup>3</sup>, Nm/s, J/s, W]  
 $P_T$  – tolóerő teljesítménye,  $TV_A$  [tömeg\*hossz<sup>2</sup>/idő<sup>3</sup>, kgm<sup>2</sup>/s<sup>3</sup>, Nm/s, J/s, W]  
 $Q$  – nyomaték a hajócsavaron,  $P_D/\omega$  [tömeg\*hossz<sup>2</sup>/idő<sup>2</sup>, kgm<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>, Nm]  
 $t_V$  – menet közben kialakuló trim [hossz, m]  
 $V$  – hajósebesség [hossz/idő, m/s]  
 $V_A$  – hajó haladása miatt a hajócsavar helyén kialakuló sebesség [hossz/idő, m/s]  
 $z_V$  – modell vagy hajó haladása közben kialakuló lesüllyedés [hossz, m]  
 $\omega$  – hajócsavar tengely szögsebessége,  $2\pi n$  [szög/idő, rad/s]

**2.1.2.3.2.2 Származtatott mennyiségek**

$a$  – ellenállás-növelő korrekció,  $(T+F_P)/R_T-1$  [-]  
 $C_{ADM}$  – admirális tényező,  $\Delta^{2/3}V^3/P_S$  [-]  
 $C_{D\nabla}$  – teljesítmény/víz kiszorítás viszony,  $P_D/(\rho V^3 \nabla^{2/3}/2)$  [-]  
 $C_N$  – hajócsavar fordulatszám próbakorrekció megfelelő sebességnél,  $n_T/n_S$  [-]  
 $C_{NP}$  – hajócsavar fordulatszám próbakorrekció megfelelő teljesítménynél,  $P_{DT}/P_{DS}$  [-]  
 $C_P$  – hajócsavarra leadott teljesítmény alapján végzett próbakorrekció [-]  
 $K_1$  – hajó/modell korrelációs tényező a propulziós hatásfok alapján,  $\eta_{DS}/\eta_{DM}$  [-]  
 $K_2$  – hajó/modell korrelációs tényező a hajócsavar fordulatszám alapján,  $n_S/n_M$  [-]  
 $K_{AP}$  – függelék korrelációs tényező, léptékhatás korrekciós tényező a modell propulziós próbájánál alkalmazott függelékek ellenállásához [-]  
 $s_V$  – dinamikus lesüllyedési tényező, merülés-változás hátul és elől osztva a hosszal [-]  
 $t_V$  – dinamikus trimtényező, a dinamikus hatás miatt bekövetkező trimváltozás osztva a hosszal [-]  
 $t$  – tolóerő-csökkentési tényező,  $1-(R_T-F_P)/T$  [-]  
 $w$  – Taylor sodortényező általában,  $(V-V_A)/V$  [-]  
 $w_F$  – Froude sodortényező,  $(V-V_A)/V_A$  [-]  
 $w_Q$  – Taylor nyomatéki sodortényező,  $V_A$  hajócsavar helyén mérhető sebesség meghatározása a nyomatékazonosság alapján történik [-]

- 
- $w_T$  – Taylor tolóerő sodortényező,  $V_A$  hajócsavar helyén mérhető sebesség meghatározása a tolóerő-azonosság alapján történik [-]
- $\Delta w$  – hajó/modell korrelációs tényező sodortényezőhöz,  $w_{T,M}-w_{T,S}$  [-]
- $\Delta w_C$  – hajó/modell korrelációs tényező az ITTC 1978-as  $w_{T,S}$  képletének módszere alapján [-]
- $x$  – terhelési tényező a teljesítmény becslésénél,  $\eta_D P_D / P_E - 1$  [-]
- $\beta$  – függelék léptékhatás tényező, hajó függelék-ellenállása osztva a modell függelék-ellenállásával [-]

### 2.1.2.3.2.3 Hatásfokok

- $\eta_{AP}$  – függelékhatásfok,  $P_{Ew0AP} / P_{EwAP}$ ,  $R_{TBH} / R_T$  [-]
- $\eta_B$  – hajócsavar hatásfoka a hajótest mögött,  $P_T / P_D = TV_A / (Q\omega)$  [-]
- $\eta_D$  – propulziós hatásfok vagy kvázipropulziós tényező,  $P_E / P_D = P_R / P_P$  [-]
- $\eta_G$  – hajtómű hatásfoka [-]
- $\eta_H$  – hajótest hatásfoka,  $P_E / P_T = P_R / P_T = (1-t) / (1-w)$  [-]
- $\eta_M$  – mechanikai hatásfok,  $P_S / P_1$  vagy  $P_B / P_1$  [-]
- $\eta_0$  – hajócsavar nyíltvízi hatásfoka [-]
- $\eta_R$  – relatív forgási hatásfok,  $\eta_B / \eta_0$  [-]
- $\eta_S$  – tengelyrendszer hatásfoka,  $P_D / P_S = P_P / P_S$  [-]

### 2.1.2.3.3 Propulziós eszköz teljesítménye

#### 2.1.2.3.3.1 Alapvető mennyiségek

- $A_0$  – hajócsavarkör felülete,  $D^2 \pi / 4$  [hossz<sup>2</sup>, m<sup>2</sup>]
- $D$  – hajócsavar átmérője [hossz, m]
- $n$  – hajócsavar fordulatszáma [1/idő, 1/s, Hz]
- $K_S$  – hajócsavar felületi minősége, felületi érdesség magassága [hossz, m]
- $q_A$  – hajócsavar haladási sebességéből származó dinamikus nyomás,  $\rho V_A^2 / 2$  [tömeg/(hossz\*idő<sup>2</sup>), kg/(ms<sup>2</sup>), N/m<sup>2</sup>, Pa]
- $q_S$  – hajócsavar szelvény eredő sebességéből származó dinamikus nyomás,  $\rho V_S^2 / 2$  [tömeg/(hossz\*idő<sup>2</sup>), kg/(ms<sup>2</sup>), N/m<sup>2</sup>, Pa]
- $Q_S$  – csavarszárny csapot terhelő nyomaték állítható szárnyú hajócsavarnál,  $Q_{SC} + Q_{SH}$  pozitív értelemnél növeli az emelkedést [tömeg\*hossz<sup>2</sup>/idő<sup>2</sup>, kgm<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>, Nm]
- $Q_{SC}$  – csavarszárny csapot terhelő nyomaték állítható szárnyú hajócsavarnál a centrifugális erőből [tömeg\*hossz<sup>2</sup>/idő<sup>2</sup>, kgm<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>, Nm]
- $Q_{SH}$  – csavarszárny csapot terhelő nyomaték állítható szárnyú hajócsavarnál a hidrodinamikus erőből [tömeg\*hossz<sup>2</sup>/idő<sup>2</sup>, kgm<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>, Nm]
- $T$  – hajócsavar tolóereje [tömeg\*hossz/idő<sup>2</sup>, kgm/s<sup>2</sup>, N]
- $T_D$  – gyűrű tolóereje [tömeg\*hossz/idő<sup>2</sup>, kgm/s<sup>2</sup>, N]
- $T_{DP}$  – hajócsavar tolóereje gyűrűs csavarnál [tömeg\*hossz/idő<sup>2</sup>, kgm/s<sup>2</sup>, N]

- $T_{DT}$  – hajócsavar és gyűrű együttes tolóereje gyűrűs csavarnál [tömeg\*hossz/idő<sup>2</sup>, km/s<sup>2</sup>, N]  
 $T_{XP}$  – hajócsavar tolóerejének a hajócsavar tengely vonalába eső összetevője [tömeg\*hossz/idő<sup>2</sup>, km/s<sup>2</sup>, N]  
 $T_{YP}$  – hajócsavar tolóerejének a hajó szimmetriasíkjára merőlegesen oldalirányba eső összetevője [tömeg\*hossz/idő<sup>2</sup>, km/s<sup>2</sup>, N]  
 $T_{ZP}$  – hajócsavar tolóerejének a hajó alapvonalára merőleges összetevője [tömeg\*hossz/idő<sup>2</sup>, km/s<sup>2</sup>, N]  
 $V_A$  – hajó haladásából eredően a hajócsavar helyén mérhető haladási sebesség [hossz/idő, m/s]  
 $V_P$  – közepes axiális haladási sebesség a hajócsavarkör felületén gyűrűs csavarnál [hossz/idő, m/s]  
 $V_S$  – hajócsavar szelvény eredő sebessége 0,7R-nél,  $(V_A^2 + (0,7R\omega)^2)^{1/2}$  [hossz/idő, m/s]  
 $\rho_P$  – hajócsavar anyagának sűrűsége [tömeg/hossz<sup>3</sup>, kg/m<sup>3</sup>]  
 $\omega$  – hajócsavar forgásának szögsebessége [szög/idő, rad/s]

### 2.1.2.3.3.2 Származtatott mennyiségek

- $B_P$  – Taylor hajócsavar tényező a hajócsavarra átadott teljesítmény alapján,  $nP_D^{1/2}/V_A^{2,5}$  ahol  $n$  1/min,  $P_D$  lóerő,  $V_A$  csomó mértékegységben helyettesítendő be [-]  
 $B_U$  – Taylor hajócsavar tényező a tolóerőből számított teljesítmény alapján,  $nP_T^{1/2}/V_A^{2,5}$  ahol  $n$  1/min,  $P_T$  lóerő,  $V_A$  csomó mértékegységben helyettesítendő be [-]  
 $C_P$  – teljesítmény-terhelési tényező,  $P_D/(A_P q_A V_A)$  [-]  
 $C_Q$  – nyomaték-index,  $Q/(A_P q_S)$  [-]  
 $C_{Th}$  – tolóerő-terhelési tényező,  $T/(A_P q_A) = (T_P/A_P)/q_A$  [-]  
 $C_T$  – tolóerő tényező,  $T/(A_P q_S)$  [-]  
 $J$  – hajócsavar sebességtényező,  $V_A/(Dn)$  [-]  
 $J_A, J_H$  – látszólagos vagy hajótest sebességtényező,  $V/(Dn) = V_H(Dn)$  [-]  
 $J_P$  – hajócsavar sebességtényező gyűrűs csavarnál,  $V_P/(Dn)$  [-]  
 $J_T, J_{PT}$  – hajócsavar sebességtényező tolóerő azonosság alapján [-]  
 $J_Q, J_{PQ}$  – hajócsavar sebességtényező nyomaték azonosság alapján [-]  
 $K_P$  – hajócsavarra leadott teljesítmény tényezője,  $P_D/(\rho n^3 D^5) = 2\pi K_L$  [-]  
 $K_L$  – nyomatéktényező,  $Q/(\rho n^2 D^5)$  [-]  
 $K_{SC}$  – centrifugális nyomatéktényező hajócsavarszárny csapnál,  $Q_{SC}/(\rho_P n^2 D^5)$  [-]  
 $K_{SH}$  – hidrodinamikus nyomatéktényező hajócsavarszárny csapnál,  $Q_{SH}/(\rho n^2 D^5)$  [-]  
 $K_T$  – tolóerő-tényező,  $T/(\rho n^2 D^4)$  [-]  
 $K_{TD}$  – gyűrű tolóerő-tényező,  $T_D/(\rho n^2 D^4)$  [-]  
 $K_{TP}$  – hajócsavar tolóerő-tényező gyűrűs csavarnál,  $T_P/(\rho n^2 D^4)$  [-]  
 $K_{TT}$  – teljes tolóerő-tényező gyűrűs csavarnál,  $K_{TP} + K_{TD}$  [-]  
 $K_{Q0}$  – hajócsavar hajótest mögötti próbáról nyíltvízire konvertált nyomatéktényezője,  $K_0 \eta_R$  [-]  
 $K_{QT}$  – hajócsavar nyomatéktényező tolóerő-tényező azonosság alapján [-]



- 
- $P_J$  – hajócsavar vízszögár teljesítménye,  $\eta_{TJ}TV_A$  [tömeg\*hossz<sup>2</sup>/idő<sup>3</sup>, kgm<sup>2</sup>/s<sup>3</sup>, Nm/s, J/s, W]
- $S_A$  – látszólagos szlip,  $1-V/(nP)$  [-]
- $S_R$  – valóságos szlip,  $1-V_A/(nP)$  [-]
- $\delta$  – Taylor sebességtényező,  $nD/V_A$  ahol  $n$  1/min,  $D$  láb,  $V_A$  csomó mértékegységben helyettesítendő be [-]
- $\eta_{JP}$  – hajócsavar szivattyú- vagy hidraulikus hatásfoka,  $P_J/P_D = P_J/P_P$  [-]
- $\eta_{JP0}$  – hajócsavar szivattyúhatásfoka álló helyzetben, más néven állópróbai tolóerő-tényező,  $T/(\rho\pi/2)^{1/3}/(P_D D)^{2/3}$  [-]
- $\eta_I$  – ideális hajócsavar hatásfoka, hatásfok nem-viszkózus folyadékban [-]
- $\eta_{TJ}$  – hajócsavar vízszögárhatalásfoka,  $2/(1+(1+C_{Th})^{1/2})$  [-]
- $\eta_O, \eta_{TPO}$  – hajócsavar nyíltvízi hatásfoka,  $P_T/P_D = TV_A/(Q\omega)$  nyíltvízi adatok alapján [-]
- $\lambda$  – hajócsavar elméleti haladási sebességtényezője,  $V_A/(nD)/\pi = J/\pi$  [-]
- $\tau$  – hajócsavar tolóerő viszonya a teljes tolóerőhöz gyűrűs csavarnál,  $T_P/T_T$  [-]

### 2.1.2.3.3 Indukált sebességek

- $U_A$  – hajócsavar által létrehozott axiális sebesség [hossz/idő, m/s]
- $U_{AD}$  – gyűrű által létrehozott axiális sebesség gyűrűs hajócsavarnál [hossz/idő, m/s]
- $U_{AP}$  – hajócsavar által létrehozott axiális sebesség gyűrűs hajócsavarnál [hossz/idő, m/s]
- $U_{RP}$  – hajócsavar által létrehozott radiális sebesség gyűrűs hajócsavarnál [hossz/idő, m/s]
- $U_{RD}$  – gyűrű által létrehozott radiális sebesség gyűrűs hajócsavarnál [hossz/idő, m/s]
- $U_R$  – hajócsavar által létrehozott radiális sebesség [hossz/idő, m/s]
- $U_{TD}$  – gyűrű által létrehozott tangenciális sebesség gyűrűs hajócsavarnál [hossz/idő, m/s]
- $U_{TP}$  – hajócsavar által létrehozott tangenciális sebesség gyűrűs hajócsavarnál [hossz/idő, m/s]
- $U_T$  – hajócsavar által létrehozott tangenciális sebesség [hossz/idő, m/s]
- $\beta$  – emelkedési szög hajócsavar szárnyszelvényénél,  $\arctg(V_A/(r\omega))$  [szög, rad]
- $\beta_1$  – hidrodinamikai emelkedési szög hajócsavar szárnyszelvényénél, amely számításba veszi az indukált sebességet is [szög, rad]
- $\beta_E$  – effektív emelkedési szög,  $\arctg(V_A/(0,7R\omega))$  [szög, rad]

### 2.1.2.3.4 Változó erők hajócsavarnál

Ld. ITTC 1999 1.3.4 fejezet

### 2.1.2.3.4 Vízszögárhajtás

Ld. ITTC 1999 1.3.5 fejezet

### 2.1.2.4 Kormányzás és tengerállóság

**2.1.2.4.1 Kormányzás****2.1.2.4.1.1 Geometriai mennyiségek**

$A_{FB}$  – mellső magassági kormány felülete [ $m^2$ ]  
 $A_{FS}$  – hátsó magassági kormány felülete [ $m^2$ ]  
 $A_{HL}$  – hajó laterál-felülete, a hajó víz alatti részének a középső szimmetriasíkon levő vetülete [hossz<sup>2</sup>,  $m^2$ ]  
 $A_{LV}$  – hajótest víz feletti részének laterál-felülete [hossz<sup>2</sup>,  $m^2$ ]  
 $A_R$  – kormány teljes laterál-felülete [hossz<sup>2</sup>,  $m^2$ ]  
 $A_{Rmov}$  – kormány mozgatható részének laterál-felülete [hossz<sup>2</sup>,  $m^2$ ]  
 $A_{RN}$  – kormány névleges laterál-felülete,  $(A_R + A_{Rmov})/2$  [hossz<sup>2</sup>,  $m^2$ ]  
 $b_R$  – kormány hossza [hossz, m]  
 $b_{RM}$  – kormány közepes hossza [hossz, m]  
 $C_{AL}$  – hajó laterál-felület tényezője,  $A_{HL}/(L_T)$  [-]  
 $h$  – vízmélység [hossz, m]  
 $h_M$  – közepes vízmélység [hossz, m]  
 $x_R$  – kormánytengely hosszirányú koordinátája [hossz, m]  
 $\lambda_R$  – kormány alaptényezője,  $b_R^2/A_R$  [-]

**2.1.2.4.1.2 Mozgás és viselkedés**

$p$  – hajó x tengelye körüli keresztirányú billegés frekvenciája [1/idő, 1/s]  
 $q$  – hajó y tengelye körüli hosszanti bukdácsolás frekvenciája [1/idő, 1/s]  
 $r$  – hajó z tengelye körüli imbolygó lengőmozgás frekvenciája [1/idő, 1/s]  
 $\dot{p}$  – x tengely körüli billegés gyorsulása,  $dp/dt$  [1/idő<sup>2</sup>, 1/s<sup>2</sup>]  
 $\dot{q}$  – y tengely körüli bukdácsolás gyorsulása,  $dq/dt$  [1/idő<sup>2</sup>, 1/s<sup>2</sup>]  
 $\dot{r}$  – z tengely körüli imbolygó mozgás gyorsulása,  $dr/dt$  [1/idő<sup>2</sup>, 1/s<sup>2</sup>]  
 $u$  – hajó x tengely menti hosszanti lengőmozgásának sebessége [hossz/idő, m/s]  
 $v$  – hajó y tengely menti keresztirányú lengőmozgásának sebessége [hossz/idő, m/s]  
 $w$  – hajó z tengely menti függőleges lengőmozgásának sebessége [hossz/idő, m/s]  
 $\dot{u}$  – x tengely menti hosszanti lengőmozgás gyorsulása,  $du/dt$  [hossz/idő<sup>2</sup>, m/s<sup>2</sup>]  
 $\dot{v}$  – y tengely menti keresztirányú lengőmozgás gyorsulása,  $dv/dt$  [hossz/idő<sup>2</sup>, m/s<sup>2</sup>]  
 $\dot{w}$  – z tengely menti függőleges lengőmozgás gyorsulása,  $dw/dt$  [hossz/idő<sup>2</sup>, m/s<sup>2</sup>]  
 $V$  – egyenes vonalú egyenletes mozgás sebessége a hajó tengelyei mentén [hossz/idő, m/s]  
 $V_A, V_0$  – megközelítés sebessége [hossz/idő, m/s]  
 $V_u$  – általánosított sebesség [hossz/idő, m/s]  
 $\dot{V}_u$  – általánosított gyorsulás [hossz/idő<sup>2</sup>, m/s<sup>2</sup>]  
 $V_F$  – folyadékáramlás sebessége [hossz/idő, m/s]  
 $V_{WR}$  – relatív szélesebbég [hossz/idő, m/s]  
 $V_{WT}$  – tényleges szélesebbég [hossz/idő, m/s]  
 $\psi$  – imbolygási vagy irányszög [szög, rad]

---

$d_t\psi$  – irányváltási sebesség,  $d\psi/dt$  [szög/idő, rad/s]

$\psi_0$  – eredeti irány [szög, rad]

$\theta$  – bukdácsolás (trim) szöge [szög, rad]

$\varphi$  – billenési szög [szög, rad]

### 2.1.2.4.1.3 Áramlási szögek, stb.

$\alpha$  – bukdácsolási szög, megfúvási (támadási) szög a hajótesten bukdácsolásnál [szög, rad]

$\beta$  – sodródási szög, megfúvási (támadási) szög a hajótesten imbolygásnál [szög, rad]

$\beta_{WR}$  – szél relatív támadási szöge [szög, rad]

$\delta_{eff}$  – effektív kormány hozzáfolyási szög [szög, rad]

$\delta_0$  – semleges kormányyszög [szög, rad]

$\delta_B$  – mellső magassági kormány szöge [szög, rad]

$\delta_S$  – hátsó magassági kormány szöge [szög, rad]

$\delta_R$  – kormány szöge [szög, rad]

$\delta_{R0}$  – kormány elrendelt szöge [szög, rad]

$\psi_C$  – pillanatnyi sebesség irányszöge [szög, rad]

$\psi_{WA}$  – abszolút szélirány szöge [szög, rad]

$\psi_{WR}$  – relatív szélirány szöge [szög, rad]

### 2.1.2.4.1.4 Erők és származtatott mennyiségek

(a teljes listát ld. ITTC 1999 1.4.1.4 fejezet)

$K$  – billegési nyomaték a hajótesten, x tengely körüli nyomaték [tömeg\*hossz<sup>2</sup>/idő<sup>2</sup>, kgm<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>, Nm]

$M$  – bukdácsolási nyomaték a hajótesten, y tengely körüli nyomaték [tömeg\*hossz<sup>2</sup>/idő<sup>2</sup>, kgm<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>, Nm]

$N$  – imbolygási nyomaték a hajótesten, z tengely körüli nyomaték [tömeg\*hossz<sup>2</sup>/idő<sup>2</sup>, kgm<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>, Nm]

$N_r$  – imbolygási nyomaték imbolygási sebesség szerinti deriváltja,  $\delta N/\delta r$  [tömeg\*hossz<sup>2</sup>/idő, kgm<sup>2</sup>/s, Nms]

$N_{\dot{r}}$  – imbolygási nyomaték imbolygási gyorsulás szerinti deriváltja,  $\delta N/\delta \dot{r}$  [tömeg\*hossz<sup>2</sup>, kgm<sup>2</sup>, Nms<sup>2</sup>]

$N_v$  – imbolygási nyomaték y tengely menti keresztirányú lengőmozgás sebessége szerinti deriváltja,  $\delta N/\delta v$  [tömeg\*hossz<sup>2</sup>/idő, kgm<sup>2</sup>/s, Nms]

$N_{\dot{v}}$  – imbolygási nyomaték y tengely menti keresztirányú lengőmozgás gyorsulása szerinti deriváltja,  $\delta N/\delta \dot{v}$  [tömeg\*hossz<sup>2</sup>, kgm<sup>2</sup>, Nms<sup>2</sup>]

$N_{\delta}$  – imbolygási nyomaték kormányyszög szerinti deriváltja,  $\delta N/\delta \delta$  [tömeg\*hossz<sup>2</sup>/idő<sup>2</sup>, kgm<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>, Nm]

$Q_{FB}$  – nyomaték a mellső magassági kormányon [tömeg\*hossz<sup>2</sup>/idő<sup>2</sup>, kgm<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>, Nm]

$Q_R$  – nyomaték a kormányszáron [tömeg\*hossz<sup>2</sup>/idő<sup>2</sup>, kgm<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>, Nm]

$Q_{FS}$  – nyomaték a hátsó magassági kormányon [tömeg\*hossz<sup>2</sup>/idő<sup>2</sup>, kgm<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>, Nm]

---

## 3. kiadás 2014. 0.1 TARTALOMJEGYZÉK 02.TÁRGYMUTATÓ 1.BEVEZETÉS 2.HAJÓELMÉLET

$X$  – hajó x tengely menti hosszanti lengőmozgásából eredő erő a hajótesten  
[tömeg\*hossz/idő<sup>2</sup>, kgm/s<sup>2</sup>, N]

$X_R$  – hosszirányú kormányerő [tömeg\*hossz/idő<sup>2</sup>, kgm/s<sup>2</sup>, N]

$X_u$  – hajó x tengely menti hosszanti lengőmozgásából eredő erő saját mozgás sebessége szerinti deriváltja,  $\delta X/\delta u$  [tömeg/idő, kg/s, Ns/m]

$X_{\dot{u}}$  – hajó x tengely menti hosszanti lengőmozgásából eredő erő saját mozgás gyorsulása szerinti deriváltja,  $\delta X/\delta \dot{u}$  [tömeg, kg, Ns<sup>2</sup>/m]

#### **2.1.2.4.1.5 Lineáris modellek**

Ld. ITTC 1999 1.4.1.5 fejezet)

#### **2.1.2.4.1.6 Fordulási körök**

$D_C$  – fordulókör átmérő állandó sebességnél [hossz, m]

$D_C'$  – fordulókör átmérő tényező állandó sebességnél,  $D_C/L_{PP}$  [-]

$D_0$  – természetes fordulókör átmérő állandó sebességnél,  $\delta_R=\delta_0$  [hossz, m]

$D_0'$  – természetes fordulókör átmérő tényező állandó sebességnél,  $D_0/L_{PP}$  [-]

$l_r - r - \delta$  görbe hurokmagassága instabil hajónál [1/idő, 1/s]

$l_\delta - r - \delta$  görbe hurokszélessége instabil hajónál [-]

$r_C$  – fordulás sebessége (frekvenciája) állandó sebességnél [1/idő, 1/s]

$r_C'$  – fordulási sebesség tényező állandó sebességnél,  $r_C L_{PP}/U_C$  vagy  $2L_{PP}/D_C$  [-]

$R_C$  – fordulósugár állandó sebességnél [hossz, m]

$t_{90}$  – ahhoz szükséges idő, hogy 90-fokos irányváltás bekövetkezzék [idő, s]

$t_{180}$  – ahhoz szükséges idő, hogy 180-fokos irányváltás bekövetkezzék [idő, s]

$U_C$  – sebesség állandó sebességű forduláskor [hossz/idő, m/s]

$x_{090}$  – x irányú elmozdulás a 90-fokos irányváltásig [hossz, m]

$x_{0180}$  – x irányú elmozdulás a 180-fokos irányváltásig [hossz, m]

$x_{0max}$  – maximális x irányú elmozdulás [hossz, m]

$y_{090}$  – y irányú elmozdulás a 90-fokos irányváltásig [hossz, m]

$y_{0180}$  – y irányú elmozdulás a 180-fokos irányváltásig, taktikai átmérő [hossz, m]

$y_{0max}$  – maximális y irányú elmozdulás [hossz, m]

$\beta_C$  – sodródási szög állandó sebességű forduláskor [szög, rad]

#### **2.1.2.4.1.7 Cikk-cakk manőverek**

Ld. ITTC 1999 1.4.1.7 fejezet

#### **2.1.2.4.1.8 Megállási manőverek**

Ld. ITTC 1999 1.4.1.8 fejezet

#### **2.1.2.4.2 Tengerállóság**

---

Ld. ITTC 1999 1.4.2 fejezet

Az International Towing Tank Conference (ITTC) 1999-es ülésének jegyzőkönyve további tartalmát a következőkben találhatják.

- 2 Különleges hajók
  - 2.1 Sikló- és részleges vízkiszorítású hajók
  - 2.2 Többtestű hajók
  - 2.3 Szárnyashajók
  - 2.4 Légpárnás és felületi hatással működő hajók
  - 2.5 Jégben járó hajók
  - 2.6 Vitorlás hajók
- 3 Mechanika
  - 3.1 Alapelvek
    - 3.1.1 Koordináták és a térrel kapcsolatos fogalmak
    - 3.1.2 Idő és frekvencia tárgykörébe tartozó elvek
    - 3.1.3 Véletlen mennyiségek és sztohasztikai eljárások
    - 3.1.4 Egyensúlyi állapotok és rendszerekkel kapcsolatos elvek
  - 3.2 Szilárd testek mechanikája
    - 3.2.1 Inerciák és hidrodinamikai tulajdonságok
    - 3.2.2 Külső és szekcionális terhelések
    - 3.2.3 Merev testek mozgása
  - 3.3 Folyadékok mechanikája
    - 3.3.1 Áramlási paraméterek
    - 3.3.2 Áramlási mezők
    - 3.3.3 Felhajtóerőt indukáló felületek
    - 3.3.4 Határrétegek
    - 3.3.5 Kavitáció
  - 3.4 Környezeti mechanika
    - 3.4.1 Hullámok
    - 3.4.2 Szél
    - 3.4.3 Jég-mechanika
- 4 Háttér és referenciák
- 5 Függelékek

### **2.1.3 A hajógyártás eszközei és szervezése**

Már a korábbi fejezetekben volt szó arról, hogy a hajó milyen bonyolult műszaki termék, amelynek – elsősorban a szállított áruk és emberek biztonsága érdekében – nemcsak olyan kialakításúnak kell lennie, amely tökéletesen megbízhatóvá teszi, hanem azoknak a szerkezeti anyagoknak is ezt a célt kell szolgálnia, illetve gyártásának (vagy inkább a hajókra jobban illő szóval) építésének olyan létesítményben kell megtörténnie, amely garantálhatja ugyanezt. Azt is látni fogjuk a későbbiekben, hogy a hajózás

biztonságossá tétele érdekében létrehozott nemzeti és nemzetközi intézmények mind a három területen komoly követelményeket állítanak a hajóépítők és üzemeltetők elé.

*A magyar hajógyártásról* is érdemes néhány szót szólni.

A magyar hajógyártás korábban három területre koncentrált. Az első hajókat a Balatonon építették, ahol két helyen alakítottak ki megfelelő kapacitású hajógyárat, Balatonfüreden és Siófokon. Az első volt az a gyár, ahol a hatvanas években számos dunai vontató és dunai illetve tiszai jégtörő hajó épült.

A másik természetes környezet a Duna volt, ahol Budapesten mindkét parton építettek hajógyárat, amelyek egy évszázadnál is tovább folytatták ezt a tevékenységet. A régebbi az Óbudai Hajógyár volt, ez a létesítmény – ha eltekintünk a Duna vízállásának máig szabályozatlan jellegétől, amelynek változására jelenleg remény sincs – optimális feltételeket kínált a folyami hajók gyártására. A másik oldalon levő Ganz Hajógyár hasonlóan jó feltételekkel bírt, amelyek még tengeri hajók nagy sorozatban való gyártását is lehetővé tették.

A harmadik a korábban tengeri hozzáféréssel bíró Osztrák-Magyar Monarchia fiumei hajógyára volt, ez a gyár azonban az első világháború után idegen kézbe került, mindössze annyit lehetett tenni, hogy azokat a szakembereket, akik hajlandóak voltak a tevékenység Angyalföldre való telepítése miatt átköltözni, Budapestre hozták. A Ganz folytatta tehát a tengeri hagyományokat.

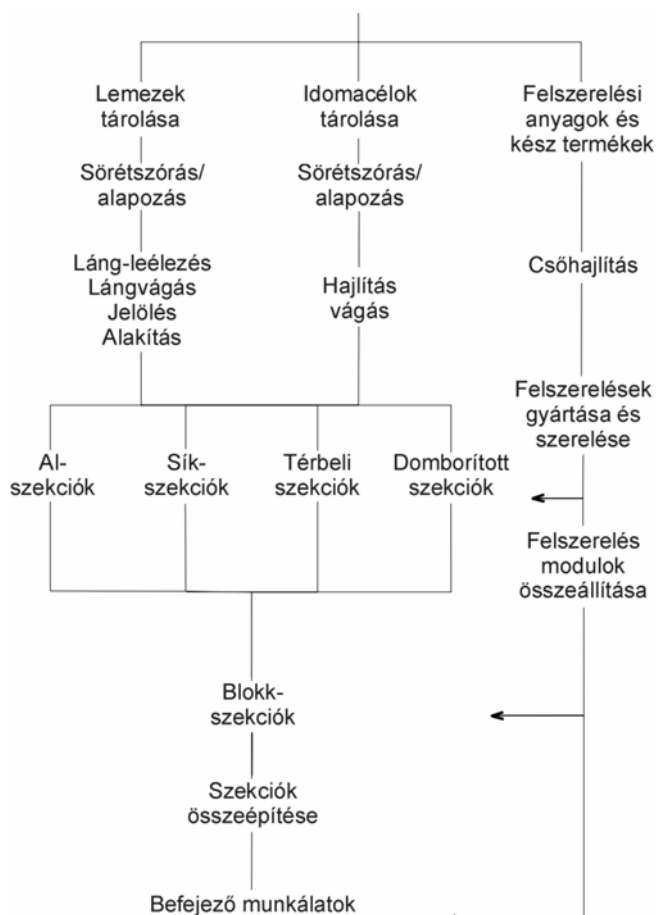
Sajnálatos, hogy jelenleg olyan hajók építése és tervezése gyakorlatilag nem folyik, amelyek a magyar gazdaság kereskedelmi vagy ipari tevékenységéhez pozitívan hozzájárulhatnak. Ennek okai a hajótervezők és építők számára ismeretesek: egyrészt megszűnt a hajóipar, létesítményei helyén olyan vállalkozások találhatók, amelyek csupán az ingatlant hasznosítják, másrészt már nem létezik olyan hajózó és hajófuvarozó gazdasági egység az országban, amelynek ezekre a hajókra szüksége lehetne. Bár az utóbbi nincs szoros kapcsolatban magával a hajógyártás leépülésével (vagy inkább leépítésével), hiszen a hajóipar csak kis mértékben szolgálta a hajózási vállalatot korábban is, a két negatív folyamat együttesen majdnem feleslegessé tette a szakemberképzést, ami a több évszázados tudás elvesztéséhez vezet. Az okok részletes tárgyalása politikai fórumot igényelne, hiszen az események háttere is az volt.

Ebben a fejezetben a hajó tervezésének és gyártásának két olyan területét tárgyaljuk, amely az építés minden további részletére alapvető hatással van, ez pedig a hajógyár maga és a tervezési folyamat.

### 2.1.3.1 A hajógyár optimális kialakítása

A legtöbb hajógyár nagy múlttal rendelkezik, és eredetileg olyan helyet szemeltek ki számára, amely megfelelő a kisebb hajók építéséhez olyan módszerekkel, amelyek ma már elavultak. A hajók méretének növekedése és az új szerkezeti anyagok megjelenése miatt sok cég felismerte, hogy előnyös lenne a hajógyár telepítési tervének módosítása. A legfontosabb célok ennél a fejlesztésnél mellett, hogy a nagyobb hajók építésének lehetőségét megteremtsék, elsősorban az egyenletes munkaterhelés, a rövidebb építési ciklus, illetve a gazdaságosság az építési eljárások alkalmazása során. Ezeket a célokat legtöbbször csak akkor lehet elérni, ha olyan helyszínrajzot választanak, amely lehetővé

teszi a jó anyagáramlást az egyik építési stádiumból a másikba anélkül, hogy szűk keresztmetszetek keletkeznének. Az sem elhanyagolható tényező természetesen, hogy a termelési folyamatot akadálytalanul lehessen megszervezni, tehát a lehető legjobb üzem- és berendezés-elosztást kell a *telepítési terveken* megvalósítani.



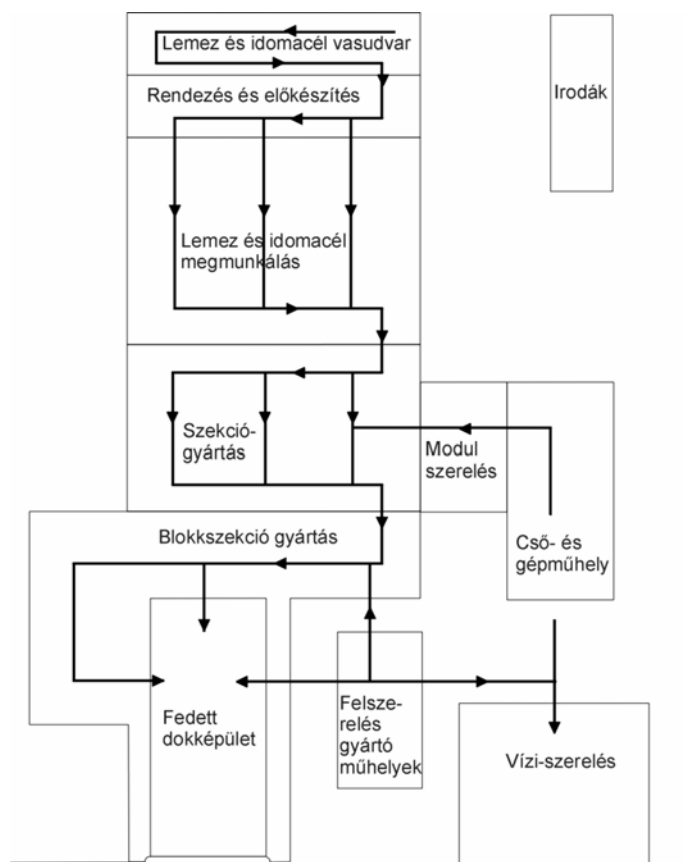
2.1.3.1.1 ábra A hajóépítés munkafolyamata

Az nagyon ritka eset, hogy a hajóépítőnek sikerüljön egy teljesen új helyet kiválasztania, és ezzel ideális helyszíntervet készíteni. Normális esetben a meglévő ingatlant kell használnia, és az ideálisból kiindulva ahhoz képest kell azokat a módosításokat elvégeznie, amelyek a hely specialitásaiból következnek. A legtöbb esetben a hajóépítésnek folytatódnia kell a hajógyárban, ezért a kívánt módosításokat apránként kell végrehajtania, hogy ne akadályozza túlzottan a jövedelmet biztosító tevékenységet. Az ideális elrendezés egy korszerű hajógyár esetében a gyártás menetén alapul, amikor a hajógyár az építéshez elengedhetetlen *sólyatér* és *vízi szerelőcsarnokok* számára helyet biztosító

vízterületnél kezdődik, és a telek távolabbi részén helyezkednek el a többi egységek. A vízi szerelőcsarnoktól legtávolabb eső hely az *anyagraktárnak* van fenntartva, a kettő között pedig a termelés menetének megfelelő sorrendben helyezkednek el a többi csarnokok és műhelyek. Az viszont gyakran előfordul, hogy a meglévő hajógyár a folyópartot kénytelen követni, mivel a folyótól távolabb beépített területek vannak, amelyek akadályozzák a terjeszkedést, tehát módosítani kell a gyártási folyamatot. Egy új *hajógyár telepítési terveinek* elkészítésekor vagy egy meglévő gyár átalakításakor a következőkben felsorolt kérdésekről kell döntést hozni:

- építendő hajó(k) mérete és típusa,
- éves anyagszükséglet,
- anyagmozgató és kezelő berendezések,
- telepítendő gépi megmunkáló berendezések,
- a gyártandó és összeépítendő szekciók mérete,
- a hajóra és hajóba kerülő felszerelések és gépek,

- ellenőrzési szolgáltatások terjedelme,
- irányító személyzet és berendezések.



2.1.3.1.2 ábra Hajógyár optimális alaprajza

A meglevő hajógyárak elrendezési terveit a hegesztési eljárások elterjedése és az ezzel lehetségessé vált *szekciógyártás* miatt, illetve az azt követően elengedhetetlenül szükségessé váló precíz gépi *lemez- és szelvény-előkészítés* meghonosítása következtében át kellett alakítani, hogy kihasználhatóak legyenek az új eljárásokkal lehetségessé váló termelékenységi előnyök, és így a hajóépítőnek meg lehessen adni az esélyt a versenyképességre. Mielőtt a hajógyár tényleges elrendezési tervét elkészítenénk, a legfontosabb dolog átgondolni a hajóépítésben

érintett gyártás-technológiák kapcsolatát, amint az a 2.1.3.1.1 ábrán látható.

A hajógyárak általában rendelkeznek olyan létesítménnyel, mint *szárazdokk* vagy *vízi összeszerelő csarnok*, ahol a gyakorlatilag kész hajót vízrebocsátás után felállítják vagy kikötik, és ahol a hátralevő munkafázisokat elvégzik. Itt megfelelő daruzási lehetőségek vannak, illetve annak előkészítése, és a gépműhelyek sincsenek túl messze innen. A felszerelések és gépek nagy részét ma már a szekciógyártás során beépítik a helyére, ezért ez a szempont a hajógyár számára nem annyira fontos.

A 2.1.3.1.2 ábrán egy új telepítésű hajógyár idealizált elrendezése látható, amely olyan kisebb hajógyár esetében lehet megfelelő, amely egy vagy két járatos hajótípusra specializálódott, amelyek átfutási ideje meglehetősen rövid, így egyetlen *fedett dokk* vagy vízi szerelőcsarnok elegendő.

A dokkok rendelkeznek néhány előnnyel a vízi szereléssel szemben. Főleg ott jobb velük dolgozni, ahol nagyobb hajókat építenek, amelyek vízrebocsátása körülményes és költséges, és mindig előfordulhat, hogy a szokásos vízrebocsátási eljárás során szerkezeti károsodások keletkeznek a hajó életében kizárólag ennél az egy esetnél jelentkező nagy feszültségek miatt. A dokkok esetében a daruzás is könnyebben megoldható. A dokkok egyetlen hátránya a nagy beruházási igény.



Számos hajógyár átépítésénél olyan fedett létesítményeket hoztak létre, mint pl. a dokkok vagy a csarnokok belsejében elhelyezett sólyatér. Más esetekben az építő csarnokokból, amelyek a sólyatér felső végénél vannak, fejlett szállítóberendezés tolja ki a hajótestet a sólyára vízrebocsátás előtt. Az ilyen létesítmények lehetővé teszik a hajóépítést olyan gyári környezetben, amelyet sem az időjárás viszontagságai, sem a természetes fény hiánya nem befolyásolhat.

### 2.1.3.2 Hajótervező irodák és rajzpadlás

#### 2.1.3.2.1 Hajótervező iroda

A hajótervező iroda hagyományosan felelős az *általános vasszerkezeti és elrendezési rajzok*, illetve a *vasszerkezeti és egyéb részletrajzok* elkészítéséért. A tervezőiroda által elkészített szerkezeti rajzok az osztályozó intézeti előírások (pl. Lloyd's) szerint vannak kidolgozva, és jóváhagyást igényelnek; a rajzokba belekerülnek a tulajdonos egyéb követelményei és a standard hajógyári gyakorlati elvek is. Általános elrendezési rajzok készülnek valamennyi lakótérrel és raktérrel ill. ellátmányraktárral, amelyek kielégítik a rendeletekben lefektetett követelményeket és a hajótulajdonos előírásait, valamint az érvényes szabványokat. Az iroda elkészíti a többi gyártási rajzot is, mint pl. gépészeti és fedélzeti felszerelések elrendezése, csőrendszerek, szellőzés és légkondicionálás (ezt gyakran külső alvállalkozó készíti el), hajózási és kikötési felszerelések, lakberendezési tervek, stb.

Az 1970-es évek végétől a mikroprocesszoron alapuló számítástechnikai hardver fejlődése hozzáférhetővé tette az iparágak számára a nagy teljesítményű számítógépeket viszonylag mérsékelt árszinten. Ez a technika vezetett el azokhoz a fejlesztésekhez, amelyeknek része a *számítógépes tervezés* (computer aided design, CAD), a *számítógépes mérnöki tevékenységek* (computer aided engineering, CAE) és a *számítógépes gyártás* (computer aided manufacture, CAM), amelyek ma már mindennapiak a hajóépítésben. Ezek a rendszerek tökéletesen kiszorították a kézi rajzolást és az egyes alkatrészek *sámjegyvezérlésű megmunkáló-gépeken* való elkészítését a legtöbb hajógyárban. Azokat a számítógépes alapon működő hajóépítési rendszereket, amelyeket eredetileg az 1960-as és 1970-es évek fordulóján dolgoztak ki az NC gépekkel való gyártáshoz és a rajzpadláshoz, a mai műszaki háttér segítségével továbbfejlesztették, hogy a tervezőiroda funkcióihoz igazítsák őket, és a hajógyár többi rendszeréhez is átfogó illesztő-programokat (interface) hozzanak létre.

A CAD/CAE/CAM rendszerek alapjául a *háromdimenziós hajótermék modell* (3D Ship Product Model) szolgál, amelyben tárolva vannak a hajó összes elemének geometriai és paraméterekkel megadott jellemzői, amelyek részben a szerződésnek megfelelő tervekből, részben az osztályozó intézet szerkezeti elemekre vonatkozó előírásaiból származnak. Ez a modell az összes építési fázisban megjeleníthető, és arra is felhasználható, hogy a hajó gyártására vonatkozó információt szolgáltatson.

A tervezőiroda hagyományosan *anyagigénylési osztállyal* is rendelkezett, amely a rajzok alapján összeírta az igényeket, és azokat továbbította. Az iroda a *rajzpadlással* és a *gyártástervezési irodával* is szorosan együttműködött. Ezek a funkciók kibővültek és

tökéletesebbé váltak a CAD/CAE/CAM rendszereknek a tervezőirodára való telepítésével. A 3D hajótermék modellből generált szerkezeti rajzok precizitása lehetővé teszi, hogy jobban megbízzanak bennük, mint a kézzel készített rajzokban, és a rendelkezésre álló információ a számítógépben tárolható, hogy az illesztő-programokon át a hajógyár kereskedelmi rendszerei megkapják a számukra szükséges adatokat az anyagbeszerzéshez és tároláshoz. A részszekciók, szekciók és testszekciók rajzai akár 2-, akár 3-dimenziós formában elkészíthetők, amelyek alapján a standard gyártási sorrend és gyártóberendezések ismeretében a rajzvizsgáló szakemberek megbizonyosodhatnak arról, hogy a szerkezeti tervek a hajógyár erőforrásait hatékonyan használják ki, és a megalapozott optimális költségszerkezetű gyakorlatot követik. A rajzból nyerhető információk alapján kigyűjthetők a hegesztések hosszai és típusai, az acélsúlyok és a részletes alkatrészlisták, és továbbíthatóak a gyártásszervezési rendszerekhez. A 3D acélszerkezeti szekciót a rajzvizsgáló körülforgathatja a képernyőn, hogy a legjobb kézalatti hegesztési pozíciót megtalálja. A 3-dimenziós rajzok alkalmazása különösen a felszerelési rajzok területén értékelhető, ahol pl. a csőrendszereket 'meg lehet tekinteni' 3-dimenziós képen, és pontosan fel lehet mérni, mielőtt a 2-dimenziós rajzot elkészítik. A továbbiakban a tervezőirodában elkészített néhány rajztípust tárgyaljuk, amelyek fontossága nagyobb a többiekénél.

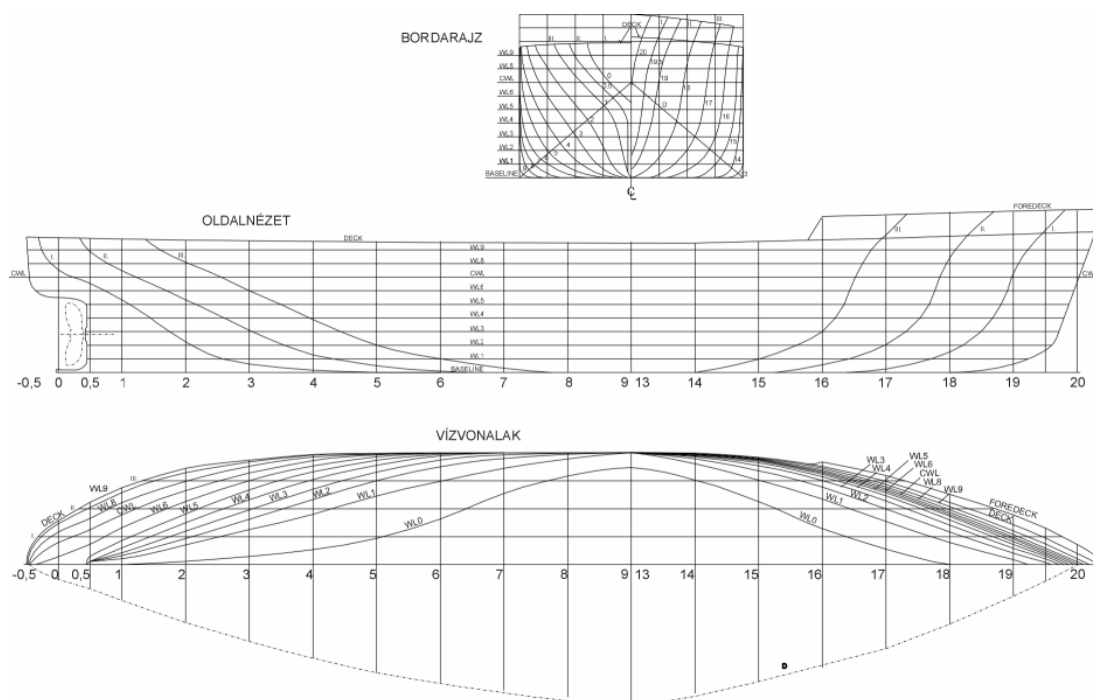
### ***Vonalterv***

A *vonaltervről* a 2.3 Geometriai tervezés fejezetben írunk többet. Ennek előzetes változatát valójában már az elképzelés fázisában el kell készíteni, hogy a hajó igényelt kapacitását, vízkiszorítását és propulziós jellemzőit meg lehessen határozni. A vonaltervet a későbbiekben finomítani kell az ajánlati terv fázisában, és utána minden modellkísérleti mérés vagy más módszer alkalmazása után, amely a hajó propulziós és menettulajdonságainak pontosabb megismerését célozza. A vonalterv tulajdonképpen megfelelő léptékben ábrázolja a hajótest vízvonalait felülnézetben, függőleges metszeteit oldalnézetben és keresztirányú (borda-) metszeteit hátulról ill. előlről nézve, ez utóbbiak a hátsó és mellső függély közötti egyenletes elosztásban helyezkednek el. A bordametszetek általában a függélyek közötti hossz tíz részre osztásával adódnak, de fél-távolságra a függélyektől a feles bordák is meg vannak rajzolva, mivel ott a hajótest erősebben változik. A bordarajzok csak a fél hajótestet mutatják, mivel a hajó szimmetrikus a hajó hossz tengelyére, a hátsó metszetek a baloldalra a mellsők a jobboldalra kerülnek. Az előzetes vonaltervet csak a vízkiszorítás, trim, hordképesség, stb. közelítő meghatározására készítik el, és csak a felül- és oldalnézet van ábrázolva a hajótest áramvonalassága érdekében. Amikor a végső kiegyenlített vonalterv is rendelkezésre áll, a teljes vonaltervhez tartozik a hajó *oldalprofilja* és az összes *vízvonal* az *alapvonal* felett egyenletes osztásban.

A 2.1.3.2.1.1 ábrán vonalterv látható. Az *oldalnézetben* a *függőleges metszetek* vannak megrajzolva, hátul far, elől orr megnevezéssel. A *medersoron* át szokás úgy nevezett *diagonálmetszetet* készíteni és a vízvonalak között feltüntetni, ez is segít a hajótest áramvonalasságának kialakításában.

Amikor még kézzel készült a vonalterv, a tervezők '*mérettáblázat*' néven táblázatot állítottak össze, ami minden bordametszetre tartalmazta a vízvonalankénti

*félszélességeket*, ill. a függőleges metszetek magasságát az alapvonal felett, stb. Ezt a táblázatot aztán a rajzpadlásnak adták át, hogy 1:10 léptékű rajzon egyenlítsék ki a tervet, vagy egy számítóközpontnak teljes kiegyenlítésre. A vonalterv kis léptéke miatt és amiatt, hogy a bordametszetek a vasszerkezeti *bordakeretekhez* képest nagyon távol voltak egymáshoz, ez a kiegyenlítés még nem volt elégséges az építés céljaira. A rajzpadlás szakemberei vagy a számítóközpont alkalmazottai minden bordakeretre kiterjedő teljes méret táblázatot készítettek.



2.

#### 2.1.3.2.1.1 ábra Vonalterv

Ma már a hajógyárak számítógépein levő integrált tervezőrendszerek széleskörű használata miatt a hajótest formáját koncepcionálisan meg lehet alkotni és azt utána kiegyenlíteni a gyártás céljainak megfelelően anélkül, hogy a terv papíron megjelenjen. A hajótest formáját a számítógépes rendszerben 3-dimenziós '*drótmodell*' formájában őrzik, amely tipikusan meghatározza a szerkezeti elemek sablonkörvonalait, így a hajó bármelyik szerkezeti metszetét automatikusan generálni tudja a '*drótmodellből*'.

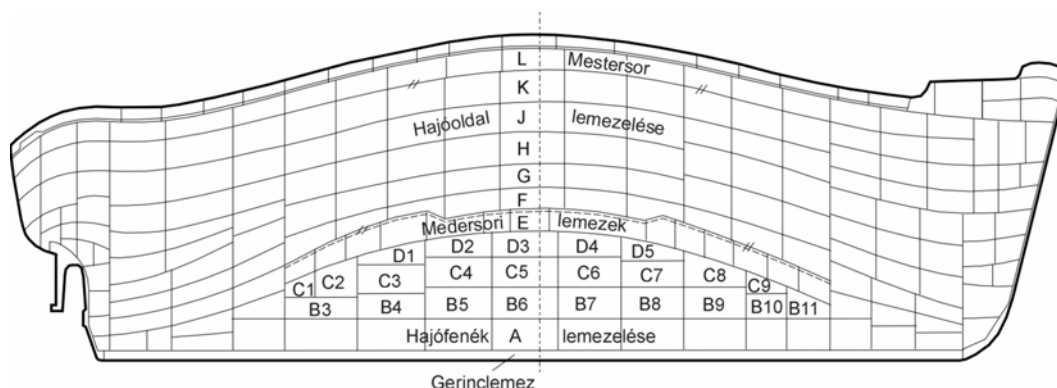
#### A héjlemezek 3-dimenziós megjelenítése

Amikor a rajzkészítési fázisban a *héjlemezek kiosztását* és elrendezését készítjük elő, időnként nehézségbe ütközik a varratok és a lemezformák pontos meghatározása a hagyományos kétdimenziós rajzon. A hajógyárak ezért a '*fél-modell*' alkalmazását részesítették előnyben, amely lényegében egy hajó tömör fából kifaragott egyik oldala a hossz-szimmetriásiktól a hajóoldalig, amelyet a középsík helyén levő falapra szerelnek fel. A rendkívüli precizitással elkészített és végül fehérre festett fél-modellt arra használták, hogy felrajzolják rá a valóságos (szerkezeti) bordametszeteket,

lemezvarratokat kereszt- és hosszirányban, fedélzetek vonalát, hossz- és keresztirányú keretbordákat, válaszfalakat, sík felületeket, az ornál és a farnál felszerelt külső szerkezetek helyét, tengelykivezetést, stb.

A CAD rendszer segítségével a héjlemezelés elrendezését interaktív módon lehet elkészíteni a képernyőn (azaz a képet elő lehet hívni, dolgozni rajta, módosítani, stb.) a vonalrajzból összeálló 3-dimenziós 'drót-modell' alapján, és össze lehet állítani a kétdimenziós lemeztervet. Ezt a rajzot azután fel lehet használni a térbeli görbült felületen levő valamennyi vonal 3-dimenziós képének megalkotására, lényegében egy vizuális 'fél-modell' segítségével.

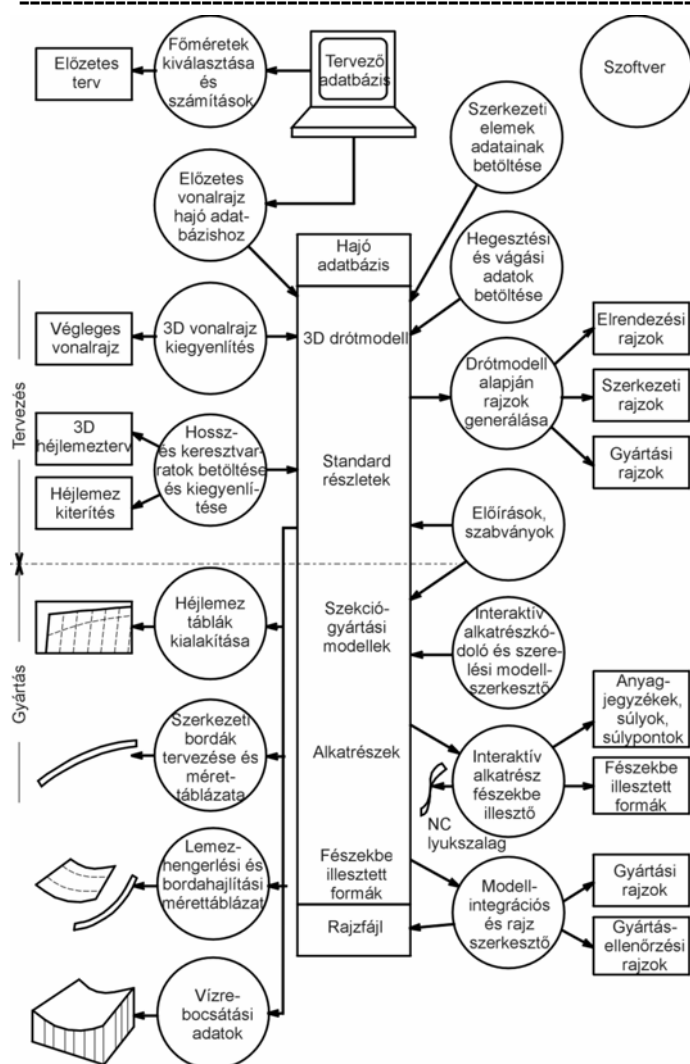
*Kiterített héjlemez rajza.* A 3-dimenziós modellről származó héjlemezelés ábrázolható egy 2-dimenziós rajzon, amelyet *héjlemez-kiterítésnek* neveznek. Ezen a rajzon az összes függőleges méretet a hajó bordametszetének kerületéről veszik le, tehát nem vetített ábrázolásról van szó.



2.1.3.2.1.2 ábra Kiterített héjlemez

Ez a technika mind a fenék, mind az oldal lemezelését összefüggő egységben ábrázolja. A 2.1.3.2.1.2 ábra egy tankhajó tipikus héjlemez-kiterítését mutatja. Az ábráról az egyszerűség érdekében hiányzik a héjlemezzel összehegesztett fedélzetek és merevítők (bordák, hosszmerevítők) helyének megjelölése, amely az ilyen rajzokon mindig fel van tüntetve. Ez a lemezek számozást is magában foglalja, illetve a lemezsorok betűjeleit hivatkozási célból, és jól mutatja a rendszer jellegzetességét, hogy a lemezsorok 'kifutnak', ahogy hátul és elől a bordametszet kerülete csökken. Itt meg kell jegyezni, hogy számos esetben a korszerű hajók héjlemez-kiterítése tartalmaz egy másik számozási rendszert is, amely a szekciók összeállítási sorrendjére utal, nem pedig az egyes lemezekre, ezért az ilyen rajz használata alapján nem könnyű az egyes lemezeket meghatározni. Azonban az egyes lemezek gyakorta abban a sorrendben vannak megjelölve, ahogy legjobban segíthetik a gyártási azonosítást.

### 2.1.3.2.2 Rajzpadláson végzett munka a tervezőirodai tevékenység után



2.1.3.2.2.1 ábra A hajótervezés és előgyártás blokksémája

A hajógyárakban a *rajzpadlás* eredetileg egy nagy fapadlós terület volt, ahol a hajót természetes nagyságban meg lehetett rajzolni.

Amikor a hagyományos módon készült adott léptékű vonalterv és a mérettáblázat a rajzpadlás személyzetéhez került a tervezőirodától, a hajótest vonalait teljes méretarányban felrajzolták és kiegyenlítették. Ez azt jelentette, hogy tekintélyes hosszúságú padlófelületre volt szükség még úgy is, hogy a lépték az oldalnézet és a felülnézet elkészítésénél különböző volt hossz- és harántirányban (a hossz általában 1:2 arányban zsugorítva volt), illetve a hajó hátsó és mellső részét egymásra rajzolták. A bordametszeteket teljes méretarányban rajzolták fel, mivel azokat korrigálták, hogy a 'bordasablon' néven ismert

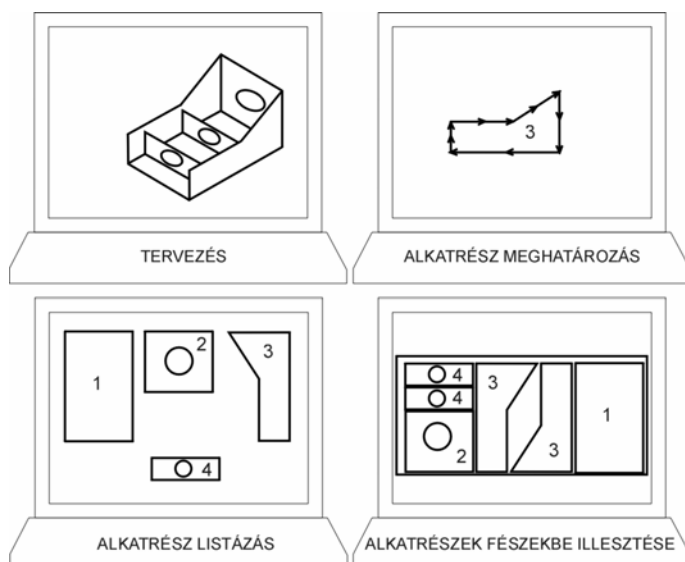
eszközöket megszerkesszék. A hajóépítők azonban, amint lehetőségük nyílt rá, elhagyták a nagy méretű rajzpadlás alkalmazását, és a hajó vonaltervének kiegyenlítését inkább az erre a célra kidolgozott számítógépes programokkal végeztették el a számítóközpontokban. Amint ezek elvégezték a teljes léptékű kiegyenlítést, már csak a bordasablonok elkészítésére volt szükség a kiegyenlített mérettáblázat alapján.

### Bordasablonok

A bordasablonokat arra használták, hogy elkészítsék a *gyártási sablonokat* a bordakeretek hajlításához és a domborítást vagy hajlítást igénylő lemezekhez. A héjlemez tábláit természetes nagyságban kiszerezgették a padlás padlóján, és az így készülő gyártási sablonok alapján a lemezeket a műhelyben ki tudták vágni pontos méretre és alakra, majd a bordákra felerősítették őket.

### 1:10 léptékű rajzpadlás-munka

Az 1950-es évek végén az *1:10 léptékű rajzpadlás-munka* terjedt el. Ez a rajzpadlást tulajdonképpen speciális rajzolóirodává zsugorította, és sokban hozzájárult a gyártástechnológia fejlődéséhez. A hajótest *vonaltervének kiegyenlítése* és a bordasablonok megrajzolása 1:10 méretarányban történt. Sok hajógyár dolgozott *fotocellás lángvágó gépekkel*, amelyek vezérléséhez *1:10 arányú sablonokat* használtak (ld. 4.1.3. fejezet). Ezeknek a sablonrajzoknak a készítésénél a kiszerkesztett vagy szabályos lemezformákat fehér papírra ceruzával előrajzolták, majd a körvonalat tussal



2.1.3.2.2.2 ábra CAD/CAM rajzpadlás-munka

kihúzták az arra helyezett átlátszó anyagon (pauz vagy celluloid). Az utóbbi volt gyakoribb, mivel az anyagnak különféle hőmérséklet és légnedvesség mellett is alaktartónak kellett lennie, illetve meg kellett akadályoznia, hogy a tusvonalak 'kiszőrösödjének'. Rendkívüli pontosság volt szükséges a vonalvastagságnál is, a vonalakat

pedig kívülről húzták meg, vagyis a lemez leeső oldalán. A profilvezérlő sablonok egy részét egyszerűen át lehetett másolni a bordasablonokról, pl. a keretborda gerinceket.

### **CAD/CAM rajzpadlás-munka**

Már volt szó arról, hogy a hajógyárakban telepített számítógépes rendszerek képesek a vonalterv kiegyenlítésére természetes nagyságban és ezek tárolására *3-dimenziós modellként*. Ez a tárolt információ hozzáférhető a szakembernek, hogy a hagyományos rajzpadlás-munkát elvégezze, mint pl. a bordák és hosszmerítők hajlításának előkészítése, a héjlemez alakjának kiszerkesztése és azok domborítására vagy hajlítására vonatkozó információ összeállítása, egy interaktív megjelenítő segítségével. A számjegyvezérlésű lángvágó gép számára a kivágandó alkatrészeket '*fészekbe teszik*', azaz *beillesztik* arra a lemeztáblára, amelyből az a leggazdaságosabban kiszabható a legkisebb anyagvesztéssel. A kiszerkesztést már a rajzolási fázisban meg lehet oldani, és tárolni az adatokat addig, amíg az interaktív beillesztésre sor kerül. A legkedvezőbb vágási módot a rajzoló szakember választja ki a grafikus képernyőn. Amikor kész a vágási utasítás, szimulációt tud végezni és kiszűrheti a hibákat. Az NC szalag ellenőrzése annak kilyukasztása után egy nyomtatón is elvégezhető. A szakember az utasításokat is elkészítheti a lemezek vágásához, azt követő összeállításukhoz szekciókba, a domborított héjlemez-táblák behegesztésére szolgáló fogókészülékek paramétereinek meghatározásához, a bordák és egyéb vasszerkezeti elemek hegesztéséhez, stb.

Azok a héjlemez-alkatrészek, amelyek a hajótest legvégén elől vagy hátul vannak, vagyis azok, amelyek nemcsak hajlításra vagy hengerlésre várnak, hanem domborításra a hegesztett fartőkénél és a bulba-orrnál, ma is még manuális szerkesztést igényelnek a rajzpadláson 1:10 léptékben.

## **2.2 A hajó fő paramétereinek meghatározása**

A legrégebbi utalás egy *hajó fő paramétereinek* meghatározása a Bibliában található. Az Úr azt mondta Noénak: „Készíts magadnak bárkát ciprusból; alakítsál ki bőséges helyet benne és vond be kátránnyal kívül-belül. A következő méretekkel kell megcsinálnod: a bárka hossza 450 láb legyen, szélessége 75 láb, oldalmagassága pedig 45 láb. Fedd be fedélzettel és készíts 18 hüvelyk magas habvédet. Vágjál a bárka oldalába ajtót, és alakítsál ki alsó, középső és felső fedélzetet.”

Ennél ma már egy hajó építésére irányuló pályázati kiírás több követelményt tartalmaz. Erre azért is szükség van, mert a hajó bonyolult objektum, egy kis kikötői vontatót egy üzemhez, egy nagy személyszállító hajót pedig egy világvároshoz lehet hasonlítani. A hajó tervezésének folyamatát általánosságban a következőkben találjuk.

### **A hajó tervezésének folyamata**

A kereskedelmi hajók tervezésénél a gazdasági szempont a legfontosabb. A tulajdonos elvárja, hogy a hajó a beruházási és üzemeltetési költségeket a lehető legjobban visszahozza, ami azt jelenti, hogy a tervezésnek nemcsak a pillanatnyi gazdasági szempontokat kell figyelembe vennie, hanem azokat is, amelyek a hajó életciklusa során alakulhatnak ki.

A számítógépes háttér segítségével nagy számú különböző tervezési paramétert lehet megvizsgálni, és így olyan tervet készíteni, amely nemcsak műszakilag megalapozott, hanem, ami még fontosabb, gazdaságilag a leghatékonyabb.

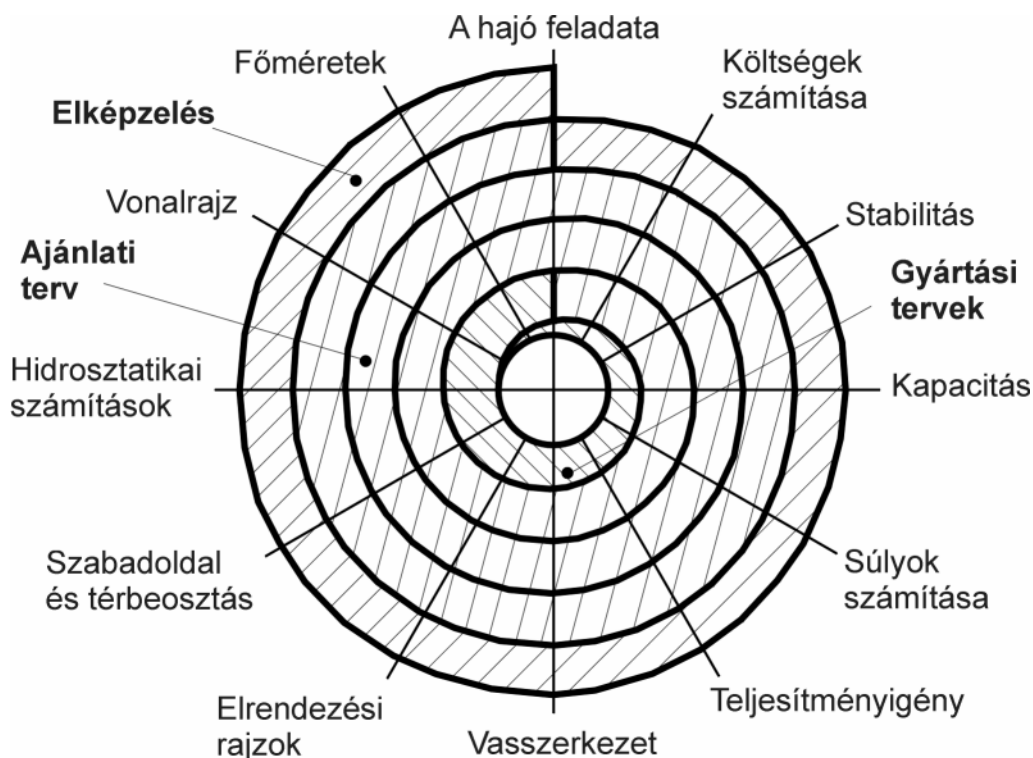
### **A tervezés előkészítése**

A hajó tervezése általában három *fázisból* áll: elképzelés vagy koncepció; előzetes vagy ajánlati tervezés; végül (szerződés szerint) a gyártási tervek elkészítése. A tervezés menetét a *spirális diagram* ábrázolja, amelynek egyszerűsített változata tekinthető meg a 2.2.1 ábrán. A diagram mutatja, hogy a tervező a kapott vezérfonal alapján a legjobb megoldásra törekedve dolgozik, és a fő feladattal kapcsolatos paramétereket a munka során egyensúlyba hozza.

A *koncepció*s tervnek a kitűzött célok szempontjából kellő tájékoztatást kell adnia az alapvető műszaki-gazdasági megfontolásokhoz, amelyek a különböző változatok összehasonlításához szükségesek. A kereskedelmi hajók tervezéséhez figyelembe vehető gazdasági kritériumok között, amelyeket a hajók rentabilitásának méréséhez lehet használni, lehet pl. a hajó értéke, a pénzforgalom mértéke vagy a szükséges szállítóképesség. Az előzetes vagy *ajánlati terv* finomítja és elemzi a megállapodás szerinti elképzeléseket tartalmazó koncepció s tervet, tartalmazza az elrendezéseket és a szerkezeti rajzokat, illetve a szolgáltatás teljesítményének optimalizálására törekszik. Ezen a szinten a hajóépítőnek már elegendő információval kell rendelkeznie az ajánlatadáshoz. A szerződéskötéshez elkészített *gyártási terv* a tulajdonossal egyeztetett végső elrendezéseket és rendszereket részletezi, és az építési szerződés feltételeinek kielégítését célozza.



A tervezés ezen a szinten még nincs teljesen befejezve, sőt, inkább csak elkezdődött, a szerződéskötést követően következnek a gyártási részletrajzok, amelyek között szerepelnek a *vasszerkezeti rajzok*, a felszerelés és rendszerek részletrajzai, amelyek alapján a leghatékonyabb építési ciklus költség- és időigényét meg lehet határozni. Persze a tervezés korábbi stádiumaiban is szükség van a gyártás szempontjainak figyelembe vételére, különösen, ahol azok a tervet vagy a költségeket érintik.



2.2.1 ábra A hajótervezés folyamatának spirális diagramja

#### ***A tervezésnél rendelkezésre álló információ***

Amikor az előzetes tervet elfogadják, az alábbi adatok állnak rendelkezésre:

- fő méretek,
- vízkiszorítás,
- stabilitás,
- propulziós jellemzők és hajótest-forma,
- általános elrendezés előzetes változata,
- alapvető vasszerkezeti adatok.

Ezeket az információkat mind részletesen át kell gondolni azoknak a korlátozásoknak a figyelembe vételével, amelyek a hajó üzemeltetésekor felmerülhetnek, és függetlenek a tervezéstől.

1. A fő méreteket elsősorban a jármű áruszállító teherbírása befolyásolja. Személyszállító hajók esetében a méretekre az utasok elhelyezésére szolgáló felépítmény magassága és hossza van hatással. Ahol a hajó hossza nincs előre

meghatározva, ott azt minimálisra kell választani a kívánt sebességi és hajótest-forma követelmények alapján. A hossz bármilyen növelése további longitudinális (hosszirányú) hajlító igénybevételeket eredményez, amelyek miatt növelni kell a szerkezeti elemek méretét, és ezzel ugyanakkora áruszállító kapacitáshoz nagyobb vízkiszorítás adódik. A szélességet akkorára kell kiválasztani, hogy elegendő transzverzális (keresztirányú) stabilitást kapjunk. A minimális oldalmagasság a merülésből és az építési előírásokban meghatározott szabadoldalból adódik ki; ugyanakkor az oldalmagasság növelésével a hosszirányú hajlító feszültségek csökkenthetőek, mivel az a hajlításra igénybevett keresztmetszetet növeli, és így kisebbek lehetnek a szerkezeti elemek. A nagyobb hossznál ezért a nagyobb oldalmagasság a kedvező. A merülést gyakran a működési terület korlátozza, ha azonban növelhető a nagyobb oldalmagasság érdekében, az előnyt jelent. Számos járműnek kell áthaladnia különféle csatornákon, ami a fő méreteket korlátozza. A Szuezi Csatorna esetében csak a merülés korlátozott, a Panama Csatorna zsilipjei viszont mind a hosszat, mind a szélességet és a merülést korlátozzák. A hajózócsatornák (pl. manchesteri, DMR-csatorna) zsilipjei pedig nemcsak a fő méretekre jelentenek korlátokat, hanem a hidak miatt a vízvonallal feletti magasság is korlátozva van.

2. A *vízkiszorítást* a hajó *üres súlya* és a *hasznos terhelés* adja ki. A hajó üres súlyában benne van a teljesen kész megépített hajó súlya, beleértve az üzemeltetéshez szükséges feltöltéseket, mint pl. a kazánban levő víz, a motorokban levő kenőolaj és a hűtővízrendszerben levő víz súlyát. A hasznos terhelés a hajó üres súlya és a *terhelt vízvonallal* tartozó vízkiszorítás különbsége, azaz a szállított áru súlyán kívül az üzemanyag, az ellátmány, a ballasztvíz, az ivóvíz, a személyzet és az utasok, illetve a csomagok súlya. Amikor a hajó tömegáru (pl. érc) szállítására szolgál, az a célszerű, ha a hajó üres súlya minél kisebb lehet, ami még a megfelelő szilárdságot biztosítani tudja. Az összes többi tételt minimális szinten kell tartani, hiszen csak a szállított teher hoz bevételt, a várakozásoknak azonban így is meg kell felelnie a hajónak.
3. A fő méretek meghatározásánál szem előtt kell tartani a *sztatikus stabilitást*, mivel annak minden lehetséges rakodási változatban megfelelőnek kell lennie. Erre a szélesség és az oldalmagasság van a legnagyobb befolyással. A hajó általános elrendezésének megtervezése során a legfontosabb szempont a vonatkozó osztályozó intézet előírásai szerinti szabadoldal és a fedélzet szélső vonala (sprung) amellet, hogy az arányos súlyelosztást biztosítani kell.
4. 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 időjárási 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.

5. A hajó *általános elrendezési terveit* a tulajdonossal való szoros együttműködésben készítik el, figyelembe véve a az adott cégre jellemző elhelyezési szokásokat, illetve a rakományra és az ellátmányra vonatkozó követelményeket. Szem előtt kell tartani mindvégig a jármű hatékony üzemeltethetőségét és azokat a szabályokat, amelyek rá vonatkoznak, mind a hatóságiakat, mind a kereskedelmi útvonalakból eredőket. Számos esetben hasznos lehet a hajózó személyzet képviseleti szerveivel való konzultáció a személyzet elhelyezését illető tervek végső elkészítésénél.

A hajók többségét *osztályozó intézetek* előírásai szerint építik. Ezek közül a legrégebbi és legismertebb a Lloyd's Register of Shipping angol intézet, részben ezért, részben pedig amiatt, hogy elkerülhessük a több hasonló elven felépített követelmény-rendszer ismertetését, ahol osztályozó intézetről beszélünk, ott a Lloyd's intézetet értjük alatta. Az előírásokban szereplő hajóosztályhoz meg vannak határozva a hajótest vasszerkezetének merevítő elemei, és a hajóépítő ezeket választja ki. A vasszerkezeti merevítők számításához azokat a számítógépes programokat lehet alkalmazni, amelyeket az osztályozó intézet a hajóépítőnek rendelkezésére bocsát. A tulajdonosoknak lehetőségük van az osztályozó intézet által előírt értékeknél magasabb vastagsági és anyagminőségi követelményeket támasztani, illetve olyan különleges paramétereket előírni, amelyek saját hajóparkjukra jellemzőek.

### ***Új hajó beszerzése***

Az utóbbi években a tulajdonosoknak szokásává vált, hogy egy sorozatból kiválasztott hajó saját igény szerinti specifikálásával – leginkább hajóépítési szakértők, hajógyárak vagy saját tanácsadók közreműködésével – olyan hajókat választanak ki, amelyek sorozatjellegük mellett saját egyéni igényeiket is kielégítik. A legjobb hajósorozat kiválasztásához részletes projektelemző vizsgálatot végeznek, ahol a fő szempontok között van a kiválasztott piac, az útvonal, a kikötői berendezések, a konkurencia, számos politikai és foglalkoztatási tényező, valamint a várható bevételek színvonala. A hajógyár kiválasztása sem elhanyagolható szempont, ahol az olyan tényezők, mint az állami támogatások vagy az építő cég hitelfeltételei is fontosak lehetnek, nem is említve az árat, az építési időt és a hajógyár hírnevét. A legtöbb sorozathajó olyan jellemzőkkel bír, amelyeket módosítani lehet, pl. a felszerelés, a rakománykezelő berendezések vagy

a főgép gyártmányának és típusának alternatívája, ezekért azonban a tulajdonosnak külön felárat kell fizetnie.

A személyhajók beszerzésénél is előfordul a sorozatból kiválasztott külön kivitelű egység, de vannak olyan hajógyárak, amelyek külön a személyszállító hajókra szakosodtak, ezért a tulajdonos inkább ezeket keresi fel. A bármilyen formájú és felszerelésű nem-szokásos teherhajók is a sorozatból kiválasztott egyedi kivitelű igénylik. Az alapvető követelmények meghatározása után, illetve más nagyobb hajózási cégek projektelemzése alapján, saját személyzetük már elkészítheti a pályázati kiírást és kiírhatja a tendert a hajó építésére. A végső építési specifikációt a pályázat nyertese a tulajdonos műszaki szakembereivel együttműködve dolgozza ki. Az utóbbi megteheti, hogy felügyeli a hajó építését és jóváhagyásához kötheti a hajóépítő terveinek és számításainak elfogadását. Más tulajdonosok tanácsadó céget bízhatnak meg a munkával a legelső specifikáció elkészítésétől a tender kiírásáig és elbírálásig, természetesen a tulajdonos érdekeinek szem előtt tartásával. Gyakran ezek a szakértő cégek a hajó építését is felügyelik.

### ***Szerződés a hajó építésére***

A hajó építésére kiírt pályázaton nyertes hajóépítő elkészíti a *hajó építési specifikációját*, amelyet a tulajdonos vagy képviselője jóváhagy, és amely a két fél által aláírt szerződés részét képezi, így jogi dokumentumnak minősül. Ez a specifikáció normális esetben a következőket tartalmazza:

- a hajó rövid leírása és lényeges jellemzői illetve paraméterei,
- fő méretek,
- raktér- és tanktérfogatok, stb.
- sebességi és teljesítménykövetelmények,
- stabilitási követelmények,
- az építési tevékenységre vonatkozó minőségi követelmények,
- felügyelet és bizonylatok,
- személyzeti lakótér adatai,
- próbameneti feltételek,
- berendezések és felszerelések.

A gépberendezések részletes adatait – beleértve az elektromos hálózatot – általában a specifikáció mellett, annak külön dokumentációjaként adják át.

A *hajóépítési szerződésekre* kialakult formák vannak. A legtöbb esetben a szerződést ezek egyikének alapján fogalmazzák meg, hogy bizonyos egyöntetűség legyen az építők és a vásárlók szerződéses kapcsolatában. A három legismertebb ilyen standard szerződésformát a következő szövetségeknél alakították ki:

- AWES – Association of West European Shipbuilders, nyugat-európai hajóépítők szövetsége,
- MARAD – Maritime Administration, USA, amerikai tengerészeti igazgatóság,
- SAJ – Shipowners Association of Japan, japán hajótulajdonosok szövetsége.

Az AWES standard szerződésforma fő elemei a következők.

1. A szerződés tárgya (a hajó adatai, stb.).

---

## **3. kiadás 2014. 0.1 TARTALOMJEGYZÉK 02.TÁRGYMUTATÓ 1.BEVEZETÉS 2.HAJÓELMÉLET**

- 
2. Felügyelet és jóváhagyás.
  3. Módosítások.
  4. Próbák.
  5. Garancia (sebesség, hordképesség, üzemanyag fogyasztás).
  6. A hajó átadása.
  7. Ár.
  8. Tulajdonjogok (jog a specifikációra, tervrajzokra, stb.).
  9. Biztosítás.
  10. Szerződésbontás a vásárló részéről.
  11. Szerződésbontás a szállító (építő) részéről.
  12. Garancia az átadás után.
  13. Szerződéses költségek.
  14. Szabadalmak.
  15. Szakértői és választott-bíróági utalások.
  16. A szerződés hatályba lépésének feltételei.
  17. A vásárló jogi származási helye.
  18. Átruházhatóság (a vásárló jogainak átengedése harmadik fél részére).
- Attól függetlenül, hogy a tulajdonos a hajót milyen forrásokból vásárolja meg, a fenti 7. pontban rögzített ár kifizetése előzetes kifizetések formájában történik. Az ütemezés rendszerint az alábbi:
- 10% a szerződés aláírásakor,
  - 10% az anyagok megérkezésekor a helyszínre,
  - 10% a gerincfektetés időpontjában,
  - 20% a vízrebocsátáskor,
  - 50% átadáskor.

A mostanában elfogadott korszerű hajóépítési eljárások elterjedése miatt a hajóépítő gyakran ettől eltérő fizetési ütemezést igényel olyankor, ha az építés ideje alatt a pénzforgalom megkívánja. A hajóépítőnek az is komoly gondot okozhat, ha a 3. pont szerinti módosítások, amelyet a tulajdonos kér, csak késői időpontban merülnek fel, mivel azok az átadási határidőre, a költségekre és a gyártási folyamatra negatív hatással lehetnek.

### ***A hajók méretei és alakja***

A hajótest alakja számos mérettel és elnevezéssel határozható meg, amelyekre a hajóépítés alatt és után gyakran hivatkoznak. A következő felsorolásban a legfontosabb fogalmakat találjuk.

*Hátsó függély (After Perpendicular, AP):* az a függőleges egyenes, amely oldalnézetben a vízvonalat abban a pontban metszi, ahol a kormánytőke hátsó éle a nyári merülés vonalával találkozik. Ahol nincs kormánytőke, ott a kormány szár tengelyvonalával azonos.

*Mellső függély (Forward Perpendicular, FP):* az a függőleges egyenes, amely oldalnézetben a vízvonalat abban a pontban metszi, ahol az orrtőke mellső éle a nyári terhelt merülés vonalával találkozik.

*Függélyek közötti hossz (Length Between Perpendiculars, LBP):* a mellső és hátsó függély közötti távolság (hossz) a nyári terhelt merülés vonalán mérve.

*Hajóközép (főborda):* a hátsó és mellső függély közötti távolság felénél levő pont.

*Teljes hossz (Length Overall, LOA):* a hajó hossza a legszélső hátsó és mellső pontok között mérve.

*Osztályozó intézeti hossz (pl. Lloyd's Length):* az a hosszméret, amelyet a hajó építésénél mértékadó osztályozó intézet előírásaiban a szerkezeti elemek méretének meghatározásához használunk (pl. Lloyd's Register). Ez általában ugyanaz, mint a függélyek közötti hossz, kivéve néhány külön feltételt (pl. a Lloyd's esetében kivétel, hogy nem lehet kisebb, mint a *nyári terhelt vízvonal* teljes hosszának 96%-a illetve nem kell többnek lennie, mint annak 97%-a). A hosszúnak akkor van külön jelentősége, ha a hajónak szokatlan orr- vagy fartőke kialakítása van.

*Regiszteri (hajójegyzék-) hossz:* a hajó hossza az orrtőke mellső élének legfelső pontja és a fartőke hátsó élének legfelső pontja között mérve, illetve, ha nincs a hajónak fartőkéje, akkor az utóbbi helyett a kormányoszár mellső éle értendő. Ha a hajónak sem fartőkéje, sem kormányosára nincs, akkor a hátsó végpont a hajó tatjának leghátsó pontja. Ez a hossz a hivatalos hossz annak az államnak a hajójegyzékében, amelynek zászlója alatt közlekedik, és ez jelenik meg a hivatalos okmányokban, amelyek a tulajdonosi viszonyt és egyéb kapcsolatot igazolják a hajó működésére vonatkozóan. A másik ilyen fontos hosszérték, amelyet *IMO Length* néven emlegetnek. Ez a hossz jelenik meg számos nemzetközi egyezményben, mint pl. a terhelt merülési vonal (Load Line), köbözési (Tonnage) és SOLAS egyezmények, és ezek az egyezmények ezen a hosszértéken keresztül alkalmazhatóak a hajóra. Úgy definiálják, hogy 96%-a azon a vízvonalon mért teljes hajóhossznak, amely a legkisebb oldalmagasságú pontnál a gerinc felső élétől mérve az oldalmagasság 85%-ánál helyezkedik el, vagy pedig ugyanezen a vízvonalon az orrtőke mellső vonalától a kormányoszár tengelyvonaláig mérve, amelyik a nagyobb. Azoknál a hajóknál, amelyek gerince ferde, azt a vízvonalat, amelyen ezt a hosszat mérik, a tervezési (konstrukciós) vízvonallal párhuzamosnak kell venni.

*Sablonméreteket* (rajzpadlás-méreteket) gyakran emlegetnek utalásokban; acélhajóknál ezek a méretek a héjlemezekben belül értendők.

*Alapvonal (Base Line):* az a vízszintes vonal a hajó középsíkjában, amely a gerinclemez felső oldalával esik egybe. Az összes függőleges sablonméret erre a vonalra van vonatkoztatva.

*Teljes (sablon) szélesség:* ez a méret a hajónak a hajóközépen mért legnagyobb szélessége.

*Teljes (sablon) merülés:* a nyári terhelt vízvonal magassága az alapvonal felett a hajóközépen mérve.

*Teljes (sablon) oldalmagasság:* a felső fedélzeti merevítő felső élének magassága az alapvonal felett a hajóoldalnál a hajóközépen (főbordán) mérve.

*Maximális szélesség:* a hajó teljes szélessége a legszélső pontok között mérve.

*Maximális merülés:* a nyári terhelt vízvonal magassága a gerinc legalsó pontja felett. A merülési mércék a maximális merülést mutatják.

---

*Maximális oldalmagasság:* a felső fedélzet magassága a gerinc legalsó pontja felett a hajó oldalánál.

*Félszélesség:* abból kiindulva, hogy a hajótest a középső hosszúsíkra vonatkoztatva szimmetrikus, gyakran előfordul, hogy az egyes metszeteknél csak a félszélesség van megadva.

*Szabadoldal:* függőlegesen mérhető távolság a hajó oldalánál a nyári terhelt vízvonallal (ill. üzemi merülés) és a szabadoldal-fedélzet között. A szabadoldal-fedélzet általában a legfelső olyan teljes fedélzet, amely az időjárás viszontagságainak ki van téve, és amely az összes nyílásnál állandóan lezárható zárószervezetekkel rendelkezik, azonkívül az alatta levő valamennyi olyan nyílás, amely a hajó oldalán helyezkedik el, vízmentes zárószervezettel rendelkezik.

*Fedélzet oldalvonala (sprung, sheer):* a fedélzet oldalvonalának görbéje oldalnézetben. Adott bordametszetnél vett értékét az a különbség adja ki, amennyivel ott a fedélzet szélének magassága nagyobb a hajóközépnél mért magasságnál.

*Fedélzet domborulata (bucht, camber):* a fedélzet magasságának görbéje keresztirányban. Adott bordametszetnél vett értékét az a különbség adja ki, amennyivel a fedélzet magassága a hajó szimmetriasíkjában nagyobb a hajó szélénél mért magasságnál.

*Fenekferdeség:* a fenék vonalának keresztirányú ferdesége az alapvonalhoz képest a főbordánál. Ez az érték sablonméret.

*A gerinc félszélessége:* a hajófenék héjlemezből a hosszanti szimmetriasíokban levő vízszintes csík félszélessége a szimmetriasíktól balra vagy jobbra mérve. Ez az érték a szárazdokkban bír jelentőséggel.

*Behajlás:* a hajóoldal héjlemezének befelé mérhető eltérése a nyári terhelt vízvonallalhoz képest a vízvonal felett.

*Kihajlás (tulipánosság):* a hajóoldal héjlemezének kifelé mérhető eltérése a vízvonallalhoz képest a vízvonal felett. Ez a jellemző megakadályozza a hullámozó víz feljutását a fedélzetre, és a hajó mellső részével kapcsolatos.

*Orrtőke előrehajlása:* az orrtőke vonalának eltérése a függőlegetől.

*Gerincferdeség:* a gerincvonal eltérése a vízszintestől. A trawler (vonóhálós halászhajó) és vontató típusoknál a gerinc gyakran ferdére van kialakítva, hogy hátul nagyobb merüléssel biztosítani lehessen a megfelelő átmérőjű hajócsavar beépítését, mivel ezeknél a hajóknál a fajlagosan nagyobb teljesítmény ezt igényli. Kisebb hajóknál a fordított ferdeség is előfordul, hogy a hajócsavar sérülésének megakadályozása érdekében azt magasabban lehessen elhelyezni.

*Közbenső fedélzet magassága:* egymás felett elhelyezkedő fedélzetek közötti függőleges távolság a hajóoldalon a fedélzeti merevítők felső éle között mérve.

*Hengeres középrész:* az a hossz a hajóközépen, ahol a főborda-metszethez képest a keresztmetszetben nincs alak- és méretváltozás.

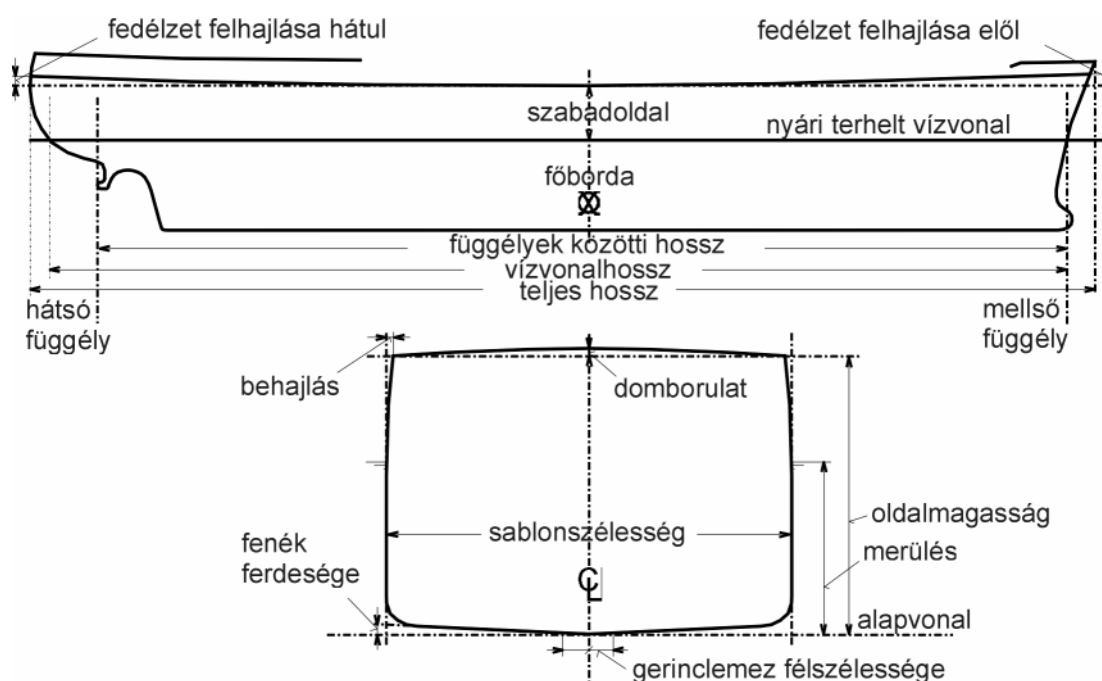
*Orrész (hajó mellső része):* a hajótestnek a hengeres középrész előtt elhelyezkedő vízbemerült része.

*Farrész (hajó hátsó része):* a hajótestnek a hengeres középrész mögött levő vízbemerült része.

*Regisztertonna (Tonnage, köbtartalom):* erre a mennyiségre gyakran utalnak a hajó méretével kapcsolatban, a bruttó regisztertonnát az osztályozó intézet (pl. Lloyd's Register) határozza meg. A regisztertonna a hajó zárt belső térfogatát érzékelteti (eredetileg egy tonna 100 köblábnak felelt meg, azaz kb.  $2,83 \text{ m}^3$ -nek).

*Hasznos terhelés (Deadweight):* a hasznos terhelés a hajó üres súlya és a terhelt vízvonalhoz tartozó vízkiszorítás súlyának különbsége, azaz a szállított áru súlyán kívül az üzemanyag, az ellátmány, a ballasztvíz, az ivóvíz, a személyzet és az utasok, illetve a csomagok súlyát foglalja magában. Fontos megjegyezni, hogy a tankhajóknál a hasznos terhelést metrikus helyett 'long ton' mértékegységben fejezik ki (1 lon ton = 2240 font súly, azaz 1016,0469088 kg tömeg súlya).

A következő ábra szemlélteti a fenti méretek közül néhánynak a jelentését.



2.2.2 ábra a hajó alakjára vonatkozó fontosabb méretek jelentése



---

### 2.2.1 Modellkísérletek

A hajók haladásával szembeni ellenállás, amelyet a víz fejt ki a mozgás ellenében, olyan kérdés, amely már a géphajózás kora előtt is foglalkoztatta a hajók elméletével foglalkozó szakembereket. A legkisebb ellenállású hajótest kialakítására irányuló törekvés központi helyet foglalt el a hajótervezők agyában. Már a tizenkilencedik század elejétől kezdve próbálta sok élenjáró és nem annyira élenjáró elméleti és gyakorlati szakember megtalálni azokat a hidrodinamikai törvényszerűségeket, amelyek lehetővé tették volna számukra, hogy kiszámíthassák a vízben mozgó hajótest ellenállását, és azt összefüggésbe hozni a hajótest jellemzőivel. Annak ellenére, hogy számos elmélet látott napvilágot, amelyek kidolgozói azt állították, hogy megoldották a legkisebb ellenállású hajótestforma problémáját, ezek egyike sem állta ki az idő próbáját, és nincsenek összhangban a modern hidrodinamika elveivel. Nagyon valószínű, hogy az állandóan a messzeségbe vesző és nagyon keresett „legkisebb ellenállású alak” csak álom volt. A hajótervezők és hidrodinamikai szakemberek végül arra a következtetésre jutottak, hogy a hajók ellenállásának komplex problémáját csak akkor lehet megoldani, ha kombinálják az elméletet és a gyakorlati módszereket. Korábban a hajók jó vagy nem megfelelő viselkedése különböző viszonyok között nagyban attól függött, mennyire voltak jó tengerészek a hajót irányító tisztek és a legénység tagjai. Két különböző felfogású irányító tiszt alatt ugyanaz a hajó más és más teljesítményt nyújtott eltérő időjárási viszonyok között. Ez megkövetelte, hogy a hajótervezők, ha sikerekre pályáztak, támaszkodjanak a gyakorlatra és a tapasztalatokra. A tizenkilencedik század meghozta a gépi meghajtást, ami igazi kihívást jelentett a hajótervezőknek. Már lehetőségük volt a meghajtó gépek teljesítményének tetszésük szerinti meghatározására, természetesen ehhez szükség volt arra is, hogy a gépészek olyan erőgépeket alkossanak, amelyek ezt a követelményt kielégítették, nemcsak a teljesítmény oldaláról, hanem sokkal inkább a megbízhatóság tekintetében. A rendelkezésre álló teljesítmény minél jobb kihasználásához a hajótervezőknek olyan eljárásokra volt szükségük, amelyekkel megbízhatóan meg lehet határozni a hajók ellenállását, és abból kiindulva kiszámíthassák a beépítendő gépek teljesítményét a hajó megkívánt üzemi sebességénél, illetve ezt követően olyan hajócsavarokat tervezzenek, amelyek ezt a teljesítményt jó hatásfokkal alakítják a hajó ellenállását leküzdő tolóerővé.

Az első megközelítések a hajó ellenállásának mérésére meglehetősen kezdetlegesek voltak, és nem járhattak komoly eredményekkel, mivel a teljes léptékű hajótest ellenállását próbálták megmérni, és így megfelelő vontatóeszköz híján a kisebb sebesség-tartományokra kellett korlátozódniuk.

A szakterület akkor kezdett tudományos alapokra helyeződni, amikor a folyadékok mechanikájának elvei megfogalmazódtak, illetve a különböző léptékű, de összevethető alakú hajó- illetve modelltesteket össze lehetett hasonlítani bizonyos egyenlőségek fennállása esetén. Ehhez dimenzió nélküli mennyiségeket kellett alkotni, amelyek a méretektől függetlenek lehetnek.



2.2.1.1 ábra Modellkísérleti vontatómedence a 20. század elején



2.2.1.2 ábra Korszerű modellkísérleti vontatómedence

---

A mai modellkísérletek már komoly felkészültségű *vontatókísérleti állomásokon* (angol kifejezéssel *towing tank*) folynak, ahol a hajó hidrodinamikai jellemzőit, beleértve a propulziós eszközöket és a *függelégeket* (kormány, stb.) is, mind mérni lehet.

### 2.2.1.1 A hajók ellenállása

Ha eltekintünk a realitásoktól, azt mondhatjuk, hogy a megtervezett új *hajó ellenállásának* megmérése az lenne a legpontosabb módszer, ha megépítenék a hajót, és zavartalan sima vízben vontatnák, miközben mérnék a vontatókötélen fellépő erőt. A kísérlet különböző sebességeknél történő elvégzése rámutatna, hogy a sebességgel azonos értelemben nő a *vontatáshoz szükséges erő*, a sebesség és erő között pedig függvényben kifejezhető összefüggés áll fenn. Az ellenállásból és a sebességből lehetne meghatározni az ellenállás legyőzéséhez szükséges teljesítményt a következő összefüggés szerint:

$$\text{teljesítmény} = \text{ellenállás} * \text{sebesség}$$

Magától értetődik, hogy az előbbi teljes léptékű megoldás nem járható út. Ha például menet közben változtatni kellene a hajótest alakján, a hajót újra meg kellene építeni. Azt még nem is említettük, hogy egészen más ellenállásértékek adódnak akkor, ha a hajót nem vontatják, hanem hajócsavar hajtja.

Ebből a szemléltetésből azonban kiderül, mi is az ellenállás. Az ellenállás az az erő, amely ahhoz szükséges, hogy a hajót adott sebességgel vontassák teljesen sima vízben. Az ezzel az ellenállással meghatározható teljesítményt *effektív teljesítmény* vagy *effektív lóerő* néven emlegetik, amely a hajótest jellemzője az adott sebességnél. Ennek meghatározására irányulnak a hajómodell kísérletek.

#### 2.2.1.1.1 Az ellenállás összetevői

A hajóépítőknek kicsinyített modellekkel végzett vontatási eredményre és azok elemzésére kell támaszkodniuk, amikor egy új tervezésű hajótestnél meg akarják találni a kapcsolatot a sebesség és az ellenállás között, hogy kellő pontossággal meg tudják határozni a hajótest teljesítmény-követelményeit. Ehhez azonban arra is szükség van, hogy megértsék a hajótest ellenállásának fizikai törvényszerűségeit, és azt a módot, ahogy a modelltől a hajóra át lehet számítani az erőket és a sebességeket.

A sima vízben mozgó hajó ellenállását több különböző áramlástechnikai jelenség okozza, amelyek komplex módon hatnak egymásra és kombinálódnak, annyira komplex módon, hogy mindeddig még a hidrodinamika elméleti szakemberei nem találtak megfelelő elméleti módszereket, amelyekkel ugyanolyan pontosan ki lehetne számítani a hajó ellenállását, mint ahogy azt *modellkísérletekkel* meghatározzák. Ugyanakkor az is igaz, hogy a probléma természete ismert, ezért az ellenállást előidéző okok szintén ismertek.

A hajók simavízi ellenállásának négy fő összetevője van, ezek mindegyike más-más áramlástechnikai jellegűen alapul.

1. *Súrlódási ellenállás*, amely arra vezethető vissza, hogy egy szilárd test felülete (a hajótest), amely egy viszkózus folyadékon keresztül mozog, magával viszi a folyadéknak egy részét, amely közvetlenül a felületnél van az úgy nevezett *határrétegen* belül. Az a hátrafelé ható erőösszetevő, amely ennek a folyadéknak a mozgásba hozásához kell, a súrlódási vagy *viszkózus ellenállás*.
2. *Hullámképző ellenállás*, amelyet az a hullámrendszer okoz, amelyet a sima vízen át haladó hajó hoz létre. Az ezeknek a hullámoknak a létrehozására fordított energia a hajó ellenállását növeli. Amikor a modellkísérlet eredményeit a hajóra számítják át, ezt *hullámképző összetevőt* összevonják a következő pontban ismertetett *örvényképző összetevővel*, és ez a kettő együtt a *maradék ellenállás*.
3. *Örvényképző ellenállás*, amelyet az okoz, hogy a víz nem képes sima áramvonalak mentén áramlani a hajótest körül olyan hirtelen alak- vagy keresztmetszet-változást jelentő függelékeknél, amilyenek pl. a fartőke, a tengelybakok vagy a kormánylapátok. Az áramlás leválik a felületről és visszafordul, ezzel örvényeket kelt, amelyek kitöltik azt a teret, amely egyébként üres lenne. Az örvények létrehozásához szükséges energia a hajótest haladással szembeni ellenállásának növekedésére fordítódik. Ugyanez történik akkor is a test hátsó részénél, ha a hajófar kialakítása az *áramvonalak* túlzottan hirtelen irányváltozását tenné szükségessé, és ezért nem képesek követni a felületet. Az utóbbi esetben ennek neve helyesen *leválási ellenállás*.
4. *Légellenállás*, amelynek súrlódási és örvényképző összetevője is van, az utóbbit a hajó vízfeletti része körül áramló levegő hozza létre.

### ***A hasonlósági törvények***

Mivel a hajó ellenállását közvetlenül nem vagyunk képesek kiszámítani, modellkísérleteket kell végezni, hogy a modell ellenállását különböző sebességértékeknél megmérjük, azután pedig a mért ellenállásértékeket át kell számítani a teljes léptékű hajótest megfelelő ellenállásértékeire azoknál a sebességértékeknél, amelyek megfelelnek a modellhez választott sebességeknek. Egy használható *modellkísérlet-sorozat*ot csak úgy lehet elvégezni és kiértékelni, ha képesek vagyunk „átkonvertálni” a méreteket, sebességeket és erőket, amelyeket a modellen mértünk, a teljes méretű hajó ezzel egyenértékű méreteire, sebességeire és erőire.

### ***Komplett fizikai egyenlőség***

A modell és a hajó közötti átszámítási szabályok, azaz a *hasonlósági törvények* megalkotásának fő elve az volt, hogy a méretek elemzését olyan funkcionális kapcsolattá dolgozzák át, amely az összes változót tekintetbe veszi, amelyektől a modell vagy a hajó ellenállása függ. Egy ilyen kapcsolatrendszer kidolgozásához nemcsak kísérletezésre van szükség, hanem intuícióra is, ezt végül is a „komplett fizikai egyenlőségnek” nevezik. A tapasztalat azt mutatta, hogy a hajó ellenállása a következő tényezők függvénye.

A hajó hossza ( $L$ )

A hajó sebessége ( $V$ )

- 
- A víz sűrűsége ( $\rho$ )
  - A víz kinematikai viszkozitása ( $\nu$ )
  - A gravitációs gyorsulás ( $g$ )
  - A hajótest alakjának paraméterei ( $C_B$ ,  $C_P$ , stb.)

A kinematikai viszkozitás ( $\nu$ ) helyett az abszolút vagy dinamikai viszkozitás ( $\mu$ ) helyettesíthető be. Ezek viszonya egymáshoz:  $\mu = \rho\nu$ . Különleges esetekben, amikor a rendkívül nagy sebesség kavitációt okozhat a hajótest egyes pontjai körül, a fenti listát ki kell egészíteni a kavitációs határértékhez tartozó víz- és vízgőz-nyomással. A szokásos ellenállásméréseknél azonban ez a körülmény nagyon ritka, ezért általában nem foglalkoznak vele. A kavitáció a hajócsavarok méretezése során nagyon fontos tényező.

Jelenleg kihagyhatjuk a hajótest tényezőit a vizsgálatból, mivel ennek az elemzésnek tárgya a modell és a hajó közötti átszámítási mód, a modell illetve hajó hasonlósága pedig azon alapul, hogy ezek a kettőnél azonosak legyenek. Ennek alapján a komplett fizikai egyenlőség a következő:

$$R = f(L, V, \rho, \nu, g)$$

ahol  $R$  a hajó vagy modell ellenállása. Ez az egyenlőség nem mutatja meg, milyen módon hatnak az egyenlet jobb oldalán levő változók az ellenállásra. Csak azt állapítja meg, hogy az ellenállás a kísérlet során azoknak a mennyiségeknek a függvénye, amelyek az egyenlet jobb oldalán vannak felsorolva. Más megfogalmazásban a komplett fizikai egyenlőség feltételezi, hogy bármelyik független változó (az egyenlet jobb oldala) értékében beálló változás magával fogja hozni az  $R$  függő változó értékének megváltozását.

Az látható, hogy a kombinációk nagy száma miatt lehetetlen lenne annyi kísérleti mérést elvégezni, hogy az összes felsorolt változó hatását az ellenállásra meg lehessen határozni. Lehet azonban csökkenteni a vizsgálandó mennyiségek számát azzal, hogy a mértékegység-elemzés módszereit alkalmazzuk a komplett fizikai egyenlőségre. A mértékegység-elemzés a mértékegységek homogenitásának elvére épül, amelynek alapján át lehet írni a komplett fizikai egyenlőséget a változók csoportosításával a következő szempontok szerint.

1. Mindegyik csoport független a többitől; azaz, egyik csoport sem hozható létre a többiek kombinálásával.
2. Mindegyik csoportban a változók mértékegysége azonos. Ennek leggyakoribb és leghasznosabb módja az, hogy az adott fizikai változókból dimenzió nélküli csoportokat alkotunk.

A mértékegység-elemzés segítségével az egyenletet a következő formába írhatjuk át:

$$R/(\rho L^2 V^2) = f(VL/\nu, V^2/gL)$$

Számos előnye van ennek az átírásnak, ezek közül kettő, hogy mivel mindegyik csoport dimenzió nélküli, a numerikus értékek egy adott kísérleten belül függetlenek lesznek a mértékrendszerektől (SI vagy amerikai), illetve a változók száma hatról háromra csökkent, sokkal kevesebb kísérlettel is célt lehet érni.

#### *Az ellenállás-tényező*

A fenti egyenletben szereplő három *dimenzió nélküli* mennyiség azonban a szokásos modellkísérleti ellenállásméréseknél általában kicsit más alakban jelenik meg. Az egyenlet baloldalán álló mennyiség, amelyben az ellenállás benne van, ellenállás-tényező néven ismert. A  $\rho L^2 V^2$  mennyiség erő mértékegységgel bír, mivel pedig  $L^2$  mértékegysége felületnek fele meg,  $\rho V^2$  nyomás megfelelője. A *torló-nyomásnak*, amelyet " $\rho V^2$ " alakban lehet kifejezni, különleges hidrodinamikai fontossága van. Ez a nyomás mérhető a *torló-ponton*, azaz egy áramlásba helyezett tompa test „orránál”. A torló-nyomás egy olyan felülettel megszorozva, amely az adott áramlási helyzetben jellemző és jelentéssel bír, referenciaerőként használható számos dimenzió nélküli tényező definíciójánál, amilyenek pl. az ellenállás-tényezők a folyadékok mechanikájában. A hajótest ellenállásának tanulmányozásánál a jellemző felület a hajótest *nedvesített felülete* ( $S$ ). Így a hajó ellenállás-tényezőjének elfogadott formája:

$$C = R/((\rho/2)SV^2)$$

#### *A Reynolds-szám*

Az egyenlet jobboldalán álló két dimenzió nélküli szám közül az első a víz viszkozitását tartalmazza, ezért az a súrlódási ellenállással hozható összefüggésbe. A Reynolds-szám ( $R_n$ ) az, amely a kinematikai vagy abszolút viszkozitás felhasználásával írható fel:

$$R_n = VL/\nu = \rho VL/\mu$$

#### *A Froude-szám*

Az egyenlet jobboldalán álló másik dimenzió nélküli számban szerepel a gravitációs gyorsulás ( $g$ ), ami azt érzékelteti, hogy a hullámképző ellenállással van kapcsolatban, hiszen a hajó által keltett *hullámsor hullámhegyei* a gravitációs erő ellenében keletkeznek. A mennyiség négyzetgyöke Froude-szám ( $F_n$ ) néven ismert, névadója *William Froude*, aki az első olyan szakember volt, aki megbízható eljárást dolgozott ki a modellekkel végzett ellenállásmérésekre és az eredmények átszámítására a teljes léptékű hajótesten. A Froude-szám definíciója:

$$F_n = V/(gL)^{1/2}$$

Ezzel az eredeti dimenzió nélküli egyenletet a következő szimbolikus formában fejezhetjük ki:

$$C = f(R_n, F_n)$$

Sajnos, bár a komplett fizikai egyenlőséget sikerült egyszerűbbé tenni, a fenti egyenletben szereplő  $f$  függvény jellege még mindig ismeretlen. A mértékegység-elemzés nem képes numerikus válaszokat adni, azt sem mutatja meg, hogyan függ az ellenállás a Froude- és a Reynolds-számtól. Van azonban kiút. A legutolsó egyenletből ugyanis az következik, hogy ha a Froude- és a Reynolds-számok azonosak a modell és a hajó (illetve bármely geometriailag hasonló más léptékű test) esetében, ellenállástényezők is azonosak lesznek az  $f$  függvény alakjától függetlenül. Azt kell még megvizsgálni, milyen korlátozásokat fog ez jelenteni a modellkísérlet elvégzésénél.

### *Hasonló sebességek*

A *modell* és a hajó geometriai hasonlóságát tételezzük fel, és az  $M$  ill.  $S$  indexek a modellt és a hajót (ship) jelentik. A lineáris lépték ( $\lambda$ ) az a szám, amely a hajó és a modell méreteinek egymáshoz viszonyított arányát mutatja:

$$\lambda = L_S/L_M = B_S/B_M = T_S/T_M, \text{ stb.}$$

Ez azt jelenti, hogy Froude-szám a hajónál és a modellenél azonos:

$$F_{nS} = F_{nM}$$

$$(V/(gL)^{1/2})_S = (V/(gL)^{1/2})_M$$

$$V_S/V_M = (g_S L_S)^{1/2} / (g_M L_M)^{1/2}$$

Mivel pedig a gravitációs gyorsulás azonos a hajó és a modell esetében,

$$V_S/V_M = (L_S/L_M)^{1/2} = \lambda^{1/2}$$

Tehát amikor a modellt ugyanazon a Froude-számon akarjuk vontatni, mint ami a hajónál érvényes, az megszabja a modell sebességét. Az a sebesség, amellyel a modellt vontatni kell, az alábbi képletből számítható ki:

$$V_M = V_S / \lambda^{1/2}$$

Ez az egyenlet azt fejezi, amit Froude „hasonló sebességeknek” nevezett a hajó és modell viszonyában, bár ő eredetileg más úton jutott el az eredményhez. Ő a *hullámképet* figyelte meg, amelyet a hajó létrehoz egy adott sebességnél, és a geometriailag hasonló modellt különböző sebességekkel vontatta meg, amíg csak ki nem alakult a modellenél a hajónál megfigyelt hullámkép. Ez akkor történt, amikor „a hajó és a modell sebességének aránya lineáris méreteik arányának négyzetgyöke” volt. Dimenzió nélküli alakokkal 1868-ban nem bajlódott. Munkájában és azóta is számos kutatóéban (pl. *Taylor standard modell-sorozatainak* kiértékelésekor) a hasonló sebesség elvét a hajó és a modell között a  $V_K/L^{1/2}$  kifejezés rögzítette. Ez a mennyiség a

*sebesség-hossz viszonyyszám*, és kizárólag *csomó* és *láb* mértékegységben létezik. A dimenzió nélküli Froude-számot a kutatóról munkája fontosságának elismeréseként nevezték el.

#### *Dinamikai hasonlóság*

Mielőtt rátérnénk a Reynolds-szám egyenlőségére a hajó és a modell esetében, nézzük, hogyan fogják a fentiek szerint kiszámított hasonló sebességek meghatározni az ellenállás átszámítását a hajó viszonyaira. A korábbi állítás az volt, hogy ha a modell és a hajó Froude- és Reynolds-száma megegyezik, ellenállás-tényezők is azonosak lesznek. Tehát,

$$(R/(\rho S V^2))_S = (R/(\rho S V^2))_M$$

Vagyis, az ellenállás átszámításánál az arány:

$$R_S/R_M = (\rho_S/\rho_M)(S_S/S_M)(V_S/V_M)^2$$

A geometriai hasonlóság miatt a megfelelő felületek, térfogatok és vízkiszorítások esetében az átszámítási arányok a következők:

$$S_S/S_M = (L_S/L_M)^2 = \lambda^2$$

$$V_S/V_M = (L_S/L_M)^3 = \lambda^3$$

$$\Delta_S/\Delta_M = (\rho_S g V_S)/(\rho_M g V_M) = (\rho_S/\rho_M)\lambda^3$$

illetve Froude sebesség-hasonlósági arányából:

$$(V_S/V_M)^2 = L_S/L_M = \lambda$$

Az ellenállás hasonlósági arány tehát ezek felhasználásával

$$R_S/R_M = (\rho_S/\rho_M)(S_S/S_M)(V_S/V_M)^2 = (\rho_S/\rho_M)\lambda^2\lambda = (\rho_S/\rho_M)\lambda^3$$

Az ellenállás hasonlósági aránya tehát azonos a vízkiszorítás tömegénél és súlyánál érvényes aránnyal (a  $g$  ugyanis állandó):

$$R_S/R_M = \Delta_{mS}/\Delta_{mM} = \Delta_S/\Delta_M$$

Ez az egyenlet a modell és a hajó *dinamikai hasonlóságának* kifejezése. Tehát egy erő hasonlósága a hajó és a modell között független attól, milyen típusú erőről van szó.

#### *Modellsebességi paradoxon*



Az előző elemzés a dinamikai hasonlóságról még nem teljes, mivel a viszkózus ellenálláserőket még nem vettük figyelembe. Nézzük, milyen következményekkel jár, ha a hajó és a modell Reynolds-számaikat vesszük azonosnak.

$$R_{nS} = R_{nM}$$

$$(VL/\nu)_S = (VL/\nu)_M$$

$$V_S/V_M = (L_M/L_S)(\nu_S/\nu_M)$$

A *modellkísérleti medencében* levő víz nem tökéletesen ugyanolyan, mint amelyben a hajó közlekedik (édesvíz ill. tengervíz, eltérő hőmérsékletek), *viszkozitásuk* azonban majdnem azonos, így a sebességek hasonlósági aránya megközelítően:

$$V_S/V_M = (L_M/L_S) = 1/\lambda$$

ami azt követeli meg, hogy a modell sebessége nagyobb legyen, mint a hajóé:

$$V_M = V_S \lambda$$

Tehát a dinamikai hasonlósághoz ez lenne a modellkísérlet feltétele akkor, ha a viszkózus ellenálláserőket is figyelembe akarnánk venni. Azonnal nyilvánvalóvá válik, hogy az a feltétel, amikor a modell sebességének nagyobbnak kell lennie, mint a hajóé, ellentétben van a hasonló sebességre vonatkozó szabállyal, amelyet a Froude-szám azonos értékűre választásával alkottunk meg a hajó és a modell esetében. Tehát *nem lehet a modellkísérletek során a teljes dinamikai hasonlóságot megvalósítani*, mert egyidejűleg nem lehet azonos a hajónál és a modellenél mind a Froude-, mind a Reynolds-szám. A probléma megfogalmazása más szavakkal: más *hasonlósági arány* áll fenn a hajó és a modell között a hullámképzés miatt fellépő ellenállás (Froude kritérium) illetve a súrlódás miatt ébredő ellenállás (Reynolds kritérium) erői esetében. Ennek a ténynek a figyelmen kívül hagyása a kísérletek kiértékelése során nagyon sokszor vezetett megbízhatatlan adatokhoz a teljesítményigény meghatározásánál. Amellett, hogy az a sebesség, amelyet a Reynolds-szám azonossága megkövetelne, eltér Froude hasonló sebességétől, a gyakorlatban előforduló modell léptékek esetében ilyen sebesség megvalósíthatatlan. A 20 láb hosszú modell méretaránya például, amelyet egy 720 láb hosszú hajóhoz készítenek,  $\lambda = 720/20 = 36$ . Ha ezt a modellt a hajó 24-csomós üzemi sebességének megfelelő Reynolds-szám azonossághoz tartozó sebességével akarnák vontatni, az így kapott sebesség a modellen  $V_M = 24 \times 36 = 864$  csomó lenne! Ugyanakkor a hasonló sebesség a Froude hasonlóság alapján  $V_M = 24/(36)^{1/2} = 4$  csomó, ami tökéletes a modell számára a kísérleti medencében.

#### *Froude hipotézise*

Már látható, hogy nincs lehetőség mind a Froude-, mind a Reynolds-szám azonossá tételére a hajó és a modell esetében a modellkísérlet során, tehát nem lehet azt állítani,

hogy a teljes ellenállás tényezője azonos lenne a hajónál és a modellnél. Vissza kell tehát lépünk, és a korábban felírt képletben szereplő  $f$  függvény jellegét meg kell határoznunk. Bár tudjuk, hogy nem teljesen igaz, feltételezhetjük, hogy az ellenállásnak csak két összetevője van, ezek egyike a Froude-szám függvénye, a másik pedig a Reynolds-számé. Ez a feltételezés tulajdonképpen a modern változata annak, amit Froude hipotézise néven ismerünk, mivel William Froude volt az első, aki ezzel jelentkezett, és bebizonyította, hogy ez lehet egy megbízható modellkísérleti eljárás alapja. Froude intuitív látásmódja és gyakorlatias megközelítése egy nehéz probléma megoldására különösen azért figyelemre méltó, mert az ő tevékenysége megelőzte Reynolds munkásságát, így nem is tudott a súrlódási ellenállás és a Reynolds-szám kapcsolatáról.

Froude hipotézise szerint az ellenállás két összetevője a súrlódási ( $R_F$ ) és a maradék ( $R_R$ ) ellenállás. A maradék ellenállást egyszerűen úgy határozta meg, hogy az, ami marad, ha a súrlódási ellenállást levonjuk a *teljes* ( $R_T$ ) *ellenállásból*. Tehát ebben van hullámképző és örvényképző ellenállás. Froude azt is feltételezte, hogy az ő „hasonló sebességei” és az így kiadódó ellenállás hasonlósági arány csak a maradék ellenállásra érvényes. Azaz úgy gondolta, hogy

$$\text{ha } V_S/V_M = (L_S/L_M)^{1/2} \qquad \text{akkor } R_{RS}/R_{RM} = \Delta_S/\Delta_M$$

Ez a feltételezés tökéletesen korrekt lenne, ha a maradék ellenállást kizárólag a hullámképzés hozná létre. Ezt a pontosságot rontja, hogy tartalmaz örvényképző ellenállást is, mivel azonban a hullámképző ellenállás általában sokkal jelentősebb mértékű, mint az örvényképző ellenállás, az ellenállás összetevőinek ezt az egyszerűsített sémáját kielégítőnek találták a modellkísérleti eredmények elemzésekor. A benne rejlő hibát egy korrekció (*modell-hajó korrelációs korrekció*) hozzáadásával küszöbölik ki Froude hasonlósági szabályának modern alkalmazása során, bár az alapvető eljárás ugyanaz, amit Froude kidolgozott. A teljes ellenállás ezzel:

$$R_T = R_F + R_R$$

illetve dimenzió nélküli alakban, ha mindegyik tagot elosztjuk az  $\rho S V^2$  kifejezéssel:

$$C_T = C_F + C_R$$

ahol  $C_T = R_T / \rho S V^2$  = teljes ellenállás tényezője

$$C_F = R_F / \rho S V^2 = \text{súrlódási ellenállás tényezője}$$

$$C_R = R_R / \rho S V^2 = \text{maradék ellenállás tényezője}$$

A súrlódási és maradék ellenállás a feltételezés szerint egymástól függetlenek, a  $C_F$  függvénye a Reynolds-számnak, a  $C_R$  pedig a Froude-számnak. Tehát, ha funkcionálisan fejezzük ki az egyenletet:

$$C_T = C_F + C_R = f_1(R_n) + f_2(F_n)$$

#### ***A modell ellenállásának átszámítása a hajóra***

Az egyetlen mennyiség a fenti egyenletben, amelyet a modellkísérletből meg lehet határozni, az kizárólag a  $C_T$ , mert a modell vontatása során mért vontatási erő a teljes ellenállás ( $R_T$ ). Azonban arra szükség van, hogy a  $C_R$  értékét a modellenél meghatározzuk, hogy az eredményeket átszámíthassuk a hajóra, ugyanis a  $C_R$  az a mennyiség, amely azonos a hajónál és a modellenél, amennyiben a modellt a megfelelő Froude-számnál vontatták meg. Sem az  $R_F$ , sem az  $R_R$  értéke nem mérhető közvetlenül, így, hogy a  $C_T$  felosztható legyen két összetevőjére, a  $C_F$  meghatározását a modellkísérletről függetlenül el kell végezni, és akkor már a  $C_R$  kiadódik a  $C_F$  levonásával a  $C_T$  értékéből. Sok kutatás irányult arra, hogyan lehet megoldani a  $C_F = f_1(R_n)$  függvényt úgy, hogy az mind a modellekre, mind a hajókra érvényes eredményt adjon. Az eredményül kapott közelítő képleteket, amelyek *felületi súrlódási formulák* vagy *modell-hajó korrelációs görbék* néven ismeretesek, a súrlódási ellenállás részletes ismertetésénél láthatjuk.

A következő lépéseket kell elvégezni ahhoz, hogy a teljes léptékű hajó ellenállását a modellkísérleti adatok átszámításával meg lehessen határozni. A hajó geometriailag hasonló modelljének léptéke  $\lambda$ , és a hajó megkívánt sebessége  $V_S$ .

1. A modellt meg kell vontatni a hasonló sebességgel,

$$V_M = V_S/\lambda^{1/2}$$

és a modell vontatási erejét mérni kell ( $R_{TM}$ ).

2. Ki kell számítani a modell teljes ellenállás-tényezőjét,

$$C_{TM} = R_{TM}/(\rho_M S_M V_M^2)$$

3. Ki kell számítani a modell Reynolds-számát

$$R_{nM} = V_M L_M / \nu_M$$

és a modell súrlódási ellenállás-tényezőjét

$$C_{FM} = f(R_{nM})$$

valamelyik felületi súrlódási formula használatával.

4. Ki kell számítani a modell maradék ellenállás-tényezőjét  $C_{RM}$  kivonással:

$$C_{RM} = C_{TM} - C_{FM}$$

5. A hasonlóság törvénye alapján a  $C_R$  a hajónál és a modellenél megegyezik:

$$C_{RS} = C_{RM}$$

6. Ki kell számítani a hajó Reynolds-számát ( $R_{nS}$ ) és a hajó súrlódási ellenállás-tényezőjét ( $C_{FS}$ ) a 3. lépésben a modellre leírt módon.
7. Ki kell számítani a hajó teljes ellenállás-tényezőjét összetevőinek összeadásával, és hozzá kell adni a korrelációs korrekciót ( $C_A$ ), ami annak helyesbítésére szolgál, hogy feltételezésünk szerint csak két összetevő van, illetve a hajótest valóságos érdességének figyelembe vételére. A  $C_A$  értékeiről később lesz szó.

$$C_{TS} = C_{FS} + C_{RS} + C_A$$

8. Ki kell számítani a hajó teljes ellenállását:

$$R_{TS} = C_{TS}(\rho_S S_S V_S^2)$$

A későbbiekben erre elvégzünk egy számítást szemléltetésképpen.

#### **2.2.1.1.1.1 Súrlódási ellenállás**

Ahhoz, hogy a hajótest ellenállását pontosan meg tudjuk határozni a modellen mért ellenállásnak a hajóra való átszámításával, az a legfontosabb, hogy mind a modellenél, mind a hajónál ki tudjuk számítani a súrlódási ellenállást. Az ezen a területen végzett kutató munka már komoly eredményeket hozott a súrlódási ellenállás természetének megismerésében, de mindeddig még nem sikerült olyan kielégítő elemző vagy elméleti módszert kifejleszteni, amellyel meg lehetne határozni a folyamatban érintett erőket anélkül, hogy méréseket kellene végezni. Az összes ma is használatos formula, amely a súrlódási ellenállásra vonatkozik, azokon a mérési eredményeken alapul, amelyeket vékony sík lemezekkel vagy deszkákkal végeztek.

#### ***Froude síklemez mérései***

Az első ilyen síklemez méréseket Froude végezte el az 1860-as években, aki úgy gondolta, hogy a hullámképzés nélküli alak legjobb megvalósítása egy vékony lemez, így ennek teljes ellenállása súrlódási természetű. A lemez „egyenértékű” volt az adott modellel, ha annak hosszával és nedvesített felületével azonos paraméterű volt, és azzal azonos sebességgel vontatták. Fából készített lapokat alkalmazott, méreteik: 19 hüvelyk (0,4826 m) magasság és 3/16 hüvelyk (0,0047625 m) vastagság, a hossz pedig 2 és 50 láb (0,6096 és 15,24 m) között változott, a lapok különféle bevonatokkal készültek. Az ellenállást mechanikus szerkezetű dinamométerrel mérte 0 és 800 láb/min (4,064 m/s) sebességértékek között. Felismerte, hogy a felületi érdesség is befolyásolhatja a súrlódási ellenállást, ezért különböző bevonatokat próbált ki, ezek között sima lakkot,

pamuttextilt és különböző érdességű, homokkal bevont felületeket. A mérésnél a lapok legnagyobb hossza 50 láb (15,24 m) volt, hogy az eredményeket a teljes léptékű hajókra is ki lehessen terjeszteni.

**Froude súrlódási formulája.** Froude síklemez mérései és átszámításai, amelyeket tovább tökéletesítettek a fia, R. E. Froude által végzett lemezmérések és finomítások, a súrlódási ellenállás következő képletéhez vezettek:

$$R_F = fSV^n$$

Ahol  $R_F$  = súrlódási ellenállás, font  
 $S$  = a lemez nedvesített felülete, négyzetláb  
 $V$  = a lemez sebessége, csomó

Ebben az eredeti alakjában az egyenlet, ahogy William Froude közzétette, két olyan mennyiséget tartalmazott ( $f$  és  $n$ ), amelyeket a kísérletekből kellett meghatározni, és amelyekről bebizonyosodott, hogy funkcionális kapcsolatban vannak a lemez hosszával és a felület fajtájával és érdességével. A súrlódási együttható ( $f$ ) a hossz növelésével csökkent, és általában nőtt az érdesség növekedésével. A sebesség kitevőjéről ( $n$ ) az derült ki, hogy nő a felületi érdességgel, azonban nagyon kevésbé befolyásolta a hossz.

2.2.1.1.1.1 táblázat R. E. Froude súrlódási ellenállási együtthatói édes- és sós vízben

Hajó vagy modell hossza lábban	f értékei édesvízre	f értékei sós vízre	Hajó vagy modell hossza lábban	f értékei édesvízre	f értékei sós vízre
5	0,012270	0,012585	40	0,009546	0,009791
6	,012036	,012345	45	,009448	,009691
7	,011824	,012128	50	,009366	,009607
8	,011633	,011932	60	,009238	,009475
9	,011457	,011751	70	,009147	,009382
10	,011289	,011579	80	,009076	,009309
11	,011137	,011423	90	,009020	,009252
12	,011000	,011282	100	,008976	,009207
13	,010872	,011151	120	,008906	,009135
14	,010757	,011033	140	,008857	,009085
15	,010651	,010925	160	,008819	,009046
16	,010558	,010829	180	,008790	,009016
17	,010473	,010742	200	,008767	,008992
18	,010394	,010661	250	,008719	,008943
19	,010325	,010565	300	,008679	,008902
20	,010261	,010522	350	,008644	,008867
21	,010206	,010452	400	,008611	,008832
22	,010152	,010413	450	,008582	,008802
23	,010101	,010361	500	,008556	,008776

## BBBZ-kódex

24	,010055	,010311	550	,008531	,008750
25	,010010	,010269	600	,008507	,008726
26	,009968	,010224	700	,008463	,008680
27	,009927	,010182	800	,008423	,008639
28	,009887	,010139	900	,008389	,008608
29	,009850	,010103	1.000	,008359	,008574
30	,009816	,010068	1.100	,008334	,008548
35	,009660	,009908	1.200	,008310	,008524

A táblázat értékeit első alkalommal a modellkísérleti intézetek igazgatóinak 1935-ben Párizsban tartott nemzetközi kongresszusán hozták nyilvánosságra.

A későbbiekben R. E. Froude másokkal együtt olyan finomításokat alkalmazott, ahol a sebesség állandó kitevőjű hatványban szerepelt, a kitevőt 1,825 értékűre választották ki, a súrlódási együtthatóra pedig egy tapasztalati képletet alkottak meg, ami a következő egyenleteket eredményezte:

$$R_F = fSV^{1.825}$$

ahol amerikai mértékegységekben (font, láb, csomó)

$$f = 0,00871 + 0,0530/(L+8,8) \quad [\text{tengervíz}]$$

$$f = 0,00849 + 0,0516/(L+8,8) \quad [\text{édesvíz}]$$

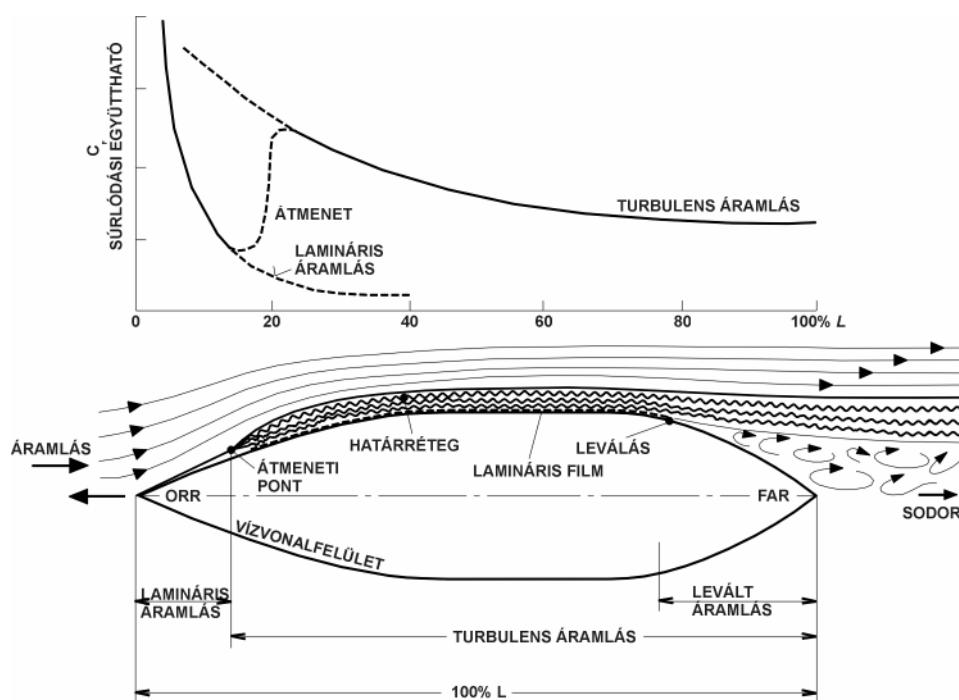
Az  $f$  súrlódási együttható ezen értékei 15°C (59°F) hőmérsékletű vízre vonatkoztak, amit standard feltételként fogadott el az *International Towing Tank Conference* (ITTC, nemzetközi modellkísérleti konferencia). A standard értéktől eltérő hőmérsékleteknél a súrlódási együtthatót csökkenteni kell 0,43%-kal minden +1°C, vagy 0,24%-kal minden +1°F esetén.

A fenti Froude súrlódási formula széles körben elfogadott és alkalmazott volt a *modellkísérleti intézeteknél* a 20. század első felében. Néhány intézet azonban új síklemez méréseket végzett, és a további elemzésből származó hatalmas tömegű kísérleti eredmény alapján a súrlódási együtthatót módosította, az általuk használt képletek azonban megtartották a korábbi alakot, mivel az bizonyult az egyetlen praktikus eszköznek a hajótestek súrlódó ellenállásának meghatározásához.

### **Lamináris és turbulens áramlás**

Néhány évvel a Froude által végzett síklemez mérések befejezése után *Osborne Reynolds* fontos felfedezést tett a felületek mentén létrejövő folyadékáramlás természetéről. Amikor Reynolds üvegcsőben tanulmányozta a folyadékok áramlását, két eltérő típusú áramlást figyelt meg, illetve, ahogy ő nevezte, áramlási tartományt, amelyeket lamináris és turbulens áramlásnak nevezett el. Reynolds megfigyelte, hogy

amikor vékony sugárban festéket juttatott be a vízbe, amely az üvegcsőben áramlott, kis sebességnél a festékszál egyenes vonal mentén haladt, és egyáltalán nem keveredett el a körülötte áramló vízzel, vagy csak nagyon kis mértékben. Az ilyen áramlásnak a *lamináris áramlás* nevet adta, mert a folyadék áramvonalai szemmel láthatóan rétegekben megmaradtak. Nagyobb sebességeknél azonban a festékszál elkezdett szétszórni és keveredni a körülvevő vízzel. Ennek az áramlástípusnak a neve *turbulens áramlás*, mert a folyadék áramvonalai rendszertelen örvényeket alkotnak. Reynolds meghatározott egy *kritikus sebességet*, amely felett a lamináris áramlás nem képes fennmaradni, és az átmeneti (részben lamináris, részben turbulens) áramlási szint felett a turbulens áramlás dominál. Ezen kívül az áramlással szembeni ellenállásra a két



2.2.1.1.1.1.1 ábra Lamináris és turbulens áramlás hajótestnél  
áramlási típusnál eltérő is törvények vonatkoznak. Lamináris áramlásnál a súrlódási ellenállás kevésbé függ a sebességtől, mint turbulensnél. A lamináris áramlás átalakulása turbulenssé függ a folyadék sebességétől, a folyadék viszkozitásától (így közvetve a hőmérséklettől, valamint a cső átmérőjétől). Azaz van olyan *kritikus Reynolds-szám* ( $VD/\nu$ ), amelynél a lamináris áramlás átalakulása turbulenssé bekövetkezik.

Ennek a felfedezésnek az volt a közvetlen hatása a hajómodellek és síklemezek súrlódási ellenállásának kutatására, hogy valamennyi kísérletet a turbulens áramlási tartományban kell végezni, mert a hajók esetében a Reynolds-számok olyan nagyságrendbe esnek, amely jóval meghaladja a kritikus értékeket. Amennyiben a lamináris áramlás is jelen van a modell- vagy síklemez-kísérletek során, nem lesz pontos a modellkísérleti eredmények átszámítása a hajó léptékére.

Froude tapasztalati formuláit jó eredménnyel alkalmazták a súrlódási ellenállás kiszámítására éveken keresztül modelleknél és hajóknál egyaránt, ennek ellenére vannak elméleti fenntartások velük szemben (amelyek már kivédhetőek a modern súrlódási formulák alkalmazásával). A fő ellenérvek a következők.

1. A formula nincs összhangban a mértékegység-elemzés eredményeivel, amelyek azt mutatják, hogy a súrlódási ellenállásnak függvénykapcsolatban kell lennie a modell vagy a hajó Reynolds-számával.
2. A kisebb és simább lemezekkel végzett mérések közül néhánynál lamináris volt az áramlás, így a kisebb modellek esetében a számított súrlódási ellenállás várhatóan túl kicsi.
3. Az  $f$  együtthatók feltételezések szerint sima hajótesthez tartoznak, ha modellekre alkalmazzuk őket, hajóknál pedig a frissen festett új acél hajótesthez. A felületminőség hatásának vizsgálata hajótesteknél arra mutat, hogy Froude súrlódási értékei hajóknál túl magasak. A modern formulák a sima hajótest súrlódási ellenállását adják ki, és külön korrekciót alkalmaznak a felületminőségre és a bevonat fajtájára.
4. A súrlódási tényezők meghatározására szolgáló síklemez-mérések elemzésénél két láb és ötven láb közötti hosszúságú táblákat használtak. Az 50 és 1.200 láb közötti hajóhosszokhoz tartozó együtthatókat mindig ezeknek a hossz szerint korlátozott mérések extrapolációjával határozták meg.

### ***Modern súrlódási formulák***

Számos súrlódási formulát dolgoztak ki Froude síklemez-mérési képlete helyett. Ezek a modern képletek már nem kifogásolhatóak azon az alapon, mint Froude összefüggése, mert megszüntetik az ellentmondásokat a következő módszerekkel.

1. A  $C_F$  tényezőt az  $R_n$  függvényeként adják meg, és a síklemez- illetve ponton-mérések eredményeit az  $R_n$  függvényében viszik fel diagramba.
2. Elkerülik azokat méréseket, ahol lamináris áramlás fordul. Ha mégis szükség van mérésekre az ilyen kis Reynolds-számok tartományában, a turbulenciát mesterségesen idézik elő a mérések során. Tehát a formulák tökéletesen turbulens áramlásra vonatkoznak.
3. A hajókat és modelleket képviselő összes lemez felülete sima. Nem végeznek méréseket érdes felületekkel. Tehát a formulák sima hajótestekre vonatkoznak. Mivel azonban a valóságos hajótestek nem simák, az összes olyan ellenállás-számításnál, ahol a modern súrlódási képleteket alkalmazzák, arra van szükség, hogy korrekciót adjanak hozzá, és így jobban megközelítsék a valóságos hajó körülményeit.



4. A Froude által végzett mérések óta sok síklemez-mérést végeztek, így sikerült kiterjeszteni a lemezeknél a hossz és a Reynolds-szám tartományát. Azonban még ez sem elég, ugyanis az így kiterjesztett adattartomány legnagyobb Reynolds-szám értéke kb.  $4 \times 10^8$ , miközben a valóságos hajóknál a Reynolds-szám elérheti az  $5 \times 10^9$  értéket.

Az idők folyamán kb. fél tucat olyan súrlódási formula látott napvilágot, amely sima felületeken kialakult turbulens áramlási viszonyokra alkalmazható, és amely kifejllesztőik szerint összhangban van a fenti feltételekkel. Ezek közül kettő a legismertebb.

*Az 1947-es ATTC görbe.* Az *American Towing Tank Conference* (ATTC, amerikai modellkísérleti konferencia) határozatot fogadott el 1947-ben, amely egy súrlódási ellenállás képletet ajánlott alkalmazásra, a *Schoenherr középértékek* néven ismert képletet. Ezt a formulát eredetileg 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  $C_F$  értékeket az  $R_n$  függvényében ábrázolta. Ez a képlet a következő:

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

Schoenherr azt tapasztalta, hogy a pontok szórását mutatnak azoknál a Reynolds-számoknál, amelyek  $2 \times 10^6$  alatt vannak, és ezt annak a bizonyítékaul fogta fel, hogy az ilyen alacsony Reynolds-számoknál végzett síklemez-mérések egy része lamináris vagy átmeneti áramlási tartományba esik. Nem engedte, hogy bármilyen lamináris áramlással összefüggő mérési eredmény befolyásolhassa a középértékek görbét, mivel az volt a szándéka, hogy az kizárólag sima felületeken kialakuló turbulens áramlásra vonatkozzék. A  $C_F$  értéke egy adott  $R_n$  esetében nem számítható ki közvetlenül a fenti egyenletből, iterációra van szükség, vagy az értékek táblázatba foglalására (ld. a következő táblázatot), esetleg a diagram használatára.

2.2.1.1.1.2 táblázat A  $C_F$  értékei az ATTC 1947 görbe szerint

$R_n 10^5 \times$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$C_F \times 10^3$ (ATTC)	7.179	6.137	5.623	5.294	5.057	4.875	4.727	4.605	4.500
$R_n 10^6 \times$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$C_F \times 10^3$ (ATTC)	4.409	3.872	3.600	3.423	3.294	3.193	3.112	3.044	2.985
$R_n 10^7 \times$	1	2	3	4	5	6	7	8	9

## BBBZ-kódex

$C_F \times 10^3$ (ATTC)	2.934	2.628	2.470	2.365	2.289	2.229	2.180	2.138	2.103
$R_n 10^8 \times$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$C_F \times 10^3$ (ATTC)	2.072	1.884	1.784	1.719	1.670	1.632	1.600	1.574	1.551
$R_n 10^9 \times$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$C_F \times 10^3$ (ATTC)	1.531	1.408	1.342	1.299	1.266	1.240	1.219	1.201	1.186
$R_n 10^{10} \times$	1								
$C_F \times 10^3$ (ATTC)	1.172								

A hidrodinamikai szakemberek a hajók ellenállásának sokéves tapasztalata alapján rámutattak, hogy a görbe meredeksége kis Reynolds-számoknál nem elegendő, ami azt jelenti, hogy a korrelációs korrekció illogikusan kicsi, gyakran negatív értékű lesz.

*Az ITTC 1957 görbe.* A manapság szélesebb körben elfogadott és használt formulát az International Towing Tank Conference (ITTC) 1957-ben fogadta el. Ennek a görbének a képlete:

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

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 közvetlenül megoldható a  $C_F$  értékére bármilyen  $R_n$  értéknél. Annak kihangsúlyozására, hogy ennek a formulának a célja a modellkísérleti eredmények pontos átszámítása a megfelelő hajóra, és nem egy adott síklemez sűrűdési ellenállásának meghatározása, a konferencia hivatalosan az *ITTC 1957 modell-hajó korrelációs görbe* néven tartja nyilván.

### 2.2.1.1.1.2 Hullámképző ellenállás

Ismert jelenség, hogy egy vízfelületen mozgó tárgy hullámokat kelt. Ezeknek a hullámoknak a létrejötte azonban, és az, hogy ezek a hullámok milyen hatással vannak a hajó ellenállására, nagyon sok kutatás témája volt.

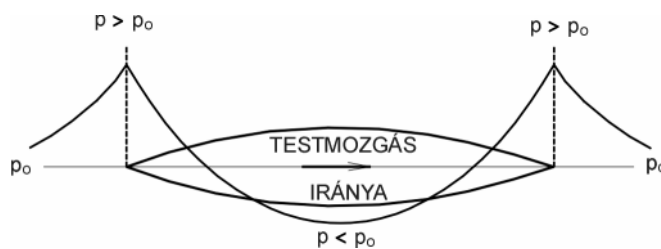
#### *Nyomáeloszlás*

A hullámok azért keletkeznek a vízben mozgó hajó körül, mert a hajótest különböző pontjainál a nyomás eltérő értékű. Tételezzük fel, hogy az alábbi ábra szerinti egyszerűsített formájú test mozog balról jobbra állandó sebességgel egy ideális (nem-viszkózus) folyadékban. Ha a folyadék felszínét merevnek és alakváltozásra

---

## 3. kiadás 2014. 0.1 TARTALOMJEGYZÉK 02.TÁRGYMUTATÓ 1.BEVEZETÉS 2.HAJÓELMÉLET

képtelennek tételezzük fel, a nyomáseloszlás a test felülete mentén az ábra szerinti lenne: az orrnál és a farnál nagy nyomáscsúcsok, és nyomáscsökkenés a test oldalánál. Ebben az ideális állapotban a testre ható erő az orrnál ébredő nagy nyomás hatására hátrafelé ható összetevőt eredményezne, ami ellenállást fejtene ki a mozgással szemben, ugyanakkor a farnál ezzel szimmetrikusan ébredő nyomáseloszlás előre ható összetevőt hozna létre, amely az orrnál ébredő összetevőt kiegyenlítené. Ezzel a eredő ellenállás zéró értékű lenne. A vázolt ideális helyzet nem hozható létre a valóságos folyadékokban és testeken, a vázolt nyomáseloszlás azonban érzékelteti, hogyan keletkeznek a hullámok a valóságos hajótestek körül, amikor a valóságos folyadékban mozognak.



2.2.1.1.1.2.1 ábra Nyomáseloszlás ideális folyadékban teljesen elmerült test körül

Az is figyelemre méltó, mi történik, ha a merev felület helyett, amit feltételeztünk, a valóságos

vízfelületet helyettesítjük be a felette levő atmoszférikus nyomással? Nyilvánvaló, hogy ebben az esetben a nyomásértékek különbsége helyett a vízfelszínen fognak változások bekövetkezni. A nagy nyomású helyeken *hullámhegy* keletkezik, az alacsony nyomású pontokon pedig *hullámvölgy* alakul ki. A nyomáseloszlást ezután a saját maga által létrehozott *hullámrendszer* fogja alakítani, a valóságos folyadékban pedig a viszkózus határréteg és a leváló áramlás további hatásokat kelt, amelyek megváltoztatják a nyomáseloszlást. Valóságos esetben tehát a hajótest körül kialakuló nyomás által létrehozott erők előre és hátra irányuló összetevői nem egyenlítik ki egymást, és az eredmény egy hátrafelé irányuló eredő lesz, amelyet hullámképző ellenállás néven ismerünk.

Az előzőekben leírt egyszerű nyomáseloszlási modell a valóságos hajó hullámrendszerének másik jellemzőjére is rámutat. Amennyiben a hajó mozgási sebessége állandó, a nyomáseloszlás változatlan marad, a hullámrendszer a hajóval együtt mozog. A hajó által létrehozott egyes hullámok természetesen lemaradnak, ahogy a hajó halad, ez a mozgó nyomáseloszlás azonban folyamatosan új hullámokat hoz létre.

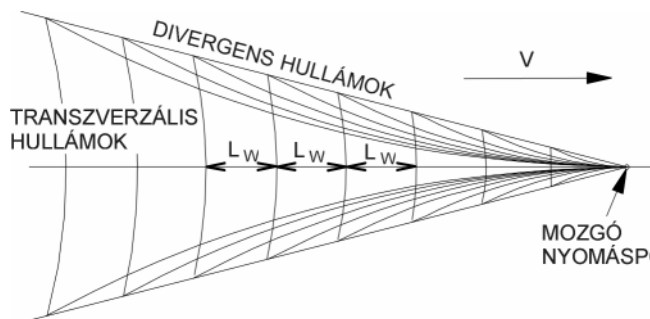
### ***A hajó hullámrendszere***

A hajó által keltett hullámok ellenállásának pontos meghatározása ugyan szükségessé teszi a modellkísérleteket, de az a tudás a hajó hullámrendszerének természetéről és alakjáról, amivel ma rendelkezünk, nagyrészt elméleti kutatásból származik. A hullámrendszer jellemzőinek klasszikus vizsgálata *Lord Kelvin* nevéhez fűződik, aki a hidrodinamika elveit alkalmazta, hogy kiszámítsa azoknak a hullámoknak a paramétereit, amelyeket a folyadékfelületen állandó sebességgel mozgó egyetlen nyomás alatti pont okoz. Rámutatott (ld. a következő ábrát), hogy a mozgó *hullámkeltő*

pont által létrehozott hullámok rendszere két eltérő geometriai konfigurációjú hullámokból áll.

1. Egy sor *transzverzális hullám*, amelyek gerince merőleges a pont mozgási irányára.
2. Egy sor *divergens hullám*, amelyek gerince szöget zár be a pont mozgási irányával.

Az elmélet szerint a *hullámhossz*, azaz az egymást követő transzverzális hullámok gerincének távolsága a következőképpen függ a nyomás alatti pont mozgási sebességétől:



2.2.1.1.2.2 ábra Kelvin hullámséma

$$L_w = 2\pi v^2/g$$

ahol  $L_w$  = hullámhossz, láb vagy m

$v$  = mozgó nyomáspont sebessége, láb/sec vagy m/sec

$g$  = gravitációs gyorsulás, láb/sec<sup>2</sup> vagy m/sec<sup>2</sup>

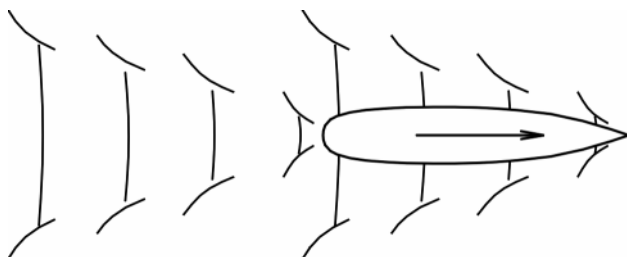
Nem véletlen, hogy ez az egyenlet emlékeztet Froude-nak a modellkísérleti méréseknél a hasonló sebességre megfogalmazott összefüggésére. Az előző egyenletet a Froude-számra átírva, és a hullámhossz használatával, azt kapjuk, hogy:

$$v/(gL_w)^{1/2} = 1/(2\pi)^{1/2} = \text{állandó}$$

ami azt jelenti, hogy a hullámkeltő pont sebessége arányos azon hullámok hosszának négyzetgyökével, amelyeket kelt. Ha a mozgó hullámkeltő pont egy hajó, egy adott Froude-számnál, amely a hajó hosszából számítható ki ( $V/(gL_s)^{1/2}$ ), konstans szorzóval kifejezhető kapcsolata áll fenn a hajó hossza és a hullámhossz között, tekintet nélkül a hajó (vagy modell) hosszára. Tehát a hullámelmélet igazolja Froude megfigyeléseit, hogy a hasonló sebességek esetén a modell *hullámsémája* geometriailag hasonló lesz a hajó hullámsémájához.

A mozgó hajó által keltett hullámrendszer sokkal összetettebb, mint az egyedüli nyomáspont rendszere. Tulajdonképpen eléggé összetett ahhoz, hogy mindeddig nem sikerült olyan elméleti matematikai modellt kidolgozni, amely azt kielégítő pontossággal le tudná írni ahhoz, hogy pontosabban számíthassuk ki a hullámképző ellenállást, mint ahogy azt a modellkísérletek eredményeinek átszámításával meg tudjuk határozni. A hajótest számos hullámsémát hoz létre, amelyek hasonlítanak a Kelvin

hullámsémára; elméletileg a vízvonallal minden olyan pontja, ahol az áramlás iránya megváltozik, újabb hullámsémát kelt. A valóságos hajó hullámrendszere azonban ennek az összetettségnek az ellenére is nagyon erős hasonlóságot mutat egy viszonylag egyszerű sémához – ahhoz az erősen Kelvin-szerű hullámsémához, amelyet az orrtőke kelt, és amely egy domináns orrhullámheggyel indul, plusz a második és sokkal gyengébb hullámsémához, amelyet a far kelt. A következő ábrán egy hajó „kétsémás” hullámrendszerének vázlatos képe szerepel.



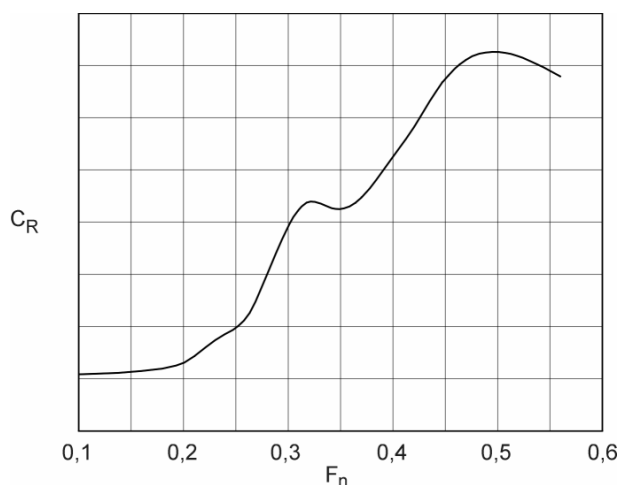
2.2.1.1.2.3 ábra Transzverzális és divergens hullámokból álló orr- és farhullám-séma

A vonalak a transzverzális és divergens hullámok hullámhegyeit mutatják. A divergens hullámok

hullámhegyei meglehetősen rövidek, és amikor az új keletkezik, az előzők maradványai a hajó pályájától kifelé haladnak, amivel a hajó mögött egy állandóan szélesedő trapéz-alakú hullámhálózat alakul ki, amely lassan ismét belesimul az érintetlen vízfelületbe.

#### *Az orr- és farhullám sémák interferenciája*

A kétsémás modell kellően megmagyarázza, hogyan hatnak a hullámképző ellenállásra bizonyos kölcsönhatások az orr- és a farhullám között, amelyek interferencia jelenségek néven ismeretesek. Mindkét hullámséma együtt mozog a hajóval, és a hullámhossz mindkettőnél megegyezik a fenti képletből meghatározható értékkel. Mindkét hullámséma első hullámhegye lényegében fix helyzetben van a hajóhoz képest, a második és az összes további azonban a hajó sebességének növekedésekor egyre nagyobb távolságra kerül.



2.2.1.1.2.4 ábra Púpok és gödrök a  $C_R$  görbében

Ebből az következik, hogy amint a hajó sebessége változik, a két rendszer egymáshoz viszonyított helyzete is változni fog. Azoknál a sebességeknél, amikor a két rendszer hullámhegyei összesnek, a hajó mögött elmaradó hullámok magasabbak lesznek, és a hullámképző ellenállás különösen nagy értékű lesz. Ez az állapot úgy nevezett „púpot” képez a maradék ellenállás-tényező ( $C_R$ ) görbéjében. Azoknál a sebességeknél,

amikor az orrhullám rendszer hullámhegyei a farhullám rendszer hullámvölgyeivel találkoznak, a hajó mögött elmaradó hullámok magassága kisebb lesz, ezért a hullámképző ellenállás is kisebb lesz, mint az általános trend alapján lenne az adott sebességnél. A  $C_R$  görbében ilyenkor „gödör” keletkezik. Mivel a két hullámséma kezdeti hullámhegyeinek távolságát a hajó hossza határozza meg, a hullámhossz pedig mindegyiken belül a hajó sebességének négyzetével arányos, az elmondottakból az következik, hogy púpok és gödrök a  $C_R$  görbében minden egyes hajónál a  $V^2/L$  viszonyszám illetve a Froude-szám  $(V/(gL)^{1/2})$  alakulnak ki. Az alábbi ábra egy tipikus  $C_R$  görbét mutat a  $V/(gL)^{1/2}$  függvényében.

Azokat a Froude-számokat, amelyeknél a púpok és gödrök megjelennek, számos egyszerűsített hajótest alakhoz kiszámították a kétsémásnál valóságosabb matematikai modell felhasználásával, azonban az így meghatározott értékeket nem lehet minden testformához alkalmazni. A hajótervezők ismerik annak fontosságát, hogy olyan hajótest alakot válasszanak ki, amelynél a hajó üzemi sebessége a  $C_R$  görbén levő gödörhöz esik. Amikor azonban a hajó hossza és sebessége már ki van választva, a tervező számára az a leghatékonyabb mód arra, hogy ezt biztosíthassa, a jól eltalált hengeres teltség ( $C_P$ ), illetve hengeres középrész hossz kiválasztása.

#### **2.2.1.1.1.3 Örvényképző ellenállás**

Amikor a hajótest körül áramló víz olyan pályát követ, amely pontosan illeszkedik a hajótest alakjához, a hajó ellenállását kizárólag a súrlódás és a hullámképzés teszi ki. Amikor az áramlás áramvonalai elválnak a hajótesttől, az áramlásban létrejövő ürről örvényekkel telítődik (ld. 2.2.1.1.1.1 ábra), és az ellenállás megnövekszik amiatt az energia miatt, amely az örvények létrehozására fordítódik. Az örvényképző ellenállás értékét, amelyet a hajón vagy modellen tapasztalni lehet bármely időpontban, soha nem számítják ki a modellkísérleti eredmények hajóra történő átszámításakor, mivel az örvényképző ellenállás a feltételezések szerint a maradék ellenállás részét képezi. A tervező azonban még akkor sem feledkezhet meg róla, ha rejtve marad, mert az örvényképző ellenállás egyes esetekben jelentős mértékű lehet.

A legnyilvánvalóbb helyek, ahol az áramlás leválik a hajótestről, azok, ahol az alak hirtelen módon változik az áramlás mentén, ilyen lehet a hajócsavar toló-oldala és a kormányoszlop, illetve a test mögött olyan függelékek, mint a kormánylapát, a medersori stabilizátor, a nadrágcsövek és a tengelybakok. Ezekre a függelékekre feltétlenül szükség van, tehát bizonyos mértékű örvényképzés elkerülhetetlen. A függelékek által okozott ellenállás minimalizálása érdekében a hajótest alapos áramvonalasítása szükséges bármi ilyen kiugró szerkezetnél. A helyesen tervezett *medersori stabilizátorok* például a lehető legnagyobb mértékben követik a test menti áramlás vonalait. Ezeket az áramvonalakat különleges modellkísérletekkel határozzák meg, esetleg csatornában, ahol a hajótesthez rövid szálát erősítenek vagy a testben kialakított apró lyukakon olyan vegyszereket folytatnak ki, amelyek a modell festékét elszínezik, és ezzel követhetővé válik a test áramvonalainak rendszere.

A *függelékek ellenállása* a függelékek által okozott ellenállás, amely hozzáadódik a hajó ellenállásához. Ez nem kizárólag örvényképző ellenállás, mert mindegyik függeléknek

van saját nedvesített felülete, tehát súrlódási ellenállása is. Úgy tűnhet, hogy ha a modell fel van szerelve ugyanazokkal a függelékkel, mint a hajó, a függelék ellenállásával nem kell külön foglalkozni a modellkísérletek eredményeinek a hajóra való átszámításakor, azonban egyes modellkísérletek esetében ez nem igaz. A modell függelékein fellépő erők korrekt átszámításának feltétele a hajó viszonyaira az, hogy a modell függelékei körül az áramlás sémája geometriailag hasonló legyen a hajó függelékeinek sémájához. Ezt nem lehet megvalósítani, mert a modellkísérlet során a modell és a hajó határrétegei egymáshoz képest nincsenek pontos méretarányban. Emellett a modell függelékeinek Reynolds-számai (amelyek alapja elsősorban a függelék méretei és nem a hajó méretei) nem egyezhetnek meg a hajó megfelelő függelékeinek Reynolds-számaival. Részben ezért, részben más okok miatt a Froude eljárás a modell ellenállásának átszámításakor pontatlanságokat eredményez, amikor a modell fel van szerelve függelékkel. Ez különösen érvényes a kis modellekre, illetve azokra, amelyeknél a függelék ellenállása várhatóan nagy lesz. Az ilyen esetekben a modellkísérletet úgy végzik, amit *csupasz hajótest állapot* néven ismerünk, vagyis függelék nélkül. A csupasz hajótest ellenállásához ezután külön hozzáadják a teljes léptékű függelék megközelítő ellenállását. Ezt a csupasz hajótest ellenállásának százalékában fejezik ki, amely a függelék számának és fajtásának függvényében 2 és 20% között lehet.

Örvények olyan esetben is keletkezhetnek, amelynek semmi köze a hajótesten levő folytonosság függelék miatti megváltozásához. A viszkózus határréteg vastagsága, amely a hajótestet körülveszi, az orrtól a far felé haladva egyre növekszik. Ennek során a határrétegen belül elhelyezkedő víz a hajótesttől távolodva egyre kisebb sebességgel halad a hajó sebességéhez képest. Amint a folyadékreszecske energiája fogy, van egy pont, ahol a folyadék sebessége zéró értékűvé vagy negatívvá válik, az áramlás leválik a felületről, a leválási pont mögött pedig kaotikus áramlási viszonyok alakulnak ki, a teret örvények töltik ki. A leválás gyakoribb a telt hajótesteknél, mint a karcsúaknál, mert a telt formájú far gyorsabb alakváltozása rontja a feltételeket, ami leválást idéz elő. Az ilyen leválások ellenállását nem lehet külön tényezőként meghatározni az ellenálláson belül. A maradék ellenállás részét képezi a mérési eredmények átszámítása során.

#### 2.2.1.1.4 Légellenállás

A hajó nem csupán egyetlen közegben mozog, vagyis a vízben ill. annak felszínén, hanem haladása közben a levegővel szembeni ellenállást is le kell győznie. Korábban már látható volt, hogy ennek a két rendkívül eltérő sűrűségű közegnek a határán zajlik le a hullámképzés jelensége is. Azt azonban meg kell vizsgálni, milyen hatással van az ellenállásra a levegő, amelyen át kell hatolnia a hajótest víz feletti részének és a hajó felépítményének. A hajó üzemi sebességgel történő hajtásához szükséges teljesítmény meghatározásakor a hajótervező megbecsüli a nyugalomban levő levegő ellenállását, és azzal megnöveli a hidrodinamikus ellenállást. A mozgásban levő levegő hatása, vagy szélellenállás, általában nem képezi részét a hajó ellenállás-számításának, ugyanúgy, ahogy az a másodlagos hatás sem, amelyet a szél azzal gyakorol a hajó ellenállására, hogy hullámokat kelt, amelyek megint csak növelik az ellenállást. Ezeket akkor vesszük

figyelembe, amikor a teljesítményszámítást végezzük, vagyis hozzáadunk valamennyit a főgép teljesítményéhez, amint ezt a hajócsavarokkal foglalkozó résznél látni lehet.

A hajó vízfeletti részének mozgása a levegőben olyan ellenállást kell, hogy legyőzzön, amelynek van viszkózus (súrlódási) és örvényképző összetevője így feltételezhetnénk, hogy a nyugalomban levő ellenállásának számításakor hasonlóan külön kell kezelni az összetevőket és átszámítási eljárást kell alkalmazni a modell és a hajó között, ahogy a hajótest víz alatti részénél történt. A gyakorlatban azonban erre nincs szükség. A légellenállásnál az örvényképzés annyira domináns jelenség, hogy a súrlódási összetevőt elhanyagolhatónak lehet ítélni, amelyet ki lehet hagyni a nyugalomban levő levegő ellenállásának számításakor.

Az örvényképzésből eredő ellenálláserők bizonyíthatóan arányosak a közeg sebességének négyzetével, ill. a test sebességének négyzetével, ha a közeg van nyugalomban. Tehát a légellenállás a következőképpen fejezhető ki:

$$R_{\text{air}} = C_{\text{air}}(\rho_a A_{\text{pt}} V^2)$$

ahol  $R_{\text{air}}$  = nyugalomban levő levegő ellenállása (font vagy newton)

$C_{\text{air}}$  = nyugalomban levő levegő ellenállás-tényezője

$\rho_a$  = levegő sűrűsége (font  $\text{sec}^2/\text{láb}^4$  vagy  $\text{kg}/\text{m}^3$ )

= 0,002377 font  $\text{sec}^2/\text{láb}^4$  59°F-nál = 1,226  $\text{kg}/\text{m}^3$  15°C-nál

$A_{\text{pt}}$  = a hajó víz feletti részének a hajó haladási irányára merőleges felülete ( $\text{láb}^2$  vagy  $\text{m}^2$ ). Ha ez a felület nem ismert, normál méretarányú felépítménnyel és fedélzeti házzal rendelkező hajónál közelíthető az  $A_{\text{pt}} = B^2/2$  kifejezéssel, ahol  $B$  a hajó szélessége.

$V$  = hajó sebessége ( $\text{láb}/\text{sec}$  vagy  $\text{m}/\text{sec}$ )

A  $C_{\text{air}}$  tényezőt kísérleti úton kell meghatározni. Függ a hajó víz feletti részének alakjától, a fedélzeti háztól és a fedélzeti berendezésektől és felszerelésektől.

Meghatározására számos mérést végeztek, ezek között voltak hajók felső részének modellkísérleti mérései *szélcsatornában*, illetve egyszerű kétdimenziós lapokkal végzett mérések, amelyek lényegében ejtő-próbák voltak. Ezen kívül teljes léptékű méréseket is végeztek. A  $C_{\text{air}}$  tipikus értéktartományai, amelyeket a szakirodalom tartalmaz, az alábbi táblázatban vannak összefoglalva.

2.2.1.1.1.4.1 táblázat Légellenállás-tényezők nyugalomban levő levegőnél

Hajótípus	$C_{\text{air}}$ tartomány
Darabáru szállító	0,60-0,85
Tankhajó	0,75-1,05
Konténerszállító	0,60-0,75
Személyhajó	0,65-1,10
Hadihajó	0,40-0,80



A táblázat értékei jelentős szórást mutatnak, mert a vizsgált hajók esetében nagyon változatos lehet a fedélzeti rakodó-berendezések mennyisége és típusa, valamint fedélzeti házak mérete és elrendezése. A légellenállás becslésénél elfogadhatóak az átlagértékek, mert a hidrodinamikai ellenálláshoz képest a légellenállás viszonylag kis értékű (2-4% átlagosan).

Nem szabad megfeledkezni arról, hogy a légellenállás-tényező meghatározásának módja a levegő sűrűségén és a hajó víz feletti részének keresztmetszetén alapul. Nem lehet egyszerűen hozzáadni a  $C_{FS}$  és  $C_R$  súrlódási és maradék ellenállás-tényezőhöz, amelyek alapja a víz sűrűsége és a hajó víz alatti részének nedvesített felülete. Bevett gyakorlat azonban a standard hajóellenállás számítási eljárásoknál, hogy egy másik légellenállás-tényezőt definiálnak ( $C_{AA}$ ), amely már konzisztens a vízhez kötődő ellenállás-tényezőkkel, és azokhoz közvetlenül hozzáadható. Ennek számítása az alábbi képlettel történhet:

$$C_{AA} = R_{air}/(\rho_w S V^2)$$

ahol  $\rho_w$  = tengervíz sűrűsége  
 $= 1,9905 \text{ font sec}^2/\text{láb}^4 \text{ } 59^\circ\text{F-nál}$   
 $= 1025,9 \text{ kg/m}^3 \text{ } 15^\circ\text{C-nál}$   
 $S$  = hajó nedvesített felülete (láb<sup>2</sup> vagy m<sup>2</sup>)  
 $V$  = hajó sebessége (láb/s vagy m/s)

A légellenállás-tényező két egyenletét kombinálva, és feltételezve a hajószámításoknál alkalmazott standard hőmérsékletet (59°F vagy 15°C), a két tényező kapcsolata a következő:

$$C_{AA} = C_{air}(\rho_a/\rho_w)(A_{pt}/S) = 0,001194(A_{pt}/S)C_{air}$$

### **Szélellenállás**

A szélellenállás meghatározása már sokkal bonyolultabb, mint a nyugalomban levő levegőben érvényes ellenállásé, mert számos bonyolító hatás létezik.

1. A szél bármilyen irányból fújhat a hajó haladásához képest, ami szükségessé teszi, hogy kijelöljük a szél irányát és relatív sebességét. A szélcsatorna méréseket is minden szög esetében el kell végezni ellenszélről a hátszél felé.
2. A szélnek a tenger felszínétől számítva nagy *gradiense* van. Ez azt jelenti, hogy a hajó felső részének különböző egységei más-más szélesebességnek vannak kitéve, attól függően, milyen magasan vannak a tengerszinttől, ahol a szél mérsékeltebb, mint sokkal magasabban. A sebességprofilt a szél által keltett hullámok is bonyolítják. Ennek a valóságos szélprofilnak a modellezése szélcsatornában lehetetlen.
3. A szél irányával változik a viszonylagos szélirányra merőleges felület mértéke is. Oldalszélben pl. ez a felület a hajó teljes vízfeletti profiljával egyezik meg.

4. A hajó mozgási irányával szöget bezáró irányból fújó szél hatására a hajó dülöngélő és fel-le irányú mozgást végez, ez tovább módosítja a szél hatását a hajótestre.

A szélerők pontos számítását rendszerint a hajó *futópróba*íhoz (*tengerállósági próba*íhoz) végzik el, a szükséges beépítendő főgép-teljesítmény meghatározásához az ellenszéllel szembeni ellenállás meghatározása szükséges, amelyhez a következő képletet alkalmazzuk, ahol a hajósebesség ( $V$ ) helyett a relatív szélesebességet kell figyelembe venni, amelynek számítása

$$V_R = V_S + V_W$$

ahol  $V_R$  = relatív szélesebesség ellenszélben  
 $V_S$  = hajósebesség  
 $V_W$  = abszolút szélesebesség

Tehát  $R_{\text{air}} = C_{\text{air}}(\rho_a A_{\text{pt}} V_R^2)$

A légellenállás-tényezőt ( $C_{\text{air}}$ ) azonban csökkenteni kell az ellenszélnél érvényes ellenállás számításánál, ha a relatív szélesebességgel dolgozunk, mivel a tényezőket arra az esetre állapították meg, amikor a hajó nyugalomban levő levegőben halad, ahol nincs sebességi gradiens, a szélesebességnek ( $V_W$ ) ezzel szemben gradiense van, és ez jelentősen csökkenti a szélerőket. A tényezők csökkentési aránya függ a hajó típusától, kb. 25% a viszonylag alacsony víz feletti profilú hajóknál, amilyenek a rakott tankhajók, és lehet akár 40% is a magasabbaknál, mint a személyhajók vagy kompok.

#### **2.2.1.1.1.5 A korrelációs korrekció**

Froude kora óta nagyon sok kutatást végeztek, a modellkísérleti eljárások sok fejlődésen mentek át, és ma már sokkal jobban belelátunk azokba a jelenségekbe, amelyek a hajók ellenállását okozzák. A fejlődés ellenére azonban, és annak ellenére, hogy tudjuk, hogy Froude módszere, amikor az ellenállást mindössze két összetevőre választja szét, eleve hibás, a mai módszerek, amelyekkel a modellkísérleti mérési eredményeket a hajó ellenállásviszonyaira számítjuk át, még mindig Froude eljárására épülnek, mert nem rendelkezünk olyan egzakt analitikus matematikai modellel, amely képes lenne leírni a jelenségben érintett komplex fizikai folyamatokat. Nem csodálkozhatunk hát, hogy bár a jelenleg használatban levő számos átszámítási eljárás mindegyike erre a közös alapra épül, mégsem egzaktak, és nem teljesen ugyanazt az ellenállást eredményezik ugyanannál a hajónál, amikor egy adott modellkísérleti adathalmazból kiindulnak. Ez az oka annak, hogy mindegyik átszámítási eljárásnál szükség van kiigazításra, hogy a modellkísérleti eredményekből a hajó ellenállását illetően helyes következtetést lehessen levonni. A kiigazítás formája a *korrelációs korrekció* ( $C_A$ ), amely úgy jelenik meg, mint az ellenállás harmadik összetevője, de csak a hajó léptékében van értelme, a modellnél nincs. Tehát a modell ellenállásának két-összetevős egyenlete

$$C_{TM} = C_{FM} + C_{RM}$$

a hajónál három-összetevős egyenletté alakul át:

$$C_{TS} = C_{FS} + C_{RS} + C_A$$

A korrelációs korrekció helyes értékeinek meghatározásához az szükséges, hogy precízen mérjék a hajó főgépe által leadott teljesítményt a hajó futópróbái során, és ezekből a teljes léptékű modellkísérletekből visszaszámolják a  $C_{TS}$  értékeit, hogy összehasonlíthassák azokat a modellkísérletekből nyert eredményekkel. A modellkísérleti intézetek ezeket a hajó-léptékben mért adatokat azoknál a hajóknál, amelyekre a teljesítményigény átszámításokat a mért modell-adatokból az ő standard módszereikkel végezték el, feldolgozzák, és ennek alapján meg tudják határozni az ő módszerük alkalmazásakor szükséges korrelációs korrekciók mértékét. Az utána következő új hajóknál aztán már az így meghatározott korrekciókat alkalmazzák. A  $C_A$  mértéke nemcsak a modellkísérleti adatok hajóra való átszámításának módszerétől függ, hanem a *léptékhatás hibáktól* is, amelyek a Froude módszer alkalmazásánál elkerülhetetlenek, illetve a hajótest érdességétől is. A hajótest érdességét lehetetlen pontosan átkonvertálni modell-léptékre, ezért a modellt mindig sima felületűre készítik, és az eredmények hajóra átszámítva is sima hajótestre vonatkoznak. A hajótest valóságos érdességét a gyártási és konstrukciós részletek is befolyásolják (hegesztési varratok, nyílások a héjlemezen pl. fenékvíz kidobáshoz, stb.), valamint a hajótestet bevonó festék, még egy új építésű, frissen festett hajótestnél is (vagyis futópróbái állapotban levő hajónál). A hajó öregedésével nő a hajótest érdessége, korrózió és algásodás miatt; ezek az üzemi feltételek már nem férnek bele a korrelációs korrekcióba, ezt a főgép teljesítményének megválasztásakor kell számításba venni. Amint arra számítani lehet, igen nagy eltérések lehetnek a korrelációs korrekció értékeiben, amelyeket a különböző modellkísérleti intézetek alkalmaznak és ajánlanak a különböző átszámítási eljárásokhoz. Mindegyik intézet hajótervezőinek meg kell határozniuk saját legjobb becslésüket, és meg kell bizonyosodniuk arról, hogy az összes mérést a módszerek teljes megfelelésével elemezték. Általában az összegyűjtött adatok azt mutatják, hogy a korrelációs korrekciók mértéke csökken a hajótest méreteinek növekedésével, és nagyon nagy hajóknál akár negatív értéket is vehet fel. A következő táblázatban levő értékek az ITTC 1957 görbe súrlódási ellenállás-tényezőinek alkalmazása esetén használhatóak.

2.2.1.1.1.5.1 táblázat Korrelációs korrekciók az ITTC görbéhez\*

Hajóhossz a vízvonalon		Korrelációs korrekció
<i>m</i>	<i>láb</i>	$C_A$
50-150	160-490	$+0.40 \times 10^{-3}$
150-210	490-690	$+0.20 \times 10^{-3}$
210-260	690-850	$+0.10 \times 10^{-3}$

**BBBZ-kódex**

---

260-300	850-980	0
300-350	980-1.150	$-0.10 \times 10^{-3}$
350-450	1.150-1.480	$-0.25 \times 10^{-3}$

\* Keller, J. A., 1973. International Shipbuilding Progress, vol. 20

### 2.2.1.2 Standard sorozatokkal végzett modellkísérletek

A *modellsorozatokkal* végzett mérések célja elsősorban az volt, hogy a matematikailag nehezen leírható folyamatokhoz kidolgozott egyszerűsített képletekben a szükségszerűen fennmaradó ismeretlen konstansok értékét meghatározzák. A kísérletek azonban olyan lehetőségeket tártak fel, amelyek ennél sokkal többet hoztak.

A hajó előzetes tervezési fázisában a legelterjedtebb módszer a jármű teljesítményigényének többé-kevésbé pontos becslésére, hogy modellkísérleti intézetekben szisztematikusan összeállított modellsorozatokkal (*standard sorozatok*) végzett vontatási kísérletek adataiból számítsák ki az adott hajóra vonatkozó adatokat. A standard sorozatok adatai olyan adathalmazt képeznek, amelyek a hajótest paramétereinek függvényében vannak rendszerbe sorolva, ha tehát ismerjük a saját hajó paramétereit, adatait kiszámíthatjuk, illetve, ha adott követelményeket kell kielégíteni, az ahhoz tartozó hajó-paramétereket határozhatjuk meg. Tehát az adatok a következő három fő felhasználási módot teszik lehetővé:

1. adott hajótest teljesítményigényének meghatározása,
2. az optimális hajótest forma kiválasztása (pl. a hajótest paramétereinek változtatása alapján, mint  $L/B$ ,  $B/T$ , stb.),
3. egy adott hajótest forma minőségének elbírálása.

A leggyakrabban használt két ilyen standard sorozat közül az egyik David W. Taylor amerikai admirális nevéhez, a másik a brit BSRA (*British Ship Research Association*) intézményhez kapcsolódik. Annak a szakembernek, aki a hajók teljesítményigényével és propulziós témákkal foglalkozik, elkerülhetetlen, hogy megismerje a standard sorozatokkal végzett méréseket, és megértse, hogyan használhatja azokat a legjobban a gyakorlati hajótest tervezésben, ugyanakkor megismerje gyenge pontjaikat is. A korszerű hajótervező irodákban a standard sorozatok adatai számítógépes adathordozókon elérhetőek, és ez jelentősen egyszerűsíti használatukat. Ha azonban kizárólag számítógépes csomagokra korlátozza a munkát valaki, a gyenge pontokra nem talál rá.

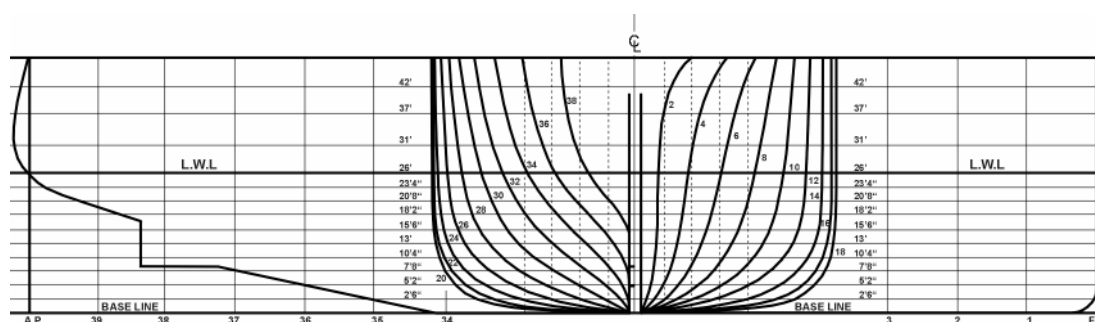
A legfontosabb sorozatok adatai a következő forrásokból érhetőek el.

- |                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| - BSRA Series                     | Trans. RINA 1961, 1966,<br>BSRA Report NS133, kiegyenlített vonalrajzok és<br>bulbaorrok, |
| - Dawson Coasters                 | IESS 1958/59 és korábbi,  |
| - Series 60                       | Todd, Trans. SNAME Vol. 61, 1953,   |
| - Taylor Series                   | Taylor/ Gertler revíziójával,   |
| - Linblad Series                  | Trans. RINA 1946/49,  |
| - Trawler Series (BSRA)           | Trans. RINA 1974/69/68/65,  |
| - Trawler Series (Ridgley Nevitt) | Trans. SNAME Vol. 71, 1963, Dawson Tugs,  |
| - NPL Round Bilge Series          | Kisebb siklóhajók, RINA Monograph No. 4, 1976,  |
| - Series 64 Round Bilge Series    | Marine Technology, July 1965,   |
| - Series 62 Planing Hulls         | Clement and Blount, Trans. SNAME 1963,  |
| - Series 65 Planing Hulls         | Hadler, Hubble, Holling, SNAME (Chesapeake)<br>1974                                       |

### 2.2.1.2.1 Taylor Standard modellsorozatai

A washingtoni amerikai modellkísérleti intézetben 1902-ben megvontatták a 164-es számmal jelölt modellt, amelynek vonalterve egy angol páncélos cirkáló, az 1900-ban épült Drake osztályba tartozó Leviathan hajótestén alapult. A test függőleges bulbaorral és két hajócsavarhoz alkalmas cirkáló farral rendelkezett, főméretei a következők voltak.

Maximális terhelési vízvonali hossza	521 láb 0 hüvelyk (158,80 m)
Függélyek közötti hossz	500 láb 0 hüvelyk (152,40 m)
Szélesség	71 láb 1 hüvelyk (21,67 m)
Merülés zéró trim esetén	26 láb 0 hüvelyk (7,92 m)
Víz kiszorítás súlya tengervízben	14.100 tonna
(Teltségi értékek: $C_B = 0,513$ , $C_M = 0,923$ , $C_P = 0,555$ , $C_{WL} = 0,660$ )	
Modell hossza	20,675 láb (6,30 m)
Modell víz kiszorítás súlya édesvízben	1.919 font (871,23 kg tömeg, 8.881 N)



2.2.1.2.1.1 ábra A 632-es szülő-modell bordametszet rajza és profilja

Négy évvel később Washingtonban a 632-es modell számára ennek a 164-es modellnek a vonaltervét (főborda-metszet, vízvonalfelület, valamint orr- és farprofil) választották ki. Ez volt az úgy nevezett szülő-modell annak a 38 modellnek a megalkotásához, amelyeket 18-as sorozatnak neveztek el, és amelyeket a hengeres teltség ( $C_P$ ,  $l$ ) hajótest-ellenállásra gyakorolt hatásának vizsgálatánál használtak. Az eredményeket első ízben vitték fel diagramokba, konstans  $V/\sqrt{L}$  és  $B/H$  (szélesség/merülés) értékekhez tartozó  $R_T/\Delta$  görbék formájában, a két koordináta a  $\Delta/(L/100)^3$  és az  $l$  ( $C_P$  jelölése a kísérletek során) hengeres teltség volt.

A későbbi modellsorozatok, a 19-es, 20-as, 21-es és 22-es, ugyanazt az alapmodellt használták (632) a vonalrajznál a 6-os bordametszet mögött (ld. 2.2.1.2.1.1 ábra), mint a 18-as sorozat. A 19-es sorozat orr részének bordametszetei hasonlóak voltak, mint a 18-asnál alkalmazott metszetek, kivéve az orr bulbaformáját. Azonban a 20-as sorozatnál az orr vonalát az alapvonalig levitték, ismét kialakítottak egy 3%-os bulbaformát, a maximális bordametszet helyét pedig a hajóközépre tették. A 632-es modell vonalrajz

adatait és az általános jellemzőket a 2.2.1.2.1.1, 2.2.1.2.1.2 és 2.2.1.2.1.3 táblázat illetve a 2.2.1.2.1.1 és 2.2.1.2.1.3 ábra tartalmazza, a Standard sorozatok bordametszet-felületeinek görbéit különböző hengeres teltségeknél a 2.2.1.2.1.2 ábra mutatja. A 20-as sorozat 38 modellből állt, amelyek szélesség-merülés viszonya konstans 2,923 értékű volt.

2.2.1.2.1.1 táblázat Vízvonal-félszélességek (LWL max. félszélességhez képest, 632)

Borda	,05	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9	LWL	1,19 1	1,42 0	1,61 6	1,82 8
1/2	,034	,040	,047	,050	,051	,050	,047	,042	,036	,033	,030	,029	,031	,043	,090
1	,036	,044	,056	,063	,064	,066	,067	,065	,062	,060	,060	,062	,065	,089	,166
2	,041	,056	,075	,088	,098	,103	,109	,111	,115	,117	,118	,126	,142	,178	,274
4	,064	,089	,131	,162	,184	,203	,217	,232	,243	,253	,260	,285	,318	,362	,452
6	,098	,143	,211	,259	,295	,324	,349	,370	,389	,406	,423	,452	,491	,531	,587
8	,139	,209	,310	,381	,434	,473	,506	,531	,552	,570	,586	,614	,642	,667	,697
10	,195	,292	,430	,522	,584	,630	,662	,685	,704	,717	,728	,747	,763	,774	,789
12	,276	,405	,568	,665	,730	,772	,800	,817	,828	,835	,839	,846	,853	,857	,861
14	,408	,551	,708	,794	,846	,877	,897	,909	,914	,915	,917	,920	,921	,921	,921
16	,554	,694	,821	,885	,920	,941	,954	,960	,963	,964	,966	,966	,966	,966	,966
18	,674	,781	,880	,929	,955	,970	,979	,983	,986	,987	,987	,987	,987	,987	,987
max	,685	,793	,896	,940	,960	,975	,984	,993	,997	,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
20	,658	,780	,884	,933	,960	,978	,986	,992	,994	,995	,996	,996	1,000	1,000	1,000
22	,573	,705	,838	,903	,941	,964	,978	,984	,986	,987	,987	,987	,987	,987	,987
24	,420	,570	,739	,833	,887	,921	,941	,953	,960	,963	,964	,966	,970	,972	,975
26	,288	,423	,602	,717	,790	,837	,871	,892	,905	,913	,918	,927	,935	,941	,949
28	,167	,278	,447	,570	,659	,722	,766	,797	,820	,836	,849	,866	,882	,897	,911
30	,096	,163	,288	,399	,496	,574	,632	,674	,707	,732	,754	,788	,817	,837	,859
32	,051	,079	,154	,271	,326	,405	,476	,534	,578	,615	,647	,696	,737	,762	,784
34	,030	,036	,066	,116	,177	,243	,314	,379	,437	,486	,527	,583	,633	,661	,684
36				,037	,065	,108	,162	,222	,286	,342	,389	,449	,496	,525	,548
37					,033	,054	,092	,146	,207	,265	,314	,371	,416	,441	,460
38							,037	,070	,123	,179	,227	,286	,332 0	,350	,360
39									,036	,084	,126	,183	,226	,239	,246

A maximális bordametszet helye a 19,2-es borda.

A vízvonalak magassága az alapvonal felett a terhelt vízvonal (LWL) magasságának hányadosa.

A vízvonal-félszélességek ordinátái az LWL maximális félszélességének hányadosai.

A gerinc félszélessége az LWL maximális félszélességének 2,4%-a.

Ezután következett a 21-es és 22-es sorozat tervezése, amelyekhez a 20-as sorozat alakját használták fel, de a szélesség-merülés viszony rendre 3,75 és 2,25 volt. Ennek a két sorozatnak a mérési eredményeit (nyolcvan modell) 1910-ben tették közzé Taylor könyvének első kiadásában, a hajóépítő szakma ezeket *Taylor Standard sorozatok* néven ismeri. A 21-es és 22-es sorozatot később kibővítették további negyven modellel. Az alábbiakban látható diagramok, amelyeket az 1933-as kiadásban tettek közzé első alkalommal, valamint a kisebb *sebességtényezőjű* értékekre kidolgozott újabbak,

amelyek csak az 1943-as kiadásban jelentek meg, a teljes tartományban korrigált valamennyi adatot képviselik mindkét változó  $(\Delta/(L/100)^3)$  illetve  $l$  hengeres teltség) kibővített intervallumában.

A 21-es és 22-es sorozatnak mind a 120 modelljével elvégezték a méréseket, és azok maradék ellenállás görbéit font per tonna vízkiszorítás mértékegységben felrajzolták.

Borda	,137	,273	,410	,546
$\frac{1}{2}$				
1				
2				
4				
6	,093	,337	,917	
8	,051	,159	,351	,775
10	,028	,106	,182	,335
12	,017	,051	,103	,184
14	,009	,025	,052	,098
16	,006	,014	,026	,047
18	,005	,011	,017	,029
max	,003	,008	,017	,028
20	,005	,011	,017	,032
22	,005	,012	,022	,044
24	,008	,025	,047	,089
26	,017	,047	,093	,162
28	,040	,096	,175	,277
30	,080	,188	,309	,459
32	,179	,338	,502	,723
34	,335	,541	,750	1,052
36	,556	,776		
37				
38				
39				

A hosszmetsetek magassága a terhelt vízvonal (LWL) magasságának hányadosai. A hosszmetsetek távolsága a szimmetria-síktól az LWL maximális félszélességének hányadosai.

szélesség/merülés értékeknél is, amelyek nem azonosak a 2,25 vagy 3,75 értékkel. Ezt igazolja a 20-as sorozat, és annak ellenére, hogy így az adatok nem tökéletesen egzakta értékek, kielégítően pontosak gyakorlati célra.

Az  $LWL$  és  $m$  (főborda-teltség) értékek az egyes modellek esetében a 20-as, 21-es és 22-es sorozatoknál kissé változtak. Az átlagos  $LWL$  hossz azonban 20,51 lábnak és az átlagos  $m$  érték 0,923-nak vehető. Bár a Standard sorozatokra általában úgy utalnak, mint amelyeket 20 láb hosszú modellekből állítottak össze, a számításokat és következtetéseket mindig az egyes modellek tényleges vízvonal-hossza alapján végezték el.

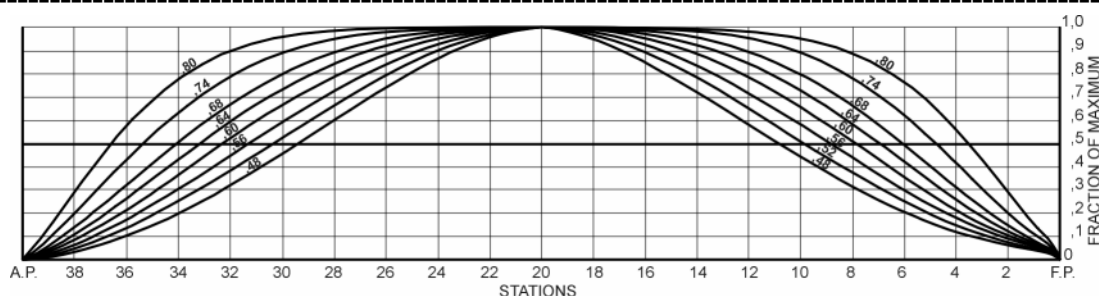
2.2.1.2.1.2 táblázat Hosszmetszet-magasságok az alapvonal felett (632-es modell)

A maradék ellenállást úgy határozták meg, hogy levonták a súrlódási ellenállás értékeit, amelyeket az *U. S. Experimental Model Basin* (a modellkísérleti intézet Washingtonban, ahol a vontatásokat végezték) sík lemez súrlódási ellenállási formulájával számoltak ki, azaz  $R_f = 0,00907 \cdot S \cdot V^{1,854}$  (ahol  $S$  a modell nedvesített felülete).

A görbéket a mérési eredményekből szerkesztették meg, majd korrigálták. Az egyes ábrákon látható diagramok a két fő paraméter, a  $B/H$  szélesség/merülés viszony illetve a  $V/\sqrt{L}$  sebesség/hossz viszony (nem dimenzió nélküli sebességtényező) egy meghatározott értékére vannak megszerkesztve, és a két paraméter teljes intervallumában sorozatot alkotnak. Az egyes diagramok koordináta-rendszerében a két változó az  $l$  hengeres teltség és a  $\Delta/(L/100)^3$  vízkiszorítás tonna/(láb/100)<sup>3</sup> mértékegységben a gyakorlatban előforduló intervallumokban.

A diagramok lényegében görbeseregek, ahol az egyes görbék paramétere a maradék ellenállás font per vízkiszorítás tonnában. A diagramok lineáris interpolációval felhasználhatóak az effektív teljesítmény kiszámításához olyan





2.2.1.2.1.2 ábra Standard sorozatok bordametszet-felületei

Borda	A/A <sub>max</sub>
F.P.	,000
,2	,025
,4	,040
,6	,050
1	,065
2	,101
4	,201
6	,325
8	,465
10	,611
12	,748
14	,866
16	,950
18	,993
max	1,000
20	,997
22	,970
24	,907
26	,811
28	,688
30	,546
32	,406
34	,271
36	,153
37	,103
38	,061
39	,026
A.P.	,000

2.2.1.2.1.3 táblázat Bordametszet-felületek a 632-es modellen a maximális metszet hányadosaiként

A kívánt Standard sorozat összeállítását az úgy nevezett szülő-modellből a 2.2.1.2.1.4 ábrán látható módon végezték. Az 1-essel jelölt alapgörbe a 2.2.1.2.1.2 ábrából vehető ki, a származtatott új görbe pedig a 2.2.1.2.1.4 táblázat értékeiből interpolálható a kívánt hengeres teltséghez, vagy közvetlenül a 2.2.1.2.1.2 ábrából másolható át.

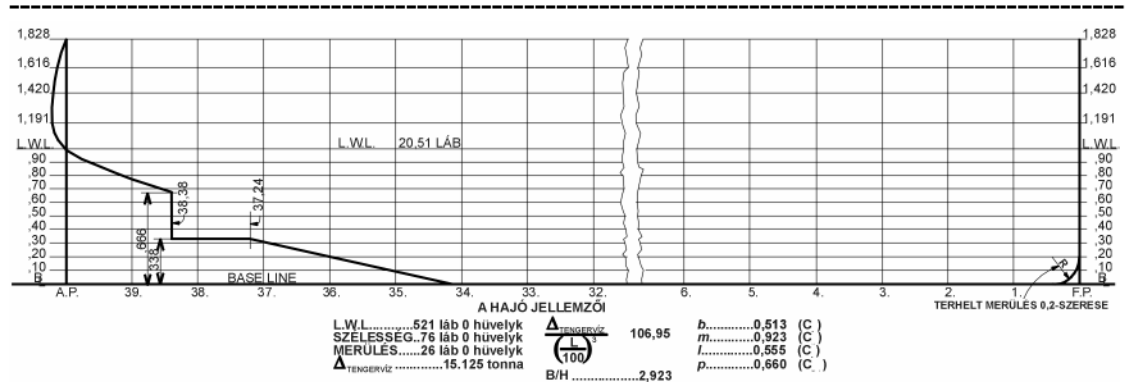
A nedvesített felület egy Standard sorozatmodell esetében általában kisebb, mint a hasonló hosszú, vízkiszorítású, hengeres teltségű és szélesség-merülés viszonyú kereskedelmi hajótesteknél. Ezt főként a vizsgált Standard sorozatok főborda-teltségének alacsony értéke, a bordametszetek alakja, a kormány hiánya és az uszony formája okozza.

Nincs olyan egyszerű képlet, amellyel egy adott sorozatmodell nedvesített felülete pontosan meghatározható lenne, amit főleg a fő paraméterek széles skálája okoz. A 2.2.1.2.1.5 ábra azonban olyan diagramot mutat, amelyet Prof. E. M. Bragg formulája alapján szerkesztettek meg a nedvesített felület becsléséhez. A görbesereg segítségével olyan tényező értékeit lehet meghatározni, amely bármilyen létező vagy feltételezett Standard sorozathoz az alábbi képlettel megadja a függelékek nélküli nedvesített felületet elegendő pontossággal.

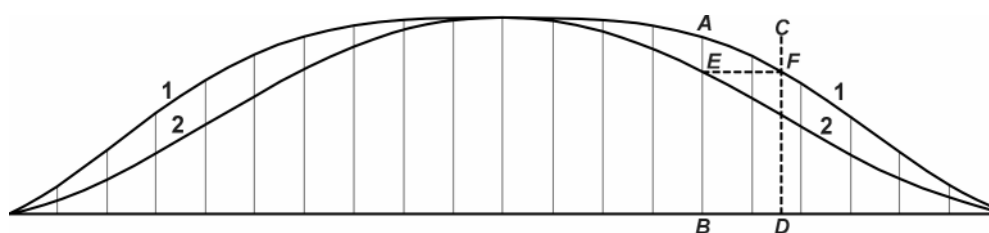
$$S = LWL^2 * K/10$$

ahol  $S$  a csupasz hajótest nedvesített felülete négyzetlábban,  $LWL$  a vízvonal hossza lábban, a  $K$  pedig a  $B/H$ ,  $\Delta/(L/100)^3$  és  $l$  paraméterektől függő tényező.

A 2.2.1.2.1.5 ábra három szélesség/merülés viszonyszámához tartozó görbéinek összevetése azt igazolja, hogy a legkisebb viszonylagos nedvesített felület a 2,9-3,0 szélesség/merülés viszonyánál adódik ki.



2.2.1.2.1.3 ábra A 632-es szülő-modell profiljának jellemzői



2.2.1.2.1.4 ábra Az eredeti modellforma bordametszeteinek áthelyezése új formához

Gertler revíziójának eredményeivel 1954-ben adták ki ismét a standard sorozat adatait. A sorozat ebben a kiadásban olyan matematikai hajótestforma transzformált változataiból áll, amelynek paraméterei a következő intervallumokra terjedtek ki:

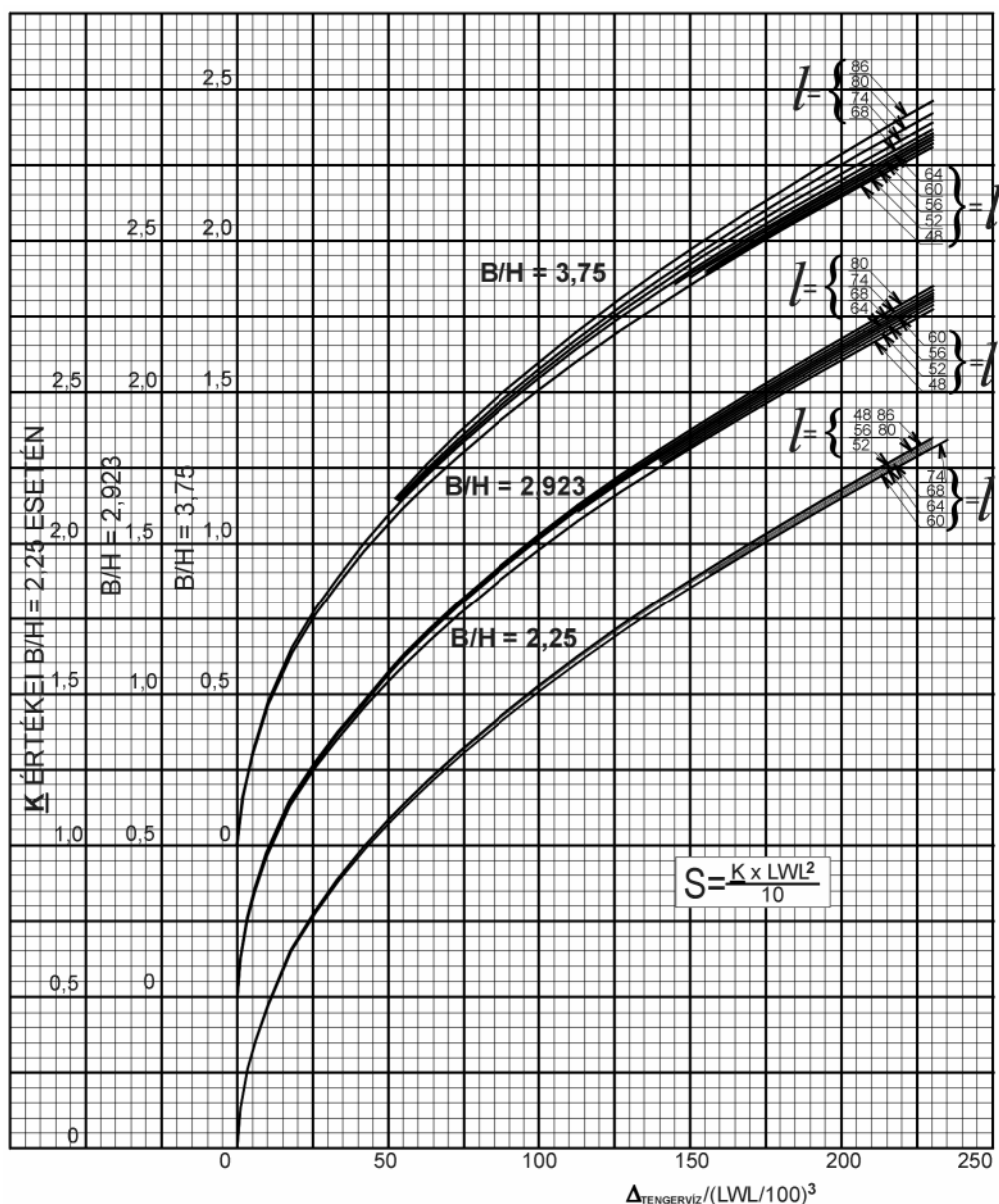
$B/T$ ( $B/H$ )	2,25, 3,00, 3,75 (az 1910. évi publikálásnál még csak 2,25 és 3,75)
$C_p$ ( $I$ )	0,48 és 0,86 között (hengeres teltség)
$LCB$	hengeres középrész (fix)
$V_k/\sqrt{L}$	sebességre jellemző tényező 0,30 és 2,00 között ( $F_n = 0,09-0,60$ )
$\Delta/(L/100)^3$	méretre jellemző tényező 20 és 250 között (tonna/(láb/100) <sup>3</sup> ) pl. rombolóknál 40-50, motoros jachtoknál 190-220.

A hajótestek mérése turbulencia-keltés nélkül történt.

#### 2.2.1.2.1.1 Eredeti kiértékelés

Számítási mód: maradék ellenállás = teljes ellenállás - Tideman héjsúrlódás.

William Froude 1872-ben végzett klasszikus kísérletei alapján, amelyekből fia saját  $f$  súrlódási ellenállási konstansait származtatta (ld. 2.2.1.1.1.1 táblázat), a holland királyi haditengerészet főkonstruktor, B. J. Tideman Froudehoz hasonlóan összeállított egy táblázatot az  $f$  és  $n$  értékeiből a súrlódási ellenállás kiszámításához, ezek modellek és hajók esetén alkalmazhatóak egészen 500 láb hosszúságig. A 2.2.1.2.1.1.1 táblázat ezeket tartalmazza. Az „Acél fenék tiszta és jól festett” oszlopban megadott konstansok Froude hasonló értékeinél 3-5%-kal magasabbak.



2.2.1.2.1.5 ábra A nedvesített felület becslése a Taylor Standard sorozatoknál

2.2.1.2.1.4 táblázat A Standard sorozatok bordametszetei a max. metszethez képest

Borda	Hengeres teltség								
	0,48	0,52	0,56	0,60	0,64	0,68	0,74	0,80	0,86
F. P.	,000	,000	,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
,2.	,021	,022	,023	,026	,029	,032	,041	,054	,071
,4.	,031	,034	,036	,038	,043	,049	,063	,082	,113
,6.	,037	,040	,044	,048	,053	,061	,078	,107	,152
1.	,042	,046	,051	,056	,063	,073	,093	,133	,190

## BBBZ-kódex

2.	,066	,078	,092	,107	,128	,152	,206	,298	,423
4.	,126	,152	,184	,221	,264	,316	,423	,564	,751
6.	,211	,257	,307	,364	,426	,499	,625	,766	,913
8.	,323	,382	,446	,514	,587	,668	,784	,892	,977
10.	,450	,517	,587	,658	,731	,803	,893	,859	,995
12.	,586	,655	,722	,786	,846	,901	,957	,988	,999
14.	,724	,784	,838	,886	,928	,961	,987	,998	1,000
16.	,853	,893	,929	,955	,976	,990	,998	1,000	1,000
18.	,955	,971	,983	,992	,997	,999	1,000	1,000	1,000
20.	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
22.	,964	,974	,984	,991	,996	,999	1,000	1,000	1,000
24.	,870	,903	,932	,957	,976	,988	,998	1,000	1,000
26.	,745	,797	,846	,891	,928	,958	,987	,998	1,000
28.	,604	,669	,731	,793	,848	,898	,957	,992	1,000
30.	,460	,528	,596	,667	,737	,804	,895	,963	,999
32.	,322	,385	,450	,522	,595	,671	,789	,898	,987
34.	,200	,251	,304	,368	,433	,506	,631	,773	,920
36.	,103	,136	,173	,217	,265	,322	,428	,567	,745
37.	,065	,090	,115	,149	,185	,231	,315	,436	,599
38.	,034	,050	,066	,087	,112	,142	,201	,290	,414
39.	,012	,018	,027	,037	,048	,060	,092	,140	,208
A.P.	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
t <sub>ORR</sub>		,240	,350	,470	,605	,775	1,320	2,340	
t <sub>FAR</sub>		,270	,430	,600	,815	1,075	1,640	2,500	

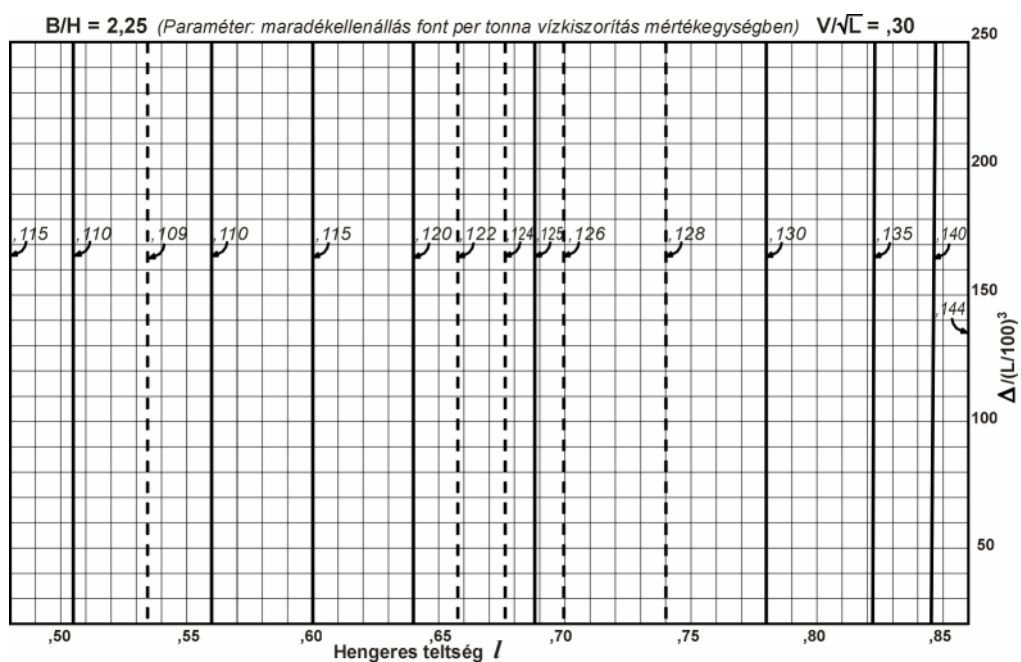
A t a bordametszet görbék tangense a hajó két végén (az orrnál azon a ponton, mielőtt a bulba miatti lekerekítés befolyása érezhető lenne).

### 2.2.1.2.1.1.1 táblázat Tideman súrlási ellenállási konstansai hajókhoz sós vízben

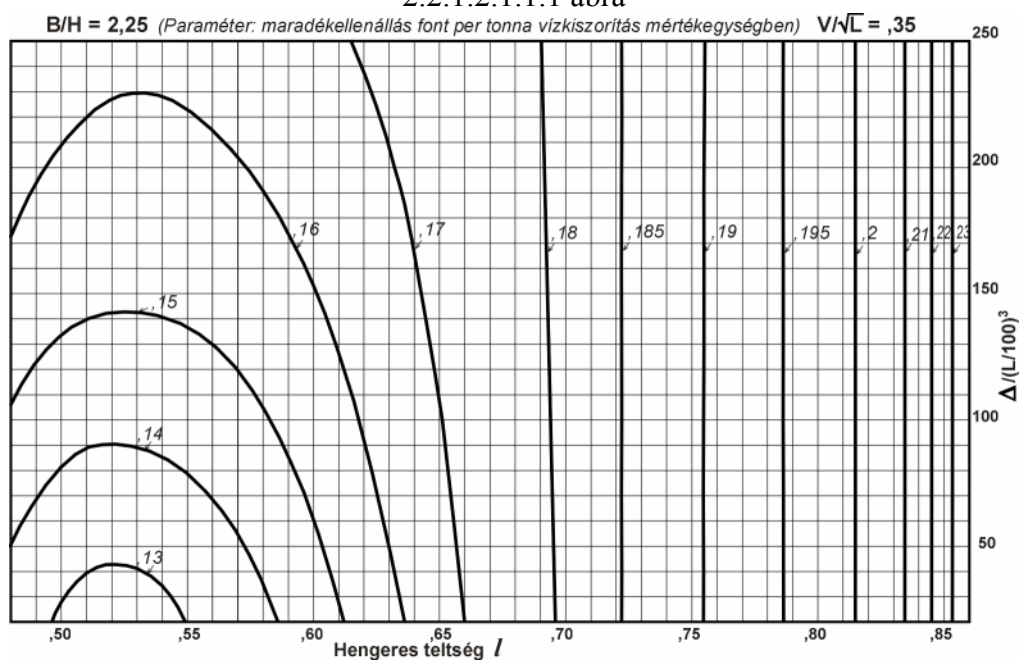
Hajóhossz lábban	Acél fenék tiszta és jól festett		Réz vagy horgany bevonat			
			Bevonat sima és jó állapotú		Bevonat durva és rossz állapotú	
	<i>f</i>	n	<i>f</i>	n	<i>f</i>	n
10	0,011240	1,8530	0,01000	1,9175	0,01400	1,8700
20	,010570	1,8484	,00990	1,9000	,01350	1,8610
30	,010180	1,8440	,00983	1,8650	,01310	1,8530
40	,009980	1,8397	,00978	1,8400	,01275	1,8470
50	,009910	1,8357	,00976	1,8300	,01250	1,8430
100	,009700	1,8290	,00966	1,8270	,01200	1,8430
150	,009570	1,8290	,00953	1,8270	,01183	1,8430
200	,009440	1,8290	,00943	1,8270	,01170	1,8430
250	,009325	1,8290	,00936	1,8270	,01160	1,8430
300	,009230	1,8290	,00930	1,8270	,01152	1,8430
350	,009156	1,8290	,00927	1,8270	,01145	1,8430
400	,009101	1,8290	,00926	1,8270	,01140	1,8430
450	,009063	1,8290	,00926	1,8270	,01137	1,8430
500	,009035	1,8290	,00926	1,8270	,01136	1,8430

## 3. kiadás 2014. 0.1 TARTALOMJEGYZÉK 02.TÁRGYMUTATÓ 1.BEVEZETÉS 2.HAJÓELMÉLET

550	,009008	1,8290	<p>Tideman értékeit a David W. Taylor Modellkísérleti Intézet 1941-ben extrapolálta 1.200 láb hosszígg úgy, hogy megszorozta Froude <math>f</math> értékeit 1,0295-tel.</p> $R_F = f^* S^* V^n$
600	,008982	1,8290	
700	,008936	1,8290	
800	,008895	1,8290	
900	,008859	1,8290	
1.000	,008828	1,8290	
1.100	,008800	1,8290	
1.200	,008775	1,8290	



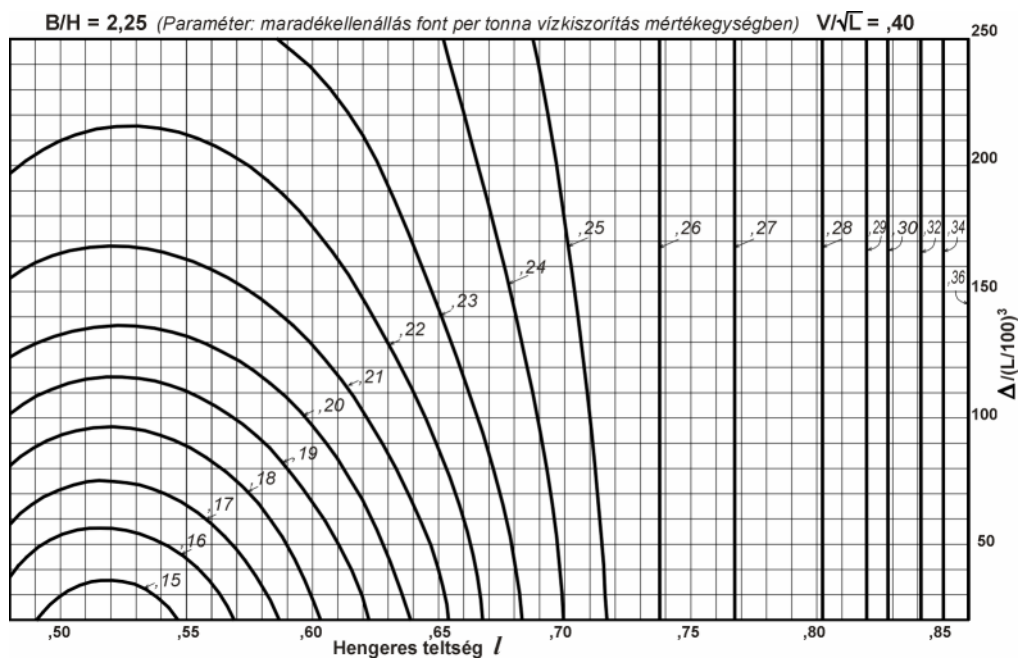
2.2.1.2.1.1.1 ábra



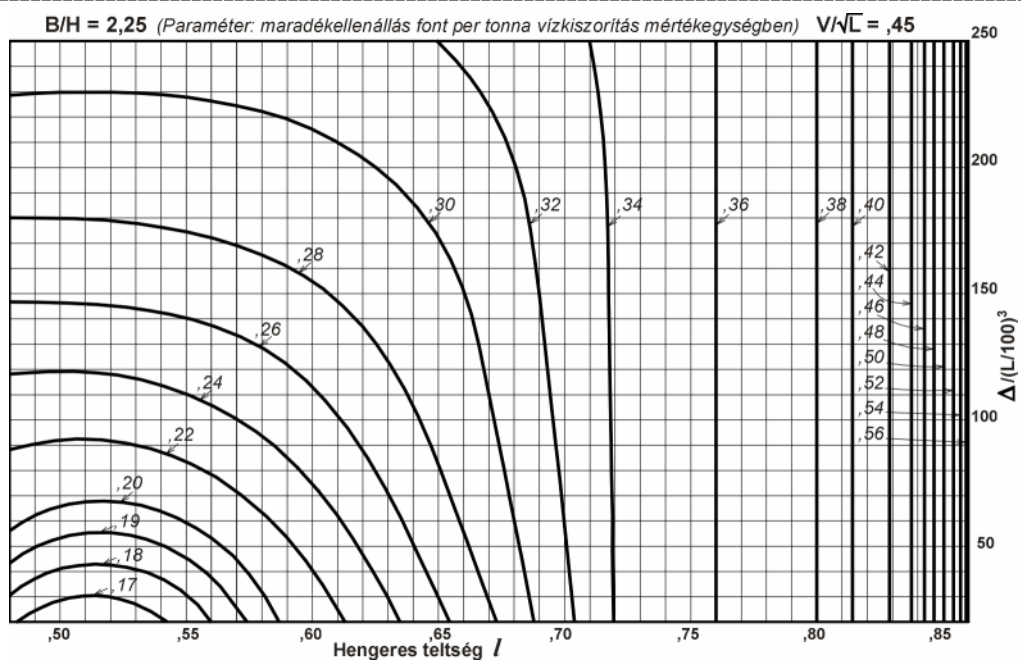
2.2.1.2.1.1.2 ábra

Mivel *Tideman konstansait* sokan használták, a washingtoni David W. Taylor Modellkísérleti Intézet 1941-ben extrapolálta az adatokat nagyobb hajóhosszakra is olyan módon, hogy Froude értékeit 500 és 1.200 láb hajóhossz között egy állandó 1,0295 tényezővel megszorozta.

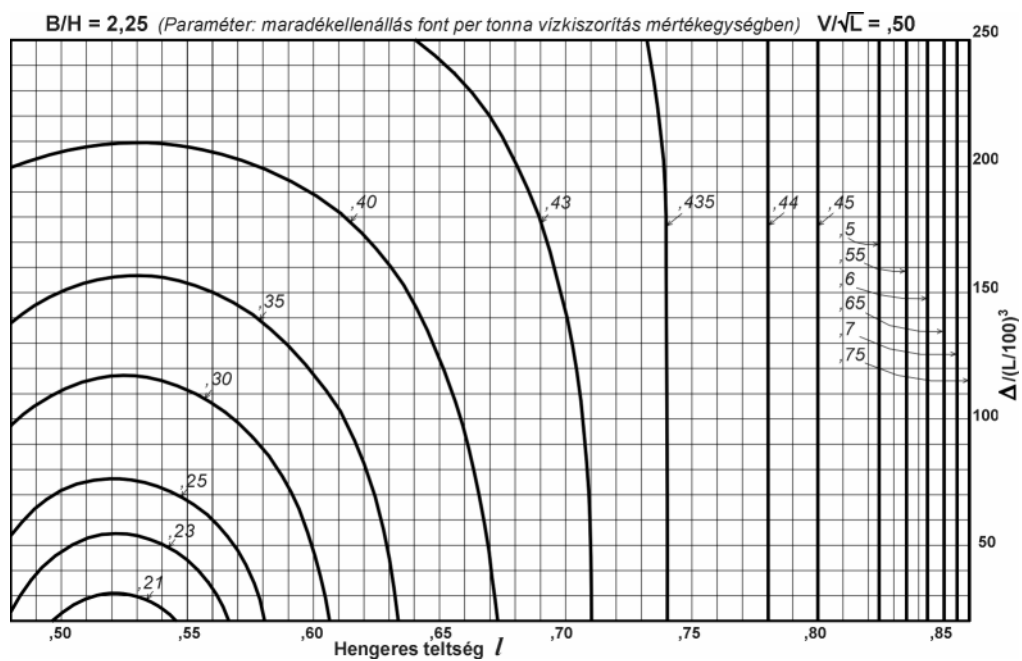
**A maradék ellenállás értékeinek meghatározására szolgáló diagramok (2.2.1.2.1.1-27 ábrák  $B/H = 2,25$  és 2.2.1.2.1.28-54 ábrák  $B/H = 3,75$  értékhez)**



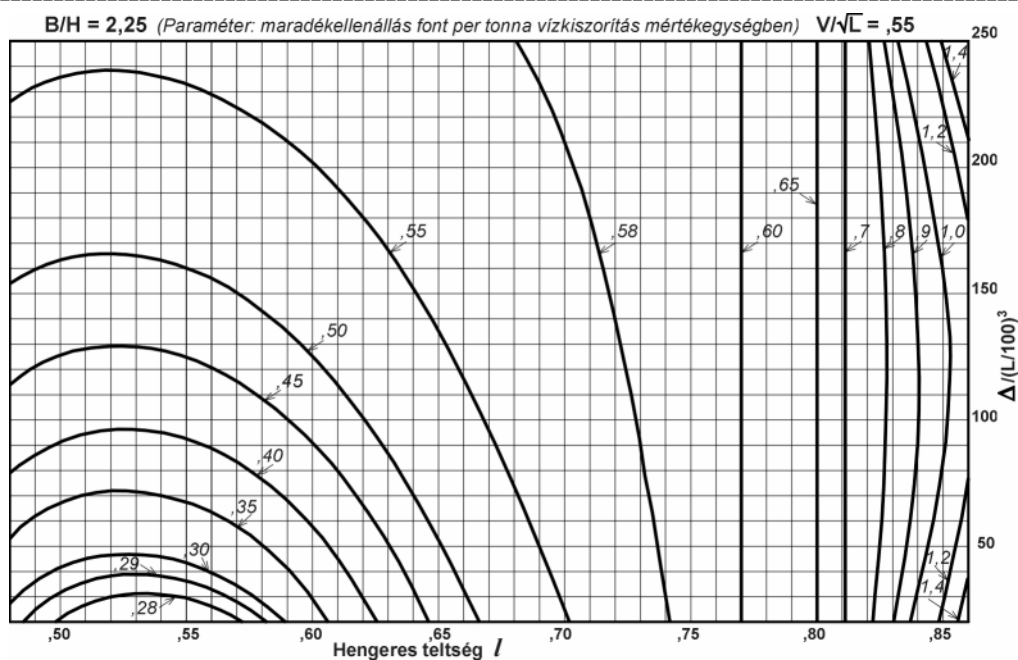
2.2.1.2.1.1.3 ábra



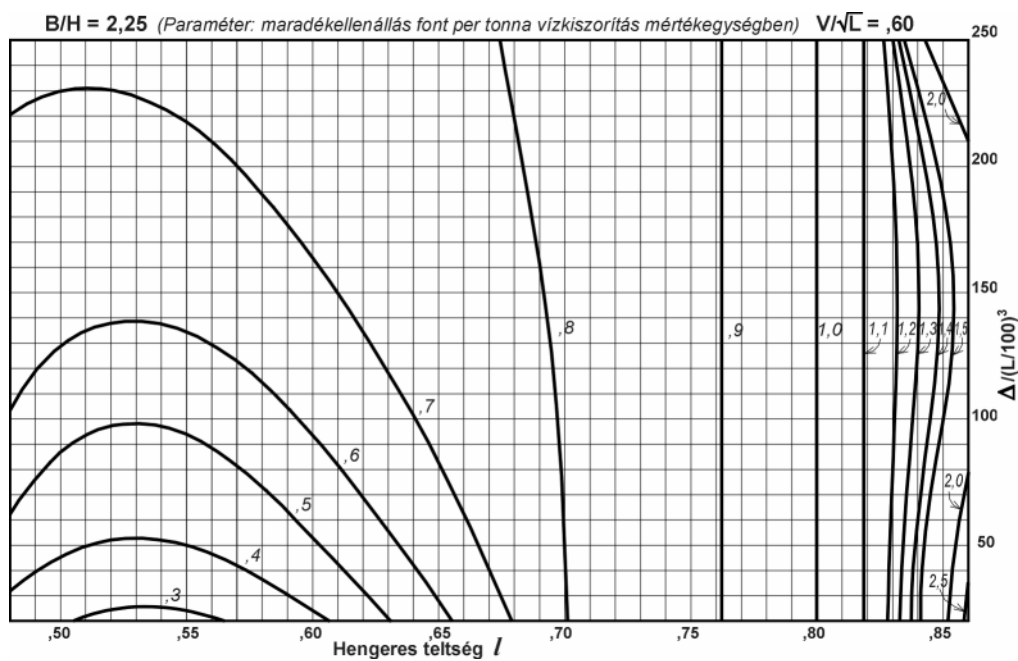
2.2.1.2.1.1.4 ábra



2.2.1.2.1.1.5 ábra

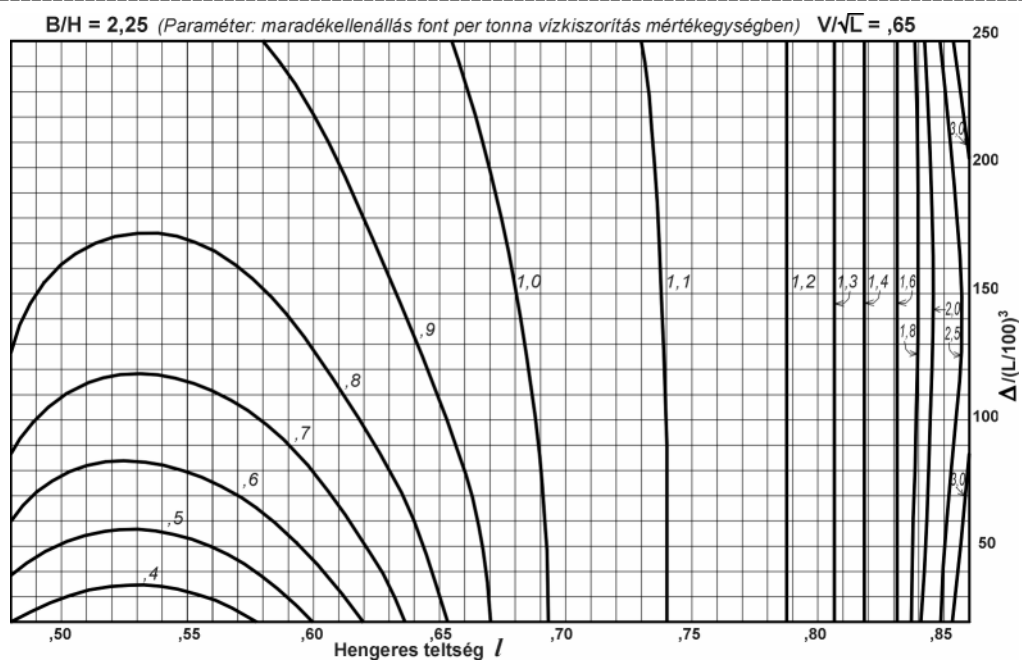


2.2.1.2.1.6 ábra

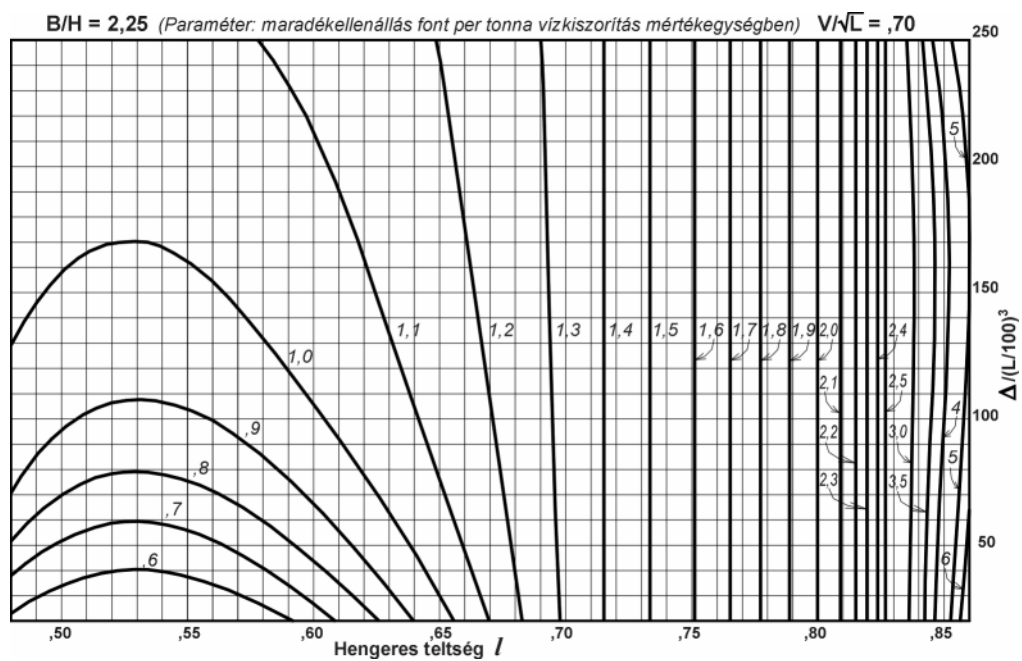


2.2.1.2.1.7 ábra

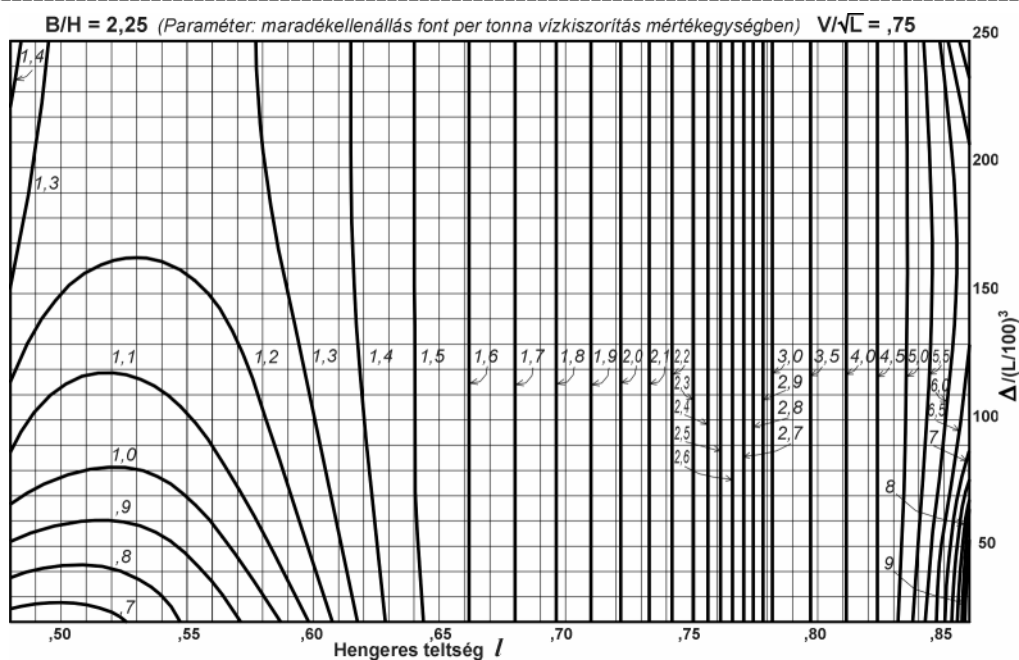




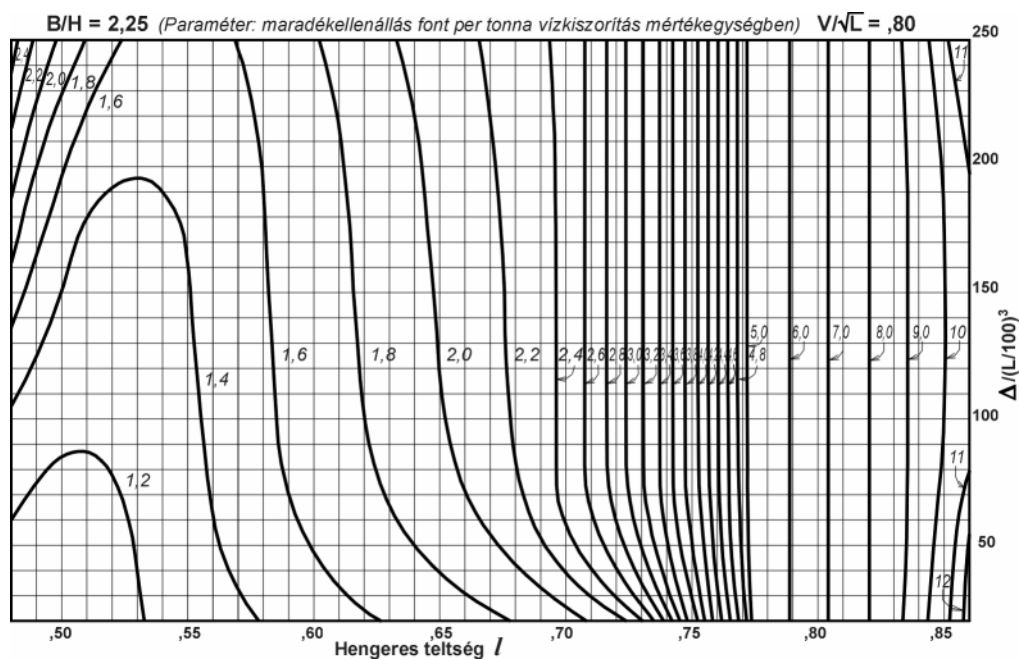
2.2.1.2.1.1.8 ábra



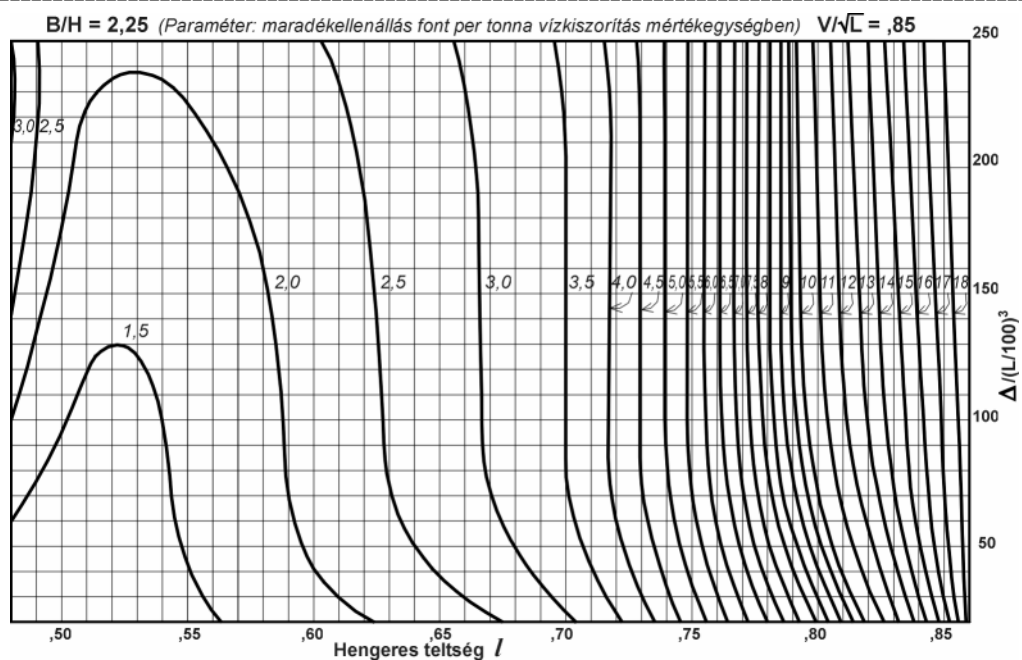
2.2.1.2.1.1.9 ábra



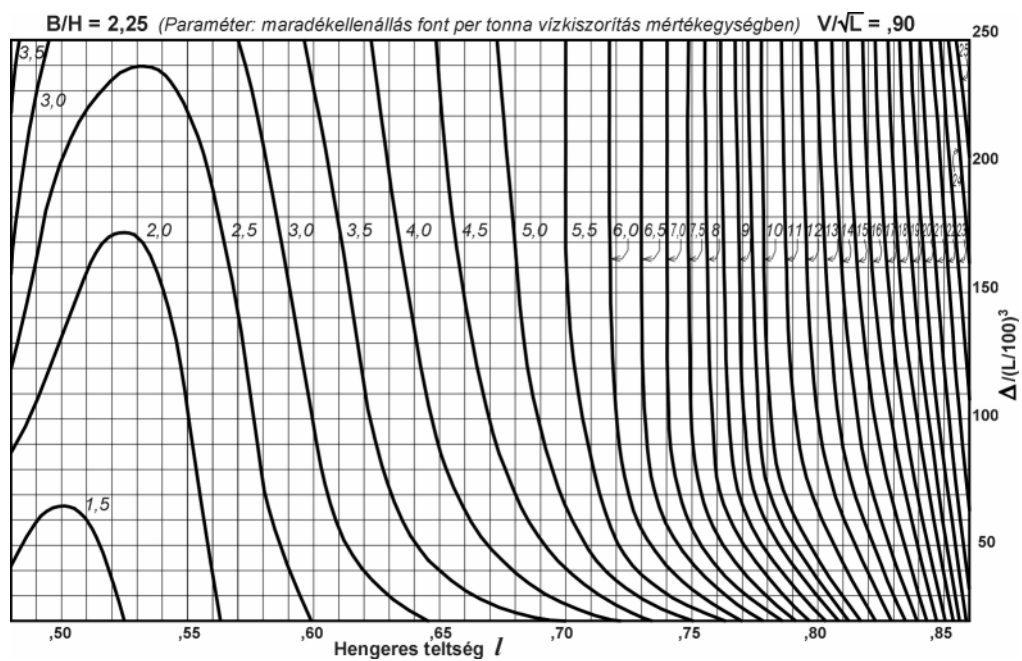
2.2.1.2.1.1.10 ábra



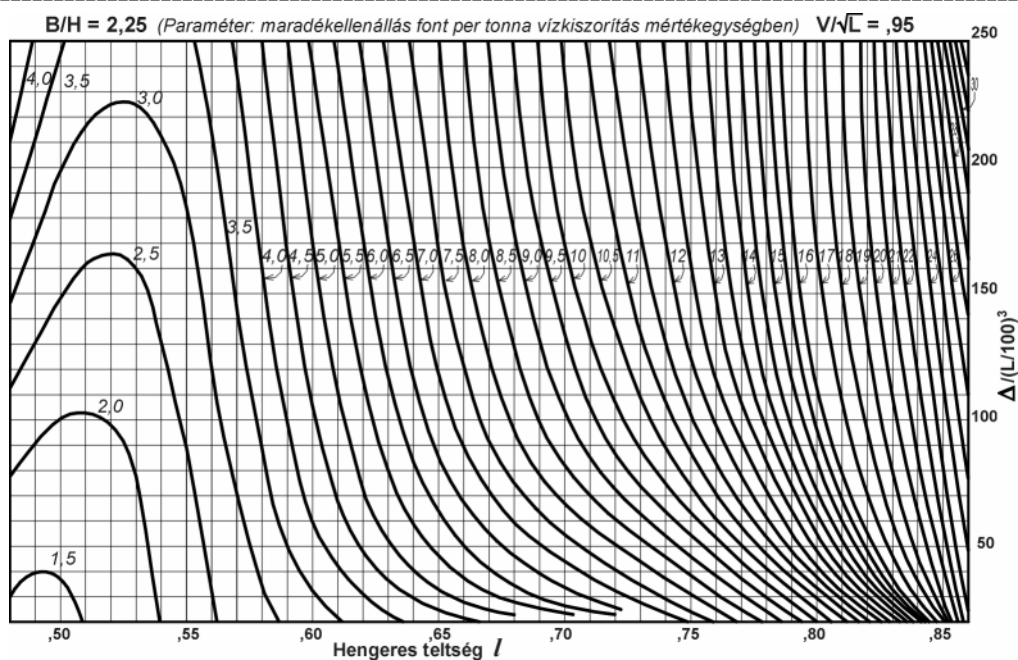
2.2.1.2.1.1.11 ábra



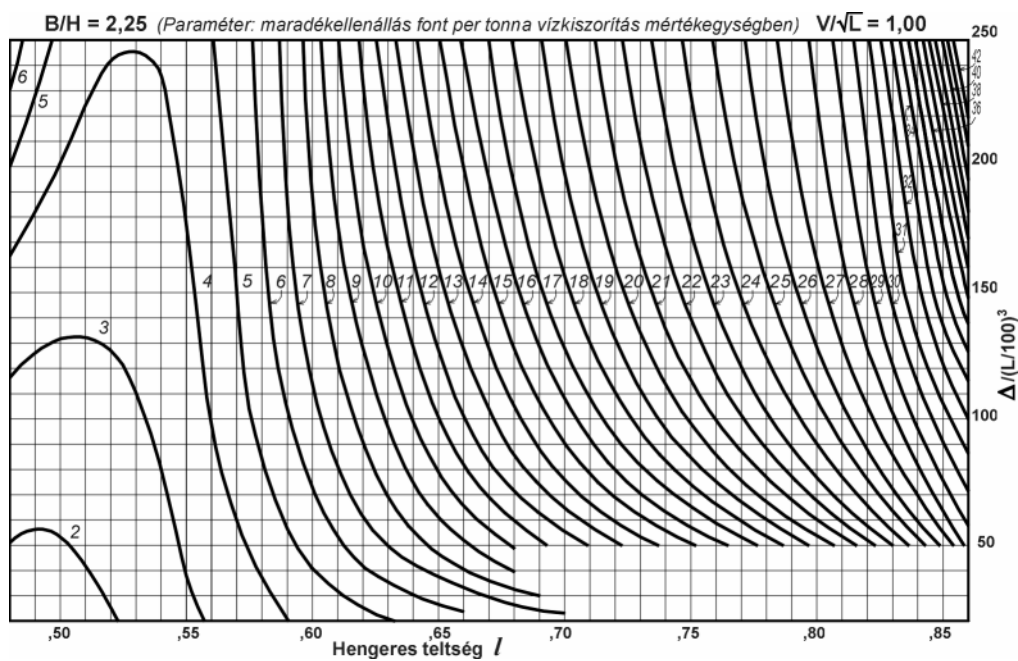
2.2.1.2.1.1.12 ábra



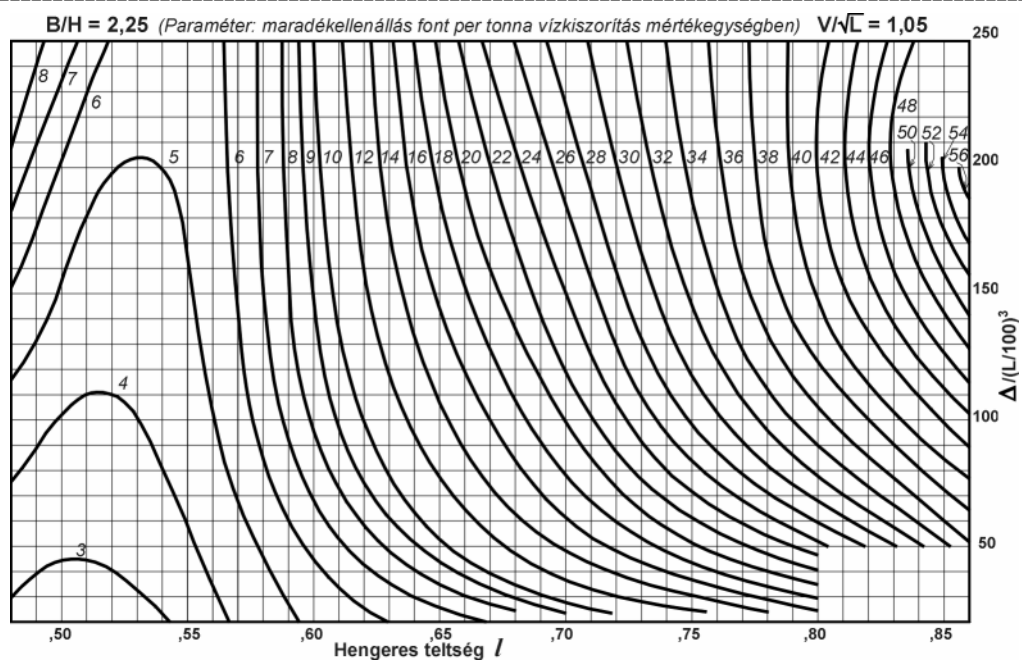
2.2.1.2.1.1.13 ábra



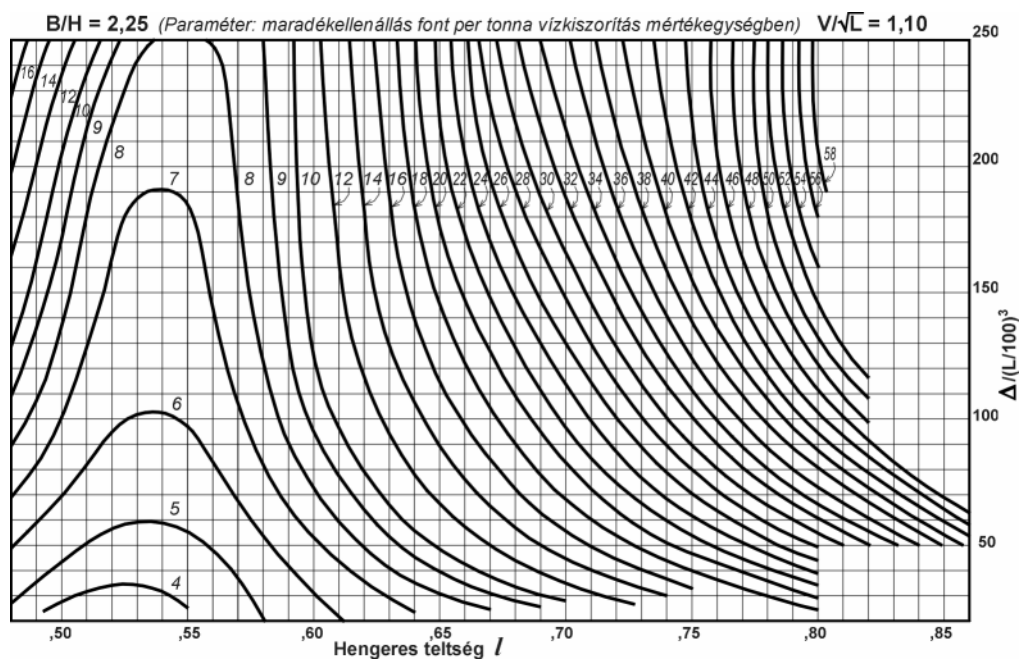
2.2.1.2.1.1.14 ábra



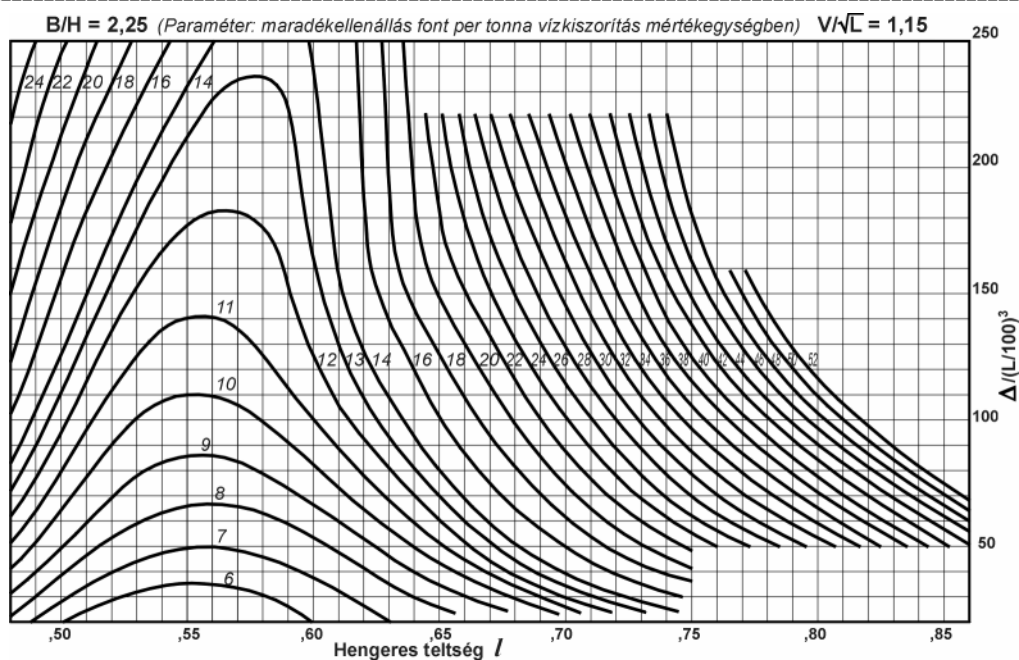
2.2.1.2.1.1.15 ábra



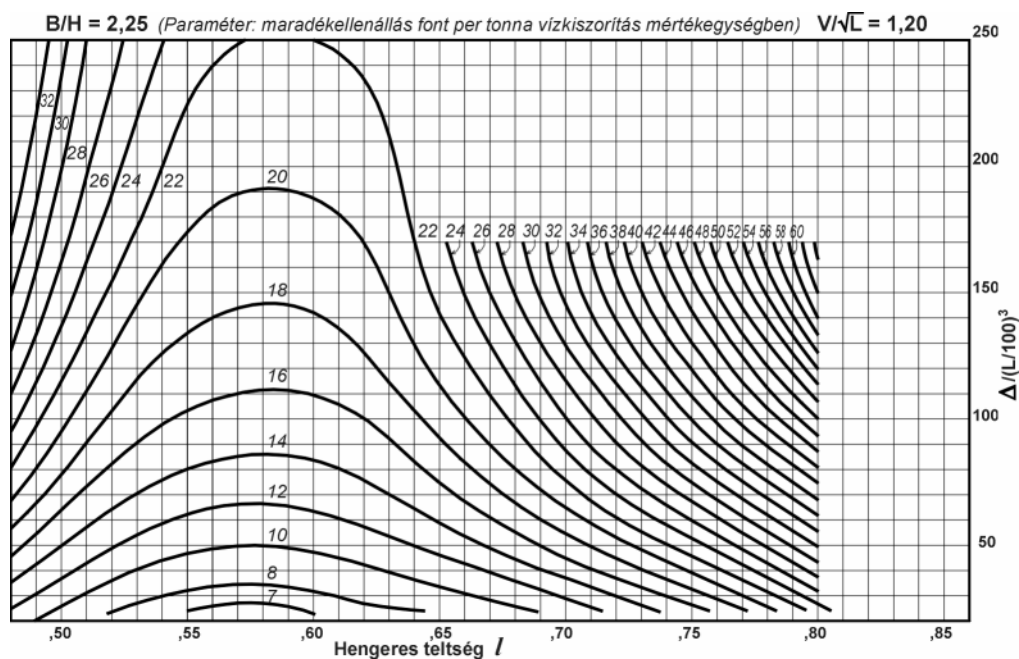
2.2.1.2.1.16 ábra



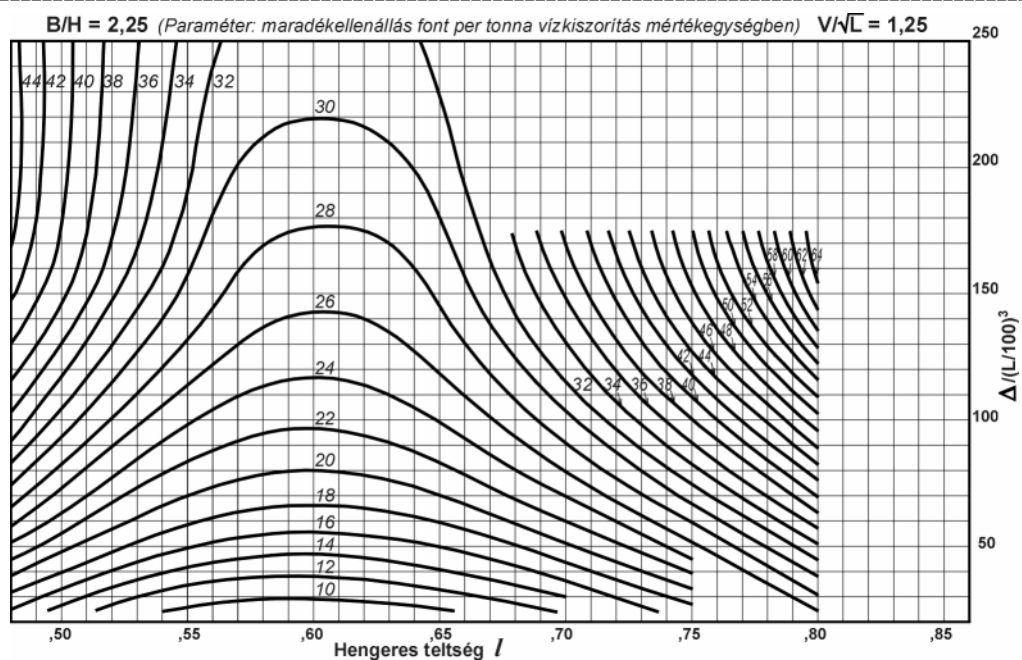
2.2.1.2.1.17 ábra



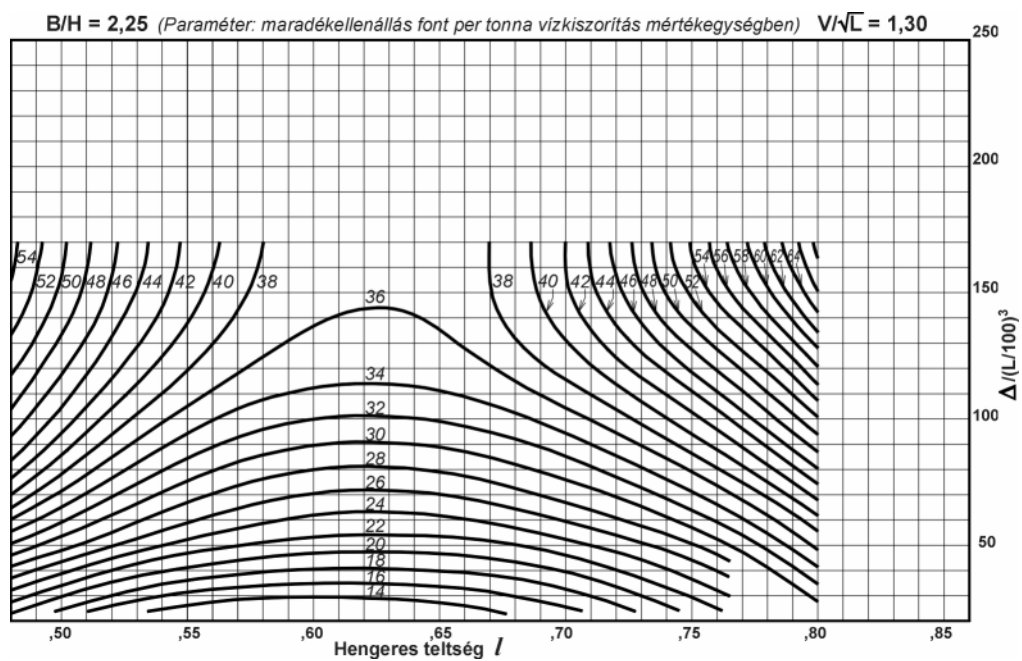
2.2.1.2.1.1.18 ábra



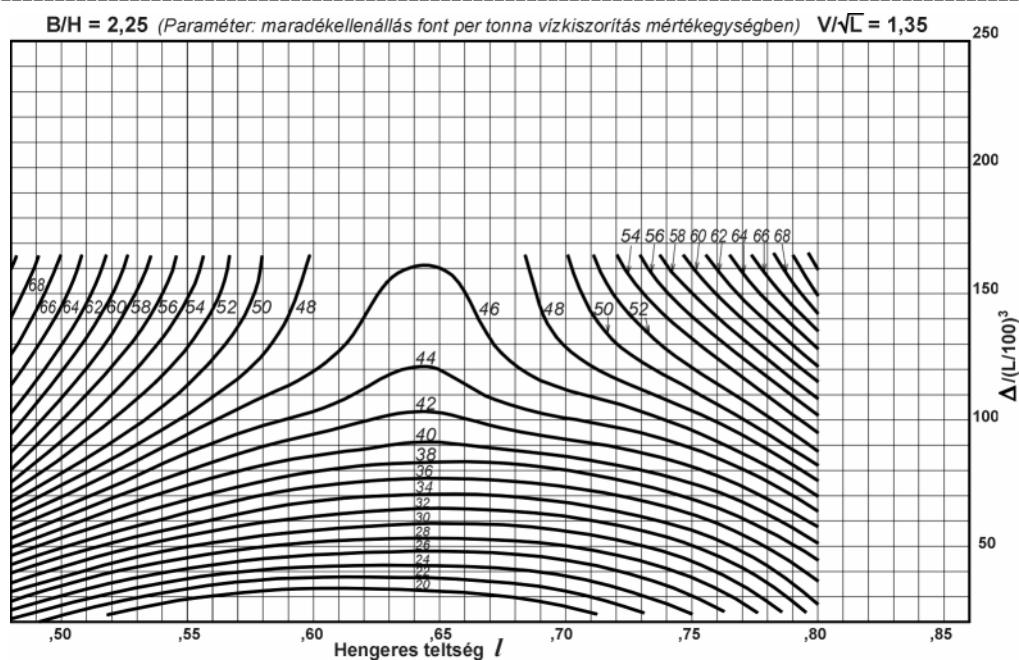
2.2.1.2.1.1.19 ábra



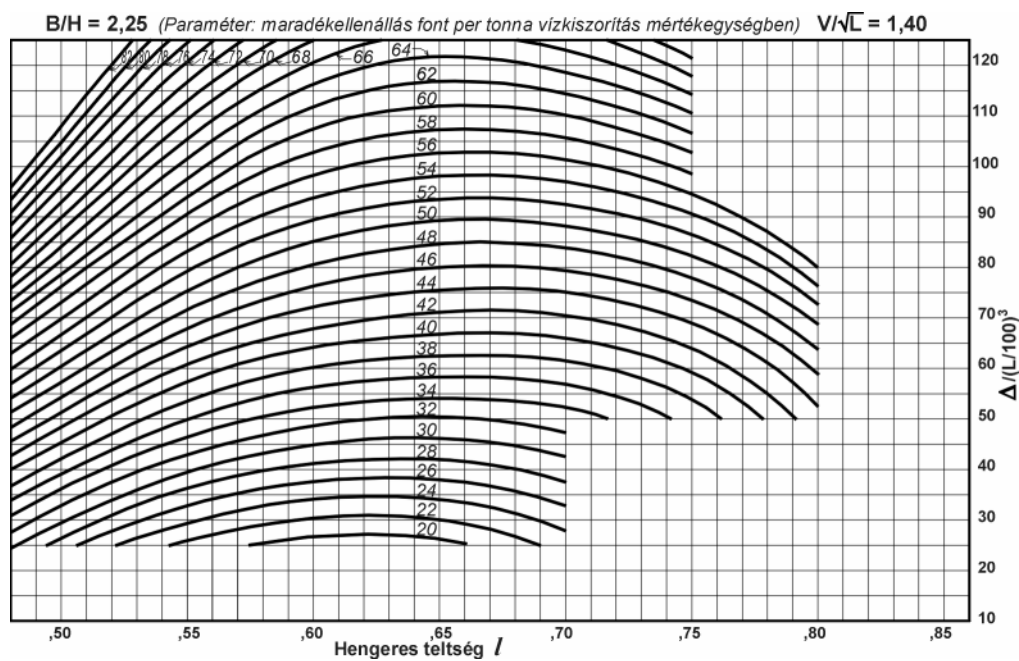
2.2.1.2.1.1.20 ábra



2.2.1.2.1.1.21 ábra

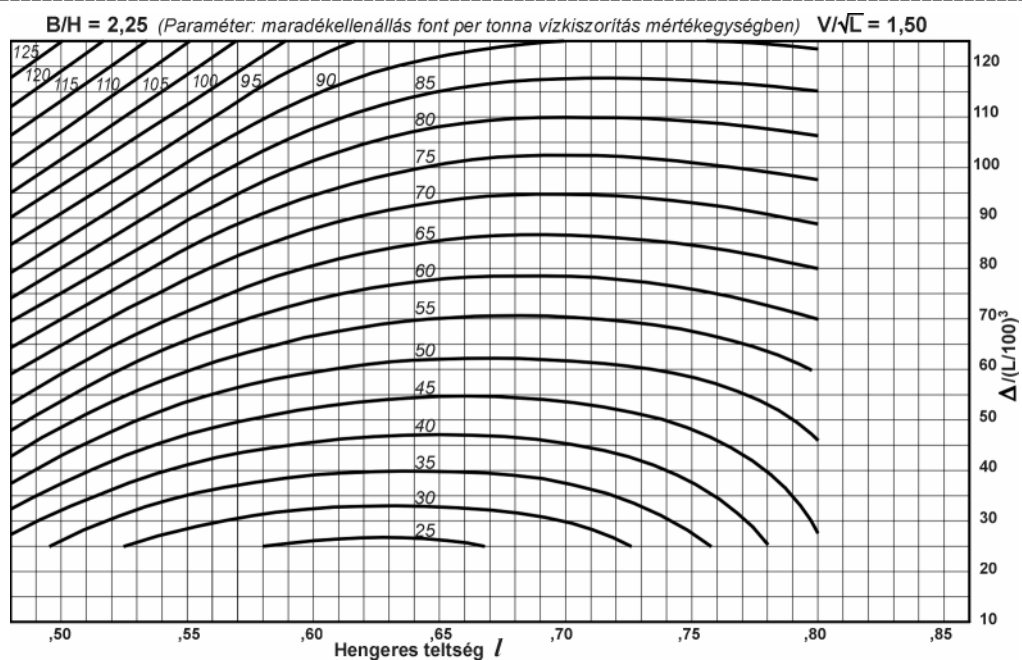


2.2.1.2.1.1.22 ábra

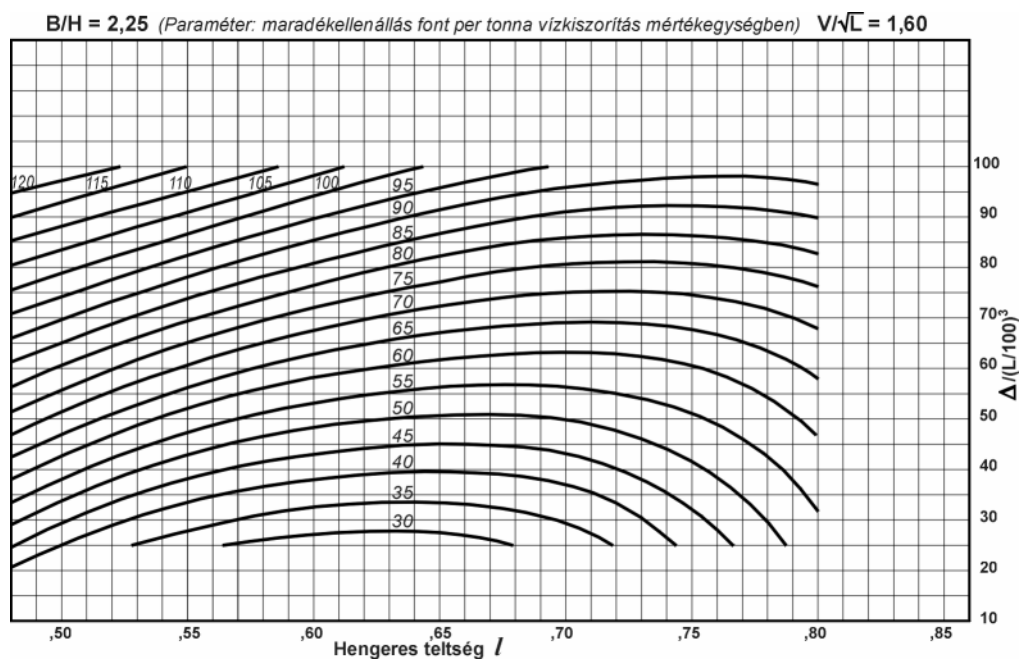


2.2.1.2.1.1.23 ábra

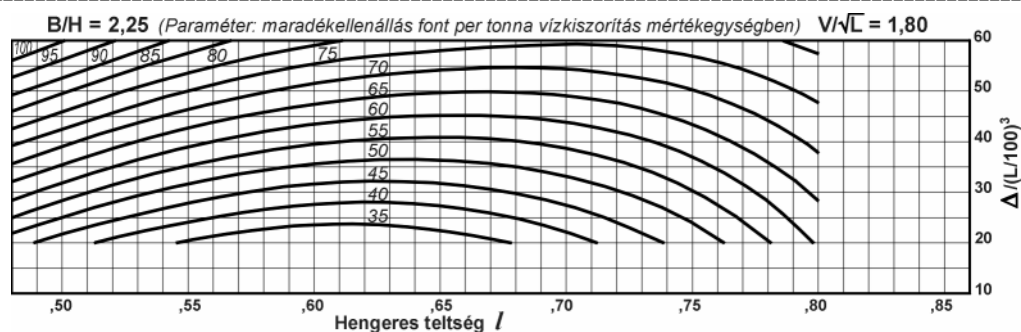




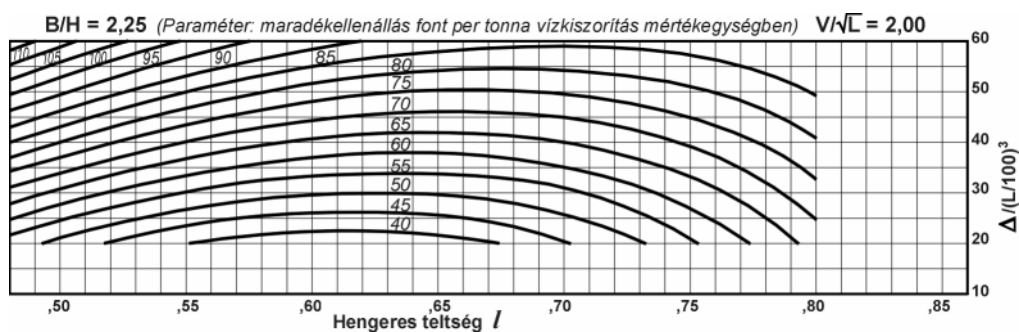
2.2.1.2.1.1.24 ábra



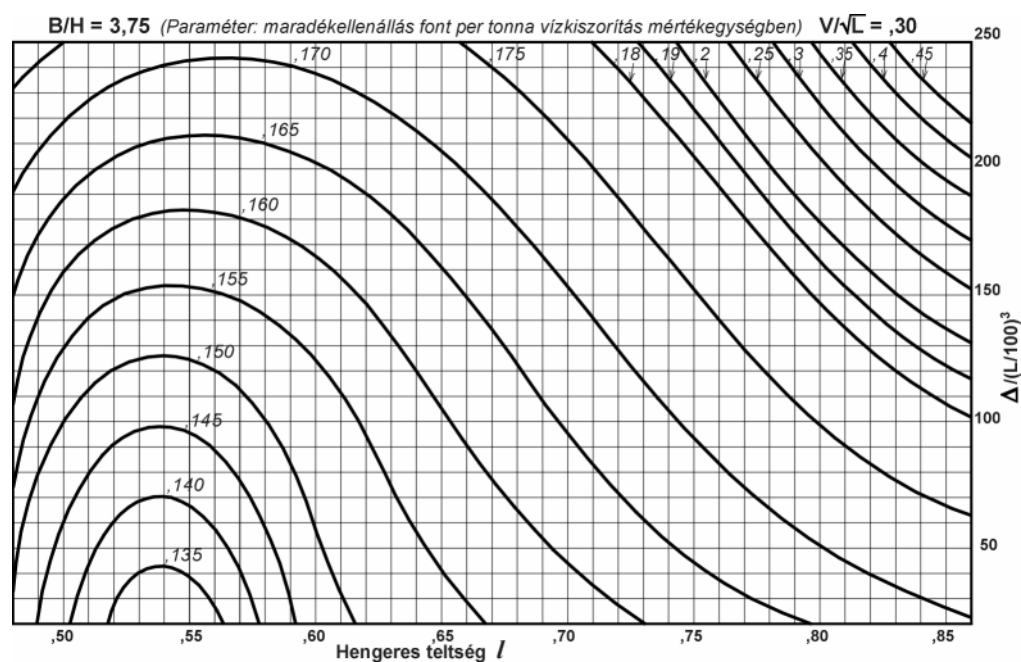
2.2.1.2.1.1.25 ábra



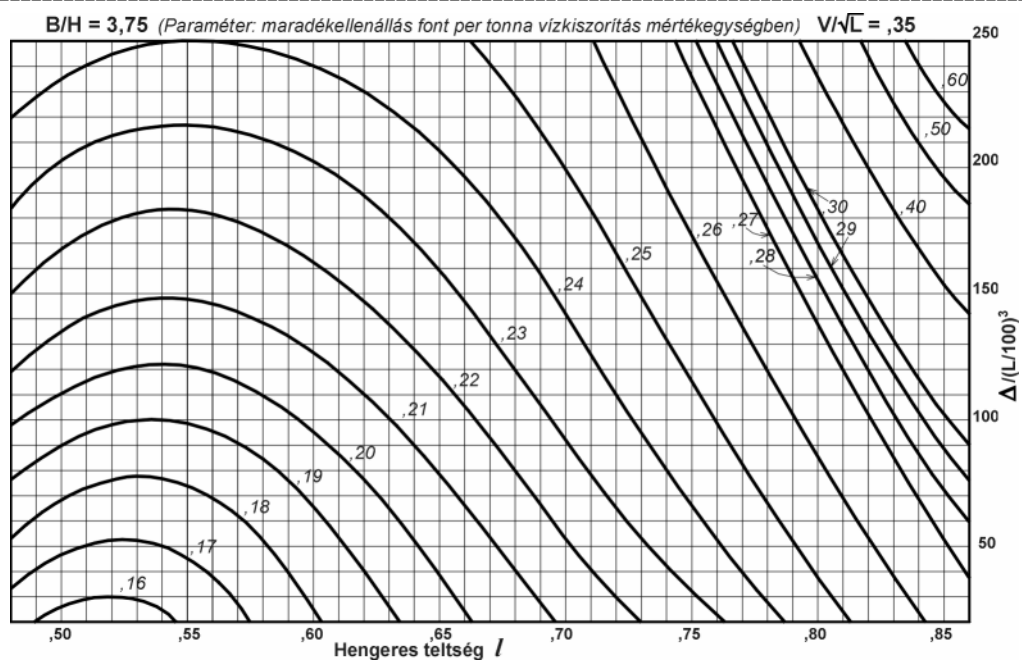
2.2.1.2.1.1.26 ábra



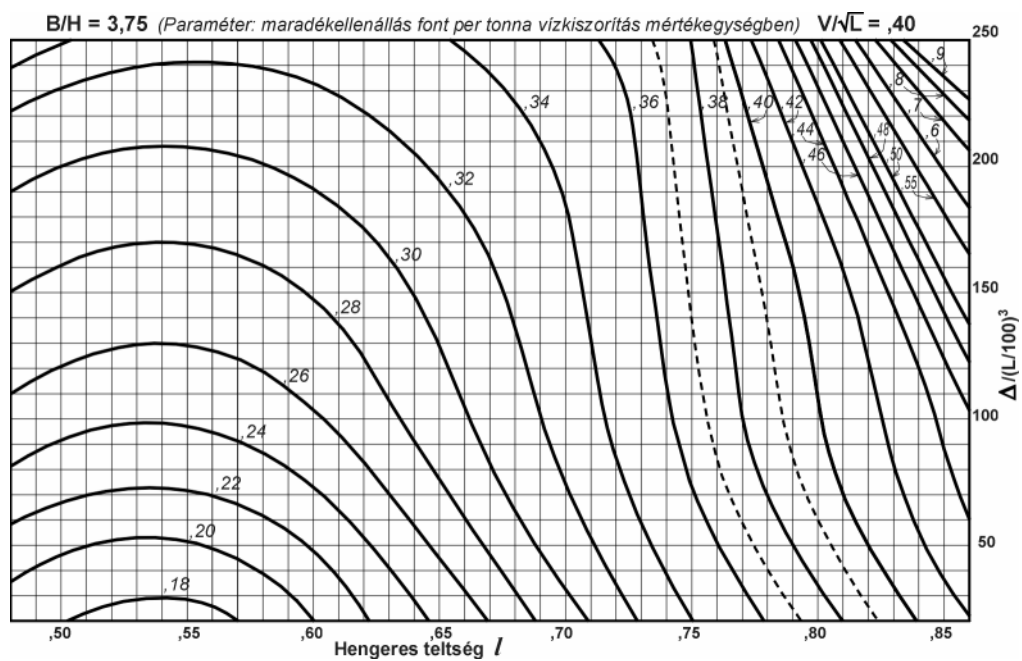
2.2.1.2.1.1.27 ábra



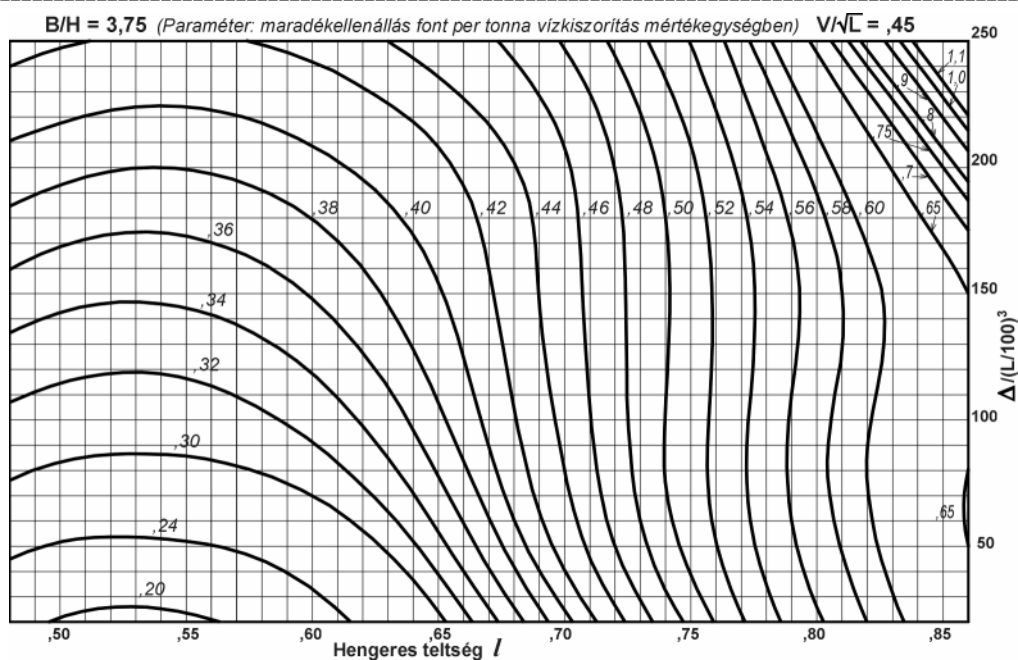
2.2.1.2.1.1.28 ábra



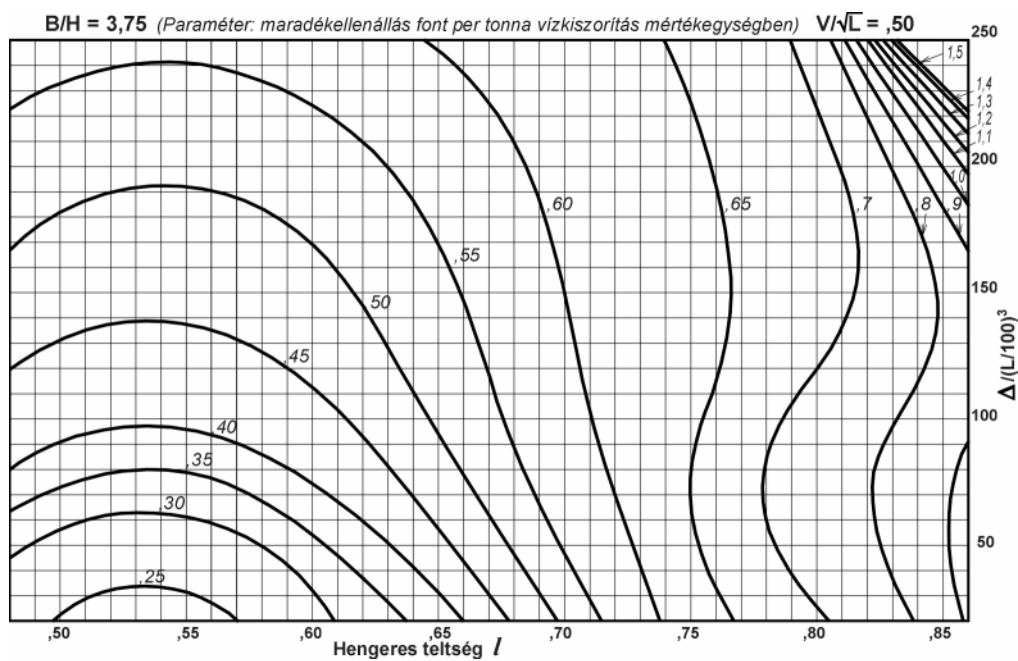
2.2.1.2.1.1.29 ábra



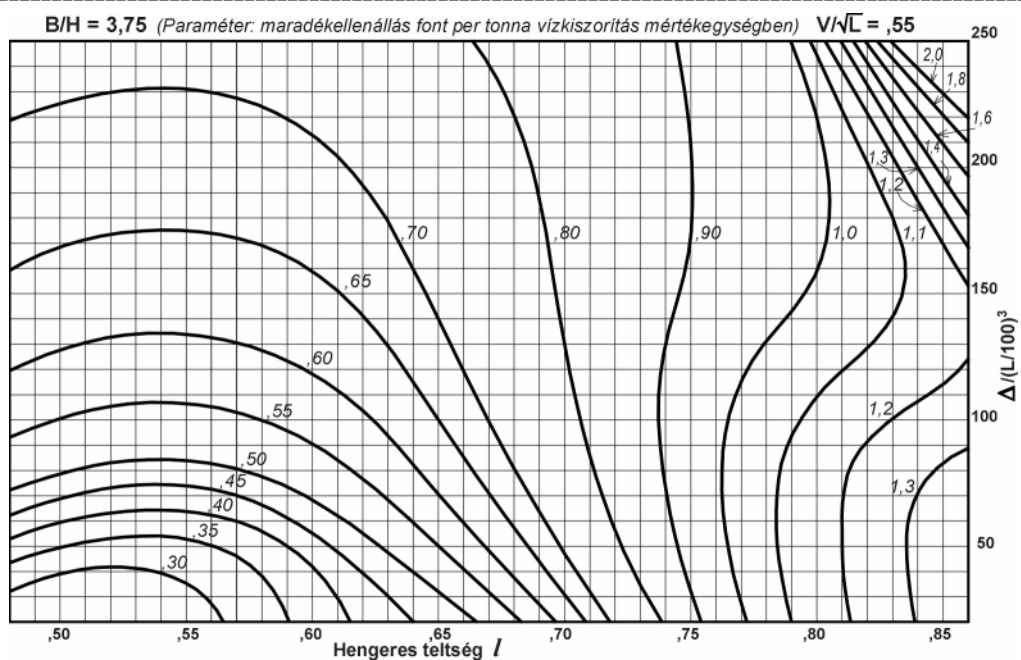
2.2.1.2.1.1.30 ábra



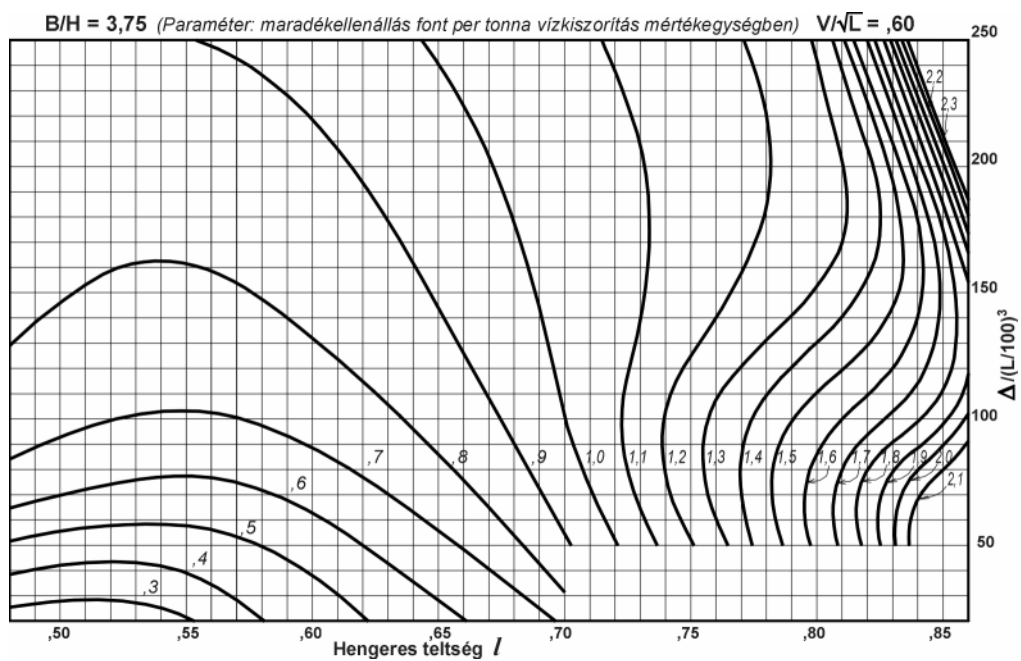
2.2.1.2.1.1.31 ábra



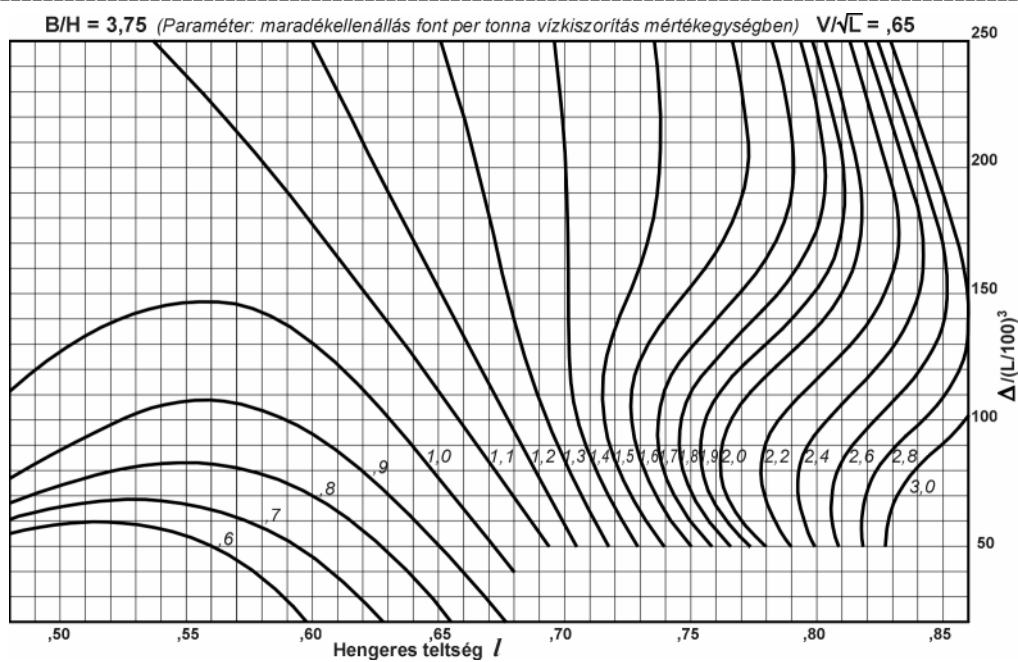
2.2.1.2.1.1.32 ábra



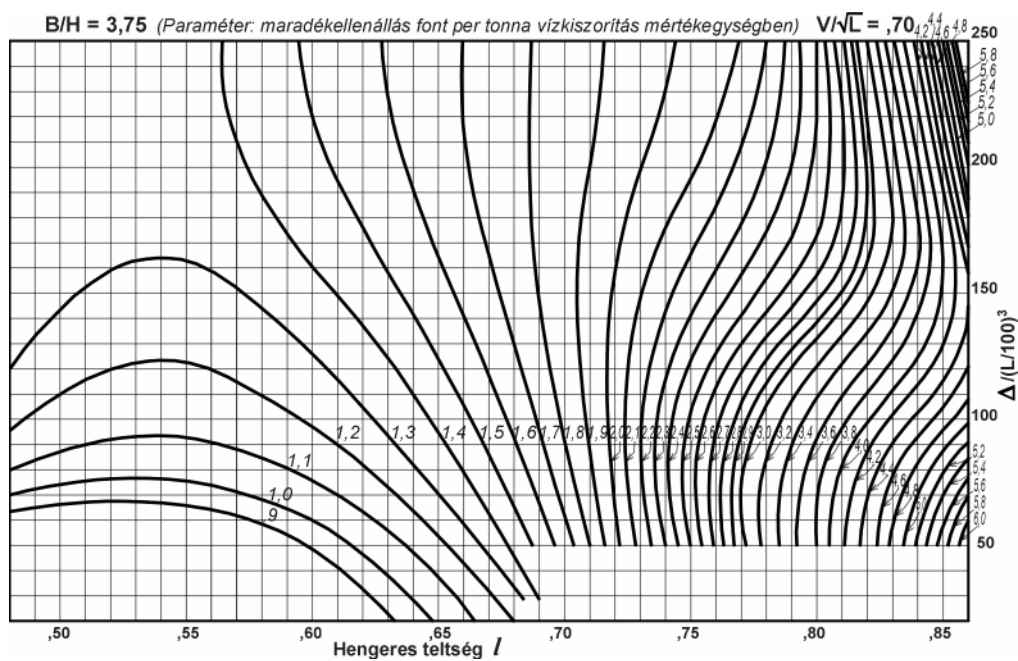
2.2.1.2.1.1.33 ábra



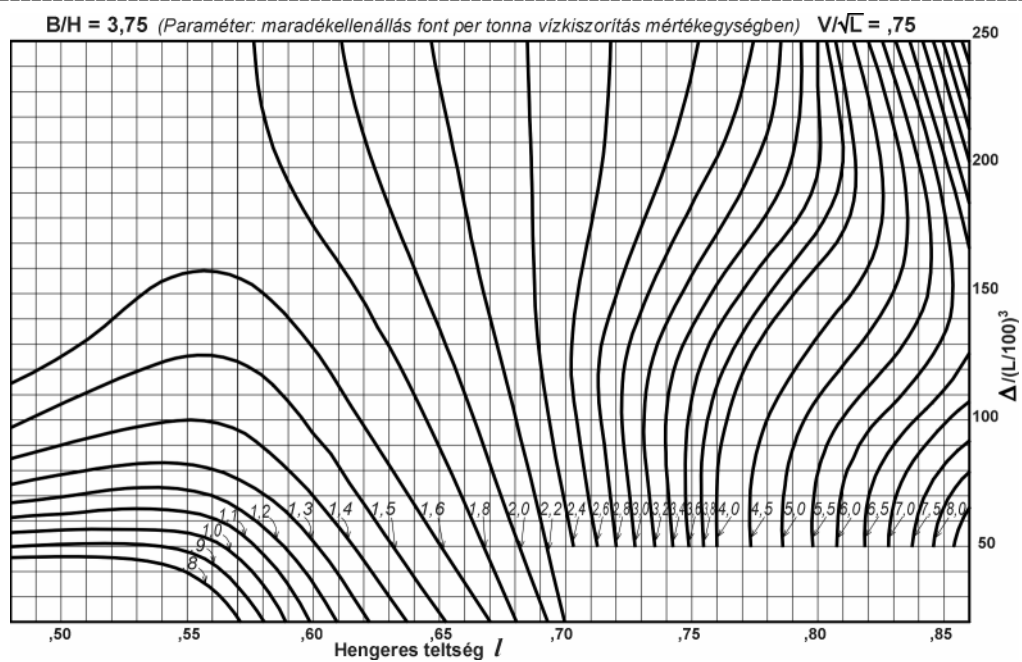
2.2.1.2.1.1.34 ábra



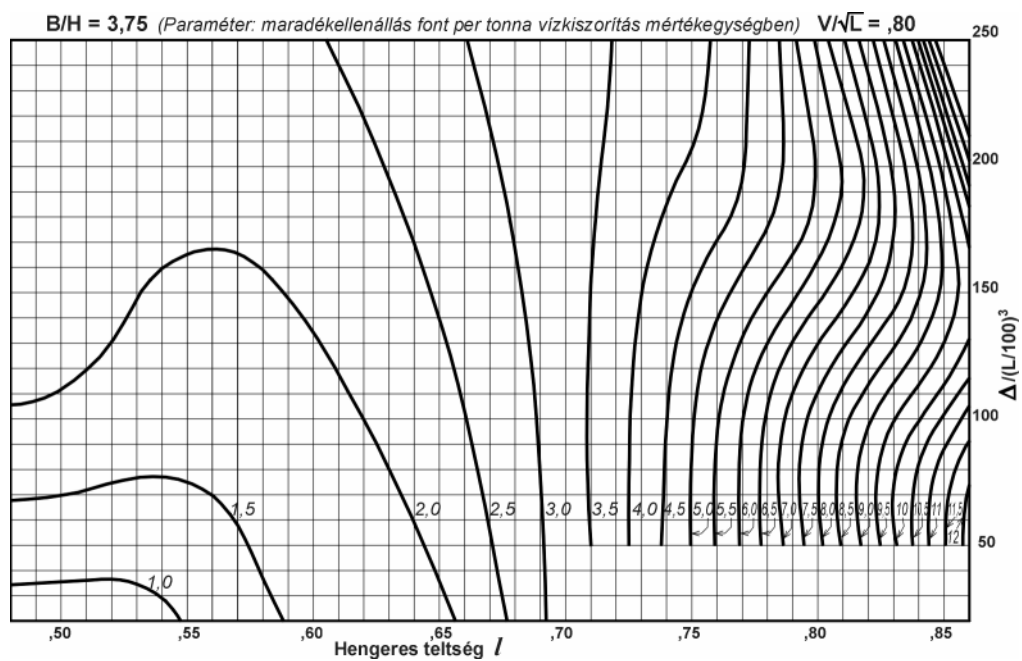
2.2.1.2.1.1.35 ábra



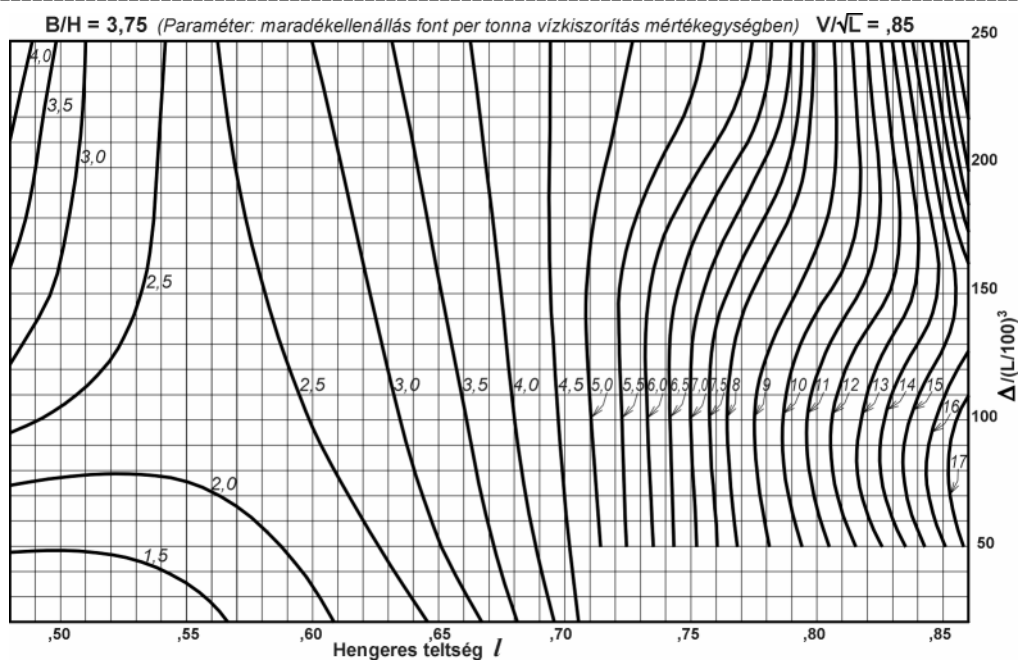
2.2.1.2.1.1.36 ábra



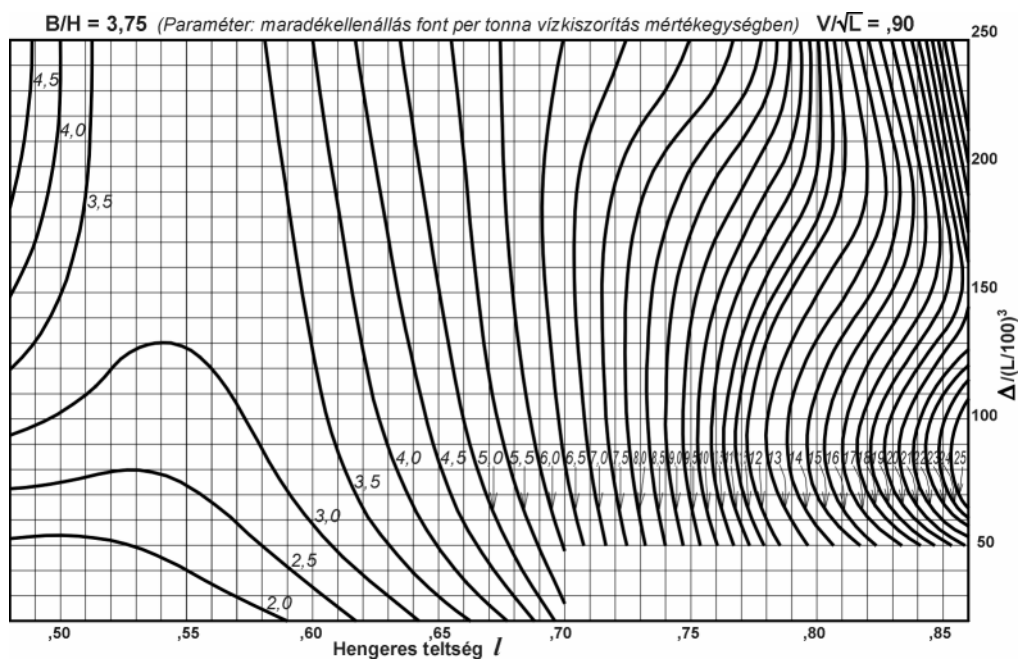
2.2.1.2.1.1.37 ábra



2.2.1.2.1.1.38 ábra

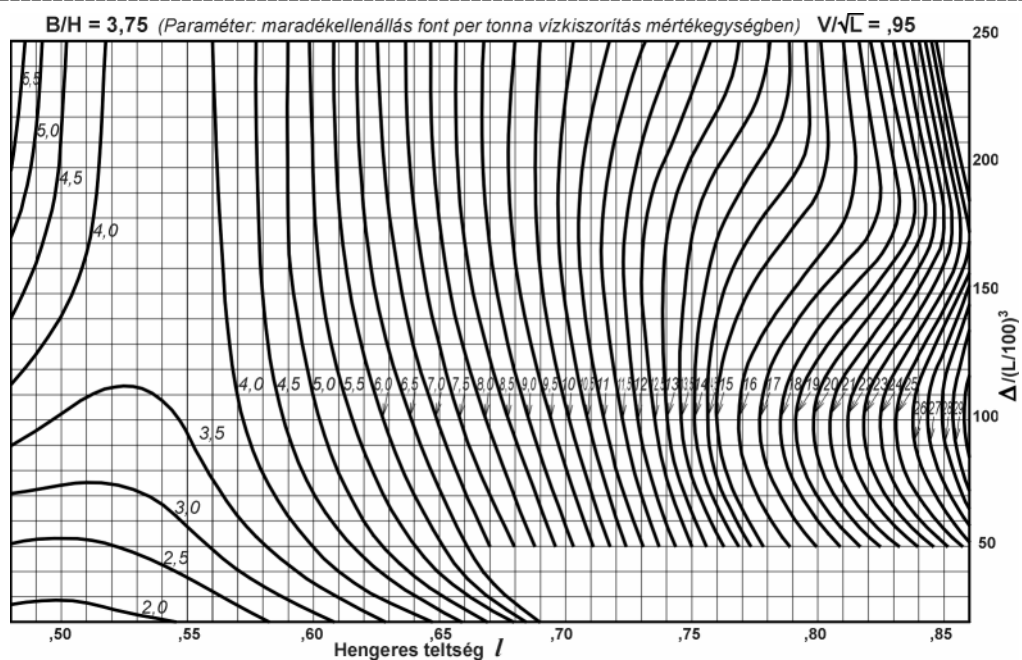


2.2.1.2.1.1.39 ábra

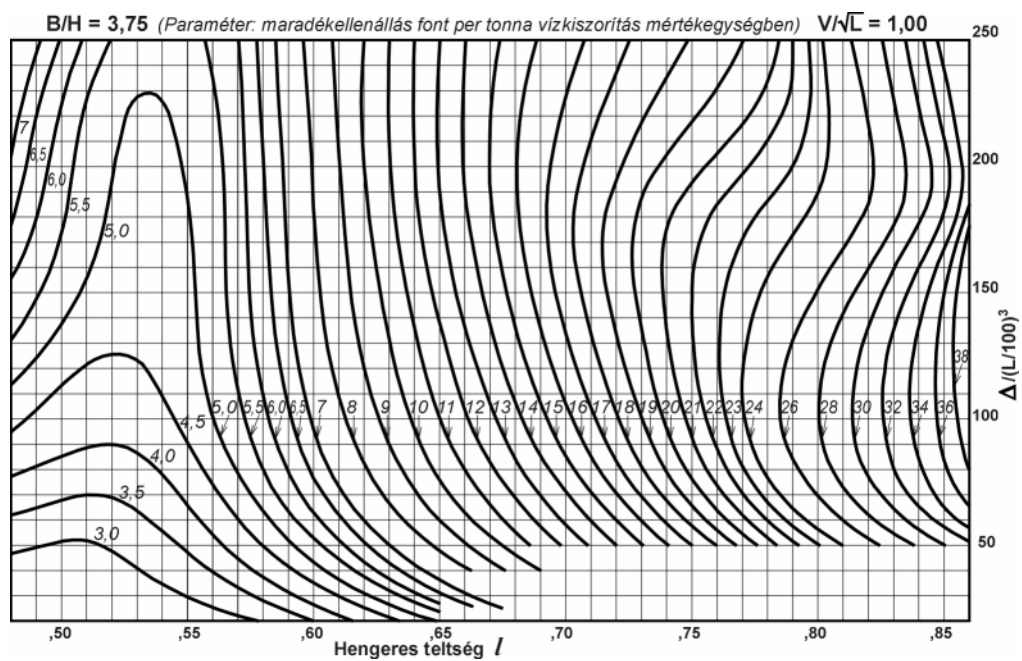


2.2.1.2.1.1.40 ábra

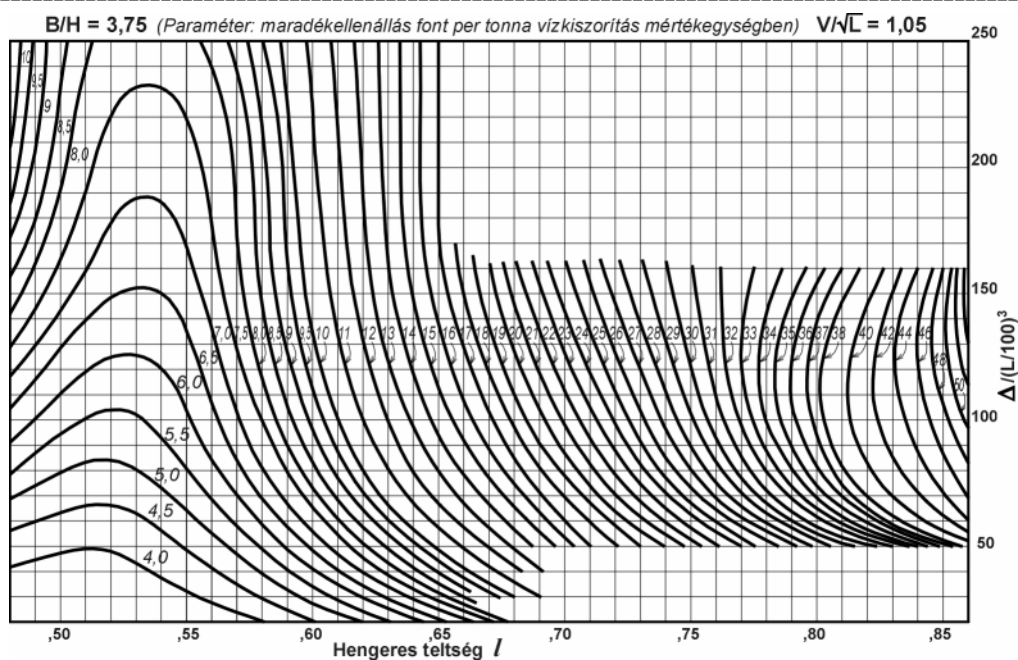




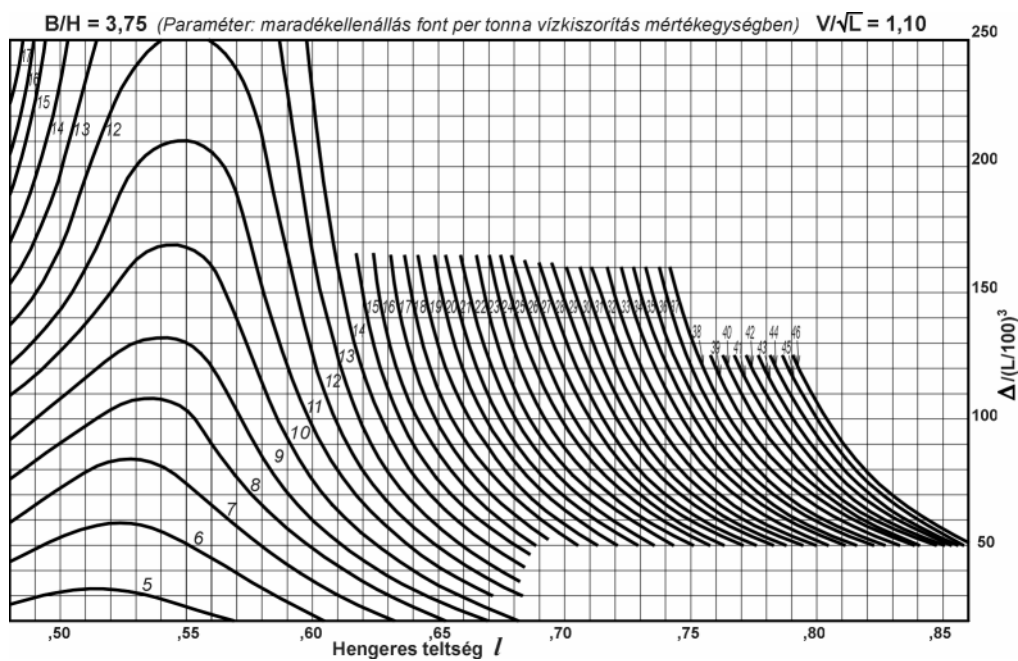
2.2.1.2.1.1.41 ábra



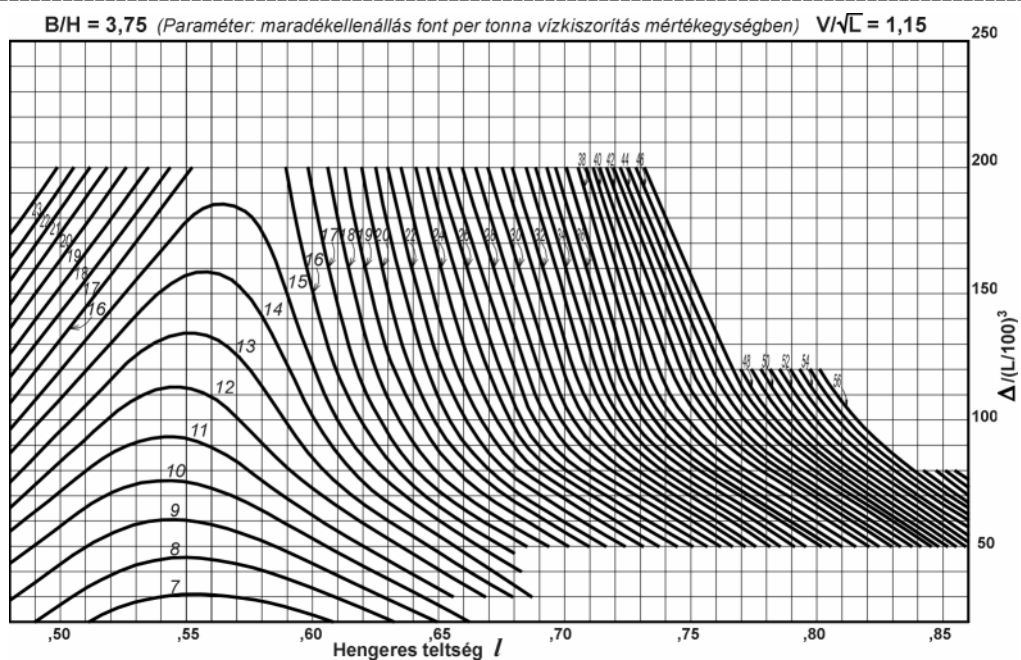
2.2.1.2.1.1.42 ábra



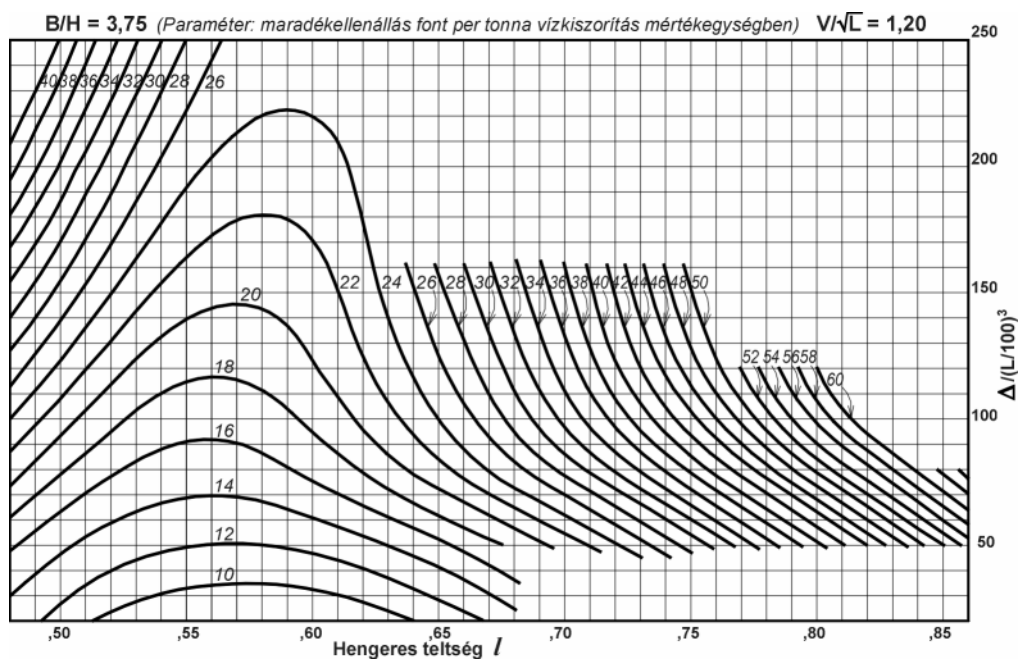
2.2.1.2.1.1.43 ábra



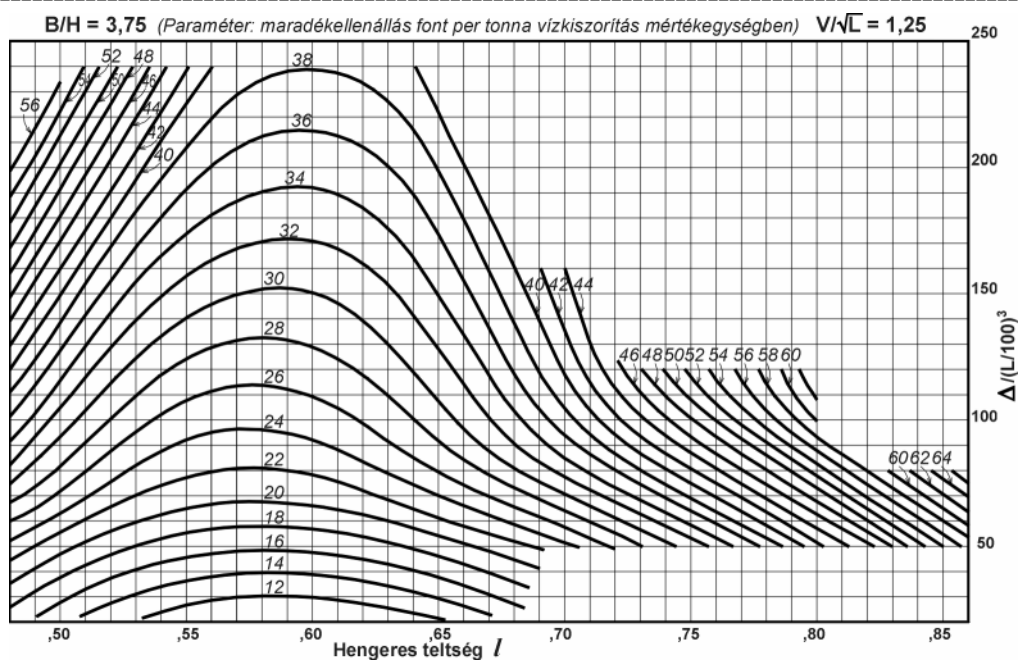
2.2.1.2.1.1.44 ábra



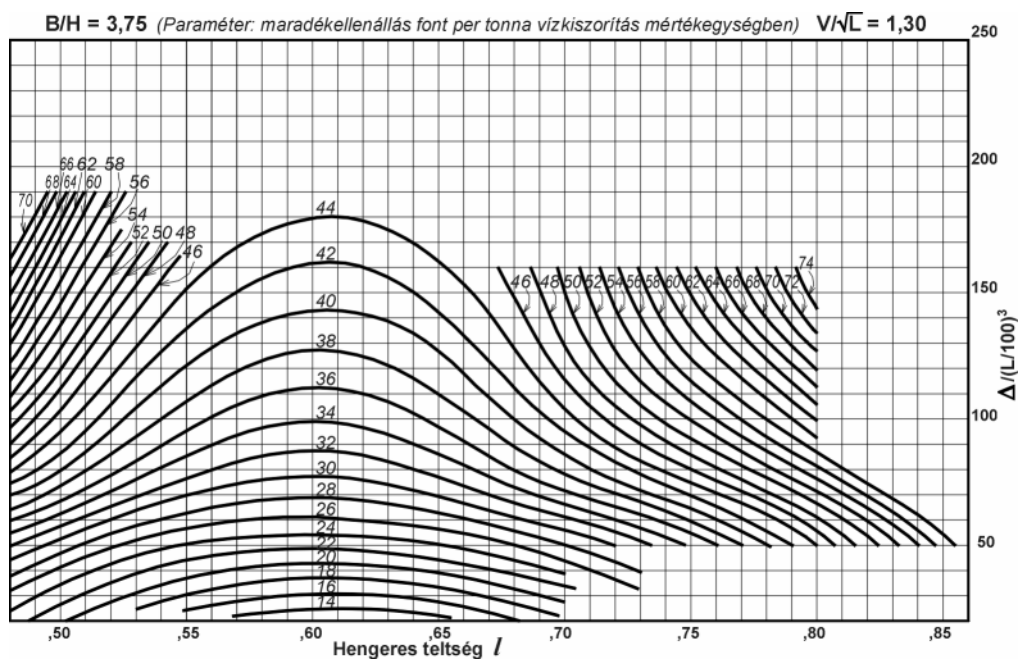
2.2.1.2.1.1.45 ábra



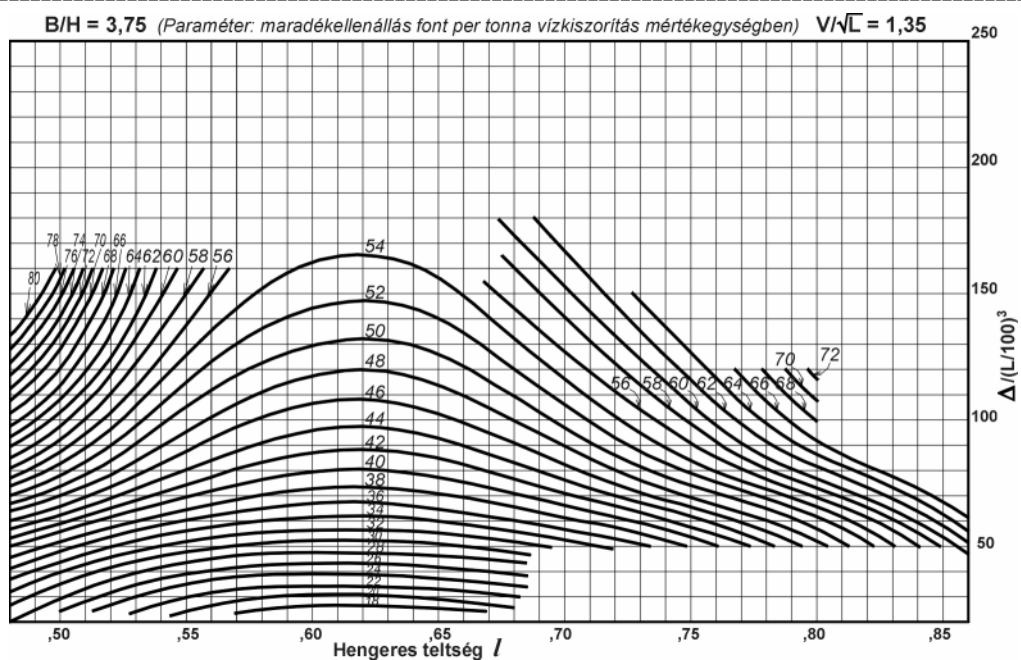
2.2.1.2.1.1.46 ábra



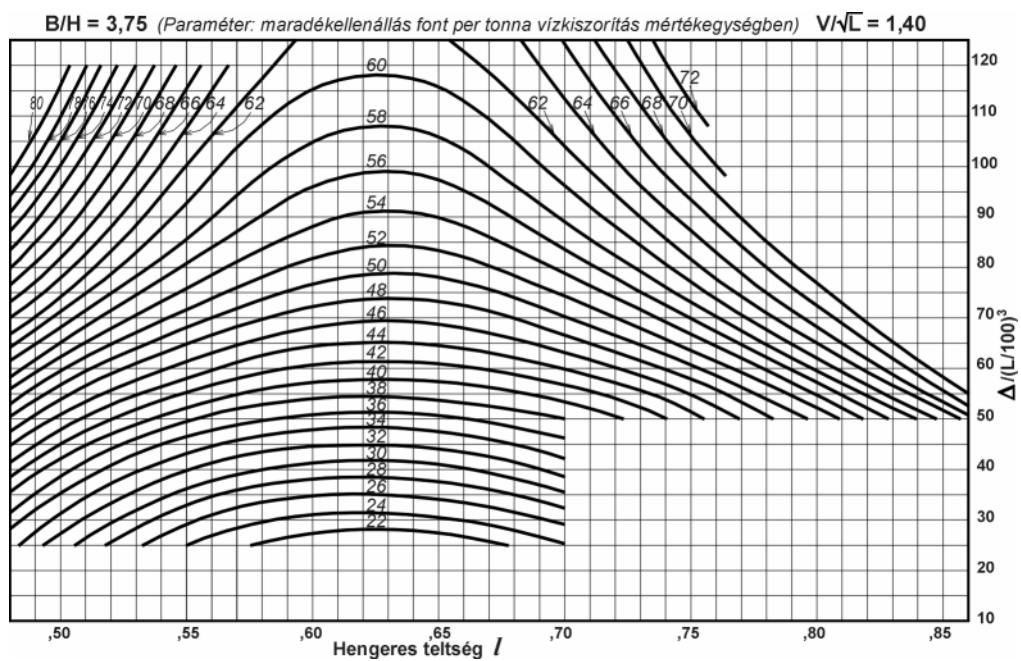
2.2.1.2.1.1.47 ábra



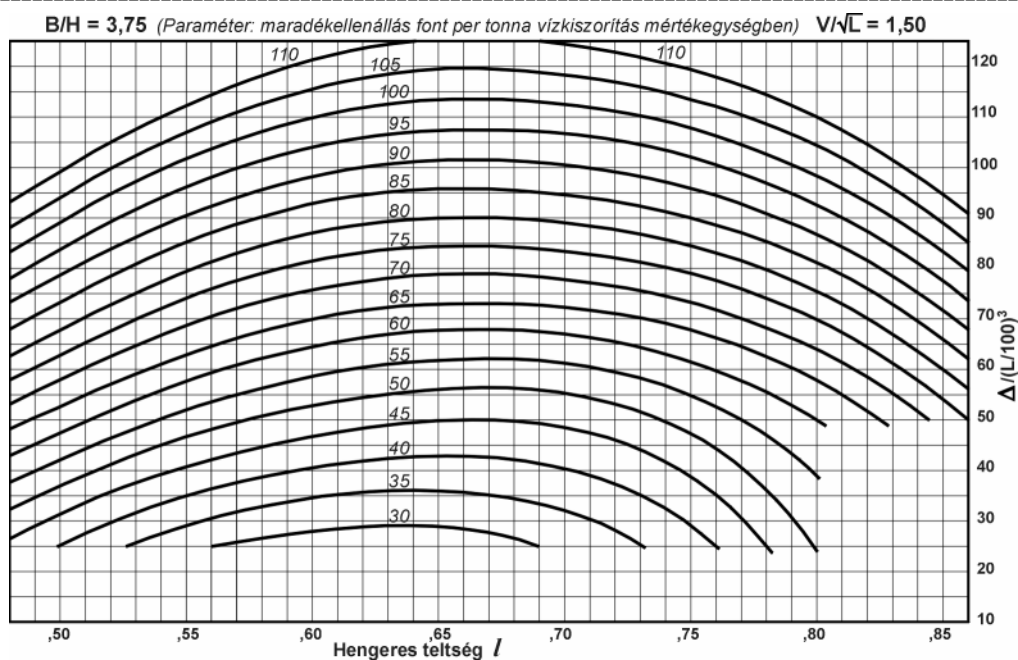
2.2.1.2.1.1.48 ábra



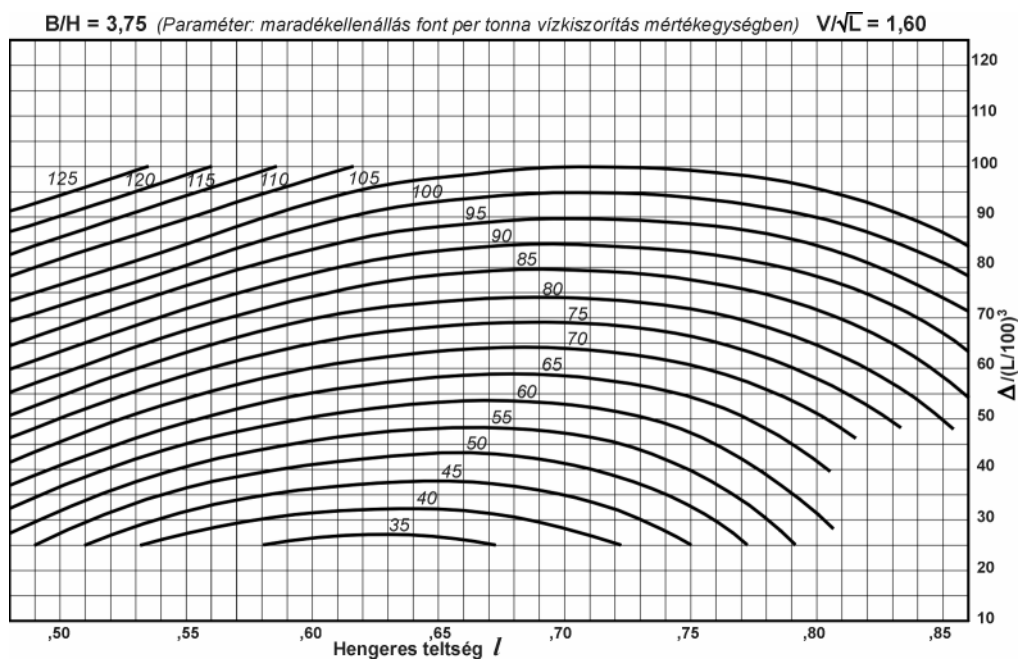
2.2.1.2.1.1.49 ábra



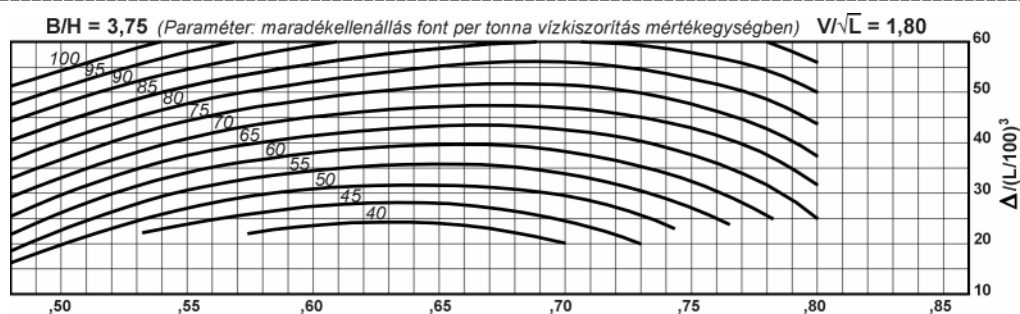
2.2.1.2.1.1.50 ábra



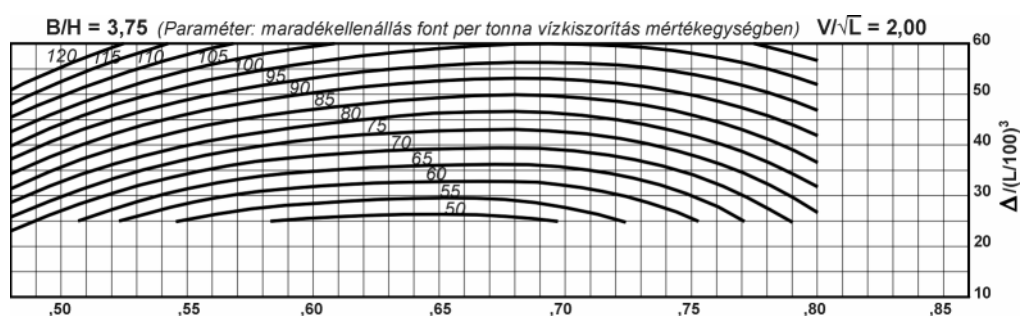
2.2.1.2.1.1.51 ábra



2.2.1.2.1.1.52 ábra



2.2.1.2.1.1.53 ábra



2.2.1.2.1.1.54 ábra

A maradék ellenállás meghatározására szolgáló diagramokban ábrázolt változók:

$R_f/A$  font/tonna

$\Delta/(L/100)^3$  tonna/(láb/100)<sup>3</sup>

$V_k/\sqrt{L}$  csomó/láb<sup>1/2</sup>

### ***A súrlódási ellenállás értékeinek meghatározására szolgáló diagram***

A görbék paramétere 500 láb hosszú, 15,4 nedvesített-felület tényezőjű hajó súrlódási ellenállási tényezője ( $R_f/A$ ) tengervízben. A súrlódási ellenállás 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

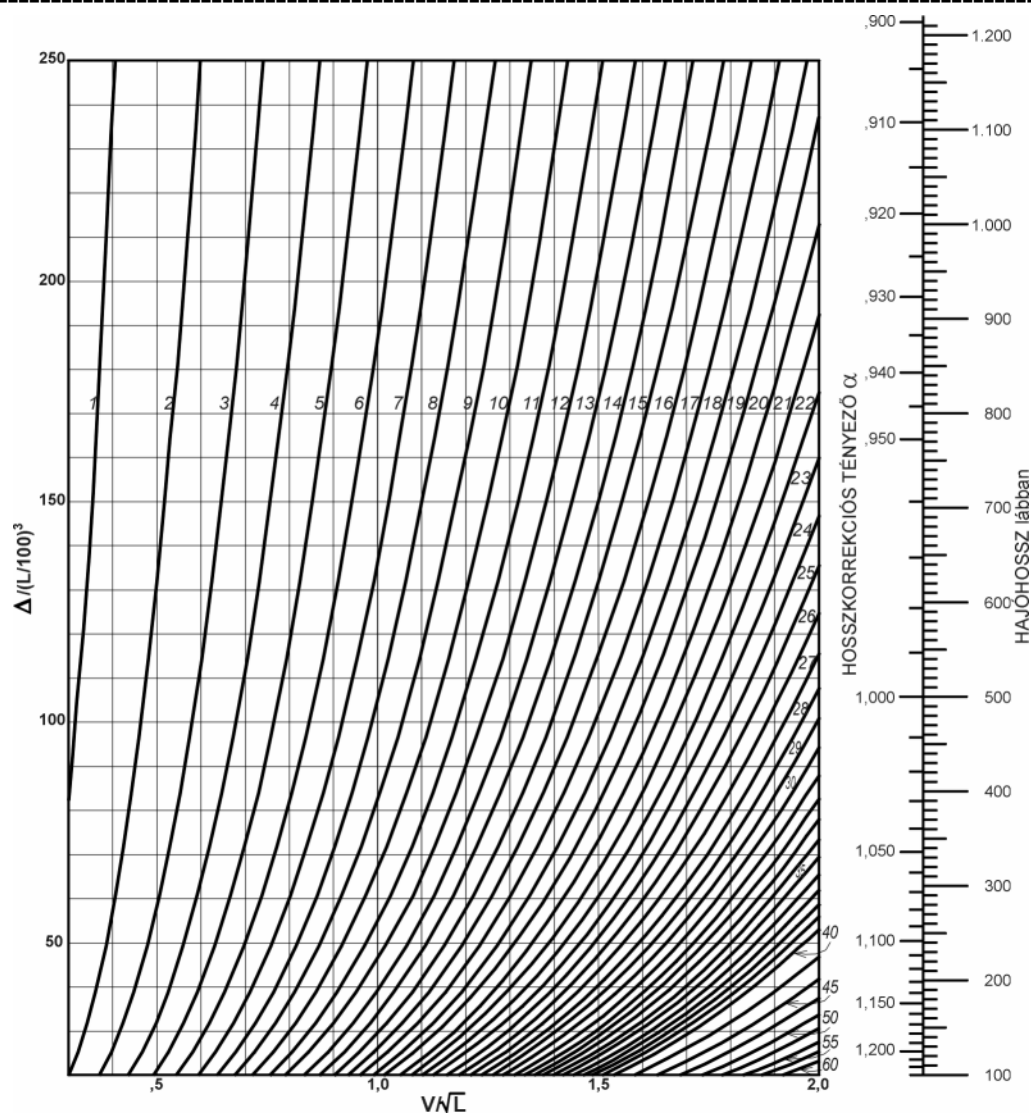
Korrekció a hajóhossz szerint ( $R_f = \alpha R_{f500}$ ):

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

ahol  $f$  - Tideman-konstans a 2.2.1.2.1.1.1 táblázatból

$L$  -  $LWL$  vízvonál-hossz lábban

Az *effektív teljesítmény* értékeinek számításánál alkalmazott  $C$  nedvesített-felület tényező egy adott hajóhoz a 2.2.1.2.1.1.56 ábra segítségével választható ki.



2.2.1.2.1.1.55 ábra

A nedvesített-felület tényező a nedvesített felület ismeretében kiszámítható a következő összefüggésből is:

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

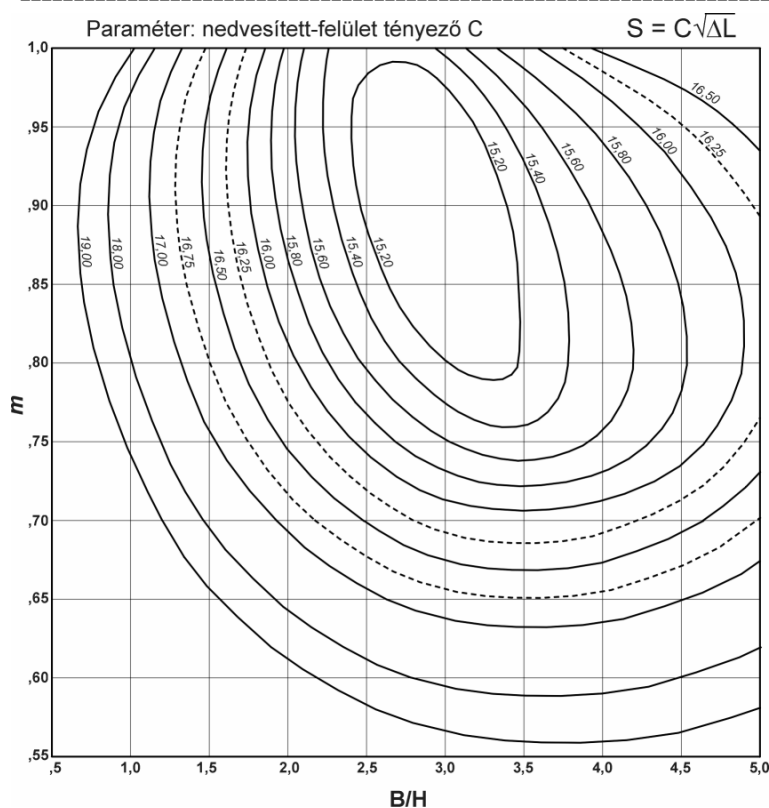
S – nedvesített felület láb<sup>2</sup>

Δ - vízkiszorítás súlya tonna

L – a hajótest vízbemerült részének közepes hossza láb

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





2.2.1.2.1.1.56 ábra

## 2.2.1.2.1.1.2 táblázat Effektív teljesítmény meghatározása Taylor Standard sorozataiból

Hajó:.....

Modell száma:.....

Vízvonalhossz	L = .....láb	$\sqrt{L} = \dots\dots\dots$	B/H = .....					
Szélesség	B = .....láb	$\Delta/(L/100)^3 = \dots\dots\dots$	$[\Delta/(L/100)^3]^{1/2} = \dots\dots\dots$					
Merülés	H = .....láb	$R_f/\Delta = (5,3303\alpha * c/[\Delta/(L/100)^3]^{1/2})(V/\sqrt{L})^{1,83} =$						
Vízkeszorítás tengervízben	$\Delta = \dots\dots\dots$ tonna	$= \dots\dots\dots * 5.$						
Nedvesített felület	$S = \dots\dots\dots$ láb <sup>2</sup>	Effektív teljesítmény EHP =						
Főbordateltség	$m = \dots\dots\dots$	$= 0,00307\Delta * \sqrt{L} * (V/\sqrt{L}) * (R_f/\Delta) =$						
Hengeres teltség	$l = \dots\dots\dots$	$= \dots\dots\dots * (V/\sqrt{L}) * (R_f/\Delta)$						
Nedvesített-felület tényező c = .....		$R_f/\Delta$ korrekció B/H = .... 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.
$V/\sqrt{L}$	$R_f/\Delta$ diagramból		$R_f/\Delta$ B/H=...	$(V/\sqrt{L})^{1,83}$	$R_f/\Delta$	$R_f/\Delta$ 6.+ 4.	EHP	V
	B/H=3,7 5	B/H=2,2 5						
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				

## BBBZ-kódex

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

### 2.2.1.2.1.2 Gertler újraértékelése (korszerű alakban)

*Morton Gertler*, a tengeralattjárók kormányozhatóságával jó nevet szerzett hajótervező 1940-ben került az akkor megalapított *David Taylor Model Basin* elnevezésű modellkísérleti intézetbe, és 1970-ig folytatta ott kutatásait. 1952-ben a stabilitási és irányítási főosztály vezetőjévé nevezték ki, és ebben a minőségében számos kutatási jelentést tett közzé, illetve 1954-ben „A Reanalysis of the Original Test Data” címmel kiadta Taylor mérési eredményeinek újabb elemzéséről készült könyvét. Ezt a könyvet 1998-ban, az első hajómodell kísérleti intézet centenáriumaára a *SNAME (Society of Naval Architects and Marine Engineers)*, hajótervezők és hajóépítő mérnökök egyesülete) ismét kiadta.

Az újraértékelés során a következő összefüggést alkalmazta.

Maradék ellenállás tényező = Teljes ellenállás tényező - Schoenherr  $C_F$  súrlódási ellenállás tényező.

Diagramban ábrázolt változók:

$$C_r = R / (\frac{1}{2}\rho S V^2) \quad \text{dimenzió nélküli}$$

$$C_v = \nabla / L^3 \quad \text{dimenzió nélküli}$$

$$V_k / L^{1/2} \quad \text{csomó/láb}^{1/2}$$

---

 $F_n$  (Froude-szám)      dimenzió nélküli

Az eredményeket fix  $C_p$  hengeres teltség értékekhez, pl.  $C_p = 0,48, 0,49, 0,50$ , stb., valamint fix  $B/T$  (Megjegyzés:  $T = H$  Gertlernél) értékekhez rajzolták fel diagramokba.

Megjegyzések:

- Az adatok a valaha is végzett mérések közül a legszélesebb intervallumot fogják át a  $C_p$ ,  $B/T$  és  $F_n$  szempontjából, különösen jól használhatóak az  $F_n$  0,30 és 0,60 közötti értékeinél.
- A hajótestek azonban nem ideálisak a transzformáció módja miatt, kivéve az  $F_n = 0,30$  körüli értékeket, amelyek az eredeti hajó formáját adják ki. Korszerű tervezéssel kialakított hajótestek szinte minden más sebességnél jobb eredményeket adnak a Taylor modellformáknál.
- Az eredeti elemzés azt mutatja, hogy az optimális  $C_p$  arányos az  $F_n$  értékével. Ez általában igaz, de vannak eltérések a fix (nem optimális)  $LCB$  (hengeres középrész) esetén.
- Az 1910-es kiadás tartalmaz adatokat a bulbaorra vonatkozóan, amelyek nincsenek benne Gertler munkájában. Gertler viszont közzétette a  $B/T = 3,00$  értékre vonatkozó adatokat is, amelyek az eredetiben nem voltak benne; mindkét kiadás megadja a hajótest alakjának definícióját és a nedvesített felület adatait.
- Gertler kísérletet tett arra, hogy korrigálja a turbulenskelők hiányát alacsonyabb sebességeknél, hogy kiküszöbölje a  $C_r$  csökkenését kis  $F_n$  értékeknél, mivel feltételezte, hogy az átmenet a felelős a jelenségért. Az eljárás valószínűleg kielégítő kellően áramvonalas hajótesteknél, azonban a korszerű mérések adataihoz képest az ő  $C_r$  értékei túl alacsonyak a 0,70-nél kisebb  $C_p$  értékekre.
- Egyik elemzésben sem kísérelték meg az  $R_n$ -től (Reynolds-szám) függő maradék ellenállás vizsgálatát (nyomás jellegű ellenállás), azaz nincsenek alaktényezők.
- Nincsenek propulziós mérések a Taylor sorozatra.
- Minden adat teljes terhelésre áll rendelkezésre.
- A Schoenherr  $C_F$  tényező táblázatos formában van a könyvben.
- $\Delta C_F = 0,0004$  értéket adnak rendszerint a táblázatos értékhez, hogy a hajó felületi érdessége figyelembe legyen véve.
- Nedvesített felület számítása (Gertler formula):

$$C_S = S / (\nabla^* L_{wl})^{1/2} \text{ azaz } S = C_S^* (\nabla^* L)^{1/2}$$

A  $C_S = 2,54$  és  $2,71$  között van a  $C_B$  és  $B/T$  illetve  $B/T = 3,00$  esetén  $C_v$  függvényében. Egy másik tapasztalati képlet *Denny Mumfordtól* a nedvesített felületre:

$$S = 1,7 * L * T + A / T$$

A fentiek figyelembe vételével nem követünk el semmilyen hibát, ha a Standard Sorozatok eredményeiből Taylor eredeti diagramjainak felhasználásával dolgozunk. A standard sorozatok minden esetben csak megközelítő eredményeket adnak, egy adott

## BBBZ-kódex

hajó pontos és részletes tervezése során mindenképpen tovább kell lépni azokon, ugyanakkor nagy segítséget jelentenek a tervezés kezdeti szakaszában.

### 2.2.1.2.1.3 Számítási példa *effektív teljesítmény meghatározására*

Végezzük el a 2.2.1.2.1.2 táblázat segítségével egy kétpárevezős túracsonak tengervízben mért ellenállásának számítását és rajzoljuk fel a mozgatásához szükséges teljesítmény görbáját a sebesség függvényében.

A csónak fő méretei:

Vízvonalhossz	$L = 10,827$ láb
Szélesség	$B = 2,933$ láb
Merülés	$H = 0,82$ láb
Víz kiszorítás tengervízben	$\Delta = 0,312$ long ton
Nedvesített felület	$S = 35,364$ láb <sup>2</sup>
Főbordateltség	$m = 0,579$
Hengeres teltség	$l = 0,712$
Nedvesített-felület tényező	$c = 19,24$
Hosszkorrekció	$f = 0,0112$
	$\alpha = 1,32$

$$\sqrt{L} = 3,2904$$

$$B/H = 3,577$$

$$\Delta/(L/100)^3 = 246$$

$$[\Delta/(L/100)^3]^{1/2} = 15,68$$

$$R_t/\Delta = (5,3303\alpha \cdot c / [\Delta/(L/100)^3]^{1/2}) (V/\sqrt{L})^{1,83} = 8,6346 \cdot 5.$$

$$\text{Effektív teljesítmény: } EHP = 0,00307\Delta \cdot \sqrt{L} \cdot (V/\sqrt{L}) \cdot (R_t/\Delta) = 0,003152 \cdot (V/\sqrt{L}) \cdot (R_t/\Delta) = 0,003152 \cdot 1 \cdot 7.$$

$$R_t/\Delta \text{ korrekció } B/H = 3,577 \text{ értékhez: } 4. = [(2. - 3.) \cdot (B/H - 2,25) / 1,5] + 3. = [(2. - 3.) \cdot 0,885] + 3.$$

A  $\Delta/(L/100)^3 = 246$  érték a  $V/\sqrt{L}$  tartományát 0,3 és 1,35 közötti értékekre korlátozza, amennyiben extrapolációt nem kívánunk alkalmazni.

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
$V/\sqrt{L}$	$R_t/\Delta$ diagramból		$R_t/\Delta$ $B/H=3,577$	$(V/\sqrt{L})^{1,83}$	$R_t/\Delta$	$R_t/\Delta$ 6.+ 4.	$EHP$	$V$
	$B/H=3,75$	$B/H=2,25$						
0,30	0,18	0,1265	0,1738	0,1104	0,9533	1,1271	0,001	0,99
0,35	0,26	0,1835	0,2512	0,1464	1,2641	1,5153	0,002	1,15
0,40	0,359	0,255	0,3470	0,1870	1,6147	1,9617	0,002	1,32
0,45	0,492	0,3405	0,4745	0,2319	2,0024	2,4769	0,004	1,48
0,50	0,63	0,4335	0,6073	0,2813	2,4289	3,0362	0,005	1,65
0,55	0,86	0,586	0,8284	0,3349	2,8917	3,7201	0,006	1,81
0,60	1,09	0,84	1,0611	0,3927	3,3908	4,4519	0,008	1,97
0,65	1,44	1,075	1,3979	0,4546	3,9253	5,3231	0,011	2,14
0,70	1,89	1,39	1,8323	0,5206	4,4952	6,3274	0,014	2,30

## 3. kiadás 2014. 0.1 TARTALOMJEGYZÉK 02.TÁRGYMUTATÓ 1.BEVEZETÉS 2.HAJÓELMÉLET

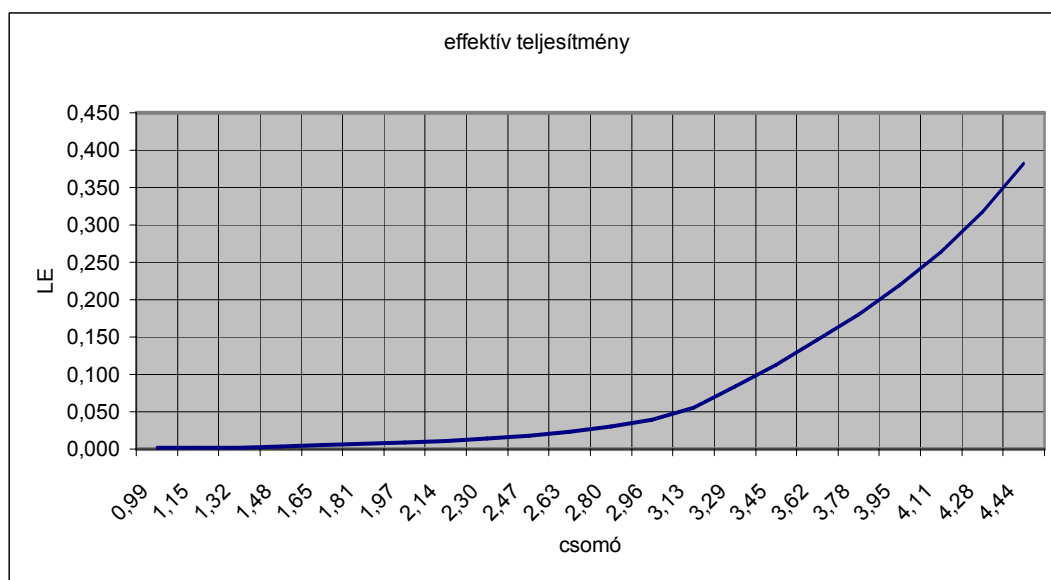
0,75	2,58	1,92	2,5038	0,5907	5,1004	7,6042	0,018	2,47
0,80	3,45	2,7	3,3634	0,6647	5,7394	9,1028	0,023	2,63
0,85	4,8	3,95	4,7019	0,7428	6,4138	11,1156	0,030	2,80
0,90	6,8	5,9	6,6961	0,8246	7,1201	13,8162	0,039	2,96
0,95	10,9	11,1	10,9231	0,9104	7,8609	18,7840	0,056	3,13
1,00	17,4	21	17,8156	1,000	8,6346	26,4502	0,083	3,29
1,05	24	30,5	24,7504	1,094	9,4462	34,1966	0,113	3,45
1,10	31	38	31,8081	1,191	10,2838	42,0919	0,146	3,62
1,15	38	44	38,6927	1,291	11,1472	49,8399	0,181	3,78
1,20	46	48	46,2309	1,396	12,0539	58,2847	0,220	3,95
1,25	54	53	53,8846	1,504	12,9864	66,8709	0,263	4,11
1,30	64	59	63,4228	1,616	13,9535	77,3762	0,317	4,28
1,35	76	67	74,9610	1,732	14,9551	89,9160	0,383	4,44

Amint a sebesség 2,96 és 3,13 csomó értékek fölé emelkedik, a teljesítmény gyorsabban kezd emelkedni. Az  $EHP = f(V)$  függvény  $dEHP/dV$  differenciálja a teljesítménynek a sebesség növekedésekor bekövetkező növekedési ütemét jelzi. Ez jelöli ki, hogy milyen maximális sebességet érdemes a hajótesthez választani, amennyiben még gazdaságos üzemeltetés a célunk.

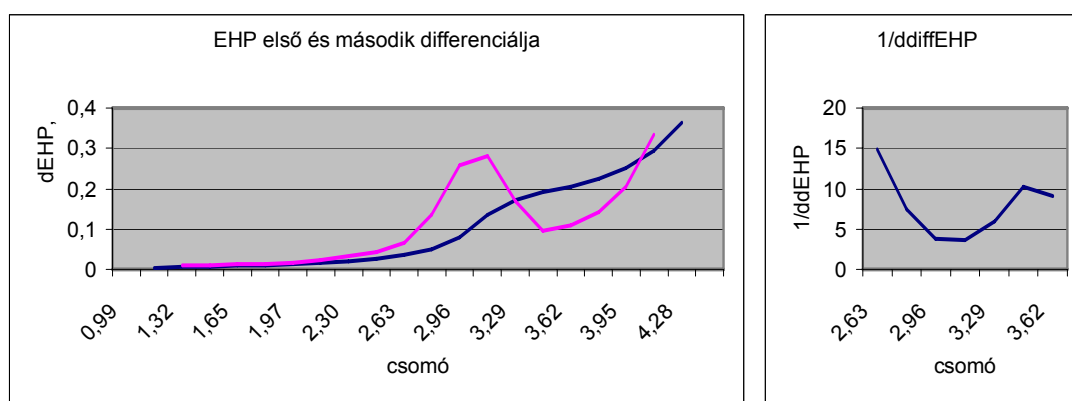
A második differenciál sokkal világosabban jelzi ezt a sebességértéket, ugyanis a  $d^2EHP/dV$  görbében helyi maximum jelentkezik. A sebesség további növelésekor a görbe ismét emelkedő tendenciájú, de az már egy másik üzemállapotot jelez, az optimális sebesség a görbe maximumánál van.

Az  $1/(d^2EHP/dV)$  függvény görbájében az optimális sebességet a görbe helyi minimuma mutatja.

A haladáshoz szükséges effektív teljesítmény görbáját az alábbi diagram ábrázolja.



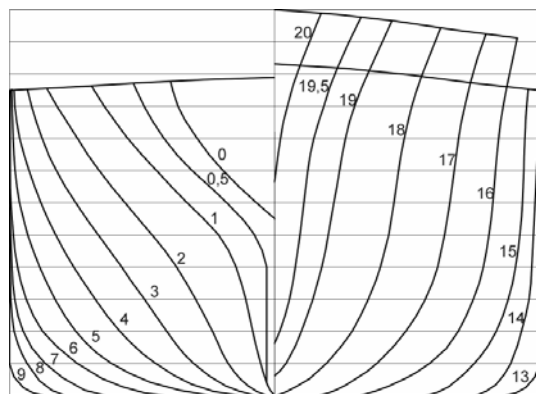
Az optimális sebesség kiválasztására szolgáló differenciál-görbét az alábbi diagramok mutatják.



A csónak hajtására két pár evező szolgál. Két ember tartósan kb. 0,15-0,2 LE teljesítményre képes, amely a csónakot – figyelembe véve az evezőlapát propulziós hatásfokát, amely a relatív nagy méret és kis sebesség miatt közel van a 100%-hoz – 3,7-3,86 csomó, azaz 6,9-7,15 km/h sebességgel képes mozgatni. Ez a sebesség az optimális 3,2 csomó felett van. Az optimális sebességet egyetlen evezős képes fenntartani, mivel annál a teljesítményigény mindössze kb. 0,05 LE.

### 2.2.1.2.2 BSRA Standard sorozat

A szárazáru-szállító egysaváros hajók standard sorozat bordametszet rajza a 2.2.1.2.2.1 ábrán látható.



2.2.1.2.2.1 ábra BSRA bordametszetek

A mérésekhez a brit BSRA (British Ship Research Association) intézmény által kialakított modellsorozatot használták. Az 1960-as évek elején végzett kísérletek kiértékelését a szaksajtóban tették közzé, azonban a világ politikai kettéválása miatt ezeket az adatokat sokkal titkosabban kezelték, mint a Taylor sorozat eredményeit. Azok a kiadványok, amelyekből egy

hajótervező dolgozhatna, szinte elérhetetlenek, szemben Taylor méréseivel, amelyekhez a szerző többszöri kiadásban megjelent művében elérhető áron hozzá lehet férni. A BSRA mérésekről közzétett legfontosabb információs forrásokat a következőkben foglaltuk össze.

A sorozatokról a *Royal Institute of Naval Architects (RINA*, angol királyi hajótervező intézet) közleményei írtak.

A hajótest alakja általános darabáru szállító hajó  $F_n = 0,27$  maximális Froude-számig. „BSRA Sorozatok – összefoglalás (ellenállás)” előadás Moore, Parker, 1961.

---

„BSRA Sorozatok – összefoglalás (főméretek változtatása, pl.  $B/T$ ,  $L/\nabla^{1/3}$  és propulzió)” előadás Lackenby, Parker, 1966.

$C_B = 0,65$  alak – I. és II. rész Almy, Hughes, Ferguson, Meek, 1954.

$C_B = 0,70$  alak – I. és II. rész Blackwell, Goodrich, Doust, 1957.

$C_B = 0,80$  alak –  $LCB$  (hengeres középrész) változtatása Thompson, Clements, 1962.

$C_B = 0,65$  alak – farkialakítás változtatása Thompson, White, 1969.

Az 1950-es évek elején kiválasztott adatok  $V_k/\sqrt{L} = 0,90$ ,  $F_n = 0,27$  értékekre vonatkoznak. A sorozatok alapjául négy különálló alapmodell kombinálása szolgált, amelyek hasábos teltsége  $C_B = 0,65$ ,  $0,70$ ,  $0,75$  és  $0,80$  volt, ezek mindegyikét a megfelelő  $F_n$  értékre tervezték.

A hajótest főméretei:  $400 \times 55 \times 26$  láb,  $C_B = 0,675$  teltségnél  $LCB = 20\%$  a főbordától előre.

A közzétett adatok között szerepel a sodortényező, szívási tényező és testthatásfok az ellenállás-tényezőtől kívül a  $C_B = 0,65 - 0,85$  tartományba eső hajótest alakokra.

A méréseknél három sorozatot végeztek el:

1.  $LCB$  változtatásával,
2.  $B/T$  változtatásával,
3.  $L/\nabla^{1/3}$  változtatásával.

Ezeket az eredményeket különféle RINA kiadványokban tették közzé 1954 és 1969 között. A fentiekben megjelölt kiadványokban 1961-ben és 1966-ban általános tájékoztatást adtak.

Publikált adatok:  $C_{R400}$  maradék ellenállás-tényező különböző  $V_k/\sqrt{L}$  értékekhez.

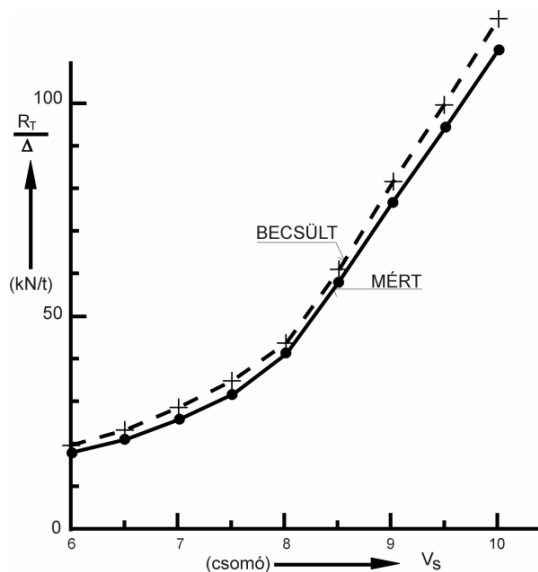
A súrlódási ellenállás korrekciójánál a Froude (Párizs 1935) táblázat értékeit alkalmazták. Nem vették figyelembe az alaktényezőket.

A  $C_R$  hossz szerinti korrekciójáról is az 1961-es RINA kiadványban van említés. Az ITTC extrapoláció miatt szükséges esetleges korrekciókról hasonlóan.

Az elmondottak alapján a standard sorozatokkal végzett modellkísérletek tehát szinte minden esetben a Taylor méréseket jelentik, amelyek alapján a hajók ellenállása megbízhatóan becsülhető, új hajó főméreteinek kiválasztásakor pedig az optimalizálási számítások elvégezhetőek.

## 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 üzemi állapot 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 időjárási 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 találkozunk.

## 3. kiadás 2014. 0.1 TARTALOMJEGYZÉK 02.TÁRGYMUTATÓ 1.BEVEZETÉS 2.HAJÓELMÉLET



- 
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 meglevő 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 adóttak, hanem a lehetőségek is korlátozottak.

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

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

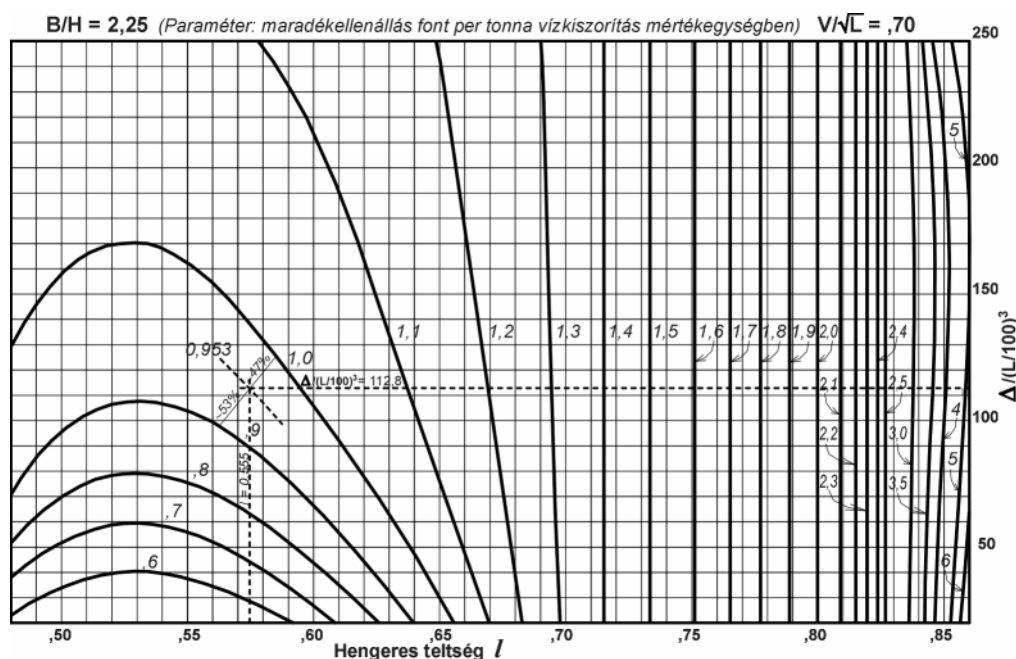
A számítás menete a Taylor eljárás szerint a következő.

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  $\Delta$  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  $R_r/\Delta$  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  $R_r/\Delta$  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  $R_r/\Delta$  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/víz kiszorítás diagram

A diagramokban szereplő mennyiségek:

$R_r/\Delta$  – maradék-ellenállás / vízkiszorítás súlya tengervízben  
font/tonna

$\Delta/(L/100)^3$  – a hajó szélesség/hossz viszonyára jellemző érték tonna/láb<sup>3</sup>

$l$  – hengeres teltség

$B/H$  – szélesség/merülés viszony

$V/\sqrt{L}$  – sebességtényező csomó/láb<sup>1/2</sup>

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 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  $l = 0,555$ .

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  $R_r/\Delta$  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  $R_r/\Delta$  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

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

$S$  nedvesített felület láb<sup>2</sup>

$V$  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  $f$  sűrűlási együttható ezen értékei 15°C (59°F) hőmérsékletű vízre vonatkoznak, a standard értéktől eltérő hőmérsékleteknél a sűrűlási együtthatót csökkenteni kell 0,43%-kal minden +1°C, vagy 0,24%-kal minden +1°F esetén.

## 2. ATTC 1947 görbe táblázatos értékei (Schoenherr középértékek)

Az amerikai modellkísérleti konferencia (ATTC) 1947-es határozatában a Schoenherr középértékek néven ismert sűrűlási 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  $C_F$  sűrűlási 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 sűrűlási 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  $R_F$  sűrűlási ellenállása ennek alapján fontban vagy newtonban:

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

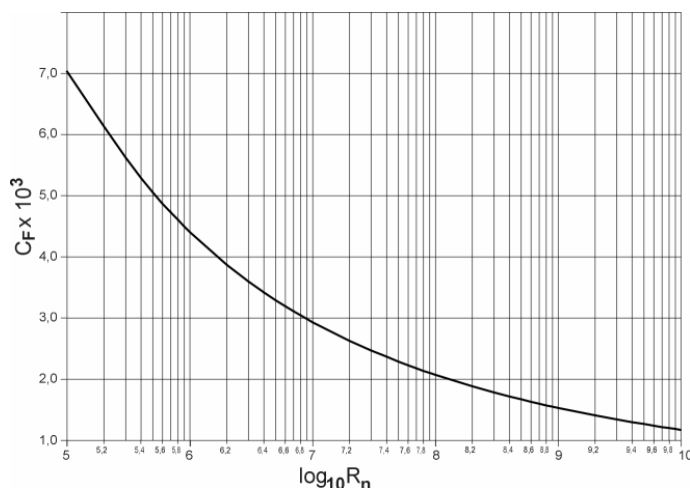
ahol  $C_F$  a számított sűrűlási tényező

$\rho$  a víz (tengervíz vagy édesvíz) sűrűsége fontsec<sup>2</sup>/láb<sup>4</sup> vagy kg/m<sup>3</sup>

$S$  a hajótest nedvesített felülete láb<sup>2</sup> vagy m<sup>2</sup>

$V$  a hajó sebessége csomó vagy m/sec.

A sebesség értékeinek kiválasztásánál azokból a  $V/\sqrt{L}$  számokból kell kiindulni és a hajóhossz segítségével visszaszámolni a sebességet, amelyek a maradék-ellenállás



2.2.2.1.2.1 ábra A Schoenherr középértékek görbéje

diagramoknál paraméterként vannak kiválasztva, hogy az effektív teljesítmény számításánál a maradék-ellenállásból kiadódó sebességértékekkel összhangban legyünk.

## 3. ITTC 1957 görbe képlete

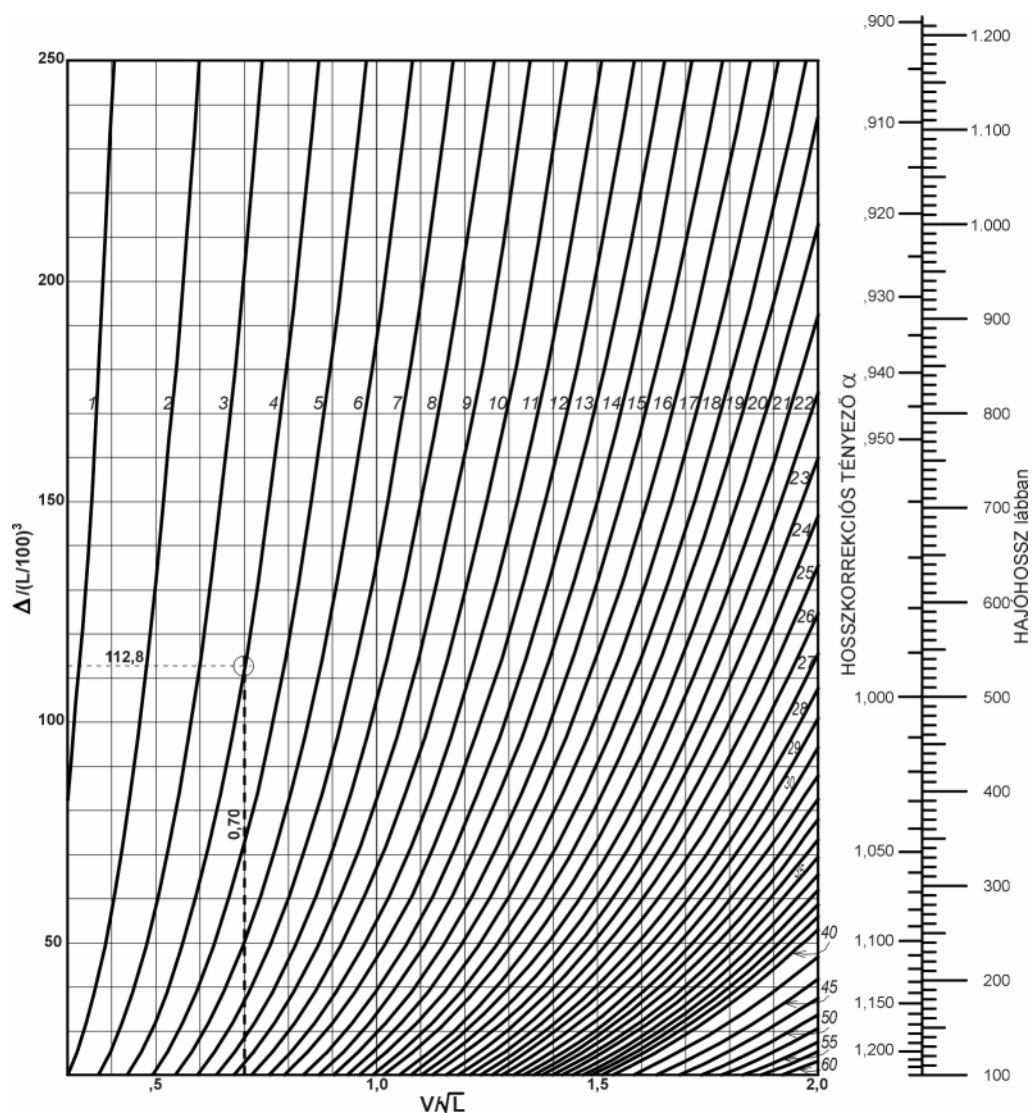
A manapság legszélesebb körben elfogadott és használt formulát a nemzetközi modellkísérleti konferencia (ITTC) 1957-ben fogadta el. A súrlódási ellenállás-tényező:

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

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  $C_F$  értékre bármilyen  $R_n$  értéknél.

Az előző pontban elmondottak érvényesek a sebességértékek megválasztására itt is.



2.2.2.1.2.2 ábra Taylor súrlódási ellenállás diagramja

#### 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.

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  $R_F/\Delta$  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

$L$  -  $LWL$  vízvonál-hossz lábban.

Alternatívaként ezt a számítást elhagyhatjuk, mert az effektív teljesítmény számítására alkalmas táblázat az  $R_F/\Delta$  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 láb<sup>2</sup>

$\Delta$  - vízkiszorítás súlya tonna

$L$  - a hajótest vízbemerült részének közepes hossza láb.

Az  $R_F/\Delta$  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 függélek 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)

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

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

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

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

## 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  $R_n = VL/\nu =$

$$= 8,0564 \cdot 500 \cdot 0,3048 / 1,18831 \cdot 10^{-6} = 1,033 \cdot 10^9$$

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

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

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

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

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

## 3. ITTC 1957 görbe képlete

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

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

## 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)  $R_F/\Delta$  vízkiszorítás tonnánkénti

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

$V/\sqrt{L} = 0,70$  értékekhez az  $R_F/\Delta = 4$  font per tonna vízkiszorítás. Ebből a súrlódási

ellenállás korrekció nélkül:

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

Ugyanez a képlettel:

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

$$= 0,1392 \cdot 14100^{1/2} \cdot 500^{1/2} \cdot 15,652^{1,83} = 0,1392 \cdot 118,74 \cdot 22,36 \cdot 153,48 =$$

$$= 56.723 \text{ font}$$

Alternatívaként vegyük az effektív teljesítmény számítására szolgáló táblázat

formuláját:

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

ahol a képletben szereplő mennyiségek

hossz szerinti korrekció  $\alpha = 1$

nedvesített felület tényező  $c = 14,9$

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

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

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 súrlódásnak a többszörösét is eléri.

Az a következtetés azonban, hogy érdemes a modern képletekre támaszkodni a

súrlódási ellenállás becslésénél, általában megállja a helyét.

## 3. kiadás 2014. 0.1 TARTALOMJEGYZÉK 02.TÁRGYMUTATÓ 1.BEVEZETÉS

## 2.HAJÓELMÉLET

### 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 2.2.1.2.1.2 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	$R_{\text{t}}/\Delta = (5,3303\alpha^*c/[\Delta/(L/100)^3]^{1/2})(V/\sqrt{L})^{1,83} =$	
Víz kiszorítás tengervízben	$\Delta = \dots\dots\dots$ tonna	$= \dots\dots\dots * 5.$	
Nedvesített felület	$S = \dots\dots\dots$ láb <sup>2</sup>	Effektív teljesítmény $EHP =$	
Főborda-teltség	$m = \dots\dots\dots$	$= 0,00307\Delta^* \sqrt{L} * (V/\sqrt{L}) * (R_{\text{t}}/\Delta) =$	
Hengeres teltség	$l = \dots\dots\dots$	$= \dots\dots\dots * (V/\sqrt{L}) * (R_{\text{t}}/\Delta)$	
Nedvesített-felület tényező	$c = \dots\dots\dots$	$R_{\text{t}}/\Delta$ 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.
$V/\sqrt{L}$	$R_{\text{t}}/\Delta$ diagramból		$R_{\text{t}}/\Delta$	$(V/\sqrt{L})^{1,83}$	$R_{\text{t}}/\Delta$	$R_{\text{t}}/\Delta$	$EHP$	$V$
	$B/H=3,75$	$B/H=2,25$	$B/H=\dots$			6.+ 4.		
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  $\alpha$

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



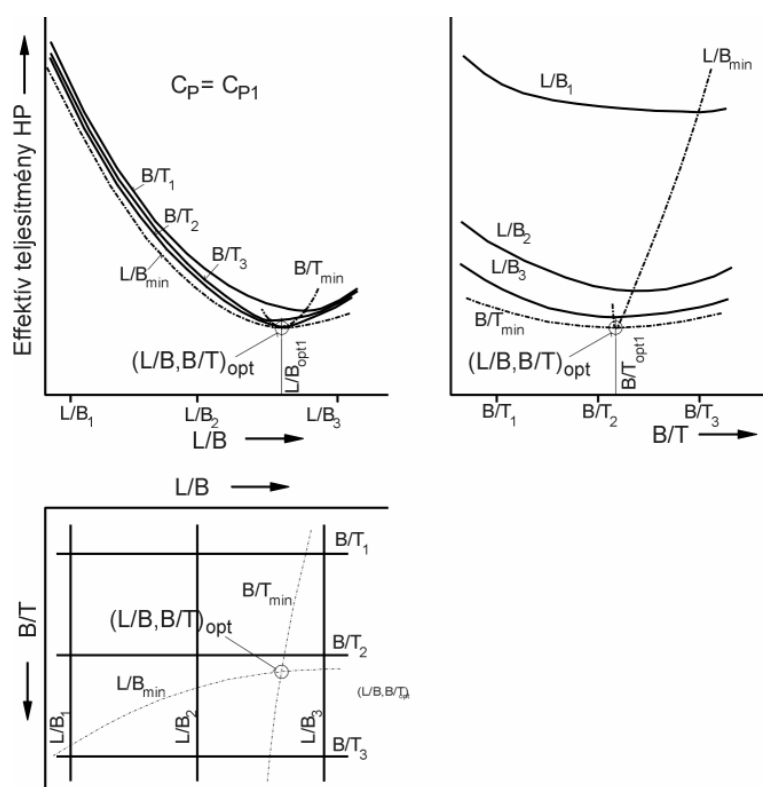
A 2.2.2.1.2 pont alapján érdemes az  $R_f/\Delta$  értékeit más (Froude, ATTC vagy ITTC) eljárással is kiszámítani, és alternatív  $R_t/\Delta$  értékekkel meghatározni a szükséges effektív teljesítményt.

### 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.



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

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 Szuezi-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.

Adott hajótípus (pl. áruszállító vagy személyszállító hajó) és vízkiszorítás esetén változtatható paraméterek:

hossz/szélesség viszonyszám -  $L/B$

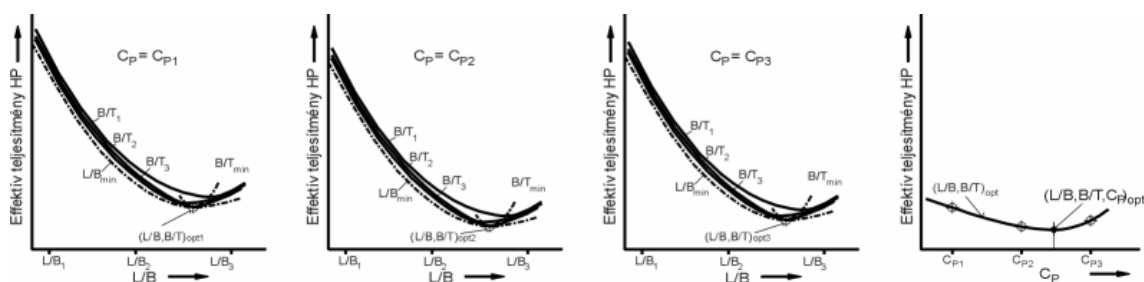
szélesség/merülés viszonyszám -  $B/T$  (Taylornál  $B/H$ )

hengeres teltség -  $C_P$  (Taylornál  $I$ )

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.

Érdemes 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 viszonyánál 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.

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 <sub>p</sub>	0,6	L/B	7	B/T	2,25			
Vízvonalhossz	L =	510,4	láb	√L =	22,6	B/H=	2,250	
Szélesség	B =	72,91	láb	Δ/(L/100) <sup>3</sup> =	16	[Δ/(L/100) <sup>3</sup> ] <sup>1/2</sup> =	3,97	
Merülés	H =	32,41	láb	R <sub>f</sub> /Δ = (5,3303α*c/[Δ/(L/100) <sup>3</sup> ] <sup>1/2</sup> )*(V/√L) <sup>1,83</sup>				
Víz kiszorítás tengervízben	Δ =	2100	tonna					
Nedvesített felület	S =	15944	láb <sup>2</sup>	EHP = 0,00307Δ*√L*(V/√L)*(R <sub>f</sub> /Δ)				
Főbordateltség	m =	0,98						
Hengeres teltség	l =	0,6						
Nedvesített-felület tényező	c =	15,40 0,0088	R <sub>f</sub> /Δ korrekció B/H = ..... értékhez:					
Hosszkorrekció	f =	1	α =	0,998	4. = [(2. - 3.)*(B/H-2,25)/1,5] + 3.			
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
V/√L	R <sub>f</sub> /Δ diagramból		R <sub>f</sub> /Δ B/H = 2,25	(V/√L) <sup>1,83</sup>	R <sub>f</sub> /Δ	R <sub>f</sub> /Δ	EHP	V
	B/H=3,75	B/H=2,25				(6.+4.)		
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

## BBBZ-kódex

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

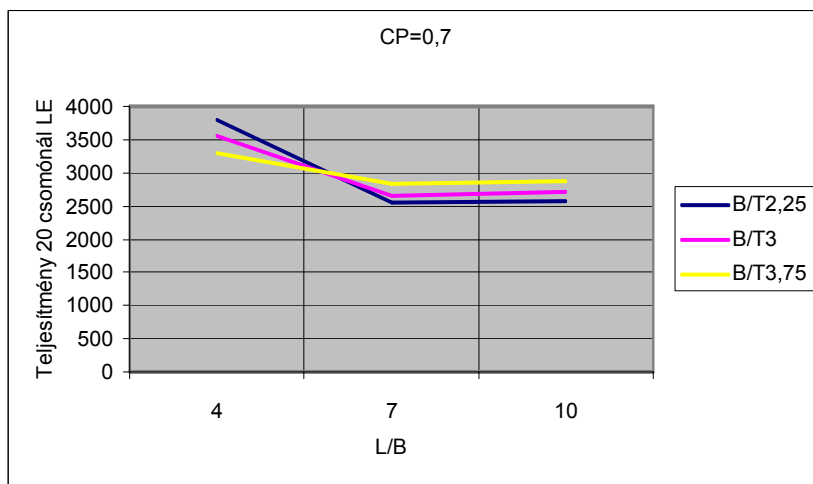
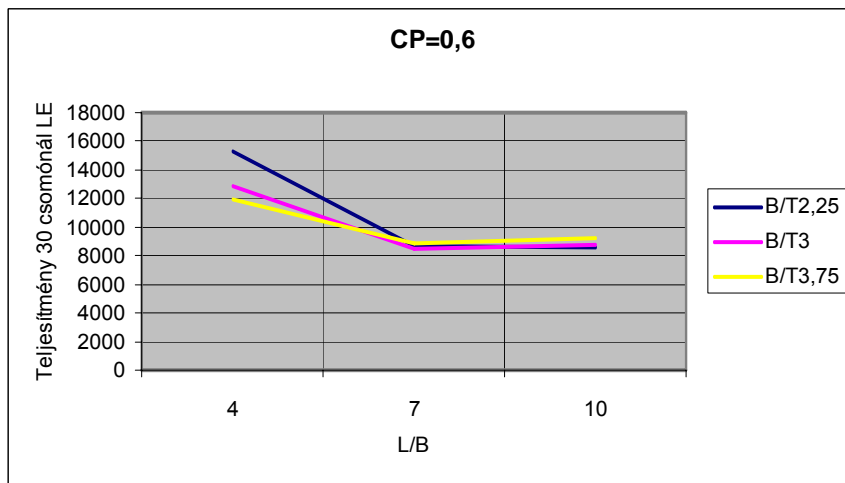
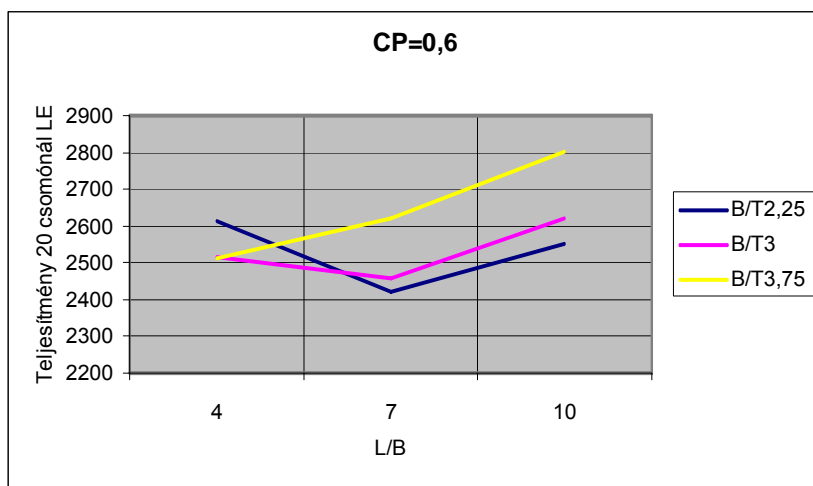
2.2.2.2.2 táblázat 20 illetve 30 csomós üzemi sebesség teljesítményigénye LE-ben

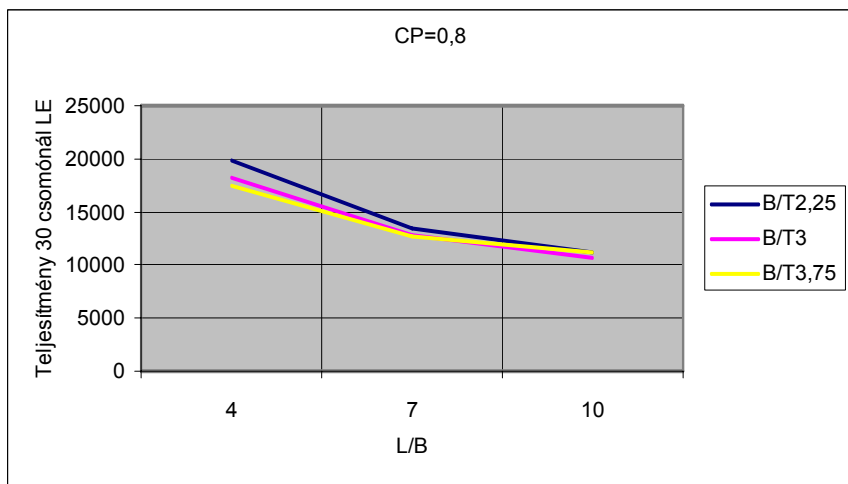
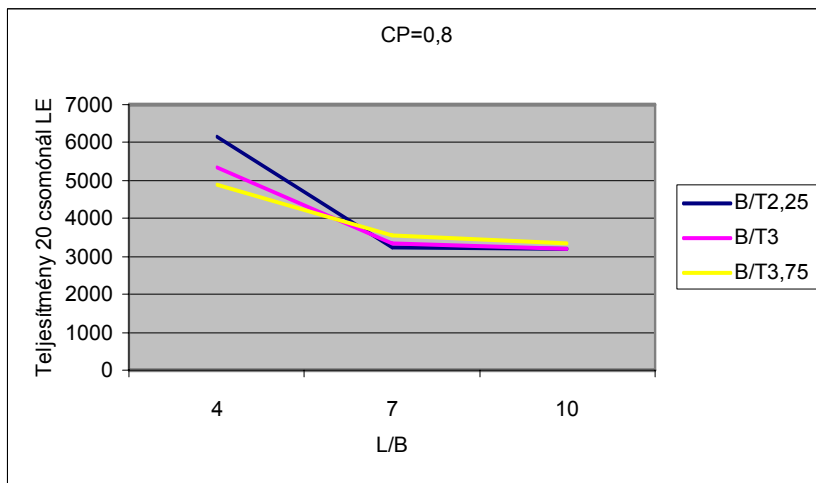
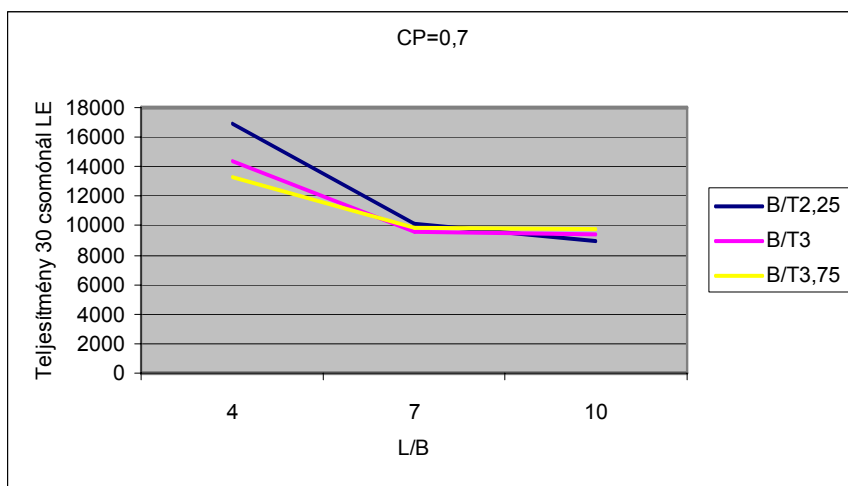
			<i>B/T</i>			<i>B/T</i>		
			2,25	3	3,75	2,25	3	3,75
<b>C<sub>p</sub> = 0,6</b>	<i>L/B</i>	4	2612	2515	2513	15295	12894	11928
	<i>L/B</i>	7	2423	2456	2619	8692	8445	8885
	<i>L/B</i>	10	2551	2621	2803	8585	8813	9261
<b>C<sub>p</sub> = 0,7</b>	<i>L/B</i>	4	3800	3555	3299	16881	14381	13329
	<i>L/B</i>	7	2551	2659	2839	10168	9570	9891
	<i>L/B</i>	10	2570	2710	2872	8974	9397	9770
<b>C<sub>p</sub> = 0,8</b>	<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

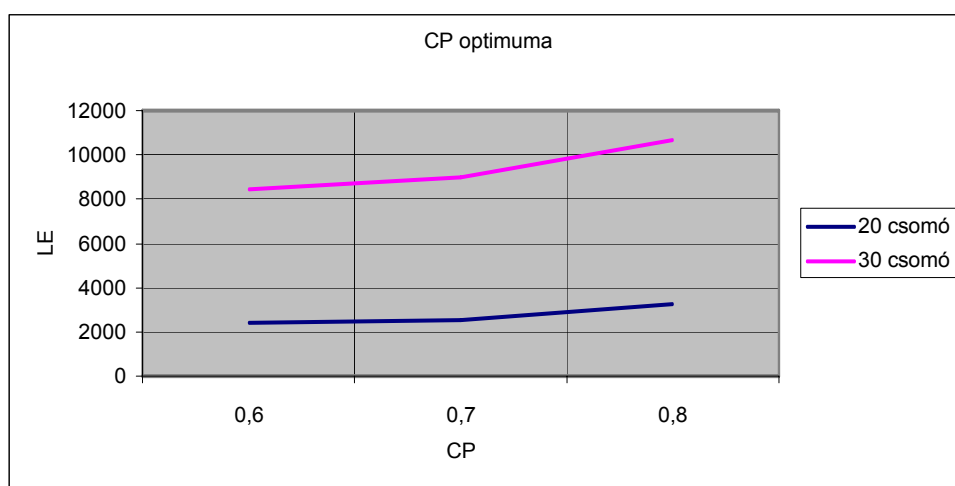
2.2.2.2.3 táblázat A hossz/szélesség és szélesség/merülés viszony optimális értékei

B/T és L/B optima			
20 csomónál			
C <sub>p</sub>	<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:







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.

## 2.3 Geometriai tervezés

A 2.2 fejezetben történt említés a hajótervezés három ismétlődő fázisáról, amely a spirális diagramban látható (2.2.1 ill. 2.3.1 ábra). A három fázis a koncepció vagy elképzelés papírra vetése, az ajánlati tervdokumentáció és a gyártási tervek összessége. Amint az ábrából világosan kitűnik, a kiindulási pont a hajó feladata. Képzeljünk el egy tengeröblöt, amelynek egyik partjáról a másikra történő átkelés tengeren (komphajón) egy nagyságrenddel kevesebb utat, időt, költséget jelent, mint annak megkerülése. A feladat utasok, áruk és járművek átszállítása egyik oldalról a másikra.

A feladatból kiindulva meg lehet határozni a hajó optimális főméreteit (ld. 2.2.2 fejezet). A főméretek alapján el kell készíteni a hajótest rajzát, amely nem más, mint a vonalterv. A *geometriai tervezésnek* (mindhárom fázisban) ez az első lépcsőfoka. Amint a vonalrajz kész és ki van egyenlítve, szükség van azoknak a számításoknak az elvégzésére is, amelyek a hajó *hidrosztatikai tulajdonságait* adják meg eredményként, és amelyek a későbbi számításokhoz (hordképesség, stabilitás, teljesítményigény) alapul szolgálnak (főborda-felület, vízvonalterület, vízkiszorítás, súlypontok, stb.).

Ezt követően már a térbeosztás is meghatározható az érvényes hatósági és osztályozó intézeti előírások alapján.



2.3.1 ábra Tervezési spirális

Természetesen a három fázis során ezeket a tervezési munkákat nem azonos mélységben kell elvégezni. A koncepció papírra vetésénél például elegendő egy 1:100 léptékű vonalterv, ahol csak tíz *elméleti bordával* dolgozunk, esetleg  $\frac{1}{2}$  és  $9\frac{1}{2}$  bordát is figyelembe vesszük. Az ajánlati terv során azonban már a hajó méretétől függően 20 vagy 40

elméleti bordára van szükség, egyrészt, mert az ajánlati fázisban semmilyen csapdát nem hagyhatunk figyelmen kívül, ami később komoly nehézségeket okozhat, másrészt az ajánlati terv elfogadása és a szerződéskötés után nem marad már annyi idő, hogy akkor lehessen a hajó építéséhez szükséges készülékek rajzait és az építési rajzokat elkészíteni, azoknak az ajánlati fázis során nagyrészt el kell készülniük.

A gyártási tervek fázisában a hajó építése már elkezdődik, és az építéssel párhuzamosan készülnek a gyártási részletrajzok az építés ütemének megfelelően.

Ebben a fejezetben a spirálisnak a következő öt szegmensével foglalkozunk: vonalrajz, hidrosztatika, *lékszámítás*, vízkiszorítás és hordképesség, *stabilitás*.

### 2.3.1 Előzetes geometriai méretezés és ellenőrzés



Mindenek előtt az elméleti alapokkal kell tisztában lenni.

A *hajótest* kifejezést már eddig is használtuk, azt kell definiálni, mit értünk alatta. A hajótest formája a hajó alakját jelenti, elsősorban annak azt a részét, amely normál működés közben víz alatt helyezkedik el. A hajótest formája szinte minden olyan számításra befolyással van, amelyet a hajótervezőnek el kell végeznie. A hajók sokfélék, ezért számos különböző *hajótest formát* alakítottak ki az idők folyamán, és ezeket sikeresen alkalmazták, mivel ezek mindegyike a gyakorlati tapasztalat eredménye, és valamilyen adott hajó speciális feladatához alkalmazkodott. Azok is belátják, akik nincsenek kapcsolatban a hajótervezéssel, hogy az egyes hajótípusok alakja más és más, olyannyira, hogy még egy laikus is gyakran helyesen következtet a hajótest alakjából, milyen feladatra szánták, pl. áruszállító, vontató, siklóhajó, vitorlás jacht vagy a haditengerészet által használt romboló. A hajótest alakjának eltérése abból fakad, hogy eltérőek a követelmények a különböző feladatok teljesítése során, különösen a sebesség és a hordképesség tekintetében, és ezek határozzák meg, hogy egy adott hajó mennyire hatékonyan képes üzemelni.

A geometria tervezés során a hajótestre vonatkozó kifejezések gyakran fordulnak elő. Alapvetően szükség van ezeknek a kifejezéseknek a helyes megértésére. Számos hasonló kifejezéssel találkozhattunk már a 2.2 fejezetben is. Általános kifejezés például a „telt” és a „karcsú” hajóforma; specifikus mennyiség a „hasábos teltség”, amely matematikai meghatározást igényel. Ezek egyike sem elég azonban önmagában ahhoz, hogy a hajótestet eléggé részletesen definiálni tudja, ebből még nem lehet megépíteni a hajót vagy meghatározni a hajó stabilitását, de ahhoz is kevés, hogy a haladáshoz szükséges teljesítményt meg lehessen határozni, hogy csak néhányat említsünk azok közül a problémák közül, amelyeket a hajótervezőnek le kell győznie. A kívánt pontosságot és megbízhatóságot csak egyetlen nyelv képes garantálni: a grafika, a rajz nyelve.

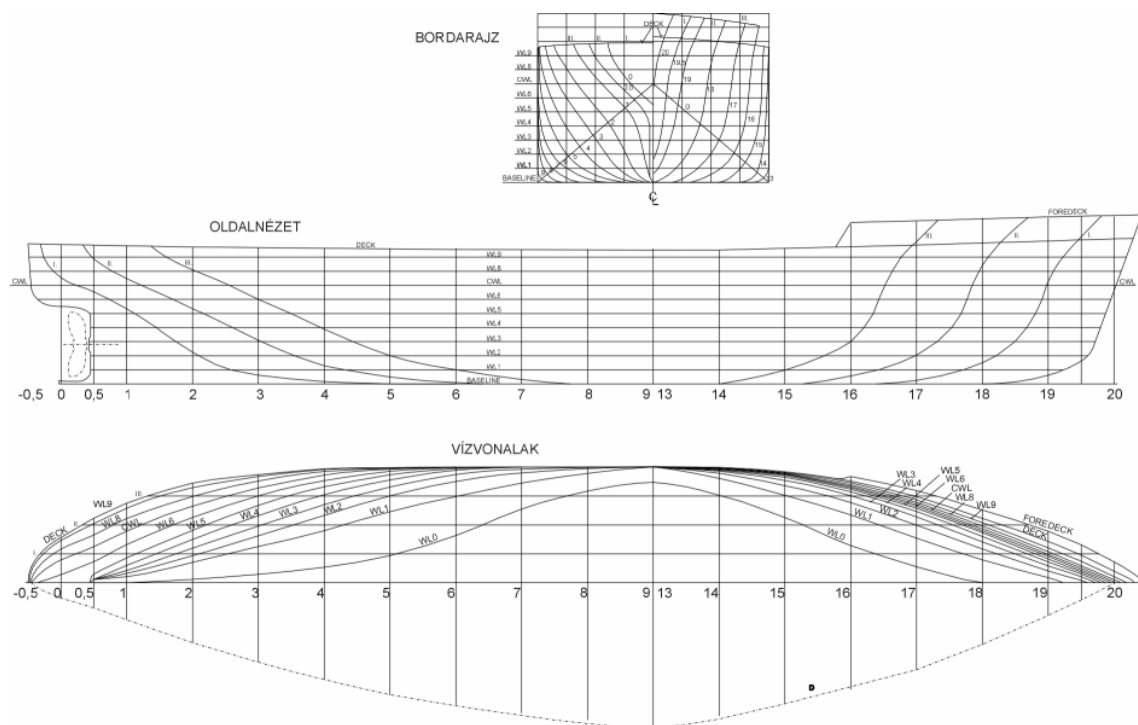
### ***A hajó vonalterve – a hajótest ábrázolása***

A hajó testformájának grafikus ábrázolása a vonalterv vagy vonalrajz. A 2.3.1.1 ábrán egy koncepcionális fázishoz alkalmas vonalrajzot láthatunk. A mérnöki gyakorlatnak megfelelően ez a rajz is a hajótest három derékszögű vetületben látható képét mutatja, és alkalmazható rá a klasszikus ábrázoló geometria  $x$ ,  $y$  és  $z$  tengely menti három vetületének módszere. Mivel azonban a vonalrajz feladata csupán az, hogy a hajótest alakját adja meg, a vonalak kizárólag a hajótest *héjlemezét* ábrázolják a fenéktől a fedélzetig. A fedélzeti házak nem szerepelnek rajta.

Mértani nyelven szólva a hajótest görbe felületekből áll, amelyek alakja folyamatosan és hirtelen átmenetek nélkül változik egyik szakaszból a másikba átlépve – a hajótervező ezt úgy nevezi, hogy „kiegyenlített”, vagyis nem tartalmaz éles átmeneteket vagy folytonossági hiányokat, amelyek nem kívánatos ellenállást ébresztenének, amikor a hajó haladása közben a víz a hajótest körül áramlik. Magától értetődik, hogy ez a sima alak megköveteli, hogy ne csupán a hajó körvonala jelenjen meg a rajzon, mivel az nem adná meg az alakot kellő pontossággal. A vonalterv tehát síkokból álló három derékszögű rendszer elemeinek (síkjainak) metszésvonalait ábrázolja a hajótesten,

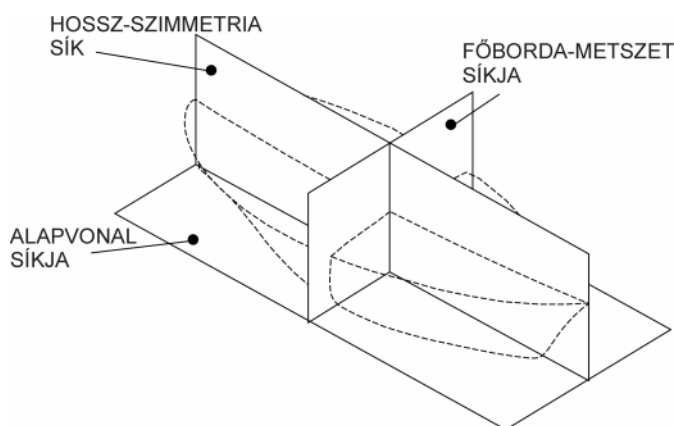
## BBBZ-kódex

mindegyik rendszernek a hajótesttel való metszésvonalai a vonalrajz egyetlen vetületén jelennek meg. Tehát mindegyik nézet egyetlen metszésvonal-rendszert ábrázol valódi alakjában attól függően, hogy a szemlélő éppen melyik irányba fordul a három síkrendszerhez képest. A hajótest alakjának a geometriai számításokhoz szükséges méreteit három *referenciasíktól* mérjük.



2.3.1.1 ábra Szárazáru szállító hajó vonalrajza


### Vetületek (nézetek) és referenciasíkok



2.3.1.2 ábra A vonalterv referenciasíkjai

Amint a 2.3.1.2 ábrán látható, a hajótest elméletileg egy vízszintes síkon nyugszik, amelynek neve *alapvonal-sík* (baseline), ez az a referenciasík, amelytől a hajótesten elhelyezkedő minden egyes pont esetében a függőleges méreteket illetve magasságokat számítjuk, amelyek neve

*magasság az alapvonal-tól*. A hajótest két szimmetrikus felét, a *jobbaldalt* (starboard) és

a *baloldalt* (port), a hajó *hossz-szimmetria síkja* (centerline) választja el egymástól, amely az *orrtól* a *farig* végigmenő hosszirányú függőleges sík. A kereszt- vagy harántirányú méreteket félszélességeknek nevezzük, és ezeket a hajó hossz-szimmetria síkjától mérjük. A harmadik referenciasík, a *főborda-metszet* síkja (midship section), keresztirányú és függőleges, így merőleges mind az alapvonal-síkra, mind a hossz-szimmetria síkra. A *hajóközép*, amelyet a  jelkép jelez, a főborda-metszet helyére utal. A hosszirányú méreteket a hajótest minden egyes pontjára vonatkozóan a főborda-metszet helyétől is lehet mérni. Mivel azonban a hosszirányú méretek tekintélyes értékűek lehetnek, mérhetjük őket más keresztmetszet síkjától is, pl. az orrnál (bow) levőtől, amelyet *mellső függélynek* nevezünk, vagy a fartól (stern), amelynek neve *hátsó függély*. A függélyek helyét később definiáljuk, amint azonban ezek helye el van döntve, a hajóközép helyét is meghatározzák, amely a két függély között középen helyezkedik el.

A három rendszer, amely a hajótestet képzeletben elmetsző síkokból áll, és amelyekre azért van szükség, hogy a hajótest alakját kijelöljék, párhuzamos a három referenciasíkkal. Az alapvonal-síkkal párhuzamos vízszintes síkokat, amelyek egymástól egyenlő távolságra az alapvonal felett helyezkednek el, *vízvonalaknak* (waterline) nevezzük, ezek metszik ki a hajótestből a *vízvonal-felületeket*. Ezek jelölése WL és sorszám vagy WL és az alapvonal feletti magasság. A főborda-metszet síkkal párhuzamos síkok neve, amelyek tíz vagy húsz egyenlő részre osztják fel a hajó hosszát, *bordametszetek* vagy *elméleti bordák* (station), ezek a hajótestből a *bordafelületeket* metszik ki. A bordametszeteket számokkal jelöljük, az angolszász-amerikai gyakorlatban az orrt jelölik 0-val, és a számok hátrafelé nőnek, Európában és Ázsiában pedig a farnál van a 0, és a számok az orr felé nőnek. A hossz-szimmetria síkkal párhuzamos síkok a *függőleges metszetek* (buttock), ezek jelölése a szimmetriasíktól való távolsággal vagy a maximális félszélességhez való aránnyal történik. Ezek a síkok metszik ki a hajótestből a függőleges metszetek görbéit.

A vonalterv három nézete ugyanolyan viszonyban van egymással, mint a tipikus műszaki rajzok nézetei, tehát előlnézet, oldalnézet és felülnézet, azonban a legtöbb nyelven sajátos elnevezésük van. A bordametszeteket valóságos alakjukban ábrázoló vetület (oldalnézet vagy szelvény lenne egy építészeti rajzon) pl. a *bordarajz* (body plan). Mindegyik bordának csak a fele van megrajzolva a szimmetria miatt.

Konvencionálisan a hajó mellső részéhez tartozó fél-bordametszetek (a *hengeres középrész* előttiek) a szimmetriasíktól (amely ezen a vetületen egy függőleges egyenes) jobbra helyezkednek el, azok pedig, amelyek a hajó hátsó részéhez tartoznak (a *hengeres középrész* mögött), a nézet baloldalát foglalják el. Amint már említettem, az orrnál és a farnál gyakran feles bordametszetet alakítanak ki a függélyektől fél bordaosztásnyi távolságra, mivel ott a vízvonalak alakja erősebben változik. A vízvonalakokat, amelyek a *felülnézet*en (lines vagy half-breadth plan) vannak ábrázolva, szintén csak egyik oldalon rajzolják meg, a másik oldalt a *diagonál-metszetek* számára tartják fenn. Ezeket olyan síkok metszik ki a hajótestből, amelyek a bordametszet rajzon egyenes vonalnak látszanak, és a hajótestre, leginkább a *medersorra*, közel merőlegesen helyezkednek el, a vízvonalakhoz és a függőleges metszetekhez képest valamilyen tetszőleges szögben. A diagonál-metszetek síkjai tehát úgy vannak kiválasztva, hogy a

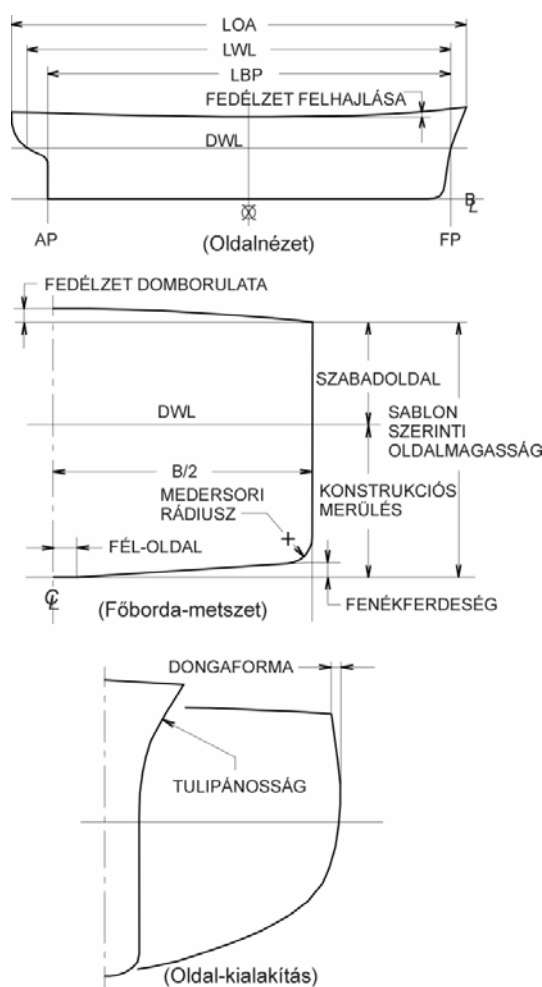
bordametszetek erősen görbült részeit majdnem merőlegesen messék el a bordarajzon. A diagonál-metszetek koordinátáit, amelyek a sík és a hossz-szimmetria sík metszésétől a bordákkal való metszéspontig mérhetőek, a felülnézetnek a vízvonallal ellentétes oldalára mérik fel, és ott ábrázolják a görbét. Alakjuk szerint a bordametszetek módosíthatóak, amíg szépen haladó folyamatos vonalak jönnek létre (*kiegyenlítés*). Ez az eljárás nagyon fontos a hajótervező számára, mivel különösen a medersor környékén megfelelően korrigálhatja a bordametszetek alakját. A vonalterv harmadik vetülete, az *előlnézet* (profile plan vagy sheer plan) a hajó profilját mutatja a gerinctől a fedélzetekig (azok széléig), illetve ezen a nézetben láthatóak valódi alakjukban a függőleges metszetek görbéi (buttock). A hajó *profilja* (ahogy a hajót oldalnézetben látjuk) tulajdonképpen a szimmetriasík metszészvonala a hajótesttel (kivéve a fedélzet domborulatát, mivel az oldalnézetben a fedélzet széle van ábrázolva), látható az orr (bow) és a far (stern) alakja, tehát ezt a „nullás függőleges metszet” néven is említhetjük, hiszen a többi függőleges metszet síkjának rendszerébe tartozik. Ezt a logikát lehet látni a 2.3.1.1 ábra szerinti vonalrajzon. Jól látható, hogy mind a három nézetben a hajótest és a síkok metszészvonalai közül csak egyetlen görbesereg látható valódi nagyságában, a másik kettő mindig a síkok élét mutatja egyenes vonalakként. Ezen kívül mindegyik pontnak a referenciasíktól mért valamelyik koordinátája (a *mérettáblázat* egy adata) két nézetben látható, ami lehetővé teszi a hajótervezőnek, hogy a vonalrajz helyességét ellenőrizze, és addig finomítgassa a formát (kiegyenlítés), amíg a vonalak szépen haladnak, vagyis az összes vonal folyamatos, nincsenek helyi púpok vagy mélyedések a felületen, és a mérettáblázat minden egyes adata megegyezik mindkét nézetben, amelyen mérhető.

#### *Sablonszerinti (rajzpadlási) méretek és terminológia*

A vonalterven ábrázolt formák a hajó úgy nevezett sablon szerinti (rajzpadlási, molded) alakját mutatják. A megnevezés arra utal, hogy a számítógép-vezérlésű lemezzabás és bordahajlítás kora előtt az úgy nevezett rajzpadláson a hajótervezésben is jártas szakmunkások természetes nagyságban felrajzolták a vonalrajzot, majd arról fából *sablonokat* (mold) készítettek, amelyeket a hajó gyártásánál használtak fel. Mindegyik sablon a hajótest szerkezetének egy bizonyos részéhez használható, mivel annak az alakját követi. Ezeknek a sablonoknak a segítségével vágták, hajlították, csavarták a hajóépítő szakmunkások a vasszerkezeti elemeket, mint a bordák, hosszmerítők, stb., amelyek a hajó vasszerkezetét alkotják, mivel azok a vonalrajz alapján készültek. Azt viszont ebből kiindulva nem szabad elfelejteni, hogy, mivel a héjazat, vagyis a hajó héjlemezelve, a bordákhoz kívülről illeszkedik, a sablon szerinti vonalak és méretek a hajótestet olyannak tételezik fel, mintha nem lenne héjlemeze. A vízkiszorítás számításához használt vonalak és méretek figyelembe veszik a héjlemez vastagságát, azt tehát hozzá kell adni a sablon szerinti méretekhez, ha a kész hajóról vett méretekkel kell dolgozni.

A 2.3.1.3 ábrán látható méretek a hajótest alakjának elnevezéseit jelzik. A hajó *főméretei* azok a fontos méretek, amelyek alapvetően definiálják a hajó nagyságát. A tervezés korai fázisában a tervező feltételez egy vízvonalat, amelyről úgy gondolja, hogy a hajó addig fog bemerülni, amikor teljes terheléssel úszik. Ezt a vízvonalat

tervezési vagy konstrukciós vízvonalnak nevezzük, illetve *terhelt vízvonalnak*, és jelölése *CWL* (esetleg *DWL*). Annál a metszéspontnál, amelyet a *CWL* és a hajó mellső szélső szerkezeti eleme, az *orrtőke* (bow vagy stem) alkot, függőleges vonalat húzunk, amelynek neve mellső függély (forward perpendicular, *FP*). Az *FP* határozza meg tehát a hajótest *vízbemerült részének* mellső végét. A mellső függélynek ez a definíciója szinte valamennyi hajóra érvényes. A hátsó függélyt (after perpendicular, *AP*) is meg kell határozni mindegyik hajónál, annak helye azonban nem határozható meg ilyen egyértelműen minden hajó esetében. A szándék az, hogy a hajó vízbemerült részének hátsó végét jelezze. Leggyakrabban az *AP* vagy a *kormánylapát tengelyének középvonalával* esik egybe, vagy a *CWL* hátsó végével, de az is előfordul, hogy a *fartőke* hátsó végével veszik azonosnak (ha létezik és függőleges). Az *FP* és *AP* között mérhető hossz a *függélyek közti hossz* (length between perpendiculars, *LBP*), a hajó



2.3.1.3 ábra Sablon szerinti méretek

legfontosabb mérete, amelyet a *hajó alaktényezőinek* kiszámításához használnak, illetve a vasszerkezet elemeinek kiválasztásához. Fontos hossz méret még navigációs és dokkolási kérdésekben a hajó *teljes hossza* (length overall, *LOA*). A hidrodinamikai elemzéseknél és számításoknál, amilyen pl. a hajó ellenállásának vizsgálata, a legjellemzőbb hossz méret a *vízvonal hossza* (length on waterline, *LWL*). A 2.3.1.3 ábrán mind a három hossz méret látható.

A hajó kereszt- vagy más néven haránt-irányú mérete a *szélesség* (beam vagy breadth, *B*). A hajó nem dobozszerű, tehát a szélességi méret változik a hossz mentén, a főméretek között azonban a *sablon szerinti szélesség* (molded beam) a hajó legszélesebb pontján mért sablon szerinti szélességet jelenti. A *teljes szélesség* (maximum beam) a teljes szélességre utal, amelybe beletartozik a héjlemez vastagsága is mindkét oldalon, tehát az a sablon szerinti szélességnél az oldallemez kétszeres vastagságával nagyobb.

A nagyobb hajóknál a teljes szélesség jelentős hosszon azonos a főborda előtt és mögött. Kisebb hajóknál előfordul, hogy a teljes szélesség csak egyetlen keresztmetszetben fordul elő, a főbordánál vagy esetleg valamivel a főborda mögött.

A 2.3.1.3 ábra b/ részében látható fél-keresztmetszet feltehetően a hajóközépnél (*főbordán*) van, az ott látható sablon szerinti *oldalmagasság* ( $H$ ) a függőleges távolság a főbordán az alapvonal (a gerinclemez felső felülete) és a *főfedélzeti fedélzeti gerendák* felső éle (azaz a fedélzeti lemez alsó felülete, amely a fedélzet sablon szerinti vonalát jelenti) között a hajó szélénél. A hajó oldalmagassága a szélességhez hasonlóan szintén nem állandó a hossz mentén, mivel a fedélzetek (különösen pedig a *szabad*, vagyis az *időjárásnak kitett fedélzetek*) nagyon ritkán vannak síkra kialakítva. A *fedélzet szélének vonala* általában görbül a hajó hossza mentén, legmagasabb pontját az orrnál éri el, a legalacsonyabbat valamivel a főborda mögött, majd ismét emelkedik a far felé. Ezt a görbét a *fedélzet felhajlásának* nevezzük (*sheer*). A felhajlás mértéke bármely ponton a hajó hossza mentén az a függőleges távolság, amellyel az adott ponton a fedélzet szélének magassága magasabban (pozitív érték) vagy alacsonyabban (negatív érték) van, mint ahol a fedélzet vonala a főbordánál sablon szerint elhelyezkedik.

Ha a hajó nem lapos fenékkal épül, hanem a fenék a hajó széle felé emelkedik, azt mondjuk, hogy a *fenéknek ferdesége* (*deadrise*) van, vagy lejtős a fenék, esetleg ferde a fenékborda (*rise of floor*), ami már a vasszerkezeti elemekre utal, mivel a *fenékborda gerince* nem sima téglalap, hanem trapéz alakú. A *lapos gerinclemez*, amely a hossz-szimmetria síkra merőlegesen végighalad a fenéken, általában vízszintes, az ilyen *gerinc fél szélessége* pedig a *fél-oldal* nevet viseli. A fenék-ferdeség a fél-oldal külső szélétől kezdődik, mértéke az alapvonal felett annak a pontnak a távolsága, ahol a fenék lemez sablon szerinti vonala el metszi a főbordán mérhető sablon szerinti szélesség függőleges vonalát. A fenék és az oldal körívvel vagy más ívvel csatlakozik egymáshoz a medersornál, az így keletkező sugár neve a *medersor sugara*. A 2.3.1.3 ábra c/ részlete jól mutatja, hogy a hajó egyes metszeteinél az oldal, főként kisebb hajóknál, mint a vontatók és a jachtok, befelé hajlik a maximális szélességhez képest addig a pontig, amíg eléri a fedélzetet. Ez a jellemző *dongaforma* (*tumble home*) néven ismert, mértéke a vízszintes távolság a maximális szélességtől a fedélzet szélességéig. Az ellenkező értelmű görbe alak, amely kifelé tart, amíg el nem éri a fedélzetet, a *tulipánosság* (*flare*), az is látszik az ábrán. A tulipános bordametszetek a hajók orránál gyakoriak, ugyanis az ilyen forma jól ellenáll a hullámoknak, és kevesebb víz jut fel a fedélzetre, ha a hajó a hullámokkal szemben halad.

A 2.3.1.3 ábrán két olyan méret is látható, amely a hajó terhelésétől és geometriájától egyaránt függ, ez pedig a *merülés* és a *szabadoldal* (*draft* és *freeboard*). A merülés ( $T$ ) a függőleges távolság a hajó bármely pontján a vízvonaltól a hajófenékig. A hajóra, amelynek merülése (*draft*) 6 m, azt is mondják, hogy 6 m „mélyen jár” (*drawing 6 m*). A *tervezési merülés*, amelyet a vonalterv mutat a konstrukciós vízvonaltól, a *sablon szerinti merülés*, amelyet a *sablon szerinti alapvonalig* mérnek. Navigációs célokból a merülést inkább a gerinclemez alsó felületéig mérik, ilyenkor *gerincmerülésről* beszélünk. A hajó orránál és faránál felfestett *merülési mércék* a gerincmerülést jelzik. Egy adott hajónál a különböző üzemállapotokban a farnál és az orrnál mért merülések változhatnak a rakomány mennyiségétől és elhelyezésétől, valamint a fedélzeten levő egyéb súlyoktól függően. A szabadoldal a hajó bármely pontján a vízvonal és a fedélzet széle között mérhető függőleges távolság, illetve az oldalmagasság és a merülés különbsége. Miután a szabadoldal a hajó biztonságának fontos mérőszáma, mindegyik

hajó papírjaiban rögzítve van a *minimális elfogadható szabadoldal a főbordánál*, ez a *hatósági szabadoldal*, amelyet a nemzetközileg elfogadott rendelkezések értelmében határoznak meg.

### Méretábrázat

A kész és kiegyenlített vonalterv az információknak az a tökéletes forrása, amelyre a hajótervezőnek szüksége van, hogy két alapvető műveletet el tudjon végezni a továbbiakban: az egyik a hajó *hidrosztatikai jellemzőinek* meghatározása, amelyekre az *úszóképesség* és a *stabilitás* számítása támaszkodik, a másik pedig a hajó építéséhez szükséges *gyártási rajzok* elkészítése. Mindkét esetben a hajótestre vonatkozó információt, amelyet a vonalterv tartalmaz, számadatokkal (numerikusan) kell kifejezni, és a hajó léptékében. A vonalterv numerikus megfelelője a méretábrázat (table of offsets).

A háromdimenziós hajóalak numerikus kifejezéséhez a sablon szerinti hajótest jeles pontjainak három koordinátáját kell megadni:

- hosszirányú távolság a mellső illetve hátsó függélytől (FP, AP) vagy főbordától (Ø),
- félszélesség a hossz-szimmetria síktól,
- magasság az alapvonal sík felett.

A hajótest számításaihoz használt méretábrázatban a jeles pontok hosszirányú koordinátái a vonalterven kitűzött bordametszeteket jelölik. A hajó gyártási rajzainak készítéséhez további keresztmetszetek kijelölésére van szükség, ezek helye a *szerkezeti bordakeretek* helyének felel meg. Mindegyik elméleti vagy szerkezeti bordánál a másik két koordinátát (offset) a *kiegyenlített vonalrajzon* levő vonalaktól kell mérni. A félszélességi méreteket a vonalrajzon megrajzolt vízvonalakon kell mérni, illetve (a gyártási rajzokhoz szükséges koordinátáknál) mindegyik fedélzetnél, *kettősfenél* vagy *tank felső lapjánál* (tank top) illetve *vízszintes gerincű hosszmerévítőnél*. Az alapvonal feletti magassági értékeket (a vonalrajz hosszmetaszetei esetén) az egyes elméleti vagy szerkezeti bordametszetnél kell megadni. A 2.3.1.1 táblázat egy szokásos méretábrázatot mutat.

2.3.1.1 táblázat Szárazáru szállító hajó méretábrázata (US méreteken, 0-ás borda előtt)

Félszélességek a vízvonalakon és a fedélzeteknél láb-hüvelyk-nyolcad mértékegységben											
Borda	0-0 WL	4-0 WL	8-0 WL	16-0 WL	24-0 WL	32-0 WL	40-0 WL	Orrfed.	Főfed.	2. fed.	3. fed.
0-FP	-	3-0-5	2-8-2	1-0-1	0-2-5	0-5-0	1-8-6	11-1-2	7-0-3	1-11-0	0-2-3
½	-	4-8-7	5-0-7	4-3-5	4-0-6	5-0-6	7-8-3	20-4-2	14-6-0	7-7-2	4-1-4
1	-	6-10-2	7-11-6	8-6-1	9-3-0	11-1-0	14-3-5	26-5-2	20-6-5	13-9-4	9-4-7
2	2-4-0	13-7-6	16-9-3	19-9-0	21-10-2	24-1-7	26-11-6		30-3-6	26-0-2	21-0-2
3	9-2-0	24-1-0	27-7-1	30-10-3	32-8-1	34-0-5	35-2-7		36-1-1	34-8-4	32-0-2
4	24-4-0	33-3-0	35-8-1	37-2-2	37-7-5	37-10-4	37-11-6		38-0-0	37-11-2	37-5-7
Ø 5	28-5-6	36-2-6	37-10-3	38-0-0	38-0-0	38-0-0	38-0-0		38-0-0	38-0-0	38-0-0
6	24-10-4	34-8-1	37-0-7	37-11-7	38-0-0	38-0-0	38-0-0		38-0-0	38-0-0	37-11-6
7	13-6-4	27-1-4	31-2-6	35-8-1	37-5-2	37-11-6	38-0-0		38-0-0	38-0-0	36-0-1
8	4-5-2	15-0-3	19-3-3	26-2-2	31-9-2	35-7-3	37-4-2		37-8-1	36-9-7	26-11-4
9	-	6-0-7	7-9-4	11-2-4	18-1-0	25-8-5	31-3-1		33-8-7	29-6-3	11-10-1
9½	-	2-8-7	3-4-1	4-3-0	8-8-3	17-10-1	25-3-4		29-5-0	23-2-7	4-5-1
10-AP	-	-	-	-	-	8-6-3	16-11-6		22-5-2	-	-

## BBBZ-kódex

Magasságok a sablon szerinti alapvonal felett láb-hüvelyk-nyolcad mértékegységben										
	Függőleges metszetek				Orrfedélzet		Főfedélzet		2. fed.	3. fed.
Borda	4 lábnaál	8 lábnaál	16 lábnaál	24 lábnaál	Sz.síknál	Oldalnál	Sz.síknál	Oldalnál		
Orrtőke					63-11-0	63-11-0	55-8-0	55-8-0	40-10-2	25-0-0
0-FP	47-5-6	57-0-7	-		63-4-5	63-3-1	55-0-2	54-11-5	40-8-6	
½	2-3-0	40-8-3	55-4-4	-	62-2-6	61-9-5	53-2-5	53-0-0	39-9-1	
1	0-11-7	8-0-7	43-4-1	56-8-1	61-06	60-4-1	51-8-2	51-3-0	38-10-4	25-0-0
2	0-0-4	0-8-7	6-9-2	31-5-7	-	-	49-3-5	48-4-1	37-5-1	20-10-0
3	-	0-0-0	0-6-7	3-11-1			47-7-3	46-3-0	36-4-4	
4		-	0-0-0	0-1-1			46-5-5	44-11-5	35-8-7	
5				0-0-0			46-0-0	44-6-0	35-6-0	20-10-0
6			-	0-0-0			46-1-0	44-7-0	35-7-0	17-0-0
7	-	-	0-0-6	2-1-0			46-4-5	44-10-5	35-10-4	
8	0-0-0	0-3-5	4-9-6	13-3-3			46-9-7	45-4-3	36-4-4	
9	1-2-1	8-6-6	21-11-3	30-0-4			47-3-3	46-1-1	37-0-6	
9½	14-3-4	23-4-1	30-3-6	38-4-5			47-6-1	46-7-3	37-5-7	17-0-0
10-AP	28-5-0	31-6-5	38-11-3	-			47-8-6	47-2-4	-	
Fartőke	37-1-4	41-7-0	44-1-6				47-11-6	47-11-6		

A mérettáblázat adatainak a kiegyenlített vonaltervet kell magukban foglalniuk a hajó természetes nagyságában, a pontosságnak milliméterre kerekítettnek kell lennie (ez kb. egy nyolcad hüvelyk angolszász egységekben), ezt a pontosságot nem lehet elérni olyan mérettáblázattal, amelynek adatait a szokásos 1:100 vagy 1:50 léptékű vonalrajzról vették le. Ha a vonalrajzot rajztáblán egyenlítették ki, a kiegyenlítést ismételtelen el kell végezni természetes nagyságban a rajzpadláson, amikor a hajó léptékében rajzolják fel a vonaltervet a *rajzpadlóra*. Ezt az időigényes eljárást ma már számítógépes programok vették át a korszerű hajógyárakban, amelyek képesek a kisléptékű vonalrajzról mért adatokat felhasználni kiindulásul (input). A számítógéppel kiegyenlített vonalak ugyanolyan tökéletesek, mint a rajzpadlási adatok.

A hajótest-számításokhoz a 2.3.1.1 táblázatnak megfelelő adattáblázatokat használnak 10 vagy 20 elméleti bordametszettel a hajóhossz mentén. A számításokhoz csak a bordák és vízvonalak félszélesség értékeire van szükség, a függőleges metszetek magassági értékeire nincs szükség. A félszélességeket meg lehet adni *angolszász* vagy *SI rendszerben*, de az előzőnél is decimális kifejezést alkalmaznak a hüvelyknél kisebb méretekre. A hajóépítők igényei szerint azonban a táblázat sokkal bővebb, hiszen elméleti bordák helyett minden szerkezeti bordakeretnél szükség van az adatokra. Nagyobb hajóknál több száz bordakeret lehet, távolságuk hatvan centiméter és egy méter húsz között szokásos a hajó teljes hosszán. Az angolszász egységek használatánál a hajóépítőknek olyan táblázatra van szükségük, amelyek adatai a szakmunkások által használt mérőszalagok beosztásához igazodik, tehát láb, hüvelyk és egy nyolcad hüvelyk, nem pedig a hüvelyk decimális tört részei.

## 2.3.2 A hajótest geometriájának részletes tervezése

### 2.3.2.1 A hajótest alakjának hidrosztatikai jellemzői

## 3. kiadás 2014. 0.1 TARTALOMJEGYZÉK 02.TÁRGYMUTATÓ 1.BEVEZETÉS 2.HAJÓELMÉLET



A hajótest alakjának leírása nem ér véget a kiegyenlített vonaltervvel és a mérettáblázattal. A hajótervezőnek olyan információt is kell szolgáltatnia a hajó üzemeltetőjének, amely képessé teszi a hajó egész élettartama alatt, hogy meghatározza bármilyen *rakodási* vagy *súlyeloszlási állapotban* a merüléseket, a szabadoldalt és a stabilitást. Ezek létfontosságú kérdések, amelyek a hajó *biztonságos üzemeltetését* befolyásolják, ezért ezeket a témákat a következő fejezetekben kimerítően tárgyalni fogjuk. Elengedhetetlen először is annak definiálása, hogy a *vízbenmerült hajótestnél* melyek azok a *geometriai tulajdonságok*, amelyek fontosak a hajót irányító tiszt számára, aki azzal van megbízva, hogy biztosítsa a hajó biztonságos és hatékony üzemeltetését.

A kérdéses tulajdonságokat a hajótest hidrosztatikai jellemzőinek nevezzük, mert ezek kifejezetten a hajótest vízbenmerült részének alakjától függenek. Amikor ezeket a jellemzőket grafikus alakban ábrázoljuk, a kapott görbék neve *jellemző görbék* (hydrostatic curves vagy curves of form). Tekintve, hogy a hajó merülési viszonyai jelentősen változhatnak a *rakodási módtól* függően, a hidrosztatikai jellemzőket a merülés függvényeként számolják ki és ábrázolják. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a következőkben bemutatott számításokat több különböző merülésre meg kell ismételni, a *kész üres hajó* merülésétől kezdve (a hajóba még semmilyen rakományt nem raktak be, és semmilyen személyzet vagy üzemanyag nincs rajta) a *teljes terhelésű hajó* merüléséig, amely a tervezési vízvonálnak felel meg.

A következőkben vizsgált hidrosztatikus jellemzők mind a hajó *egyenes úszását* tételezik fel (a hajó pillanatnyi vízvonala a vonalrajzon ábrázolt *CWL* konstrukciós vízvonallal párhuzamos síkban alakul ki *dőlés* vagy *trim* nélkül).

### 2.3.2.1.1 A vízvonal jellemzői

A vízvonal vizsgálatánál mindig négy tulajdonságot kell meghatározni.

1. *Vízvonalfelület* (area of waterplane,  $A_w$ ). A vízvonal felülete szükséges a *közepes merülés* változásának meghatározásánál. Mértékegység: négyzetláb vagy négyzetméter.
2. *Vízvonalfelület súlypontja* (centre of floatation,  $CF$ ). A *be-* és *kirakodás* vagy a hajón belüli *súlymozgatás* hatására a farnál és az orrnál kialakuló merülés kiszámításánál van rá szükség. A vízvonal alakjának szimmetriája miatt a  $CF$  a hajó középvonalán helyezkedik el. Helyének meghatározása a főbordától (vagy az  $FP$  ill.  $AP$  helyétől, ha azok a referenciasíkok) mért távolság számítását jelenti. Az így kapott távolság a vízvonalfelület súlypontjának hosszirányú koordinátája (longitudinal center of flotation,  $LCF$ ). Mértékegység: láb vagy méter a referenciasíktól.
3. *Hosszirányú inercianyomaték* (longitudinal moment of inertia,  $I_L$ ). Ez tulajdonképpen a vízvonalfelületnek a vízvonalfelület súlypontján áthaladó keresztirányú tengelyre vett *másodrendű nyomatéka*. A *hossz-stabilitás* és a trim (az orrnál és a farnál mért merülés különbsége) számításánál szükséges. Mértékegység: láb<sup>4</sup> vagy m<sup>4</sup>.

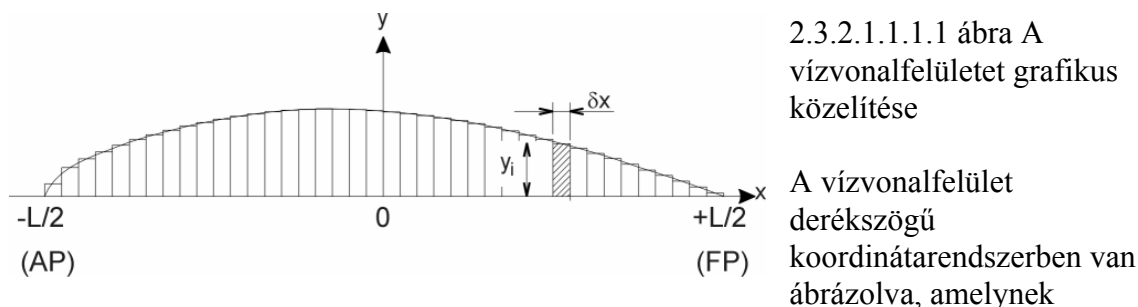
4. *Keresztirányú inercianyomaték* (transverse moment of inertia,  $I_T$ ). Az  $I_T$  a vízvonalfelületnek a hosszirányú szimmetriatengelyre vett másodrendű nyomatéka. Szükséges a *kezdeti keresztstabilitás* számításánál. Mértékegység: láb<sup>4</sup> vagy m<sup>4</sup>.

#### 2.3.2.1.1.1 A vízvonal jellemzőinek meghatározása numerikus integrálással

A hajótest alakjának bonyolultsága miatt a jellemzők meghatározása tisztán matematikai módszerekkel lehetetlen. Nincsenek olyan kezelhető matematikai függvények, amelyek képesek lennének leírni a hajótest alakját. Nem tudjuk tehát számítással elvégezni azokat az integrálási műveleteket, amelyek a jellemzők meghatározásához szükségesek. Nincs más lehetőség, a gyakorlatban nagyon jól bevált *numerikus integrálás* eljárását kell alkalmazni, amelynek eredménye ugyan nem egzakt, de megfelelő pontossággal közelíti a valódi értéket.

A módszer ismertetésekor általában felírjuk a matematikai formulát, de az utána következő magyarázat segít elsajátítani a numerikus közelítő módszert használatát.

A 2.3.2.1.1.1.1 ábra a vízvonalfelületet szemlélteti.



origója az O pont a főborda és a szimmetriatengely metszésénél. Az x tengely egybeesik a hajó szimmetriasíkjával (illetve annak metszésvonalával a vízvonalfelületen), az x értéke az orr fel pozitív, az y tengely a szimmetriasíkra merőleges (függőleges az ábrán). Az y ordináta egyes értékei, mint pl.  $y_i$ , a vízvonal félszélesség értékei, amelyeket a vonalrajzról lehet levenni. Az x abszcissza határértékei az ábra szerint  $-L/2$  a hátsó és  $+L/2$  a mellső függőlynél, az  $L$  érték pedig a hajó függvények közti hossza ( $LBP$ ). Ha az ábrázolt területet hézagmentesen felosztjuk nagy számú elemi részre, amelyek szélessége egyaránt  $\delta x$ , magasságuk pedig  $y_i$ , mint az ábrán a vonalkázott terület, a vízvonalfelület területe megközelítően a felületelemek területének összege. Mivel a  $\delta x$  nagyon kicsi, a felületelemek területe közelíthető  $\delta A_i = y_i \delta x$  területű négyszögekével. Így tehát az ábrán látható fél-vízvonalfelület területe

$$A = \sum_{i=1}^N \delta A_i = \sum_{i=1}^N y_i \delta x$$

ahol a  $\Sigma$  az összes elemi terület összegét jelenti a farnál levő elsőtől ( $i = 1$ ) az orrnál levő utolsóig ( $i = N$ ). Ez a terület, amint említettük, nem egzakt, mivel a használt

derékszögű területelemek nem pontosan követik a sima görbét, azonban a közelítés mértéke nagyon jó.

A számítás pontossága a  $\delta x$  elemi szélesség csökkentésével növelhető, aminek következtében a területelemek száma nő, és a lépcsőfokok jobban megközelítik a valóságos vonalrajz görbét. Ha a  $\delta x$  értéke zéróhoz közelít, a képlet végtelen összeg alakját veszi fel:

$$A = \lim_{\delta x \rightarrow 0} \sum_{x=-L/2}^{x=+L/2} y(x) \delta x$$

Mivel ez az egyenlet a  $\delta x$  zéróhoz közelítése miatt elméletileg végtelen számú elemet tartalmaz a jobboldalon, a területelemek száma végtelen, és az összegzés az  $x$  kifejezéseként jelenik meg  $-L/2$  és  $+L/2$  között. Az  $y$  ordináta alakja  $y(x)$ , ami azt jelenti, hogy „ $y$  az  $x$  függvénye”, nem pedig az  $i$  jelzőszámé. A végtelen összegzés matematikai elnevezése határozott integrál, amint a következő képlet mutatja, és a summa jelét az integráljel veszi át, a  $\delta x$  véges növekmény helyett pedig a  $dx$  differenciál szerepel benne:

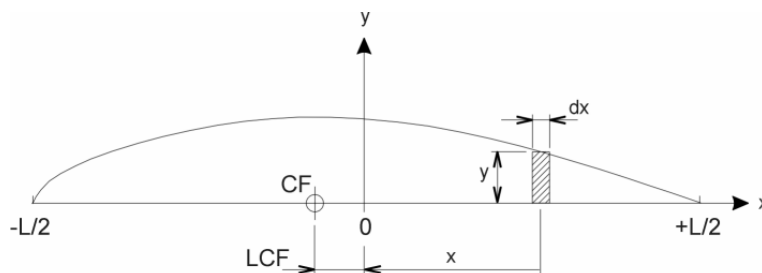
$$A = \int_{-L/2}^{+L/2} y \, dx$$

amelynek jelentése: „Az  $A$  mennyisége egyenlő az  $y$  függvény integráljával az  $x$  független változó  $-L/2$  és  $+L/2$  közötti intervallumában”. Az  $y$  ordináta feltételezésünk szerint az  $x$  függvénye, emiatt gyakran az  $y(x)$  alakot használják. Ez azért határozott integrál, mert az integrálás  $x$  változójához határozott határok vannak megjelölve.

Amikor az integrálás határait numerikus számok alkotják, a határozott integrál megoldása mindig egy számérték, nem matematikai kifejezés. Jelen esetben a 2.3.2.1.1.1.1 ábrán látható terület.

Amikor az  $y(x)$  függvényként fejezhető ki, a fenti integrálást el lehet végezni a kézikönyvek és egyéb segédletek segítségével, ahol a legtöbb járatos függvényhez megadják az integrál formuláját. Amint azonban már említettük, a hajótestek vonalai csak ritkán írhatók le matematikai függvényekkel. Ilyen esetekben a határozott integrál helyett a numerikus integrálás módszerét kell alkalmazni a rajzról leolvasott méretekkel. A mérettáblázat ezt a feladatot teljesíteni tudja.

Az elmélet után térjünk rá a gyakorlatra. A 2.3.2.1.1.1.2 ábrán a vízvonalfelület az integrál képletének megfelelő mennyiségeket mutatja.



2.3.2.1.1.1.2 ábra A vízvonalfelület integrálása

A vízvonalak szimmetriája miatt az integrálást elegendő a fél területre

elvégezni, az eredményt pedig kettővel szorozni. Tehát a vízvonal területe

$$A_W = 2 \int_{-L/2}^{+L/2} y \, dx$$

Amint említettük, a hajótest vonalai nem matematikai függvényekkel leírható görbék, tehát a fenti integrálást matematikai módszerekkel nem tudjuk elvégezni. Szerencsére a gyakorlatban a kis pontatlanság megengedhető, így az egzakt módszereket helyettesíthetjük közelítő eljárásokkal, esetünkben a numerikus integrálással.

A 2.3.2.1.1.1.1 ábra szerint felosztjuk a hajó függvények közötti hosszát elegendő számú egyenlő részre. Ezt tulajdonképpen már meg is tettük a vonalrajz elkészítésekor.

Tételezzük fel, hogy tíz részre osztottuk fel a hajó hosszát, és az elméleti bordákat 0-tól 10-ig sorszámozzuk. Az 5-ös bordametszet a főborda vagy hajóközép.

A vízvonalterület kiszámításához felírjuk:

$$\begin{aligned} A_W &= 2(\frac{1}{2} \delta x y_0 + \delta x y_1 + \dots + \delta x y_8 + \delta x y_9 + \frac{1}{2} \delta x y_{10}) + \Delta A_A + \Delta A_F = \\ &= 2 \delta x (\frac{1}{2} y_0 + y_1 + y_2 + \dots + y_8 + y_9 + \frac{1}{2} y_{10}) + \Delta A_A + \Delta A_F \end{aligned}$$

ahol  $\delta x$  = elméleti bordaosztás a vonalrajzon

$\Delta A_A$  = a 0-s borda mögötti terület

$\Delta A_F$  = a 10-es borda előtti terület.

Amennyiben 20 elméleti bordával készült a vonalterv, a képletet értelemszerűen kell átalakítani.

A vízvonalfelület súlypontjának meghatározásához ki kell számítanunk a terület *elsőrendű nyomatékát* valamilyen *referenciatengelyre*. Ha ehhez az  $y$  tengelyt használjuk, azaz a főborda helyét, az  $y \, dx$  területelem nyomatéka nem más, mint a felületelem területe szorozva a tengelytől vett távolsággal (a *nyomaték karjával*).

$$dm = x \, dA = x (y \, dx)$$

ahol  $dA$  = területelem =  $y \, dx$

$x$  = a nyomaték karja a főbordától (+ előre, - hátra)

$dm$  = a felületelem elsőrendű nyomatéka a főbordára

Így a teljes vízvonalfelület elsőrendű nyomatéka a főbordára

$$M_{\square} = 2 \int_{-L/2}^{+L/2} x y \, dx$$

ahol a kettővel való szorzás a korábbiakhoz hasonlóan szükséges, mivel felszélességekkel dolgozunk. Az index  $\infty$  arra utal, hogy a nyomaték tengelye a főborda helye.

Numerikus integrálásnál (10 elméleti borda esetén) ez:

$$M_{\infty} = 2((-5)\delta x \cdot \frac{1}{2}y_0 \delta x + (-4)\delta x y_1 \delta x + \dots + 4\delta x y_9 \delta x + 5\delta x \cdot \frac{1}{2}y_{10} \delta x) - \Delta M_A + \\ + \Delta M_F = 2\delta x^2((-2,5)y_0 + (-4)y_1 + (-3)y_2 + \dots + 3y_8 + 4y_9 + 2,5y_{10}) - \Delta M_A + \\ + \Delta M_F$$

ahol  $\Delta M_A$  = a 0-s borda mögötti terület nyomatéka (a teljes nyomatékot csökkenti)

$\Delta M_F$  = a 10-es borda előtti terület nyomatéka.

A *felület súlypontja* az a pont, amelynél a vízvonalfelülettel alakra és méretre megegyező vékony lemezt felfüggesztve az nyugalomban lenne. A nyomaték tengelyétől (az ábrán a főbordától) mért távolságát általában  $x$ -szel jelöljük, a hajó vízvonala esetében  $LCF$ , számítása

$$LCF = \bar{x} = M_{\infty} / A_w$$

Az ábrán  $CF$  jelölésű súlypont a főborda elé esik, ha  $M$  pozitív, illetve mögé, ha negatív. A rutin *hidrosztatikai számításoknál* a nyomaték tengelyének általában a főborda síkját választják, de bármelyik helyet választhatjuk, amikor a karokra és a nyomatékokra illetve az  $LCF$  értékére más eredmény adódik, de a  $CF$  helyzete természetesen ugyanoda kerül, függetlenül a választott tengelytől. Valójában, ha véletlenül olyan tengelyt választunk, amely átmegy a súlyponton, a nyomaték zéró értékűre adódik, mivel a területelemek pozitív és negatív nyomatéka kiegyenlíti egymást.

Most határozzuk meg a vízvonalfelület hosszirányú inerciáját ( $I_L$ ).

Az inercia a felület másodrendű nyomatéka, azért nevezik így, mert úgy kapjuk meg, hogy a felület (elsőrendű) nyomatékát ismét megszorozzuk a nyomaték karjával. A 2.3.2.1.1.2 ábra szerint a felületelem inerciája

$$di_{\infty} = x^2 dA = x^2 y dx$$

Ha integráljuk a hajó hossza mentén, és figyelembe vesszük a felület mindkét oldalát, a következőt kapjuk

$$I_{\infty} = 2 \int_{-L/2}^{+L/2} x^2 y dx$$

ahol  $I_{\infty}$  a vízvonalfelület inercianyomatéka a főbordára, mint referenciatengelyre vonatkoztatva.

Numerikusan integrálva

$$I_{\text{xx}} = 2\delta x^3(12,5)y_0 + 16y_1 + 9y_2 + \dots + 9y_8 + 16y_9 + 12,5y_{10}) + \Delta I_{\text{xxA}} + \Delta I_{\text{xxF}}$$

ahol  $\Delta I_{\text{xxA}}$  = a 0-s borda mögötti terület inercia nyomatéka

$\Delta I_{\text{xxF}}$  = a 10-es borda előtti terület inercianyomatéka.

A *hosszstabilitás* meghatározásához szükséges inercianyomaték azonban arra a keresztirányú tengelyre kell, hogy vonatkozzék, amely átmegy a vízvonalfelület súlypontján. Ez a speciális inercianyomaték a vízvonalfelület hosszirányú inercianyomatéka ( $I_L$ ). A mechanika párhuzamos tengelyekre vonatkozó elmélete kimondja, hogy ugyanannak a felületnek két párhuzamos tengelyre vett inercianyomatéka, amelyek közül az egyik átmegy a felület súlypontján, a következőképpen viszonyul egymáshoz:

$$I_{\text{par}} = I_{\text{cent}} + A h^2$$

ahol  $I_{\text{cent}}$  = a felületnek a súlyponton átmenő tengelyre vett inerciája

$A$  = terület

$h$  = a két tengely távolsága

$I_{\text{par}}$  = a felületnek a párhuzamos tengelyre vett inerciája.

Ez azt mutatja, hogy egy felületnek a saját súlypontján áthaladó tengelyre vett inerciája kisebb, mint bármelyik azzal párhuzamos tengelyre számított inercia. Ezt az elvet alkalmazva a vízvonalfelületre,  $I_L$  a következőképpen határozható meg:

$$I_L = I_{\text{xx}} - A_w (LCF)^2$$

A vízvonalfelülettel kapcsolatos jellemzők közül már csak a keresztirányú inercianyomatékot ( $I_T$ ) kell kiszámítani, amely a felület másodrendű nyomatéka arra a hosszirányú tengelyre vonatkoztatva, amely áthalad a vízvonalfelület súlypontján, vagyis a vízvonalfelület hossz-szimmetriatengelyére. Mivel egy  $h$  magasságú és  $b$  szélességű téglalapnak az alapvonalára, mint tengelyre vett inercianyomatéka  $1/3 b h^3$ , az ábra szerinti felületelem inerciája az alapvonalára számítva

$$di_T = 1/3 y^3 dx$$

amelyet megkettőzve és a vízvonal teljes hosszára integrálva a következőt kapjuk

$$I_T = 2/3 \int_{-L/2}^{+L/2} y^3 dx$$

Numerikusan

$$I_T = 2/3 \delta x (1/2 y_0^3 + y_1^3 + \dots + y_9^3 + 1/2 y_{10}^3) + \Delta I_{TA} + \Delta I_{TF}$$

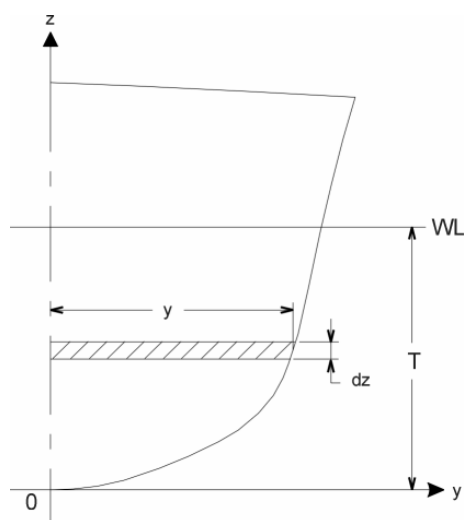
ahol  $\Delta I_{TA}$  = a 0-s borda mögötti terület inercia nyomatéka

$\Delta I_{TF}$  = a 10-es borda előtti terület inercianyomatéka.

### 2.3.2.1.2 A hajótest vízbemerült részének jellemzői

Három jellemző meghatározására van szükség.

1. *Víz kiszorítás térfogata* ( $\nabla$ ). A vízbemerült rész térfogata, azért nevezik víz kiszorításnak, mert az úszó hajó ekkora térfogatú folyadékot szorít ki. A víz kiszorítás a hajótest alakjának alapvető jellemzője, mivel a *hajó tömege* illetve *súlya* megegyezik az általa kiszorított víz tömegével illetve súlyával. A sablon szerinti térfogatot közvetlenül a sablon szerinti méretábrázolati adatokból lehet kiszámítani. A héjlemez és *függelék*ek térfogatát, amilyen pl. a *medersori stabilizátor*, a *kormány*, stb., ehhez hozzá kell adni, hogy az egyes merülési értékekhez meg lehessen határozni a *teljes víz kiszorítást*. Mértékegység: láb<sup>3</sup> vagy m<sup>3</sup>.
2. *Víz kiszorítás súlypontjának hosszirányú koordinátája* (longitudinal centre of buoyancy, *LCB*). A  $\nabla$  víz kiszorítás alakja miatt súlypontja (centre of buoyancy, *B*) három koordinátával rendelkezik, amelyeket meg kell határozni. A *B* helyzete hatással van a hajó stabilitására és trimjére. A hajó szimmetriája miatt egyenes úszásnál a víz kiszorítás súlypontja a szimmetriasíkban van, ezért csak két koordinátát kell kiszámítani a *B* helyzetéhez. Az *LCB* a *B* távolsága a kijelölt keresztirányú referenciasíktól, amely általában a főborda-metszet. Az *LCB* azonban mérhető az *FP* vagy *AP* helyétől is. Mértékegység: láb vagy méter.



2.3.2.1.2.1.1 ábra Bordafelület integrálása

3. *Víz kiszorítás súlypontjának függőleges koordinátája* (vertical center of buoyancy, *KB*). A *KB* a víz kiszorítás súlypontjának az alapvonal vagy gerinc (*K*) feletti magassága. Mértékegység: láb vagy méter.

#### 2.3.2.1.2.1 A bordametszetek jellemzői

A *bordametszetek vízbemerült részének felületére* ( $A_S$ ) is szükségünk van ahhoz, hogy a jellemző görbéket fel tudjuk rajzolni.

A víz kiszorítás térfogatának kiszámításához

bemenő adatként (input) a vonalterv oldalnézetén (bordarajz) megjelenített

bordametszetek felületét – az alapvonalától a kérdéses vízvonalig – kell meghatároznunk. Ha a hajóhossz mentén felrajzoljuk a bordametszetek vízbemerült felületét, megkapjuk a *bordametszet felület görbét*, amelynek alakja a hajó „telt” vagy „karcsú” jellegét emeli ki, amely igen fontos információ a hajó ellenállásának és teljesítményigényének szempontjából. Mértékegység: láb<sup>2</sup> vagy m<sup>2</sup>.

*A vízbemerült bordaterület integrálása.* A bordarajzon ábrázolt mindegyik bordametszetet a 2.3.2.1.2.1 ábra szerint lehet értelmezni. A bordametszet vizsgálatánál az alapvonal (y tengely) és a hossz-szimmetria sík vonalának (z tengely) metszéspontja adja a koordináta-rendszer origóját. A fél-bordametszet felületelemeit a következő formula fejezi ki:

$$dA_S = y(z) dz$$

Ha az alapvonalától a vízvonalig ezeket integráljuk, és figyelemmel vagyunk a másik terület-félre is, a vízbemerült terület

$$A_S = 2 \int_0^T y dz$$

ahol  $A_S$  = a bordametszet vízbemerült területe

$y$  = a borda félszélességei

$T$  = merülés a bordametszeten

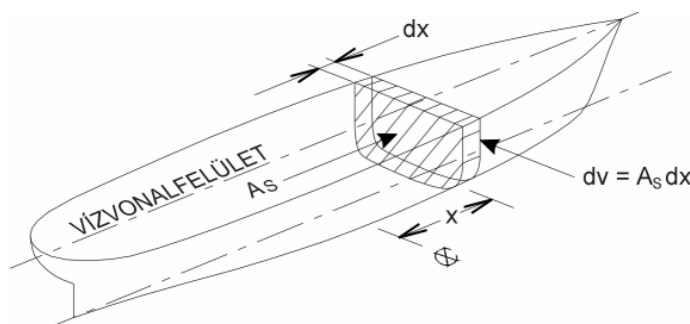
Mindez numerikus integrálásnál

$$A_S = 2 \delta z \left( \frac{1}{2}y_0 + y_1 + \dots + y_9 + \frac{1}{2}y_{10} \right)$$

ahol  $\delta z$  = vízvonalak egymástól való távolsága.

### 2.3.2.1.2.2 A vízbemerült hajótest-rész jellemzőinek integrálása

A hajótest vízbemerült részének térfogata, más néven a vízkiszorítás térfogata integrál



2.3.2.1.2.2.1 ábra Vízkiszorítás meghatározása a hossz mentén végzett integrálással

formájában fejezhető ki, amely a vízbemerült térfogatnak a 2.3.2.1.2.2.1 ábrán látható elemeit összegzi. Az ábrázolt térfogat az



alapvonalától addig a vízvonallig terjed, amelyen a hajó úszik. Ez az integrál alakja szerint analóg a vízvonalfelület meghatározására felírt formulával, csak a félszélességek helyett a bordametszetek vízbemerült felülete szerepel benne. Tehát az elemi térfogat ( $dv$ ) a következő alakban írható fel

$$dv = A_S dx$$

a hajó hossza mentén végzett integrálás képlete pedig a következő:

$$\nabla = \int_{-L/2}^{+L/2} A_S dx$$

ahol  $\nabla$  = a hajó vízkiszításának térfogata

$A_S$  = bordametszetek felülete a vízvonallig (mindkét oldalt)

A kettővel való szorzás azért hagyható el, mert a bordametszetek számításánál már mindkét fél-terület figyelembe volt véve.

Numerikus integrálásnál:

$$\nabla = \delta x \left( \frac{1}{2} A_{S0} + A_{S1} + A_{S2} + \dots + A_{S8} + A_{S9} + \frac{1}{2} A_{S10} \right) + \Delta \nabla_A + \Delta \nabla_F$$

ahol  $\delta x$  = elméleti bordaosztás a vonalrajzon

$\Delta \nabla_A$  = a 0-s borda mögötti térfogat

$\Delta \nabla_F$  = a 10-es borda előtti térfogat.

Az analógia a  $\nabla$  és az  $A_W$  számítása között átvihető a súlypont-koordináták számítására is. Az ábrán látható térfogatelem  $x$  távolságra van a főbordától, mint a nyomaték karjának vonatkoztatási tengelyétől, akárcsak a korábbiakban a felületelem, így a térfogat hosszirányú nyomatéka ( $M_{\nabla \otimes}$ ) és a vízkiszorítás súlypontjának hosszirányú koordinátája (longitudinal centre of buoyancy,  $LCB$ ) a felület nyomatékához és az  $LCF$ -hez hasonlóan számítható. Az elemi térfogat-nyomaték a főbordára

$$dm = x A_S dx$$

amelynek integrálja a teljes vízkiszorítási térfogat nyomatéka a főbordára

$$M_{\nabla \otimes} = \int_{-L/2}^{+L/2} x A_S dx$$

Numerikusan:

$$M_{\nabla} = \delta x^2 ((-2,5)A_{S0} + (-4)A_{S1} + (-3)A_{S2} + \dots + 3A_{S8} + 2A_{S9} + 2,5A_{S10}) + \Delta M_{\nabla A} + \Delta M_{\nabla F}$$

ahol  $\Delta M_{\nabla A}$  = a 0-s borda mögötti nyomaték

$\Delta M_{\nabla F}$  = a 10-es borda előtti nyomaték.

Ha elosztjuk a térfogat nyomatékát a térfogattal, megkapjuk a *vízkişorítás súlypontjának hosszirányú koordinátáját*, vagyis távolságát a főborda síkjától

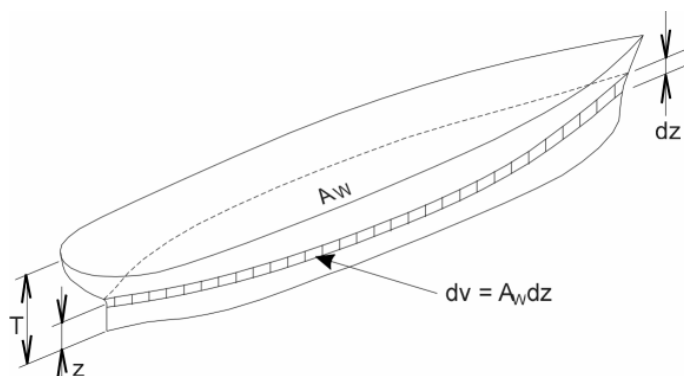
$$LCB = M_{\nabla} / \nabla$$

ahol  $LCB$  = vízkişorítás súlypontjának hosszirányú koordinátája

$M_{\nabla}$  = vízkişorítási térfogat nyomatéka a főbordára

$\nabla$  = vízbemerült részének térfogata, azaz a vízkişorítás térfogata.

A vízkişorítás súlypontjának ( $B$ ) helyét függőlegesen is meg kell határozni, azaz magasságát az alapvonal illetve gerinc ( $K$ ) felett. Ez a méret  $KB$  néven ismert.



2.3.2.1.2.2.2 ábra Vízkişorítás meghatározása függőleges integrálással

Az eljárás hasonló a hosszirányú nyomaték és koordináta számításához, de ezúttal az integrációt a gerinctől a vízvonallig kell elvégezni, az elemi térfogatok pedig vízszintes

rétegeket jelentenek, amelyek két vízvonal közötti térfogatot képviselnek, ezek az alapvonal és az úszási állapot vízvonala között helyezkednek el. Ezt a helyzetet a 2.3.2.1.2.2.2 ábra szemlélteti.

Mivel az elemi térfogat  $A_w dz$ , a vízkişorítás térfogata

$$\nabla = \int_0^T A_w dz$$

Bár a  $\nabla$  értékét már kiszámítottuk korábban a bordametszetek hosszirányú integrálásával, hasznos ellenőrzés lehet az előző számításra a függőleges integrálás. A vízkişorítás elemi térfogatának a gerincre vett nyomatéka  $z A_w dz$ , tehát a teljes nyomaték

$$M_{\nabla K} = \int_0^T z A_W dz$$

Numerikusan

$$M_{\nabla K} = \delta z^2 (A_{W1} + 2A_{W2} + \dots + (N-1)A_{W(N-1)} + \frac{1}{2}NA_{WN})$$

ahol  $\delta z$  = vízvonalak egymástól való távolsága

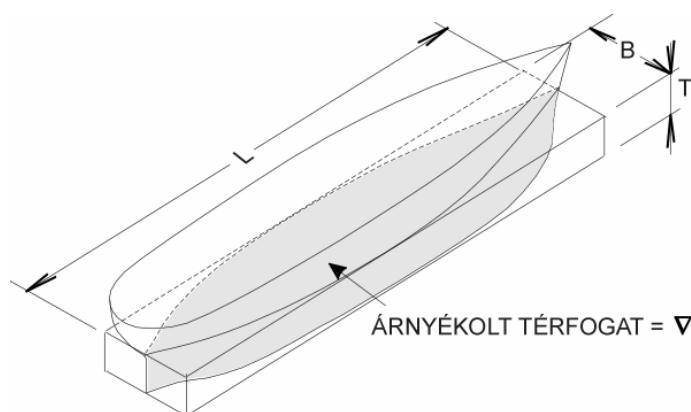
$N$  = vízvonalak száma az úszáshelyzetnek megfelelő vízvonalgig.

Végül a  $KB$  értékét a nyomaték és térfogat hányadosaként írhatjuk fel:

$$KB = M_{\nabla K} / \nabla$$

### 2.3.2.1.2.3 A hajótest vízbemerült részének alaktényezői

A hajótervezők saját tapasztalatukra és a múltban jónak bizonyult hajók igazolt képességeire támaszkodnak, amikor arról döntenek, milyen jellemzőket kell betartani egy új hajó tervezésénél. Amikor számos hajó testformáját hasonlítják össze, kiindulópontként több dimenzió nélküli tényezőt használnak, amelyek numerikus értéke egy gyakorlott hajótervező számára egy bizonyos hajótest-forma etalont képez, amely számszerűsíteni tudja a *telt* vagy *karcsú* kifejezés jelentését különböző hajók esetében, függetlenül a hajók méreteitől. Az *alaktényezők* arra is jól használhatóak, hogy a hajó ellenállására vonatkozóan az első becslést meg lehessen tenni, tehát a szükséges géperőre következtetni lehessen, emellett *tengerálló képességét* is fel lehessen mérni már a tervezés korai szakaszában. A következőkben a leggyakrabban alkalmazott alaktényezőket mutatjuk be, amelyeket *teltségi fokoknak* is nevezünk. Ezek minden esetben a hajótest vízbemerült részére vonatkoznak. A hajók esetében használt méretek közül az alaktényezőket lehet számítani a sablon szerinti (rajzpadlási) vagy teljes méretekből, a hossz pedig lehet függvények közötti (*LBP*) vagy a tervezési vízvonal hossza (*LWL*) attól függően, milyen a hajótest típusa és mit helyez előtérbe a tervező.

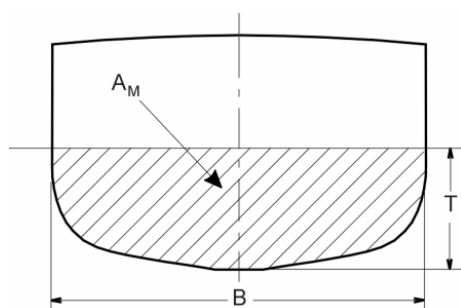


2.3.2.1.2.3.1 ábra Hasábos teltség  $C_B = \nabla / LBT$

Emiatt tehát lényeges, hogy minden alkalommal világosan legyen rögzítve, milyen méretekből számolták ki a tényezőket. A következőkben a általánosan elfogadott (generikus) jelölések és kifejezések szerepelnek. A

teltségi fokokat minden vízvonala meg lehet határozni, de a szokásos numerikus értékek a konstrukciós vízvonala értendők.

A legáltalánosabb, a teljes hajótestre vonatkozó teltségi fok a *hasábos teltség* (block coefficient,  $C_B$ ), amely a hajótest vízbemerült részének térfogatát ( $\nabla$ ) osztja el annak a befoglaló derékszögű téglatestnek a térfogatával, amelynek hossza, szélessége és magassága megegyezik a hajó hosszával, szélességével és merülésével, amint az a 2.3.2.1.2.3.1 ábrán látható. A szokásos hajótestek hasábos teltsége a gyors hadihajókra jellemző 0,45 értéktől változhat 0,85-ig, amely a nagy olajszállító tankhajóknál fordul elő. Értéke utalhat bizonyos mértékben a hajónak arra a képességére, hogy mekkora hasznos terhet tud hordani, ha összehasonlítjuk más hasonló főméretű hajókkal, de azt nem mutatja, hogyan van elosztva a hossz mentén a hajótest vízkiszorítása, azaz mennyire telt vagy karcsú a hajótest, tehát mekkora a hengeres középérés, és hogyan van kialakítva a hajó mellső illetve hátsó része.



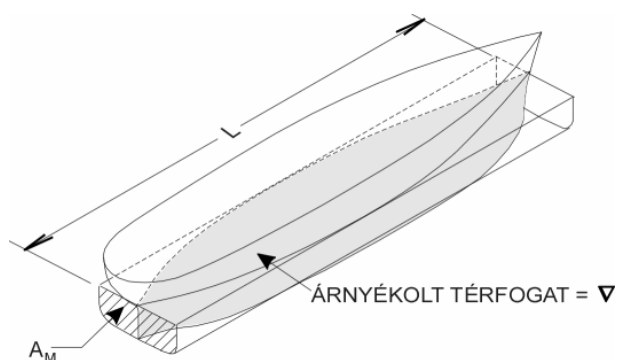
2.3.2.1.2.3.2 ábra Főborda-teltség  $C_M = A_M / BT$

A hajótest középső részének teltségére jellemző a *főborda-teltség* (midship section coefficient,  $C_M$ ), amely a főborda-metszet vízbemerült felületét hasonlítja össze a befoglaló téglalap területével (2.3.2.1.2.3.2 ábra).

A nagyon karcsú hajótesteknél, amelynek a rombolóknál fordulnak elő, a  $C_M$  értéke 0,75 vagy

még kisebb is lehet, de a legtöbb nagy kereskedelmi hajónál a főbordán a fenék lapos kialakítású, az oldal pedig függőleges egyenes, tehát a bordametszet a befoglaló téglalaptól csak a lekerekített medersor miatt tér el, így ezeknél a főborda-teltség 0,95 és 0,995 között van.

Az a teltségi fok, amely a hajótest végeinek (orr és far) karcsúságát legjobban jellemzi anélkül, hogy a főborda alakja befolyásolná, a 2.3.2.1.2.3.2 ábra szerinti *hengeres teltség* (prismatic coefficient, longitudinal coefficient,  $C_P$ ).

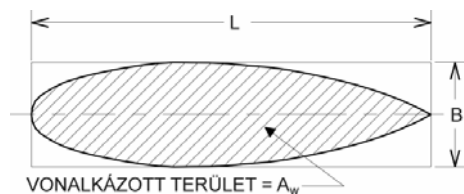


2.3.2.1.2.3.3 ábra Hengeres teltség

Úgy definiálható, mint a vízkiszorítás térfogatának ( $\nabla$ ) viszonya annak a prizmának a térfogatához, amelynek keresztmetszete azonos a főborda-metszet vízbemerült felületével, hossza pedig a hajó hosszával egyenlő. Tehát

$$C_P = \nabla / A_M L$$

A hengeres teltség tipikus értékei a nagysebességű karcsú hajók kb. 0,57 értékétől a nagy tömegű szállító hajókra vagy tankhajókra jellemző 0,85 értékig terjednek.



2.3.2.1.2.3.4 ábra Vízvonaltelettség

Nem lehet meglepő, hogy matematikai kapcsolat áll fenn a hajótest végeinek karcsúságára jellemző ( $C_P$ ) és a középső részt leíró ( $C_M$ ) teltségi tényezők, valamint a teljes hajótestre vonatkozó ( $C_B$ ) hasábos teltség között.

A kapcsolat:

$$\nabla / LBT = (\nabla / A_M L) (A_M / BT)$$

vagy másként

$$C_B = C_P \times C_M$$

A vízvonal teltsége vagy karcsúsága a *vízvonaltelettséggel* (waterplane coefficient,  $C_W$  vagy  $C_{WP}$ ) jellemezhető, amely a vízvonalfelület területének ( $A_w$ ) aránya a befoglaló téglalapéhoz, ld. 2.3.2.1.2.3.4 ábra.

$$C_W = A_w / LB$$

A  $C_W$  tipikus értékei a tervezési vízvonal esetében 0,67 és 0,92 között vannak.

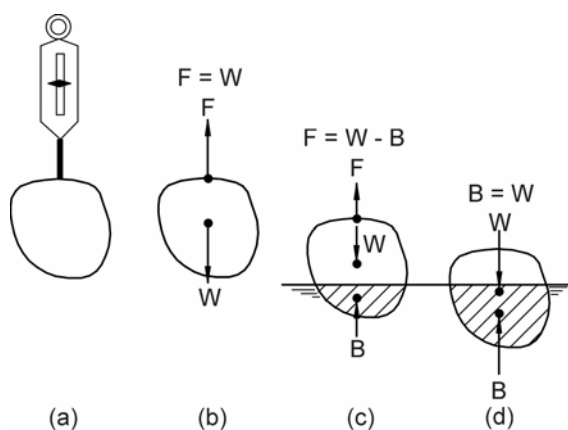
### 2.3.2.2 Stabilitás és egyensúly

Az a test, amely nyugalomban van, más szavakkal kifejezve *sztatikus egyensúlyi helyzetet* foglal el. A Földön minden testre erők hatnak (pl. saját súlyuk). Az egyensúlyi helyzet olyan állapotot jelent, amikor valamennyi külső erő ki van egyenlítve. Ezt az állapotot első ízben Newton fogalmazta meg első számú mozgástörvényében, amely az alapját képezi a merev testek mechanikájából a sztatikával foglalkozó résznek. Ebben a fejezetben a sztatika törvényei közül azokat foglaljuk össze, amelyek az úszó testre érvényesek.

#### *Archimedes törvénye és az úszási állapot*

Ahhoz hogy megértsük az úszó testek sztatikus egyensúlyának természetét és feltételeit, fel kell eleveníteni egy másik fizikai törvényt. Ez az úszó állapotot határozza meg, amely Archimedes törvényének speciális esete. A legegyszerűbb megfogalmazásban Archimedes törvénye kimondja, hogy a folyadékba merített testre felfelé ható erő (*felhajtóerő*) hat, amelynek nagysága megegyezik a test által kiszorított folyadék súlyával. Ez a felhajtóerő tehát a vízkiszorítás eredménye, elfogadott megnevezése a test vízkiszorítása.

Képzeljünk el egy homogén anyagból való szilárd testet, amelyet rugós mérlegre függesztve fokozatosan egyre beljebb merítünk a vízbe. A sztatikus egyensúly elvét és Archimedes törvényét figyelembe véve a 2.3.2.2.1 ábra b, c és d fázisában leolvassuk a rugós mérleg skáláját. Bemerítés előtt nincs felhajtóerő, mivel nincs vízkiszorítás, az egyensúly megköveteli, hogy a rugós mérleg a test súlyával megegyező értéket mutasson, ld. (b) ábra. A (c) ábra szerinti részleges bemerítésnél három erő van egyensúlyban: a test súlya ( $W$ ) lefelé hat, a vízkiszorítás miatt ébredő felhajtóerő ( $B$ ) felfelé, az egyensúlyhoz azonban szükség van a rugó erejére is ( $F$ ), amely  $W$  mínusz  $B$  értékének felel meg és szintén felfelé hat.



2.3.2.2.1 ábra Archimedes törvénye

Amint a test egyre mélyebbre merül, úgy nő a kiszorított víz térfogata is, és azzal együtt a felhajtóerő. Tehát a  $W - B$  értéke csökken, mivel a súly konstans. Vajon fog a test úszni? Ez attól függ, mekkora a  $B$  maximális értéke, amikor a test teljesen bemerül. Ha az egyre növekvő felhajtóerő egyensúlyba tud kerülni a súllyal, ld. (d) ábra, a rugós mérleg skáláján zéró lesz leolvasható, a test pedig egyensúlyban

lesz, csak a súly és felhajtóerő fog hatni. Tehát úszni fog. A nagyon nehéz anyagból készült tárgyak (acél, kő) nem úsznak, mert abban az esetben is, amikor teljesen bemerülnek a vízbe, a vízkiszorítás miatt keletkező felhajtóerő kisebb a súlynál.

Érthető tehát, hogy egy adott folyadékban mi az *úszás feltétele*. Az, hogy a test súlya kisebb legyen, mint a test teljes térfogatának megfelelő mennyiségű folyadék súlya. Ha a test tömör, ezt még egyszerűbben lehet megfogalmazni. A tömör test minden olyan folyadékban úszik, amelynek *sűrűsége* nagyobb, mint a test anyagáé (egységnyi térfogat tömege vagy súlya), azokban a folyadékokban pedig, amelyek sűrűsége kisebb, mint a saját anyagáé, elsüllyed. Ha a test nem tömör, amint az egy hajó esetében igaz, a bemerülés mértéke, amikor az úszási állapot kialakul (hajónál a merülés), csak úgy határozható meg, ha mindegyik merülésnél pontosan ismerjük a hajótest „vízvonala alatti” térfogatát (amelynek neve a vízkiszorítás térfogata,  $\nabla$ ), a hajó súlyát (amelyet vízkiszorításnak nevezünk,  $\Delta$ ), valamint a víz sűrűségét. Az alapvető kapcsolat a merülés és vízkiszorítás között egy adott hajó esetében édes- vagy tengervízben redukálható tehát a hajótest által kiszorított térfogat geometriai meghatározására az egyes vízvonalaknál. Ezt az előző fejezetben (2.3.2.1) láthattuk. Ha az elhangzottakat egyenlet formájában írjuk le, és a  $\Delta$  jelképet alkalmazzuk a  $W$  helyett az úszó test vízkiszorítására (súlyára), a következőt kapjuk:

$$\Delta = \rho g \nabla = \nabla / \delta$$

ahol  $\Delta$  = a test súlya  
 $\rho$  = a víz sűrűsége  
 $g$  = gravitációs gyorsulás  
 $\nabla$  = a kiszorított víz térfogata  
 $\delta = 1 / \rho g$  = a víz fajtérfogata = a víz sűrűségének reciprok értéke

Látható, hogy ez az egyenlet két elvet foglal magában. A részlegesen vízbe merített testre ható felhajtóerő Archimedes szerint

$$\text{felhajtóerő} = \rho g \nabla$$

illetve az úszó test sztatikus egyensúlyának feltétele

$$\text{felhajtóerő} = \text{gravitációs erő (súly)}$$

Az egyenlet tehát a függőleges erők sztatikus egyensúlyának kifejezése. A  $\rho$  jelképet ebben az anyagban a víz (illetve bármilyen homogén anyag) sűrűségének jelölésére használjuk, azaz az egységnyi térfogat tömegét jelenti. A *fajsúly* tehát  $\rho g$ . A felhajtóerő, vagyis a kiszorított víz súlya ezért egyenlő a vízkiszorítás térfogatának ( $\nabla$ ) és a fajsúlynak ( $\rho g$ ) a szorzatával. A sűrűség kifejezésének alternatív módja a *fajtérfogat*, amely a fajsúly reciprok értéke, erre a mennyiségre a  $\delta$  jelképet használjuk. Az egyensúlyi állapotot kifejezhetjük mind tömeg-, mind súlyegyensúlyként. Vagyis ahogy az úszó test súlya egyenlő a kiszorított víz súlyával, ugyanúgy az úszó test tömege megegyezik a kiszorított víz tömegével. Tehát az a kifejezés, hogy „vízkiszorítás”, amely a hajós szaknyelvben már jó ideje a hajó súlyát jelenti, éppúgy

## BBBZ-kódex

---

használható annak tömegére is. Ez a konvenció szerepel a *Mértékegységek Nemzetközi Rendszerében* (International System of Units, SI) is. Ezért annak érdekében, hogy a számítások során az egyértelműséget megőrizzük, mind az SI rendszerben, mind a hagyományos hajós terminológiában, vagyis az amerikai rendszerben (amelyet *angolszász mértékrendszernek* is neveznek), a következő jelölési módhoz tartjuk magunkat:

$\Delta$  mindig súlyban kifejezett vízkiszorítást jelent,  
 $\Delta_m$  mindig a vízkiszorítás tömegét jelöli.

Bár a vízkiszorítás mind súlyban, mind tömegben kifejezhető akár az amerikai, akár az SI mértékrendszerben, illetve ezek egymásba átszámíthatóak, a túlzottan teoretikus megközelítés elkerülése érdekében a hagyományos értelmezéshez fogjuk magunkat tartani, azaz a hajó tömegét SI mértékegységben fejezzük ki, amikor pedig a hajó súlyáról beszélünk, az amerikai mértékegységeket használjuk. A vízkiszorítás kifejezése tehát SI rendszerben:

$$\Delta_m = \rho \nabla$$

ahol  $\Delta_m$  = a test tömege  
 $\rho$  = a víz sűrűsége  
 $\nabla$  = a kiszorított víz térfogata.

A fenti egyenletekben használt mértékegységek az egyes mennyiségekre a következők:  
amerikai mértékegységek

$\Delta$  = vízkiszorítás (súly), long ton (2.240 font = 1,01696 tonna)  
 $\rho g$  = fajsúly, long ton per köbláb  
 $\delta$  = fajsúly reciprok értéke, köbláb per long ton  
 $\nabla$  = kiszorított víz térfogata, köbláb

SI mértékegységek

$\Delta_m$  = vízkiszorítás (tömeg), metrikus tonna (1.000 kg)  
 $\rho$  = sűrűség, metrikus tonna per köbméter  
 $\nabla$  = kiszorított víz térfogata, köbméter.

Az alábbi 2.3.2.2.1 táblázat a víz sűrűségi jellemzőit tartalmazza mindkét rendszerben.

2.3.2.2.1 táblázat Tengervíz és édesvíz sűrűségi és fajsúly jellemzői

	Amerikai mértékegységek ( $g = 32,17 \text{ láb/sec}^2$ )		SI mértékegységek ( $g = 9,807 \text{ m/sec}^2$ )	
	édesvíz	tengervíz	édesvíz	tengervíz
Sűrűség	1,94	1,99 slugs/ft <sup>3</sup> (lb-sec <sup>2</sup> /ft <sup>4</sup> )	1.000	1.025 kg/m <sup>3</sup> 1,025 MT/m <sup>3</sup>



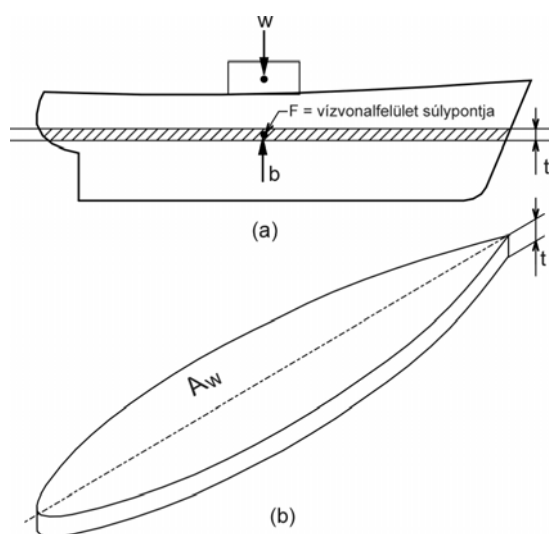
Fajsúly	62,4	64,0 lb/ft <sup>3</sup>	9,807	10,052 kN/m <sup>3</sup>
1/fajsúly	36*	35 ft <sup>3</sup> /LT	0,1020	0,0995 m <sup>3</sup> /kN
Relatív fajsúly (vízhez képest)	1,000	1,025	1,000	1,025

\*35.9 pontosabb, de a 36-ot használják inkább, mert könnyebben fejben tartható közelítő érték.

*Az egy hüvelyk és egy centiméter merülés-változásra eső vízkiszorítás-változás*

A vízkiszorításra felírt egyenlőségek egyaránt érvényesek a hajó vízbemerült részének egyes elemeire és a teljes vízkiszorításra. Amikor például egy bizonyos súlyt raknak be a hajóba, a vízkiszorításnak pontosan annyival kell növekednie, amekkora a hozzáadott súly, hogy az egyensúlyi helyzet továbbra is fennmaradjon. A vízkiszorítás térfogatának pedig annyival kell növekednie, amilyen térfogatú víz súlya megegyezik a hozzáadott súllyal, és így az úszási állapot törvénye ki legyen elégítve. Ezt az elvet használják fel egy különösen hasznos hidrosztatikus jellemző, a *tonna per hüvelyk merülés-változás* vagy *tonna per centiméter merülés-változás* meghatározására. Ezeket a mennyiségeket használják a hajó kismértékű merülés-változásának kiszámításához, amelyet viszonylag kis súlyok be- vagy kirakodása okoz.

Ha a súlyt úgy rakják be, hogy az a hajó teljes hosszán azonos merülés-növekedést okoz, *párhuzamos bemerülésről* beszélünk. Ezt mutatja a 2.3.2.2.2 ábra.



2.3.2.2.2 ábra Párhuzamos bemerülés

Ahhoz, hogy egy hozzáadott súly párhuzamos bemerülést okozzon, arra van szükség, hogy a *súlytöbbslet hatásvonala* azonos legyen a többslet vízkiszorítás által keltett *felhajtóerő hatásvonalával*, amint az ábra mutatja. Egy vékony párhuzamos bemerülési réteg esetében a *b*-vel jelölt többslet vízkiszorítás a hajó vízvonálának súlypontjában fog hatni. A réteg, vagyis a többslet vízkiszorítás térfogata

$$v = A_W t$$

ahol  $A_W$  = vízvonalterület, láb<sup>2</sup> vagy m<sup>2</sup>  
 $t$  = rétegvastagság, láb vagy m

A réteg által létrehozott vízkiszorítás (felhajtóerő)

$$b = \rho g v$$

amelynek azonosnak kell lennie a hozzáadott súllyal ( $w$ ). Vagyis

$$w = b = \rho g v = \rho g A_w t$$

Az egyenlet baloldalán álló súly növeli a hajó merülését  $t$  értékkel.

A  $v = A_w t$  egyenlőség csak abban az esetben egzakt, ha a réteg környezetében a hajó oldala tökéletesen függőleges. Az ilyen hajót doboz-formájúnak nevezzük (pl. *pontonok*). A valóságos hajókra ez nem érvényes, ha azonban a réteg eléggé vékony, pl. fél vagy egy méter egy szokásos áruszállítónál, az egyenlőségben levő közelítés elfogadható. Az eredmény még pontosabb lesz, ha a réteg egy hüvelyk vagy egy centiméter vastagságú. Ez az egyenlőség, amikor a hozzáadott súly által okozott párhuzamos bemerülés mértéke egységnyi, és annak felhajtóereje tart egyensúlyt a többletsúllyal, definiálja azt a mennyiséget, amelyet „tonna per egységnyi merülés-változás” illetve egységnyi merülés-változásra eső vízkiszorítás-változás néven ismernek azok a hajós tisztek, akiknek jó szolgálatot tesz ki- és berakodás során, esetleg fuvartervezésnél. Amerikai rendszerben a merülés-változás hagyományos mértékegysége a hüvelyk, a súlyok egysége pedig a long ton. Ezeket az egységeket behelyettesítve az egyenletbe megkapjuk a tonna per hüvelyk mértékegységet (tons per inch, *TPI*). Amennyiben  $t = 1$  hüvelyk  $= 1/12$  láb és a tengervíz fajsúlya  $\rho g = 1/35$  tons/ft<sup>3</sup>

$$w = TPI = \rho g A_w t = (A_w/35)(1/12)$$

akkor  $TPI = A_w/420$

SI mértékrendszerben a merülés-változást centiméterben, a tömeget metrikus tonnában fejezzük ki. Így  $t = 1/100$  m és  $\rho = 1,025$  MT/m<sup>3</sup>. A tonna per centiméter (*TPC*) alakja

$$TPC = \rho A_w t = (1,025 A_w)(1/100)$$

$$TPC = 1,025 A_w/100 = A_w/97,56$$

ahol  $A_w$  mértékegysége négyzetméter. A világtengereken járó hajókhoz készített *jellemző-görbe diagramok* esetében minden merülési értékhez a fent megadott tengervíz-jellemzőket lehet használni. Édesvízben a *TPI* vagy *TPC* értékeit 1,025-tel osztani kell ehhez képest. Folyótorkolatokban közlekedő hajók esetében a *TPI* vagy *TPC* értékeit az érvényes víz-jellemzőkkel kell elosztani.

*Példa – A víz sűrűségének befolyása a merülésre*

A 2.3.2.2.3 ábra szerinti *dereglye-uszály* súlya 350 LT (long ton), és egyenes úszási helyzetben a bejelölt paraméterekkel rendelkezik. Milyen értékű lesz merülése ( $T$ ) tengervízben? Édesvízben?

A súly és térfogat közti kapcsolat

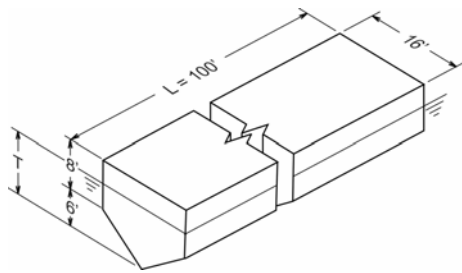
$$\Delta = \rho g V$$

ahol  $\Delta = 350$  LT, a fajsúly fordított értéke pedig  $\delta = 1/\rho g = 35 \text{ ft}^3/\text{LT}$  tengervíznél.  
Ebből

$$350 = \nabla/35$$

illetve a vízkiszorítás térfogata tengervízben

$$\nabla = 35 \times 350 = 12.250 \text{ ft}^3$$



2.3.2.2.3 ábra Dereglye-uszály

Ezt a térfogatot egy háromszög alapú hasábon kívül, amely teljesen a víz felszíne alatt van, egy téglatest alkotja. A térfogat ebből:

$$\text{a háromszög alapú hasáb térfogata} = (1/2) \times 6 \times 16 \times 100 = 4.800 \text{ ft}^3$$

$$\text{a téglatest bemerült részének térfogata} = (T - 6)(16 \times 100) = 1.600(T - 6) \text{ ft}^3$$

Tehát

$$1.600(T - 6) + 4.800 = 12.250$$

és a dereglye merülése tengervízben

$$T_S = 10,66 \text{ láb.}$$

Édesvízben a fajsúly reciprokl értéke  $35,9 \text{ ft}^3/\text{LT}$ , tehát

$$\nabla = 35,9 \times 350 = 12.565 \text{ ft}^3$$

és a merülés édesvízben

$$T_F = 10,85 \text{ láb.}$$

Ez a példa számos dologra rávilágít az úszási helyzettel kapcsolatban. Például jól látható, hogy édesvízben a hajó merülése nagyobb, mint tengervízben. Ez várható is, hiszen az édesvíz kevésbé sűrű, mint a tengervíz, ezért édesvízből nagyobb térfogatra van szükség, mint tengervízből, hogy ugyanakkora felhajtóerőt hozzon létre. A hajók üzemeltetése során a víz sűrűsége és a merülés között nagyon is fontos gyakorlati kapcsolat van. A *Nemzetközi Konvenció a Hajók Merülés-vonalairól* (International Convention on Load Lines) egyezmény értelmében mindegyik *kereskedelmi hajó*

hatósági papírjaiban rögzítve van az *engedélyezett maximális merülés*. Az alapvető engedélyezett merülés-vonal azt a határt jelzi, amelyet a hajó tengervízben nem léphet túl. Ha a hajó édesvízi vagy olyan kikötőben rakodik, ahol a víz sűrűsége az édesvízé és a tengervízé között van, jogosan rak be annyi árut, hogy a tengervízre vonatkozó merülés-vonal víz alá kerüljön, ha az a vízfelszínnel ismét egy vonalba jön, amikor kifut a tengerre.

A példa mutatja, hogy a tengervízben és az édesvízben kialakuló merülés különbségének meghatározása mindössze azt jelenti, hogy mind a két eltérő jellemzővel bíró vízre el kell végezni a térfogatszámítást. Egy bonyolultabb geometriájú járműnél ez nem lenne ennyire egyszerű eljárás. A számítás általánosabbá tehető, ha figyelembe vesszük, hogy a vízbemerült térfogat változása, amikor a hajó tengervízből édesvízbe halad át, a tengeri merülés-vonal feletti vékony rétegben zajlik le. Ennek a rétegnek a geometriája megközelíthető egy olyan hasábbal, amelynek alsó és felső határoló lapja a vízvonallal azonos, oldala pedig függőleges, amint azt a 2.3.2.2.2 ábra esetében feltételeztük. A következő mennyiségek fognak szerepelni a számításnál:

$V_S$  = vízbemerült rész térfogata tengervízben

$V_F$  = vízbemerült rész térfogata édesvízben

$\rho_S$  = tengervíz sűrűsége

$\rho_F$  = édesvíz sűrűsége

$A_W$  = vízvonalfelület

$t$  = rétegvastagság vagy merülés-változás

A réteg térfogatát két módon lehet kifejezni: az édesvízi térfogat mínusz a tengervízi térfogat, valamint annak a hasábnak a térfogata, amelynek alapja az  $A_W$  terület és magassága a  $t$  vastagság. A két kifejezés egyenlősége:

$$V_F - V_S = A_W t$$

Mivel a jármű súlya (vagy tömege) állandó marad,  $\Delta_F = \Delta_S$  azaz

$$\rho_F g V_F = \rho_S g V_S$$

Vagy  $V_F = V_S (\rho_S / \rho_F)$

Ha behelyettesítjük az utolsó kifejezést,

$$V_S (\rho_S / \rho_F) - V_S = A_W t$$

$$t = (V_S / A_W) ((\rho_S / \rho_F) - 1)$$

Ez az egyenlőség mindkét mértékrendszerben érvényes, az amerikai rendszerben a merülés-változást lábban, az SI rendszerben pedig méterben adja ki. Sőt, mivel a

sűrűségek csak hányadosként jelennek meg, használhatunk fajsúlyt vagy sűrűséget egyaránt, illetve a vízhez viszonyított relatív értékeket is.

A legutolsó képletet általános formában is felírhatjuk, akkor bármely két eltérő vízminőség sűrűsége behelyettesíthető. Jelezze a H index a magasabb sűrűségű (high) vizet, az L index pedig az alacsonyabb sűrűségűt (low). A merülés-változás:

$$t = (V_H/A_W)((\rho_H/\rho_L) - 1)$$

#### Példa

Ellenőrizzük a korábbi dereglye-uszály merülését úgy, hogy kiszámítjuk a merülés-változást, amikor tengervízből édesvízbe úszik át.

$$A_W = 100 \times 16 = 1.600 \text{ ft}^2$$

$$t = (12.250/1.600)(1,025 - 1) = 0,19 \text{ ft.}$$

A tengervíz sűrűségét ezúttal a *vízhez képesti relatív sűrűséggel* vettük figyelembe, a tört nevezője ugyanis az édesvíz sűrűsége. A merülés-változást hozzáadva a tengervízben érvényes merüléshez:

$$T_F = T_S + t = 10,66 + 0,19 = 10,85 \text{ ft}$$

#### Példa

Egy áruszállító hajó hossza 161 m, szélessége 23,2 m, olyan kikötőben áll, ahol a víz sűrűsége  $1.010 \text{ kg/m}^3$ . A hajót olyan merülésig kell megrakni, amely a tengerre való kifutás után 8,75 m-re áll be. A hajó jellemző görbéiben, amelyeket tengervízre készítettek el, 8,75 m merülésnél 19.420 MT vízkiszorítási tömeg szerepel, a TPC pedig 27,62 MT/cm. Milyen legyen a kikötőben a hajó merülése berakodás után?

Ebben az esetben a H indexet kell használnunk tengervízhez és az L indexet a kikötőben. Így

$$\begin{aligned} \rho_H &= 1,025 \text{ MT/m}^3 && \text{a 2.3.2.2.1 táblázat szerint} \\ \rho_L &= 1.010 \text{ kg/m}^3 = 1,010 \text{ MT/m}^3 && \text{adat} \\ V_H &= \Delta_{mH}/\rho_H = 19.420/1,025 = 18.946 \text{ m}^3 \\ A_W &= 97,56 \times TPC = 97,56 \times 27,62 = 2.694,6 \text{ m}^2 \\ t &= (V_H/A_W)((\rho_H/\rho_L) - 1) = (18.946/2.694,6)((1,025/1,010) - 1) = \\ &= 0,104 \text{ m, kb. } 0,10 \text{ m} \end{aligned}$$

Tehát a kikötőben a merülés 0,10 m értékkel nagyobb lesz, mint a szükséges merülés tengervízben, ezért a hajót a kikötőben úgy kell megrakni, hogy merülése ott  $T = 8,75 + 0,10 = 8,85 \text{ m}$  legyen.

#### 2.3.2.2.1 Keresztirányú stabilitás

**2.3.2.2.1.1 A kezdeti keresztirányú stabilitás*****Az úszó test egyensúlyi állapota***

Az eddigiekben az úszó jármű sztatikus egyensúlya úgy alakult ki, hogy a vízkiszorítás miatt keletkező felfelé ható erő kiegyenlítette a lefelé ható súlyerőt. Azaz a testre ható erők eredője zéró volt. Ahhoz azonban, hogy a test egyensúlyban legyen, azt is látni kell, hogy a testre ható erők nyomatékának eredője is nullával egyenlőnek kell lennie. Tehát ismernünk kell az erők hatásvonalának helyét éppúgy, mint azok nagyságát és irányát. A két erőt a következőképpen lehet jellemezni.

(e) A *súlyerő* függőlegesen lefelé hat a test súlypontjában (*rendszersúlypont, G*).

(f) A vízkiszorítással létrejövő *felhajtóerő* függőlegesen felfelé hat a test *vízbermerült térfogatának súlypontjában (B)*.

Az egyensúlyi helyzet két feltétele.

1. A felhajtóerő nagysága egyenlő a súlyerőével (az eredő erő nagysága zéró).
2. A rendszersúlypont és a *vízkiszorítás súlypontja* ugyanarra a függőleges egyenesre egyik (az eredő nyomaték nagysága zéró).

A 2.2 fejezetben láthattuk, hogy a vízkiszorítás súlypontja a hajótest vízbermerült térfogatának súlypontja (*B*). Helyzete egyedül a hajótest vízbermerült részének geometriájától függ, tehát koordinátái, azaz függőleges helyzete (*KB*, a *B* magassága a gerinc felett) és vízszintes helyzete (*LCB*, a *B* távolsága a hajóhossz mentén a referencia bordametszettől) hidrosztatikai jellemzőként meghatározhatók. A hajótest bal és jobboldalának szimmetriája miatt a *TCB* (transverse centre of buoyancy, a *B* távolsága a hossz-szimmetria síktól) a hajó egyenes úszási helyzetében zéróval egyenlő.

A hajó rendszersúlypontja ezzel szemben nem határozható meg a hajótest geometriája alapján. A tervezési vízvonaltól megrakott hajó számos külön tételből áll (vasszerkezet, gépek, berendezések, rakomány, üzemanyag, ellátmány, stb.), mindegyik saját súlyával és helyzetével járul hozzá a hajó súlyához és súlypont-helyzetéhez. Egy ilyen súlyerő-rendszer súlypontját úgy definiálhatjuk, mint azt a pontot, amelyben feltételezés szerint a rendszer teljes eredője (az egyes súlyok összessége) hat a rendszer sztatikus viselkedésének számítása során. Ez egyben a hajó *tömeg-középpontja* is. A súlypont legfőbb tulajdonsága az, hogy a súlyok nyomatéka (a rendszer egyes súlyai által létrehozott nyomatékok összege) az azon átmenő bármelyik tengelyre véve nullával egyenlő. A vízkiszorítás súlyához hasonlóan a rendszersúlypontot is tökéletesen meghatározza három koordinátája a hajó fő referenciasíkjaihoz képest:

$KG$  = a *G* magassága az alapvonal vagy gerinc felett,

$LCG$  = a *G* távolsága a hajóhossz mentén a referencia bordametszettől,

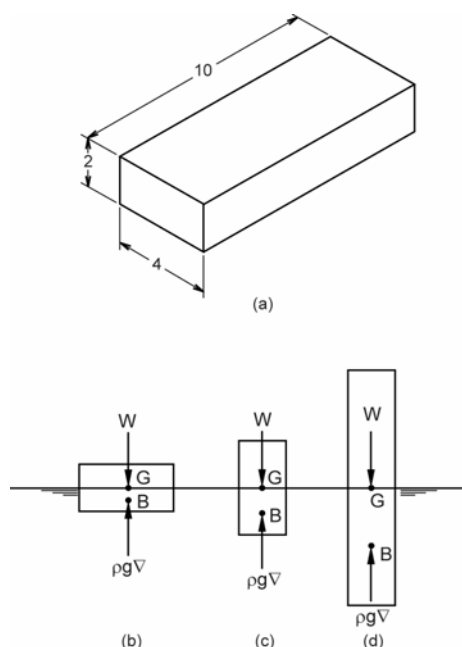
$TCG$  = a *G* távolsága keresztirányban a hossz-szimmetria síktól.

Ezeknek a koordinátáknak a számítási módjával a későbbiekben foglalkozunk.

Abban a speciális esetben, ha homogén tömör úszó tárgyról beszélünk, annak súlypontja a tárgy geometriai súlypontjával esik egybe.

A 2.3.2.2.1.1.1 ábra egy téglatest alakú fadarabot mutat, amelynek hossza 10 egység, szélessége 4 egység, magassága pedig 2 egység. Fajsúlya a vízhez képest 0,50.

Hányféle úszási egyensúlyi helyzet létezik ennek a fatömbnek az esetében, ha édesvízbe helyezzük? Komoly számítás nélkül meg lehet mondani, hogy mivel a tömb csak feleakkora súlyú, mint a megfelelő térfogatú édesvíz, úszás közben félig fog bemerülni. A felhajtóerő ( $\rho g V$ ) ebben az esetben lesz egyenlő a gravitációs erővel vagyis a súllyal ( $\Delta$ ), és a rendszerre ható függőleges erők eredője zéró lesz. De azt is be kell bizonyítanunk, hogy nincs a tömbre ható nyomaték sem. Vagyis a félig való bemerülés végtelen számú lehetősége közül csak azokban lesznek kielégítve az *egyensúlyi helyzet feltételei*, amelyek esetében a test súlypontja és a vízkiszorítás súlypontja tökéletesen rajta van ugyanazon a függőleges egyenesen. A tömb súlypontja annak geometriai középpontjában van, a vízkiszorítás súlypontja pedig a bemerült térfogat geometriai középpontjában helyezkedik el. Kis következtetéssel rá lehet jönni, hogy a tömb hat olyan helyzetet foglalhat el, amelyek kielégítik a „nyomaték-mentesség” feltételét. Az ábra ezeket is mutatja, természetesen mindegyik eset két azonos változatban fordulhat elő.



2.3.2.2.1.1.1 ábra Fatömb egyensúlyi állapotai

A sztatikus egyensúly feltételeit ugyan mind hat eset kielégíti, azonban ezek közül nem mindegyik fordul elő a természetben. Megérzésünk és tapasztalatunk alapján kitaláljuk, hogyan fog úszni ez az egyszerű deszkadarab, és kimondhatjuk, hogy a hat közül csak két eset fordulhat elő, a (b) ábra szerinti. Ennek megértéséhez vizsgálunk kell a test viselkedését, amikor kis mértékben kitérítjük az egyensúlyi helyzetekből.

*Stabil, semleges és labilis egyensúlyi állapot*  
A sztatikus egyensúlyi állapotnak három változata van. Attól függően sorolható egy adott állapot valamelyik kategóriába, hogyan reagál a test, amikor valamilyen külső hatás kis mértékben kitéríti egyensúlyi helyzetéből, amitől a rá ható

erők megváltoznak. Tehát a tárgy egyensúlyi helyzete lehet:

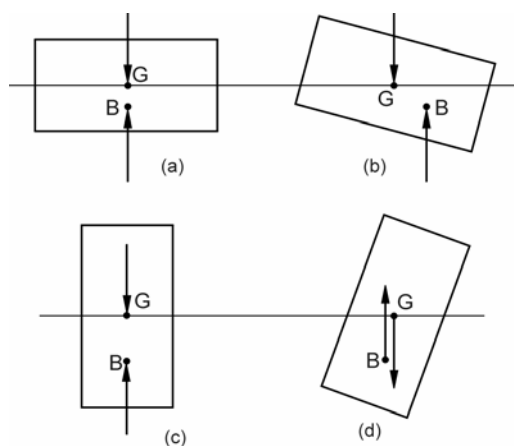
- stabil – ha a rá ható új erők eredeti helyzetébe akarják visszatéríteni,
- labilis – ha a rá ható új erők olyan értelemben hatnak, ami az egyensúlyi helyzettől való eltérést növeli,
- semleges – ha kitérített helyzetében is egyensúlyban lesz.

A deszka úszási helyzetére vonatkozó megfigyeléseink azt sugallják, hogy a (b) ábra szerinti a stabil helyzet, ugyanakkor a (c) és (d) szerinti helyzet labilis. Ennek igazolására meg kell vizsgálnunk azokat az erőket, amelyek olyankor hatnak, ha egy testet kimozdítunk az egyensúlyi állapotból, más szavakkal megzavarjuk. Amikor a hajók keresztstabilitását vizsgáljuk, feltételezhetjük, hogy a *megzavarás* a testet kis mértékben elfordítja egy adott hosszirányú tengely körül. Az ezzel összefüggésbe

hozható stabilitás elnevezése *kezdeti sztatikus keresztirányú stabilitás*. A kifejezés fontos elemei:

- *kezdeti* – nagyon kis szögű elfordulás, a test majdnem egyenes úszási helyzetben marad,
- *keresztirányú* – a kitérés iránya keresztben, egy hosszirányú tengely körül történik; az ilyen elfordulás neve „*megdőlés*”,
- *sztatikus* – az elfordulás sebessége és tehetetlenségi (inercia) hatásai elhanyagolhatóak; kizárólag a nyomatékok iránya és nagysága számít,
- *stabilitás* – tendencia a test oldaláról, hogy visszatérjen kezdeti egyensúlyi helyzetébe.

Először az egyensúlyi helyzetben levő téglatest alakú tárgyat vizsgáljuk meg, amelyet a 2.3.2.2.1.1.2 ábra mutat, azaz a lehető legnagyobb vízvonalfelületen (4 x 10) úszva.



2.3.2.2.1.1.2 ábra Stabilitás-próba

A test szimmetriája és tömörsége miatt a rendszersúlypont és a vízkiszorítás súlypontja könnyen meghatározható a tömb illetve a vízbemerült térfogatrész geometriai középpontjában. Amikor a tömböt kis szögben az óra járásával megegyezően megdöntjük, ld. (b) ábra, a vízkiszorítás súlypontja a mélyebben bemerülő oldal felé tolódik el, mert a vízbemerült térfogat alakja téglatestből trapézalapú hasábká válik át. A

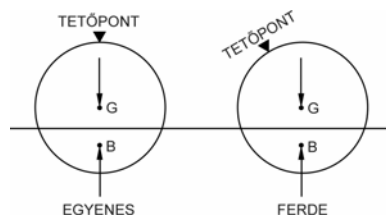
rendszersúlypont nem változik. A két erő nagysága és iránya szintén nem változik, de hatásvonaluk már nem esik egybe, így *erőpárt* alkotnak, amely nyomatékot hoz létre. Ezt a nyomatékot ebben az esetben úgy nevezzük, hogy *visszatérítő nyomaték*, mert értelme ellentétes a kitérés irányával, amelyet a kezdeti megzavarás okozott, tehát az órajárás irányával ellentétes. Amint a zavaró erőhatás megszűnik, a tömb visszatér *kezdeti egyensúlyi helyzetébe*, ezt tehát stabil egyensúlyi állapotnak nevezhetők.

Ha ugyanaz a téglatest alakú fadarab úgy úszik, hogy nagyobb felülete függőleges, mint a (c) és (d) ábrán, a súly és a vízkiszorításból eredő felhajtóerő, mint erőpár által létrehozott nyomaték értelme ugyanolyan, mint az eredeti megdőlésé – az ábrán az óra járásával megegyező. Emiatt *kitérítő nyomatéknak* kell nevezni, mivel a testet kezdeti helyzetéből eltéríteni igyekszik, amíg az el nem ér egy új egyensúlyi állapotot. Az eredeti helyzet tehát labilis egyensúlyi állapot. Labilis egyensúlyi állapot a gyakorlatban nem tartható fenn, mivel nagyon valószínűtlen a természetben, hogy a legkisebb zavaró hatást is el lehessen kerülni, amely kitérítő nyomatékot okozna. Az ábra (c) és (d) részlete tehát labilis egyensúlyi állapotot mutat.

A stabilitási próbát a tömbön úgy is elvégezhetjük volna, hogy nem kereszt-, hanem hosszirányban térítjük ki az egyensúlyi helyzetből úgy, hogy egyik végét kissé lenyomjuk. Nyilvánvaló, hogy vissza fog térni az eredeti helyzetbe, amint az erő



megszűnik. A tömb tehát hosszirányban is stabil a szögeltérítéssel szemben. A hosszstabilitással azonban később foglalkozunk. Különleges stabilitási állapotról beszélhetünk egy henger-alakú tömör rúd esetében.



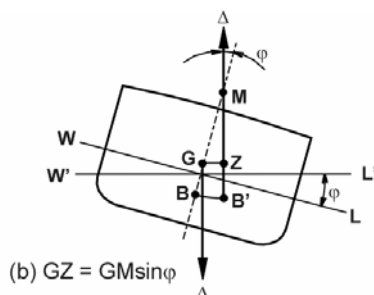
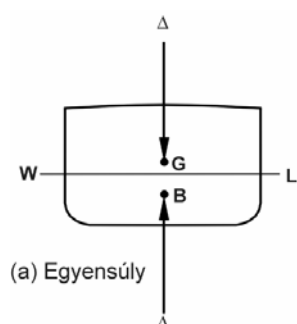
2.3.2.2.1.1.3 ábra Semleges egyensúly

Amint a 2.3.2.2.1.1.3 ábra mutatja, hogy a súlyerő és a felhajtóerő egy vonalba esik bármilyen helyzetben. A test semmilyen elfordítása sem fog kitérítő vagy visszatérítő nyomatékot eredményezni, hiszen ez a tárgy semleges vagy indifferens stabilitási állapotban van. Ugyanez a helyzet gömb esetében is.

Ez természetesen nem bizonyítható kísérlettel, mivel sem hengert, sem gömböt nem lehet tökéletesen szabályosra készíteni, amellet az anyag homogenitása is csak elmélet.

#### A kezdeti keresztstabilitás mérése

Láttuk, hogy egy test lehet stabil vagy labilis egyensúlyi állapotban, de nézzük meg azt is, hogyan lehet a stabilitást vagy annak ellenkezőjét mérni, azaz mekkora a test stabilitása vagy labilitása. Erre a kérdésre a választ a nyomaték (visszatérítő vagy kitérítő) nagysága adja meg, mivel az a kitérített helyzetben jön létre. A test vízkiszorítása (súlya) nem változik megdőlés közben, a nyomaték nagysága tehát attól függ, mekkora a távolság a súlyerő és a felhajtóerő hatásvonala között, vagyis végső soron attól a pályától, amelyet a vízkiszorítás súlypontja leír, amikor a test kimozdul az egyenes úszási helyzetből.



2.3.2.2.1.1.4 ábra A visszatérítő nyomaték karja ( $GZ$ )

Ennek a folyamatnak a megértéséhez nézzük meg a 2.3.2.2.1.1.4 ábra szerinti hajót, amelynek egyenes úszási helyzetében jelölve van a rendszersúlypont és a

vízkiszorítás súlypont helye.

A hajót ezután egy külső erő  $\varphi$  szöggel megdönti, vagyis ez úgy történik, hogy nem változik meg sem a vízkiszorítás nagysága, sem a rendszersúlypont helye. Az eredmény, amely a (b) ábrán látható, az, hogy miközben a vízkiszorítás térfogata változatlan marad, alakja megváltozik, és a vízkiszorítás súlypontja elmozdul abba az irányba, amerre a hajó megdől. Megdőlt helyzetben vízszintes vonalat húzunk a  $G$  pontból, amely a felhajtóerő hatásvonalát a  $Z$  pontban metszi. Ezt a  $GZ$  távolságot nevezzük a *visszatérítő nyomaték karjának*, a  $\Delta \times GZ$  nyomaték pedig a *visszatérítő nyomaték*. A hajó stabil egyensúlyi állapotban volt, mivel a nyomaték visszatéríteni akarja, nem kitéríteni. A pálya, amelyet a vízkiszorítás súlypontja leír a  $B$  pontból a  $B'$

pontba, amint a hajó megdől, nagyon kis dőlésszögeknél körívvel közelíthető. Ez csak akkor igaz, ha a szög valóban nagyon kicsi, a közelítés normál hajótestek esetében azonban kielégítő 10 fok megdőlés alatt. A *kezdeti keresztstabilitási vizsgálatoknál* a *megdőlés szögét* erre az intervallumra korlátozzuk, a következő elemzés pedig ilyen szögekre vonatkozik. A kísérő ábrákon azonban a szögek túlzottan vannak rajzolva az ábra érthetősége érdekében.

#### *A metacentrum és a metacentrikus magasság*

A 2.3.2.2.1.1.4 ábra (b) részletén a hajó középvonala, amely merőleges az egyenes úszási állapot *WL* vízvonalára, képezi egyben a felhajtóerő hatásvonalát egyenes úszásnál (a). Megdőlt helyzetben (b) a felhajtóerő, amely függőlegesen felfelé hat a vízkiszorítás új *B'* súlypontjában, merőleges a megdőlésnél létrejövő új *WL'* vízvonalra. A két vonal az *M*-mel jelölt pontban metszi egymást, az általuk bezárt szög pedig a  $\varphi$  (kis) dőlésszög. Az *M* pont, amelynek neve a *keresztstabilitás metacentruma*, úgy határozható meg, mint az egyenes úszásnál ébredő felhajtóerő hatásvonalának és a nagyon kis dőlésnél ébredő felhajtóerő hatásvonalának metszéspontja, amikor megdőlés közben a vízkiszorítás nagysága nem változik. Nyilvánvaló, hogy mindaddig, amíg a vízkiszorítás súlypontja által leírt pálya egymás utáni kis dőlésszögeknél körív, a felhajtóerő hatásvonalai minden esetben az *M* pontban metszik egymást, tehát ez a középpontja annak a körpályának, amelyen a hajó vízkiszorításának súlypontja mozog a hajó kis szögű megdőlésénél. A körpálya sugara *BM*, ennek megnevezése *metacentrikus sugár*. A visszatérítő nyomaték karját a *G* és *M* egymáshoz képesti helyzete határozza meg, mivel

$$GZ = GM \sin \varphi \quad [\varphi \rightarrow 0]$$

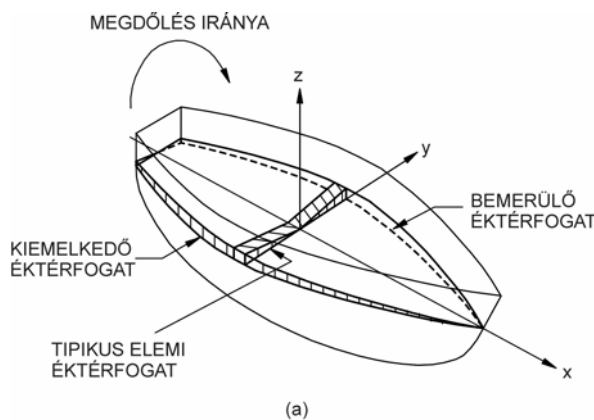
ahol a *GM* megnevezése *metacentrikus magasság*. Az ábra jól szemlélteti, hogy a visszatérítő nyomaték karja, azzal együtt a hajó stabilitása közvetlenül függ a metacentrikus magasságtól. Ha a *G* az *M* alatt van, mint az ábrán, a *GZ* visszatérítő kar. Ha a *G* és az *M* egybeesik, a *GZ* nagysága zéró, a hajó pedig semleges stabilitási állapotban van. Ha a *G* az *M* fölé kerül, a *GZ* kitérítő, vagyis felborító kar, a hajó pedig labilis állapotban van.

A hajó *kezdeti stabilitásának kiszámításához* ismernünk kell mind a *G*, mind az *M* helyét. A *G* helye a hajó összes súlyösszetevőjének elosztásától függ, tehát a hajó *rakodási állapotától*. Ennek számítási módjáról még lesz szó. A metacentrum (*M*) helye a *hajótest geometriájától* függ, mivel ez befolyásolja azt a pályát, amelyet a vízkiszorítás súlypontja leír, amikor a hajó megdől. Ahhoz tehát, hogy lássuk, hogyan határozható meg az *M* helyzete a megdőlés hatására, a vízbemerült térfogat alakjának változását kell megvizsgálnunk ennek a folyamatnak a során.

Amikor a 2.3.2.2.1.1.5 ábrán látható hajó egy kis  $\varphi$  mértékű megdőlést szenved, a „*magas oldalon*” (a megdőléssel ellentétesen) egy hosszú ék-alakú térfogat emelkedik ki a vízből, ugyanakkor egy hasonló formájú térfogat bemerül a vízbe az „*alacsony oldalon*”, azaz a dőlés irányában. A *kiemelkedő* térfogattal megszűnő felhajtóerő átkerül

az ék-alakú térfogat súlypontjából a bemerülő térfogat súlypontjába. Ez a felhajtóerő-elmozdulás a hajó vízkiszítás súlypontjának elmozdulását okozza. Annak feltételezésével, hogy a súlypont áthelyeződése során a vízkiszorítás mérete nem változik, a megdőlés szöge nagyon kicsi és a hajó oldala a nagyon kis vastagságú ék-alakú térfogat környezetében függőleges, a hajó tipikus keresztmetszetét az ábra (b) részlete szerint rajzolhatjuk meg. A jelölt mennyiségek:

$WL$  = az egyenes úszáshoz tartozó vízvonal  
 $W'L'$  = a megdőlt úszáshoz tartozó vízvonal  
 $y$  = a hajó vízvonalának félszélessége  
 $b_e$  = a kiemelkedő ék súlypontja  
 $b_i$  = a bemerült ék súlypontja

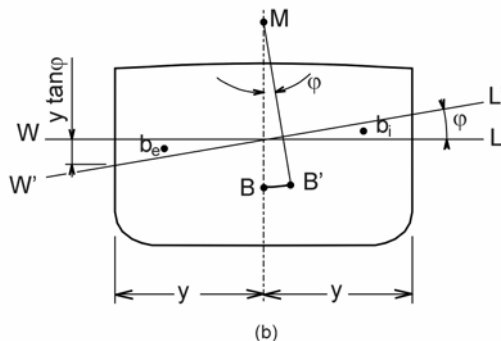


2.3.2.2.1.1.5 ábra A vízbemerült térfogat alakjának változása a megdőlés hatására

A többi jelkép a korábban definiáltak szerint értelmezendő. Mivel a vízvonal félszélességei változnak a hajóhossz mentén, először is egy  $dx$  hosszúságú elemi térfogatszelet jellemzőit kell meghatároznunk, majd integrálnunk kell a hajó hossza mentén. Az elemi éktérfogat az ék felületének és hosszának szorzata:

$$dv_e = dv_i = \frac{1}{2} y (y \tan \varphi) dx$$

Ez a térfogat a  $b_e$  pontból a  $b_i$  pontba helyeződik át, amelyek távolsága azzal a megszorítással, hogy a  $\varphi$  értéke megközelítőleg nulla, merőleges a hajó szimmetriasíkjára, nagysága pedig



$$\overline{b_e b_i} = \frac{4}{3} y$$

Tehát a kiemelkedő és bemerült ék közötti térfogat-áthelyezés nyomatéka

$$dm = \overline{b_e b_i} dv = \left(\frac{4}{3} y\right) \left(\frac{1}{2} y^2 \tan \varphi dx\right) = \frac{2}{3} y^3 \tan \varphi dx$$

Ahhoz, hogy az egész hajó esetében a térfogat-áthelyezés nyomatékát megkapjuk, az elemi térfogat nyomatékát kell integrálni a hajó hossza mentén:

L

$$v \overline{b_e b_i} = 2/3 \int_0 y^3 dx (\tan \varphi)$$

A hajótest geometria jellemzőinek számítása során láttuk, hogy a hajó teljes hosszára véve  $2/3 \int y^3 dx$  a hajó vízvonalának keresztirányú inercianyomatéka ( $I_T$ ). Tehát a vízkiszorítás térfogat-áthelyezésének nyomatéka a következőképpen írható:

$$v \overline{b_e b_i} = I_T \tan \varphi$$

Ennek a nyomatéknak a hatására a hajó teljes  $\nabla$  vízkiszorításának  $B$  súlypontja elmozdul a  $B'$  pontba. A  $\overline{BB'}$  elmozdulás iránya párhuzamos a  $\overline{b_e b_i}$  elmozdulás irányával, amelynek eredményeként olyan nyomaték ébred, amely kiegyenlíti a térfogat-áthelyeződésből eredő nyomatékot. Tehát

$$\nabla \overline{BB'} = v \overline{b_e b_i} = I_T \tan \varphi$$

és a 2.3.2.2.1.4 (b) ábra szerint

$$\overline{BB'} = BM \tan \varphi$$

Tehát

$$\nabla BM \tan \varphi = I_T \tan \varphi$$

$$BM = I_T / \nabla$$

A legutolsó egyenlet szavakban úgy fejezhető ki, hogy a *keresztirányú metacentrikus sugár* egyenlő a *vízvonal keresztirányú inercianyomatékának* és a *vízkiszorítás térfogatának* a hányadosával.

Ebből a kapcsolatból számos lényeges következtetés vonható le. Rámutat például, hogy a hajó keresztirányú metacentrumának helye egyedül a hajótest vízbemerült részének geometriájától függ, vagyis annak alakjától. Egy adott hajó esetében a metacentrum magassága a gerinc felett ( $KM$ )

$$KM = KB + BM$$

mivel pedig mind a  $KB$ , mind a  $BM$  a hajó alakjának jellemzői, tehát a  $KM$  is az. Mivel a metacentrum a hajó rendszersúlypontjának legnagyobb magasságát jelöli ahhoz, hogy a hajó stabil úszáshelyzetet foglalhasson el, ha a hajó üzemeltetője ill. kezelője ismeri a  $KM$  értékét minden merülésnél, az irányt mutat neki abban, hogyan kell megrakni a hajót, hogy a rendszersúlypontot a metacentrum alatt lehessen tartani. Azt is észre kell vennünk, hogy a vízvonal inercianyomatéka dönti el nagyrészt a metacentrum magasságát, tehát a hajó stabilitását. Mivel a hajó szélessége ennyire nagy befolyással bír az  $I_T$  értékére (a szélesség köbével arányos), nem okoz meglepetést, hogy a széles

úszó objektumok stabilabbak, mint a keskenyek. Korábbi sejtéseink, hogy a deszka szélesebb felületén fogyni, mert így lehet maximális a vízvonalfelület inercianyomatéka, azzal pedig a metacentrum magassága, illetve a test stabilitása, beigazolódtak.

#### Példa

Bizonyítsuk be, hogy a  $2 \times 4 \times 10$  hüvelyk méretű deszka, amelynek a vízhez képesti sűrűsége 0,50, és amelyet a 2.3.2.2.4 ábrán láthatunk, stabil a (b) állapotban, és labilis (instabil) a (c) állapotban. Számítsuk ki ehhez a metacentrikus magasságot mindegyik helyzetben.

A hajóelméleti elnevezéseket alkalmazva az úszó deszkára, láthatjuk, hogy a (b) állapotnál  $L = 10$ ,  $B = 4$ ,  $H = 2$  és  $T = 1$  hüvelyk (hossz, szélesség, oldalmagasság és merülés). A (c) állapotnál a megfelelő főméretek  $L = 10$ ,  $B = 2$ ,  $H = 4$  és  $T = 2$ . A  $K$  gerincpont a definíció szerint az alapvonal és a hossz-szimmetria sík metszéspontja, ez a referenciapont a magassági méretekhez. A (b) esetről a keresztirányú inercianyomaték

$$I_T = LB^3 / 12 = 10 \times 4^3 / 12 = 53,33 \text{ in}^4$$

Nyilvánvaló, hogy ez az egyszerű képlet az  $I_T$  meghatározásához csak a téglalap alakú vízvonallal érvényes. Ellenőrizhető a integrációs formulával, ha  $y = B/2$  konstans értéket helyettesítjük be

$$I_T = 2/3 \int_0^L y^3 dx = 2/3 (B/2)^3 \int_0^L dx = 1/12 B^3 L = LB^3 / 12$$

$$\nabla = LBT = 10 \times 4 \times 1 = 40 \text{ in}^3 \text{ (téglalap alakú „hajótest”)}$$

$$BM = I_T / \nabla = 53,33/40 = 1,33 \text{ in}$$

Természetesen ehhez az egyszerű geometriához különleges képletet tudunk a  $BM$  értékére kreálni, mégpedig

$$BM = I_T / \nabla = (1/12 L B^3) / (LBT) = B^2 / (12T)$$

Óvatosan kell használni ezt a csábítóan egyszerű képletet a  $BM$ -hez. (Ez is csak a tökéletesen téglalap alakú hajótest (fatömb) esetében használható. A hajótestek esetében a  $BM$  meghatározásához az  $I_T$  és a  $\nabla$  értékét ki kell számítani numerikus integrálással, ahogy a hajótest geometriai jellemzőivel foglalkozó fejezetben láttuk.) Hasonló módon a téglalap alakú hajótesthez a vízkiszorítás súlypontjának magasságát is egyszerű képlettel kapjuk meg,

$$KB = T/2 = 1/2 = 0,5 \text{ in}$$

A tömb súlypontja tömör homogén jellege miatt mértani középpontjában van.

$$KG = H/2 = 1,0 \text{ in}$$

A metacentrikus magasság ebből

$$GM = KM - KG = KB + BM - KG = 0,50 + 1,33 - 1,00 = 0,83 \text{ in}$$

Mivel a  $G$  az  $M$  alatt van, a  $GM$  pozitív értékű, a deszka tehát stabilan úszik. A (c) állapothoz a számítás a következő:

$$BM = B^2 / 12T = 2^2 / (12 \times 2) = 0,17 \text{ in}$$

$$KB = T/2 = 2/2 = 1,00 \text{ in}$$

$$KG = H/2 = 4/2 = 2,00 \text{ in}$$

$$GM = KB + BM - KG = 1,00 + 0,17 - 2,00 = -0,83 \text{ in}$$

Tehát a  $GM$  negatív értékű, az  $M$  a  $G$  alatt helyezkedik el, a deszka tehát ebben a helyzetben instabil.

Nem lehet nem észrevenni, hogy a  $BM$  metacentrikus sugár a (c) esetben sokkal kisebb. Ennek oka a deszka kis „szélessége” ebben az esetben. Ha az  $I_T$  értékét közvetlenül kiszámítottuk volna itt is, az  $1/12 \times 10 \times 2^3 = 6,67 \text{ in}^4$  lett volna, szemben az  $53,33 \text{ in}^4$  értékkel, ami a (b) állapotra kiadódott. A vízkiszorítás térfogata nem változott a két eset között, látjuk tehát, hogy a vízvonál szélességének milyen nagy hatása van a keresztirányú stabilitásra.

Az előző példa arra volt jó, hogy bizonyos méretek befolyása világosan látható legyen anélkül, hogy sok számítást kelljen elvégezni a stabilitás elemeinek ( $KB$ ,  $BM$  és  $KG$ ) meghatározásához. A hajó ugyanis a példában szereplő deszkával szemben sokkal bonyolultabb alakú, tehát ott az elemek kiszámítása nem egyszerű egyenletek, hanem numerikus integrálás segítségével történik. És nem egyetlen merülési értékre, hanem a teljes valószínű merülési intervallumra.

#### *A rendszersúlypont*

A metacentrummal ellentétben a rendszersúlypont nem a hajótest geometriájától függ. Annak helyzetét a hajón levő összes súlyösszetevő eloszlása határozza meg, beleértve magát a hajót is és mindent, amit szállít. A hajó nem tömör és a rakomány sem az, tehát súlypontját nem a mértani alakja határozza meg, mint a vízen úszó deszkánál. Amikor egy diszkrét elemekből álló súlyrendszer súlypontját kell meghatároznunk, két dolgot kell ismernünk mindegyik *súlyösszetevőről*:

- a súly nagyságát,
- súlypontjának helyzetét a hajóban.

Tehát mindegyik súlyösszetevőnél súlypontjának három koordinátájára van szükség a hajó referenciasíkjaihoz képest, amint azt már korábban a geometriai vizsgálatoknál láttuk, a súlypont függőleges, a hosszirányú és a keresztirányú helyére. Jelen esetben a

keresztirányú stabilitás vizsgálatánál a rendszersúlypontnak csak a függőleges  $KG$  koordinátájára van szükségünk, tehát a súlyösszetevőknek is csak a  $z$  tengely irányában mért koordinátájával kell foglalkoznunk. A hosszirányú  $x$  koordinátákra a hosszstabilitásnál, a keresztirányú  $y$  koordinátákra a kezdeti dőlést előidéző rakodásnál és hasonló esetekben támaszkodunk.

Az egyes súlyösszetevők súlyának ( $w_i$ ) és függőleges súlypont-koordinátájának ( $z_i$ ) ismeretében a teljes hajó súlyának ( $\Delta$ ) és súlypontmagasságának ( $KG$ ) kiszámítását úgy végezzük el, hogy felírjuk a  $\Delta$  hajósúly alapvonalra, vagyis a gerincre vett nyomatékának és az összes  $w$  súlyelem ugyanarra a referenciasíkra vett nyomatékának az egyenlőségét.

$$\Delta \times KG = \sum (w_i \times z_i)$$

$$KG = (\sum (w_i \times z_i)) / \Delta$$

ahol  $\Delta$  = teljes súly (a hajó vízkiszorítása) =  $\sum w_i$   
 $i = 1, 2, 3, \dots$  a rendszer összes súlyösszetevőjének sorszáma (hajó + rakomány)

Ha a hajó vízkiszorítását és a hajóra berakott tételek súlyát tömegként számoljuk, ahogy az SI mértérendszerben tesszük, a képletet úgy írjuk fel, hogy  $\Delta$  helyett  $\Delta_m$  és a  $w_i$  elemi súlyok helyett  $m_i$  elemi tömegek szerepelnek benne. Az egyenlőség egyszerű alakban van, de megoldása idő- és munkaigényes, mivel az összetevők száma igen nagy is lehet. A számítás racionalizálása érdekében a súlyösszetevőket csoportosítani szoktuk típus szerint, és a megfelelő számítógépes programok segítenek a számítás gyorsabb és hibátlan elvégzésében. A művelet manuális elvégzésénél a hibák elkerülhetetlenek, ezért azt többször is meg kell ismételni.

#### *A súlyok osztályozása*

A hajó tervezése során a hajó részeinek súlyát és súlypontjuk helyét becsülni kell, hogy a hajó méreteit és jellemzőit, ha szükséges, módosítani lehessen annak érdekében, hogy a kellő stabilitást biztosítani lehessen, ha a hajó építése befejeződik és a tervezett hordképességnek megfelelően meg van rakva. Ilyenkor a hajótervező általában a *standard súly-osztályozást* követi. Ilyen osztályozási irányelveket a nagyobb hajóépítéssel és hajózással foglalkozó országok *tengerészeti intézményei* adnak ki (pl. U.S. Maritime Administration). Más intézmények vagy hajótervező irodák saját rendszereket dolgoznak ki. Az általános osztályozási rendszer le van bontva alkategóriákra egészen az egyes szerkezeti elemekig és beépítendő gépészeti berendezés egységekig. Ezeknek a lebontásoknak az elvei általában a következők.

- *A hajó vasszerkezete* – a hajótest szerkezeti elemeit tartalmazza.
- *Propulziós berendezések* – gépek, irányváltó-művek, tengelyek, hajócsavarok és a főgép üzeméhez szükséges segédgépek illetve felszerelések.
- *Felszerelések* – lakóterek berendezése, navigációs felszerelések, rakománykezelő gépek és szerkezetek, stb., bútortartók, asztalos-termékek, fedélzeti burkolatok, festék,

és hasonló anyagok és felszerelések.

Ez a három kategória mindazokat a tételeket tartalmazza, amelyek a hajó állandó részét képezik, de semmilyen rakományjellegű tétel nincs közöttük, amilyen pl. a hasznos teher (rakomány), üzemanyag, személyzet, ivóvíz, élelmiszer, ballasztvíz, stb. Amikor ezek az utóbbiak nincsenek a hajón, azt az állapotot *üres* állapotnak nevezzük, a hajó súlyát pedig ebben az állapotban *üres hajósúly*, vagy *üres vízkiszorítás* néven ismerjük. Tömege az *üres tömeg*.

*Példa* Egy 150 m hosszú áruszállító hajó tömegösszetevői és azok súlypont-koordinátái a következők.

Vasszerkezet	4.402 MT a gerinc felett	7,7 m-en
Gépberendezés	889 MT a gerinc felett	5,7 m-en
Felszerelés	1,859 MT a gerinc felett	12,8 m-en

A hajó üres súlyának *KG* értékének kiszámításához a legjobb megoldás a táblázatos számítás.

	<i>Tömeg</i>	<i>z</i>	<i>Nyomaték</i>
Vasszerkezet	4.402	7,7	33.895,4
Gépberendezés	889	5,7	5.067,3
Felszerelés	<u>1.859</u>	12.8	<u>23.795,2</u>
Üres hajó	7.150		62.757,9

A táblázatban a nyomatékok a tömegek és magassági koordináták szorzatai. A nyomatékok összege az üres hajó tömegének és súlypontmagasságának szorzata a gerinc felett. A tömegek összege nyilvánvalóan az üres hajó teljes tömege. Tehát

Az üres hajó tömege = 7.150 MT

A rendszersúlypont magassága a gerinc felett

$$KG = 62.757,9 \text{ MTm} / 7.150 \text{ MT} = 8,78 \text{ m}$$

Legyen bármilyen nagy a súly- vagy tömegösszetevők száma, a teljes súly vagy tömeg és rendszersúlypontnak a gerinc feletti magassága ugyanígy számítható ki. Valójában a példában megadott súlycsoportok értékét és súlypontmagasságát ugyanilyen számítással határozták meg az egyes csoportok összetevőiből (néha több száz vagy több ezer tétel).

Az üres hajó súlya huzamosabb ideig nem változik, kivéve, ha a hajón olyan átalakításokat végeznek el, amelyek az üres hajó összetételét módosítják. Emiatt a rakott hajó vízkiszorításának és *KG* értékének kiszámításakor az üres hajó vízkiszorítását és súlypontmagasságát állandóként kezelik.

Ezzel szemben a hajó által szállított súlytényezők jelentősen változhatnak, és ez befolyásolja a hajó stabilitását. Az üzemanyagot és az ivóvizet folyamatosan elfogyasztják, a rakomány pedig minden járat estében más és más, ugyanakkor azonban vannak olyan súlytényezők, mint a legénység és az ellátmány, amely szinte mindig ugyanannyiak. A hajó szolgálatos tisztjének feladata, hogy a rakományra és a stabilitásra vonatkozó számításokat elvégezze, és úgy tervezze meg a rakodást, hogy a teljes út során a hajó rendelkezzen a szükséges stabilitással. Ebben a feladatában a



hajótervező azzal segíti, hogy *rakodási tervet* és *trim és stabilitási könyvet* állít össze a hajó üzemeltetői számára, amely a hajó felszerelését alkotja. Többek között ezek a dokumentumok táblázatos és rajzos formában tartalmazzák a hajó összes vízmentes terét, a tankokat és azokat a tereket, amelyek a rakomány elhelyezésére szolgálnak. Az egyes terek jellemzői fel vannak tüntetve, így nevük, elhelyezésük és köbözési adataik, pl. térfogatuk, valamint a tér súlypontjának magassági és hosszirányú koordinátája. Ezeknek a segédleteknek a használatával és az adott járaton berakodásra váró rakomány ismeretében a hajós tiszt az egyes súlyösszetevőket besorolja a megfelelő kategóriákba, megtervezi, hova kell elhelyezni az egyes tételeket, és kiszámítja a súlyra és súlypontmagasságra vonatkozó eredő értékeket (súly vagy tömeg, *KG*, *LCG* a trimhez, stb.) a rakott hajóra érvényesen. A rakomány-jellegű tételek legfontosabb kategóriái a következők.

- *Rakomány* – hasznos terhelésnek vagy „fizető árunak” is nevezik (deadweight, „payload”). A kategóriának több alkategóriája van, pl. általános szárazáru, folyékony rakomány, konténer-rakomány, hűtött áru, stb., ami a hajó típusától függ.
- *Üzemanyag*.
- *Ivóvíz*.
- *Ballasztvíz (tengervíz)* – ez változó mennyiségű, és csak olyankor veszik fel, amikor a hajó annyira kevés rakománnyal közlekedik, hogy nagyobb merülésre van szükség. Egyes hajótípusoknál el nem távolítható fix ballaszt is előfordul a megfelelő stabilitás biztosításához, de az beleszámít az üres hajó súlyába.
- *Legénység és holmija*.
- *Ellátmány*.

A listában szereplő tételek együttesen helyesen *teljes hasznos terhelés* néven ismeretesek (*total deadweight*). A teljes hasznos terhelést úgy is definiálhatjuk, mint a rakott hajó vízkiszorításának és az üres hajó vízkiszorításának különbségét, akár súlyban, akár tömegben. Helytelen egyszerűen hasznos terhelésnek nevezni, mert az kizárólag a megbízásra díj ellenében szállított rakomány.

#### *A metacentrikus magasság kiszámítása*

A metacentrikus magasságot a hajó minden rakodási állapotánál tudni kell kiszámítani. A *KG* rendszersúlypont meghatározása ennek során meglehetősen nagy munka, a *KM* értéke azonban az üzemben levő hajónál egyszerűen leolvasható a jellemző görbékről az adott vízkiszorításhoz és merüléshez. A jellemző görbék megszerkesztéséről a hajó tervezése során a továbbiakban még többet fogunk megtudni.

#### *A rakodási állapotban történt változás hatása a stabilitásra*

A különálló súlyösszetevőkből álló rendszer egyes elemeinek nyomatéka és a teljes rendszer nyomatéka között fennálló kapcsolat egyik következménye, hogy ha bármelyik súlyösszetevőt elmozdítjuk, újat hozzáadunk vagy valamelyik tételt kiemeljük a rendszerből, amely addig egyensúlyi állapotban volt, az egyensúly megbomlik, és a rendszer új egyensúlyi állapotot fog felvenni. Ha a *rakományt átrendezi* vagy bármelyik súlyelemet elmozdítják, további rakományt vesznek fel vagy a rakomány egy

részét kirakják a hajóból, valamilyen változás *szükségszerűen* be fog következni a hajó súlyában vagy a  $G$  súlypont helyzetében, esetleg mindkettőben, amint a hajó visszanyeri egyensúlyát az új rakodási állapotban.

*Egy súlyösszetevő elmozdítása* azt okozza, hogy a teljes rendszer súlypontja a súlyelmozdítással párhuzamos irányban elmozdul, miközben a hajó vízkiszorításában nincs változás. A  $G$  elmozdulásának mértéke akkora lesz, hogy a hajó súlyáthelyeződésének nyomátéka megegyezzen az elmozdított súly áthelyezésének nyomátékával.

$$\Delta \times GG' = w \times d$$

$$GG' = wd/\Delta$$

ahol  $w$  = az elmozdított tétel súlya (vagy tömege)  
 $d$  = a tétel elmozdításának távolsága  
 $\Delta$  = a hajó súlya vagy tömege (Beleértve a  $w$  tételt)  
 $GG'$  = a hajó  $G$  súlypontjának elmozdulása

A visszanyert egyensúlynak ez a kifejezése érvényes a súlyelem bármelyik irányban történő elmozdítására. A  $G$  elmozdulásának iránya mindig párhuzamos a „ $d$ ” irányával és azzal megegyező értelmű. Most azonban csak a függőleges elmozdulást vizsgáljuk. Nem hagyhatjuk azonban figyelmen kívül, hogy ez a kifejezés kísértetiesen hasonlít arra az egyenlőségre, amely a hajó vízbemerült térfogatának súlypont-elmozdulását fejezi ki a kis térfogatú vízkiszorítás-változás hatására.

#### *Példa*

Tengervízben egy hajó merülése 21'6" (21 láb és 6 hüvelyk). A jellemző görbékből kivett vízkiszorítás ennél a merülésnél 13.620 long ton, a  $KM$  értéke 30,6 láb. A  $KG$  28,3 láb értékű. Egy 220 tonna (long ton) súlyú fedélzeti rakományt a fedélzetről letesznek az alsó raktérbe, amely 28 láb elmozdulást jelent lefelé. Számítsuk ki a merülést, vízkiszorítást, illetve a  $KG$  és  $GM$  értékét az átrakodás után.

$$GG' = wd/\Delta = (220 \times 28) / 13.620 = 0,45 \text{ láb lefelé}$$

$$KG = 28,30 - 0,45 = 27,85 \text{ láb}$$

Mivel nem történt be- vagy kirakodás, a merülés, vízkiszorítás és a  $KM$  értéke változatlan maradt. A metacentrikus magasság tehát az átrakodás után

$$GM = KM - KG = 30,60 - 27,85 = 2,75 \text{ láb}$$

*Egy adott súlyú áru berakodása vagy kirakodása* változást idéz elő a  $KG$  értékében is, nemcsak a vízkiszorításban. Tehát emiatt változni fog a merülés és a  $KM$  értéke is. Amikor azonban egyetlen tételt berakodunk vagy kirakodunk, akkor is ugyanazt az

egyenlőséget használhatjuk fel a  $G$  elmozdulására a következő értelmezésben:

- $\Delta$  a hajó vízkiszorítása a súlyösszetevő be- vagy kirakódása *után*,
- $d$  a függőleges távolság a  $G$  eredeti helyzete és a be- vagy kirakott súlyösszetevő súlypontja között,
- a  $G$  mozgása hozzáadott súlynál a súly *felé*, kirakott súlynál pedig a súllyal *ellenkező irányban* történik.

#### Példa

Az előző példa szerinti teherhajó az ott leírt árumozgatás után felvesz egy 640 long ton súlyú rakományt a fedélzetére 40,5 láb magasan a gerinc felett. Mennyi lesz most a  $KG$  értéke?

$$w = 640 \text{ long ton}$$

$$d = 40,5 - 27,85 = 12,65 \text{ láb (a súly a } G \text{ felett van)}$$

$$\Delta = 13.620 + 640 = 14.260 \text{ long ton (a súly berakása után)}$$

$$GG' = 640 \times 12.65 / 14.260 = 0,57 \text{ láb felfelé}$$

Tehát a  $G$  elmozdulása felfelé, a hozzáadott súly *felé* történt. A végső  $KG$  érték

$$KG = 27,85 + 0,57 = 28,42 \text{ láb}$$

A  $G$  súlypont be- vagy kirakódás utáni eltolódásának a példában is bemutatott kiszámításánál nem tanácsos egynél több súlyt figyelembe venni. Egyetlen súlynál egyébként nem ez az egyetlen eljárás. Célszerű az általános, valamennyi súlyösszetevőt figyelembe vevő  $KG = (\sum (w_i \times z_i)) / \Delta$  összefüggést alkalmazni.

#### Példa

Ismételjük meg az előző számítást az általános formulával. Táblázatos alakban:

	<i>Súly</i>	<i>KG</i>	<i>Nyomaték</i>
Hajó rakodás előtt	13.620	27,85	379.317
Berakott áru	<u>640</u>	40,5	<u>25.920</u>
Megrakott hajó	14.260		405.237

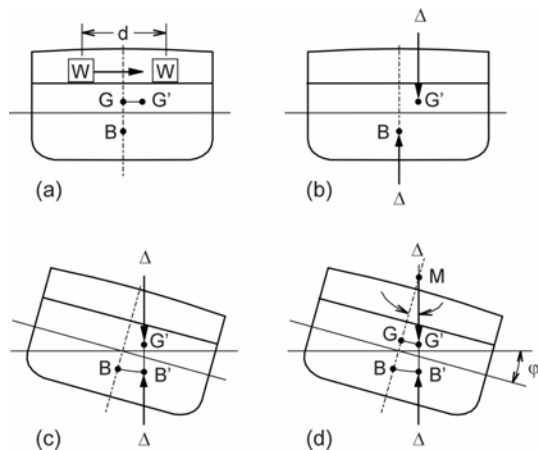
Rakott állapotban a  $KG = 405.237 / 14.260 = 28,42$  láb

A táblázat kibővíthető bármilyen számú súlyösszetevőre. A kirakott súlyok negatív előjellel szerepelnek.

#### ***A hossz-szimmetria tengelytől bizonyos távolságra levő súlyok hatása***

Ha egy hajón, amely stabil egyensúlyi állapotban van és egyenes úszási helyzetben, egy súlyösszetevőt vízszintesen oldalirányban elmozdítunk, a hajó súlypontja a  $GG' = wd/\Delta$  egyenlőség értelmében szintén oldalirányban fog elmozdulni a formula szerinti mértékben. A súlypont elmozdulása oldalirányban nem okoz változást a metacentrikus magasság értékében úgy, ahogy az a függőleges elmozdulásnál történik. Azonban

nyilvánvaló, hogy az egyensúlyban levő rendszerben változás történt, ezért a hajónak reagálnia kell erre, hogy visszanyerje az egyensúlyt. A 2.3.2.2.1.1.6 ábra mutatja, hogyan történik ez.



2.3.2.2.1.1.6 ábra Súly oldalirányú mozgásának hatása

A súly oldalirányú elmozdítása a hajó rendszersúlypontjának elmozdulását okozza a hossz-szimmetria síkra merőlegesen  $G$  pontból  $G'$  pontba (a). A súlypont elmozdulásának mértéke  $GG' = wd/\Delta$ . Ez megbontja a hajó egyensúlyát, amint a (b) ábrán látható. A hajó reakciója az, hogy megdől egy olyan  $\varphi$  szögben, hogy a vízkiszorítás súlypontja elmozduljon  $B'$

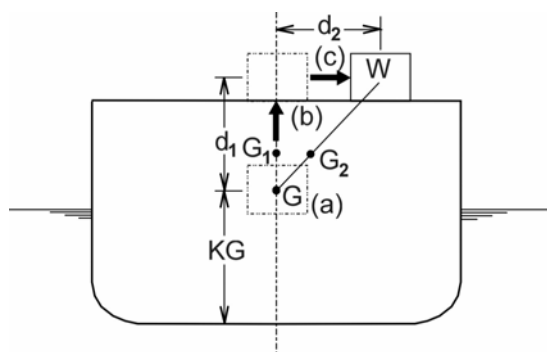
helyzetbe, függőlegesen a  $G'$  pont alá (c).

Mindaddig, amíg ez a dőlésszög kicsi, legfeljebb kb. 10 fok, a vízkiszorítás súlypontja által leírt pálya körívnek felel meg, amint korábban láttuk a metacentrikus sugar vizsgálatánál.

Ilyenkor a felhajtóerő hatásvonala átmegy a metacentrumon, amint a (d) ábra mutatja, a  $B'G'M$  vonal pedig függőleges egyenes. A (d) szerint a dőlésszög felírható, mint

$$\tan \varphi = GG'/GM = wd/(\Delta GM) \text{ [a } \varphi \text{ kicsi]}$$

Ez a formula arra használható, hogy meghatározzuk a hajón oldalirányban elmozdított súlyok által okozott megdőlés mértékét, de arra az esetre is alkalmazható, amikor úgy rakodnak árut a hajóra fel van onnan le, hogy azok helye nem a hossz-szimmetria síkban van, amennyiben a be- vagy kirakott súlyok hatását a vízkiszorításra ( $\Delta$ ), a  $KG$ ,  $KM$  és  $GM$  értékre azt megelőzően kiszámítjuk, mielőtt a fenti egyenlőséget megoldanánk. Azaz az egyenletben levő  $\Delta$  és  $GM$  érték a hajónak arra az állapotára vonatkozik, amikor a rakodás befejeződött.



2.3.2.2.1.1.7 ábra Excentrikus rakodás

*Példa*

A 2.3.2.2.1.1.7 ábrán látható hajó vízkiszorítása 28.000 long ton, a súlypont és a metacentrum magassága  $KG = 36,0$  láb,  $KM = 42,0$  láb. Egy 360 long ton súlyú árut raknak be a fedélzetre 62 láb magasságban a gerinc felett és 21 láb távolságra a hossz-szimmetria síktól. Határozzuk meg azt a

dőlésszöget, amelyet az excentrikusan berakott súly okoz, annak feltételezésével, hogy a súly berakása nem okoz változást a  $KM$  értékében (a merülés nem változik észrevehetően).

Az ábra úgy szemlélteti a berakodási műveletet, mintha a súlyt az eredeti súlypontba tették volna (a), majd a (b) szerint felemelték volna  $d_1$  távolsággal a gerinc felett 62 láb magasra, végül a (c) művelettel elmozdították volna jobbra  $d_2$  távolsággal valódi helyzetébe.

$$(a) \quad \Delta = \Delta_{\text{eredeti}} + w = 28.000 + 360 = 28.360 \text{ long ton}$$

$$(b) \quad \begin{aligned} GG_1 &= wd_1/\Delta = 360 (62 - 36) / 28.360 = 0,33 \text{ láb (felfelé)} \\ KG_1 &= KG + GG_1 = 36,00 + 0,33 = 36,33 \text{ láb} \\ G_1M &= KM - KG_1 = 42,00 - 36,33 = 5,67 \text{ láb} \end{aligned}$$

$$(c) \quad \begin{aligned} \tan \varphi &= wd_2/(\Delta G_1M) = 360 \times 21 / (28.360 \times 5,67) = 0,0470 \\ \varphi &= 2,69 \text{ fok} \end{aligned}$$

Sok tanulsága lehet ennek a példának. A  $KG_1$  értékét táblázatos alakban is meghatározhattuk volna ismét. Az is látható, hogy a súlypont a hozzáadott súlyösszetevő irányában mozdult el; tehát a  $G_2$  arra az egyenes szakaszra esik, amely  $G$  és  $w$  összekötője. Ezt számítással is lehet igazolni:

$$G_1G_2 = wd_2/\Delta = 360 \times 21 / 28.360 = 0,267 \text{ láb}$$

A  $GG_1G_2$  mértanilag hasonló a hozzáadott súly három helyzete által alkotott háromszöghöz:

$$GG_1/G_1G_2 = 0,330/0,267 = 1,24$$

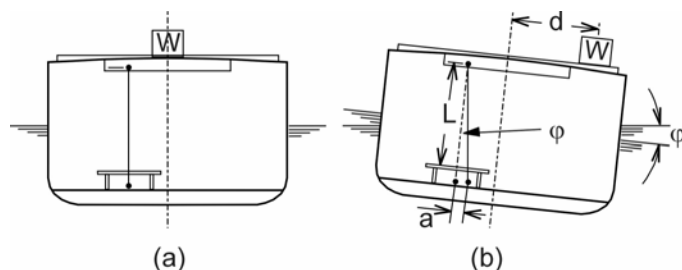
$$d_1/d_2 = 26/21 = 1,24$$

Tehát valóban a hozzáadott súly irányában mozdul el a rendszersúlypont. Az oldalirányban elmozdított súlyok és a megdőlés szöge között megállapított összefüggés csak olyan kis dőlésszögekre érvényes, amikor a vízkiszorítás által keltett felhajtóerő hatásvonala a hajó megdőlése közben a metacentrumon megy keresztül. Egészen kis szögeknél, legfeljebb két fokig, az eredmények szinte egzakt pontosságúak. Ez teszi lehetővé, hogy az építés befejezése után a kész hajón el lehessen végezni egy rendkívül fontos kísérletet, és azzal meg lehessen határozni a hajó rendszersúlypontját.

#### *A döntéspróba*

Ez a kísérlet a döntéspróba, amelyet a *nemzeti osztályozó intézetek* és *nemzetközi hajóbiztonsági intézmények* előírnak minden személy- és áruszállító hajó esetében a hajó elkészülése után az üres hajó súlyának (vízkiszorításának) és

rendszer súlypontjának meghatározására.



2.3.2.2.1.1.8 ábra Döntéspróba

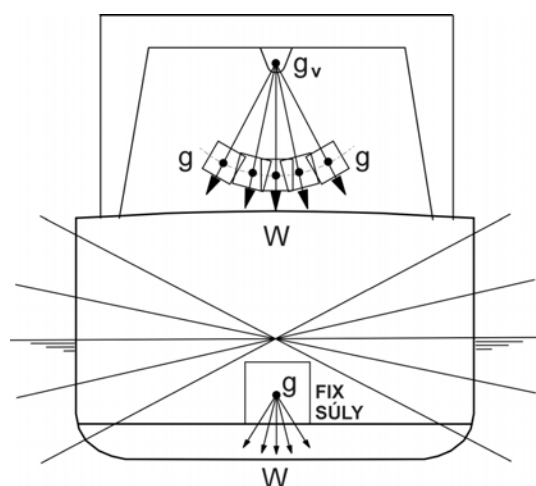
Az egyenlőséget tehát úgy alakítjuk át, hogy a  $GM$  legyen kifejezve:

$$GM = wd / \Delta \tan \varphi$$

Az egyenlőség neve ebben az alakban *döntéspróba formula*. A döntéspróba szükségessé teszi, hogy a hajón az ábra szerint a szimmetriasíkban elhelyezzenek egy speciális súlyt ( $w$ ), amelyet *döntéspróba súlynak* neveznek, és az el legyen mozdítva tökéletesen keresztirányban (a hajó hossz-szimmetria síkjára merőlegesen) egy pontosan mért távolságra ( $d$ ) a középsíktól, ami lehetővé teszi, hogy a hajó megdőljön és megdőlt állapotában új egyensúlyi helyzetet vegyen fel, majd meg lehessen mérni a dőlésszöget ( $\varphi$ ), amilyen pontosan csak lehet.

A dőlésszög mérésére alkalmas legegyszerűbb eszköz az *inga*. Az inga nem más, mint a legősibb kőműves szerszám, a függő. A függő súly a skála mentén mozog, amely egy zsámolyra helyezett deszka lineáris (metrikus vagy angolszász) beosztásokkal. A beosztásokat el lehet hagyni, és helyette üres papírt fektetni a deszkára, amelyen a döntéspróba egyes fázisaiban az inga kilengését be lehet jelölni ( $a$ ), és később pontosan mérhető. Nagyon pontosan kell megmérni az inga hosszát ( $l$ ) is a felfüggesztés pontjától a skáláig. Az inga és a skála egy háromszöget jelöl ki, amely a  $GG'M$  háromszög megfelelője, ahhoz hasonló. Tehát a képlet:  $\tan \varphi = a/l$ .

A döntéspróba közben elvégzett merülés- és vízsűrűség-mérés a hajó pontos vízkiszorításának ( $\Delta$ ) meghatározását teszi lehetővé. A  $GM = wd / \Delta \tan \varphi$  egyenlőséggel így meghatározott metacentrikus magasságot ( $GM$ ) "*döntéspróbái*" metacentrikus magasságnak hívják. Ezt levonják a „döntéspróbái”  $KM$  értékéből, amelyet a hajó



2.3.2.2.1.1.9 ábra Szabadon lengő súly

geometriai adataiból megszerkesztett jellemző görbék és a mért merülés segítségével számítanak ki, így kapják meg a "*döntéspróbái*"  $KG$  értékét. A döntéspróba hasonló módon rendszer súlypont hosszirányú helyzetének ( $LCG$ ) meghatározására is alkalmas.

Nem lehet eléggé hangsúlyozni az üres hajó vízkiszorításának,  $KG$  és  $LCG$  értékének pontos meghatározására precízen levezényelt döntéspróba fontosságát. Az így nyert adatok

be vannak vezetve a hajó okmányaiba, elsősorban a trim és stabilitási könyvbe. Ezek alkotják azokat az alapadatokat, amelyeket a hajó szolgálatos tisztjei által végzett *stabilitási és trim-számításokhoz* kiindulási értékként felhasználnak a hajó egész üzemben tartása során. Tehát minden eszközt meg kell ragadni a hibák elkerülésére. Elfogadott gyakorlat például, hogy nem egyetlen ingát és súlyt használnak, hanem három ingát és számos súlyt, a méréseket pedig tucatszor is megismétlik mind a három ingával. A kapott nyomatékokat és tangens értékeket grafikusán átlagolják. Azon kívül, amiről itt nem esett szó, olyan korrekciókat is elvégeznek, mint pl. a vízkiszorítás helyesbítése a trimnek megfelelően, vagy a szél sebességének és irányának figyelembe vétele. Azt is meg kell említeni, hogy a csapatnak, amely a döntéspóráát végzi, gyakorlottnak, összeszokottnak és nagyon fegyelmezettnek kell lennie. Tilos a próba közben a személyzet minden mozgása, mivel az is befolyásolja az eredményeket. A döntéspóráára vonatkozó eljárásokat és annak dokumentálását minden hatóság és nemzetközi intézmény saját hatáskörben szabályozza.

### ***A szabadon függő súlyok hatása a stabilitásra***

Eddigi számításaink során minden súlyösszetevőt, akár a hajó része volt, akár rakomány, úgy kezeltünk, mintha a teljes súlya annak súlypontjába lett volna koncentrálva. Amikor tehát a hajó megdőlt vagy merülése változott, feltételeztük, hogy a súlyösszetevő súlypontja a hajóhoz, mint referenciarendszerhez képest fix maradt. Ezek a feltételezések a hajón levő legtöbb súly esetében helytállóak. Ha azonban a súlyösszetevők nincsenek rögzítve a hajóhoz, hanem a hajó mozgását követve ki tudnak lengeni, abból az következik, hogy a hajó rendszersúlypontja is változni fog a kilengéssel a már ismert  $GG' = wd/\Delta$  egyenlőség szerint.

A legjobb példa egy ilyen súlyösszetevőre a rakománynak egy olyan egysége, amelyet a hajó saját darujával vagy árbocdarujával raknak be vagy ki. A 2.3.2.2.1.9 ábra mutatja, hogyan befolyásolja egy ilyen súly a hajó stabilitását egy rögzített súlyhoz képest.

Az ábrán öt *dőlésszöget* láthatunk, egyikük egyenes úszást jelent, kettő jobbra, kettő balra való kitérést. A raktérben egy fix súly is látható, ugyanabban az öt dőléshelyzetben kialakuló súlyerő-hatásvonalakkal, amelyek mindegyike merőleges a vonatkozó vízvonalra. Mindegyik hatásvonal átmegy egy közös ponton a súly belsejében, és definíciónk szerint ez a pont a súlyösszetevő súlypontja. A súly súlypontja tehát fix helyzetben van a súly belsejében, de a hajóhoz képest is, mivel nem mozdul el, amikor a hajó megdől.

Az ábrán azonban látható a darun levő súly is, amely szabadon kilenghet. Ennek súlypontja is a saját körvonalain belül helyezkedik el, amint azonban a hajó megdől, a *függő teher* kimozdul, mivel a súlypont mindig függőlegesen a *felfüggesztési pont* alatt helyezkedik el. Tehát minden dőlésszög estén a súlyerő hatásvonala átmegy a felfüggesztési ponton, amely így a súly *virtuális súlypontja* ( $g_v$ ) lesz mindaddig, amíg az függve marad. Tehát a függesztett súlynak a hajó stabilitására gyakorolt hatását úgy kell számolni, mintha a súlyösszetevő súlypontja fix lenne, de a felfüggesztési pontban. Mindegy, milyen hosszú a kötél, amelyen a súlyt megemelik, annak virtuális súlypontja mindig magasabban van a súlyösszetevő valóságos helyzeténél, tehát még tovább

csökkenti a hajó stabilitását. A hajó súlypontjának elmozdulását a már ismert egyenlettel tudjuk kiszámítani, a súly helyeül azonban annak virtuális súlypontját, tehát a felfüggesztési pontot kell figyelembe venni.

A legtöbb rakománykezelő berendezés esetében figyelmen kívül lehet hagyni ezt a típusú számítást. Ennek oka, hogy a hajók szokásos fedélzeti rakodó-berendezéseinek teherbírása elhanyagolható a hajó vízkiszorításához képest, ezért a  $GG'$  súlypont-elmozdulás jelentéktelen. Különleges esetekben azonban (pl. *úszódaruknál*) figyelemmel kell lenni a függő tehernek a stabilitásra gyakorolt hatására.

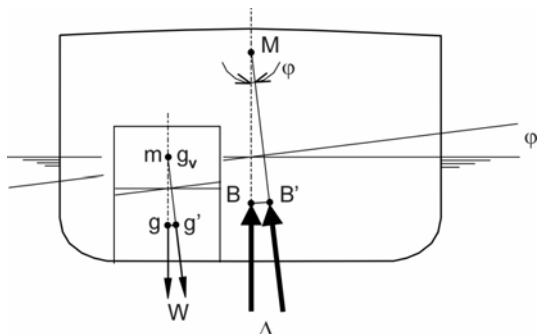
#### ***A szabad felülettel bíró folyadékok hatása a stabilitásra***

Amint az előző vizsgálat is mutatta, a stabilitást negatívan érinti, ha olyan súlyösszetevők vannak a rendszerben (a hajó fedélzetén vagy tereiben), amelyek szabadon elmozdulhatnak a hajó úszás közbeni mozgásainak hatására. A közlekedő hajónál a leggyakoribb olyan *rakománytípus*, amely szabadon áthelyezheti súlypontját, a *szabad felületű folyadék*, amely nem tölti ki a rendelkezésre álló teret a tankban szállítás közben. A *nem teljesen megtöltött tankot* úgy nevezik, hogy *laza*, a folyadék pedig *szabad felszínnel* rendelkezik.

Mindegyik részleges töltésű tankban a folyadék az *alacsony oldalra* tódul, amikor a hajó megdől, ez a hajó rendszersúlypontját az alacsony oldal felé mozdítja el, ami tovább csökkenti a visszatérítő nyomaték karját. Ennek a csökkenésnek a meghatározása minden dőlésszögre és mindegyik tank minden lehetséges *töltési fokára* óriási számítási munka, amely a tankok geometriájára támaszkodik. Ugyanakkor a szabad felületnek a kis dőlésszögekre érvényes kezdeti stabilitásra ( $GM$ ) gyakorolt hatása független a tankban levő folyadék mennyiségétől és a hajó dőlésszögétől mindaddig, amíg az kicsi.

Amint a 2.3.2.2.1.1.10 ábrán látható, amikor a hajó kis szögben megdől, a *kiemelkedő és bemerülő éktérfogat* között lezajló *vízkiszorítás-áthelyezés* azt okozza, hogy a vízkiszorítás  $B$  súlypontja elmozdul  $B'$  pontba az alacsony oldalra, a  $\Delta$  vízkiszorítás felfelé ható erejének hatásvonalára pedig a keresztirányú stabilitás metacentrumán ( $M$ ) halad át. Amint a metacentrikus sugár definíciójánál láttuk, ezt a vízkiszorítás-áthelyeződést a következő egyenlet írja le:

$$BM = I_T / \nabla$$



2.3.2.2.1.1.10 ábra Szabad folyadékfelszín hatása

Az ábrán folyadékkal részlegesen megtöltött tankon belül nyilvánvalóan végbe fog menni a teljes hajóval analóg ék-alakú térfogat-áthelyeződés, ahol kis dőlésszögnél a folyadék súlypontja a  $gg'$  pályát követi, a folyadék súlyerő hatásvonalára pedig mindig

átmegy az „ $m$ ” ponton, a folyadék metacentrumán.



A folyadék metacentruma ugyanolyan virtuális pont, mint a függő teher *virtuális súlypontja*, ezért jelölése gyakrabban  $g_v$ . Helyzetét a *metacentrikus sugár* kifejezésének analógiájával határozhatjuk meg.

$$gg_v = i_t/v$$

ahol  $gg_v$  = a tankban levő folyadék súlypontjának virtuális növekedése  
 $i_t$  = a tankban levő folyadék felületének keresztirányú inercianyomaték  
 $v$  = a tankban levő folyadék térfogata

#### A szabad-felület korrekció

A folyadék súlypontjának virtuális emelkedése hozza létre a (virtuális) *szabad-felület nyomatékot*, amely egyenlő a tankban levő folyadék súlyának ( $w$ ) és a *virtuális súlypontemelkedésnek* ( $gg_v$ ) a szorzatával. Ennek a nyomatéknak a hatását a hajó stabilitására mindenképpen meg kell határozni. Ha egy súlyösszetevő valóban feljebb kerül, és a nyomaték nagysága  $w \times d$  értékű, a hajó rendszersúlypontjának felfelé történő elmozdulása  $GG' = wd/\Delta$  nagyságú lesz. Hasonló módon a folyadék virtuális súlypontemelkedése virtuális emelkedést okoz a hajó súlypontjánál, amelynek új helye  $G_v$ , számítása pedig a következő:

$$GG_v = w gg_v / \Delta = w (i_t/v) / \Delta$$

A képletben a folyadéknak mind a súlya, mind a térfogata szerepel, ezért a  $w/v$  helyett a tankban levő folyadék fajsúlyát használhatjuk ( $\rho_t g$ ), vagy annak reciprok értékét, a fajtérfogatot ( $\delta_t$ ) a  $v/w$  helyett, azaz:

$$GG_v = \rho_t g i_t / \Delta = (i_t/\delta_t) / \Delta$$

Ez a forma előnyös az amerikai mértékegységek használatánál, amikor a vízkiszorítás súlya ( $\Delta$ ) szerepel. Az SI rendszerben a vízkiszorítás tömegként van figyelembe véve, ezért célszerűbb a következő alak

$$GG_v = \rho_t i_t / \Delta_m$$

A két mértérendszerben egyaránt használható alakot kapunk, ha figyelembe vesszük, hogy  $\Delta = \rho_S g \nabla$  tengervíznél és  $\Delta = \rho_{FG} \nabla$  édesvíznél, a  $\delta_S$  (vagy  $\delta_F$ ) pedig a víz fajtérfogata

$$GG_v = (i_t/\nabla)(\delta_S/\delta_t) = (i_t/\nabla)(\rho_v/\rho_S)$$

A *tank inercianyomatéka* ( $i_t$ ) a fenti elemzés során a tankban levő folyadék felületének keresztirányú inercianyomatékát jelenti. Ha egy tank felülnézetben téglalapalakú, annak inercianyomatéka

$$i_t = lb^3/12 \text{ láb}^4 \text{ vagy } m^4$$

ahol  $l$  = a tank hossza (hajóhossz mentén mért mérete), láb vagy m

$b$  = a tank szélessége (keresztirányú mérete), láb vagy m

A hajótest görbült részén elhelyezett tankok esetében az  $i_t$  értékét numerikus integrálással határozhatjuk meg. A hajók okmányai között kell, hogy legyen olyan segédlet, amely a hajó összes tankjának inercianyomatékát vagy szabad-felület nyomatékát táblázatos formában közli, hogy a hajó tisztjeinek munkáját megkönnyítse. Ha a hajón több tankban is szabad felület fordul elő, a hajó teljes súlypont-áthelyeződése ( $GG_v$ ) egyszerűen az egyes tankok által okozott súlypontmozgás összege. Mivel a vízkiszorítás nem változik, a teljes  $GG_v$  számítása legegyszerűbben úgy végezhető el, ha az egyes tankok szabad-felület nyomatékát összegezzük, és az összeget osztjuk el a vízkiszorítással. Tehát:

$$\text{Teljes } GG_v = \Sigma(i_t/\delta_t) / \Delta \quad \text{amerikai mértékegységeknél}$$

$$\text{Teljes } GG_v = \Sigma(\rho_t i_t) / \Delta_m \quad \text{SI mértékegységeknél}$$

A gyakorlatban az összegzés csak azt jelenti, hogy a hajós tiszt az adott rakodási állapotban laza tankok figyelembe vételével a táblázatban található nyomatékok értékét adja össze.

#### *Példa*

Határozzuk meg a szabad-felszín hatást egy 18.000 long ton vízkiszorítású hajónál tengervízben, vagyis a hajó rendszersúlypontjának virtuális mozgását felfelé, amelyet az alábbi tankokban levő folyadékok okoznak.

(a) Tengervíz ballaszt, a tank hossza 60 láb, szélessége 20 láb.

(b) U.a., mint (a) kivéve, hogy a tank hossza 20 és szélessége 60 láb.

$$(a) \quad i_t = lb^3/12 = 60 \times 20^3 / 12 = 40.000 \text{ láb}^4$$

Amerikai mértékegységek használatánál  $\delta_t = 35 \text{ láb}^3/\text{long ton}$ , mivel a ballaszt tengervíz.

$$GG_v = (i_t/\delta_t) / \Delta = (40.000/35) / 18.000 = 0,063 \text{ láb}$$

$$(b) \quad i_t = 20 \times 60^3 / 12 = 360.000 \text{ láb}^4$$

$$GG_v = (360.000/35) / 18.000 = 0,571 \text{ láb}$$

Ami azonnal feltűnik, a hatalmas különbség a kisebb és nagyobb szélességű tank inercianyomatéka és az okozott súlypont-eltolódás között. Ha csak néhány ilyen

nagyobb szélességű tank van a hajón, az könnyen instabillá teheti, és veszélyessé válhat. A széles tankokat el kell kerülni a hajókon. Ez az oka, hogy a *tankhajók rakomány-tankjai* és a többi hajónál is *kettősfenék-tankok* két, három, vagy akár négy részre vannak felosztva *hossz-válaszfallakkal*.

#### Példa

Határozzuk meg a szabad-felszín hatást egy 25.000 MT vízkiszorítású hajónál tengervízben, vagyis a hajó rendszersúlypontjának virtuális mozgását felfelé az *ívóvíz tank* esetében, a tank hossza 5 m, szélessége 3 m.

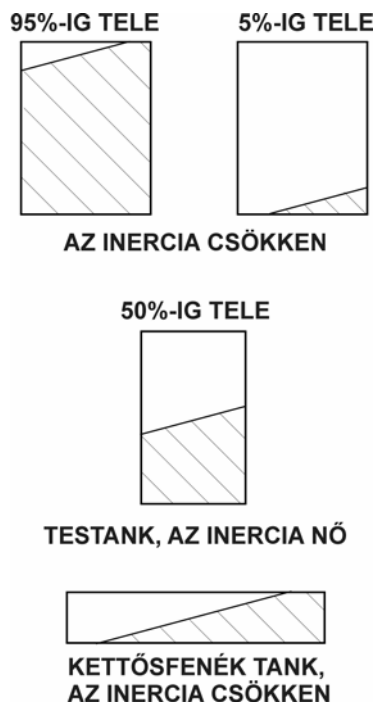
$$i_t = 5 \times 3^3 / 12 = 11,25 \text{ m}^4$$

$$\rho_t = 1,000 \text{ MT/m}^3$$

$$GG_v = \rho_t i_t / \Delta_m = 1,000 \times 11.25 / 25.000 = 0,00045 \text{ m}$$

Az ilyen kis tank szabad felülete elhanyagolhatóan kis hatást gyakorol a hajó stabilitására. Ez az oka annak, hogy az olyan tankokat, amelyekből fogyasztás történik, így rendszerint csak részben vannak töltve, mint pl. az ívóvíztankok, olajülepítő tankok, mindig nagyon keskenyre építik.

*A sarokfogás hatása.* A szabad felszín hatása a hajó stabilitására addig követi a felvázolt sémát, amíg a tankban levő folyadék súlypontjának pályája körív, amint azt a 2.3.2.2.1.1.10 ábra mutatja. Csak akkor létezik fix helye a folyadék virtuális



2.3.2.2.1.1.11 ábra Szabad felület sarokfogása 15 foknál

súlypontjának ( $g_v$ ). A körív pálya azonban nemcsak a kis dőlésszögekre korlátozódik, hanem akkor sem érvényes többé, ha a folyadék felszíne, amelynek a tank oldalán kell fel- és lefelé mozognia, *sarkot fog a tankfedélen* vagy *fenéken*. A 2.3.2.2.1.1.11 ábra mutatja a sarokfogás esetét különböző tankoknál. A stabilitásban bekövetkező változások függenek a tank alakjától, főként annak mélység-szélesség viszonyszámától, valamint a tank töltési fokától. Az ábra jól szemlélteti, hogy minden tank, amely majdnem tele van, vagy majdnem üres, már kis dőlésnél is sarkot fog. Ha a folyadék a tankban sem a tanktetőhöz, sem a fenékhez nincs közel, csak akkor éri el a sarkot a felszín kis dőlésszögnél, ha nagyon kicsi a magassága a szélességéhez képest (mint pl. egy tank a kettősfenékben). A szokásos tank félig töltve nem fog sarkot fogni a szokásos megdölések esetén. Sarokfogás esetében igen nagy számítási munkát

igényelne, ha pontosan meg akarnánk határozni, hogyan befolyásolja a szabad felületek megléte a stabilitást, és ezt minden tankra és töltési fokra el kellene végezni. Ilyen számításokra csak nagyon ritkán kerül sor, amikor indokolt. A tervezőirodában azonban gyakran végeznek közelítő számításokat, és azok is bekerülnek a *trim- és stabilitási könyvbe*. A közelítés feltételezett csökkentett szabad-felület nyomaték formáját ölti tankonként. Az üzemanyagot és *olajrakományt* tartalmazó tankokat soha nem lehet teljesen tele tölteni, csak 95-98%-ig, mert a *hő-tágulás* miatt az olaj kifolyna a szellőzőcsövön. Három lehetőséget kell tehát figyelembe venni a tankok szabad felületének hatásánál.

1. Tele van töltve vagy üres, ilyenkor  $i_t/\delta_t = 0$ , mivel nincs szabad felszín. A ballaszt-tankokat általában teletöltik, mivel a víz *dilatációja* elhanyagolható.
2. „Tele” van töltve olajjal, ami normális esetben 95-98% töltést jelent, ebben az esetben az  $i_t/\delta_t$  szabad-felszín nyomaték táblázatos értékét csökkentve veszik figyelembe.
3. Laza, vagyis az 1. és 2. pont közötti állapot áll fenn, ilyenkor a táblázatban található  $i_t/\delta_t$  értéket veszik alapul. Normál esetben az összes tankot lazaként kezelik.

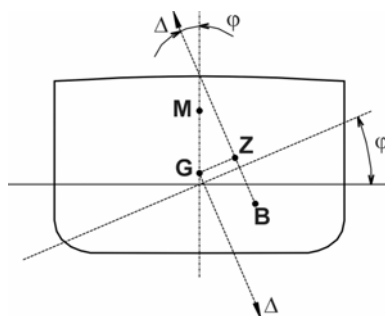
A 10 foknál nagyobb dőlésszögek esetén a kezdeti stabilitásra alkalmazható közelítések már komoly hibát okoznak, ezért ott pontosabb számításokra van szükség.

### 2.3.2.2.1.2 Keresztirányú stabilitás nagy dőlésszögeknél

A keresztirányú stabilitás számszerűsítésénél, amint korábban láttuk, korlátozott a metacentrikus magasságra való támaszkodás lehetősége. Csak olyankor használható a metacentrum fogalma, ha a dőlésszög kicsi, maximálisan 10 fok értékű. Amikor azonban a hajó megdőlését okozó erők, pl. szél, hullám, rakománykezelés, kis sugáron való fordulás, nagyobb megdőlést okoz, a metacentrumra alapozott vizsgálatok már nem elegendőek a hajó irányításáért felelős tiszt számára. A hajók esetében gyakran fordul elő jelentős *dőlésszög*, ha a *kitérítő nyomaték* jelentős mértékű. Tehát elengedhetetlen, hogy azt is megvizsgáljuk, hogyan viselkedik a hajó nagyobb dőlésszögek esetében.

#### 2.3.2.2.1.2.1 Visszatérítő nyomaték és visszatérítő kar

Bármilyen szögben is dől meg a hajó, stabilitásának, vagyis annak a képességének, hogy visszatérjen a vízszintes úszási helyzetbe, igazi mérőszáma a *visszatérítő nyomaték*, vagyis a hajó súlyának ( $\Delta$ ) és a *visszatérítő karnak* ( $GZ$ ) a szorzata, amint ez a 2.3.2.2.1.2.1.1 ábrán látható. Ezt az ábrát, amely a nagy dőlésszögeknél kialakuló állapotot mutatja, összevethetjük a 2.3.2.2.1.1.4 ábra jelöléseivel.



2.3.2.2.1.2.1.1 ábra  $GZ$  nagy dőlésszögnél

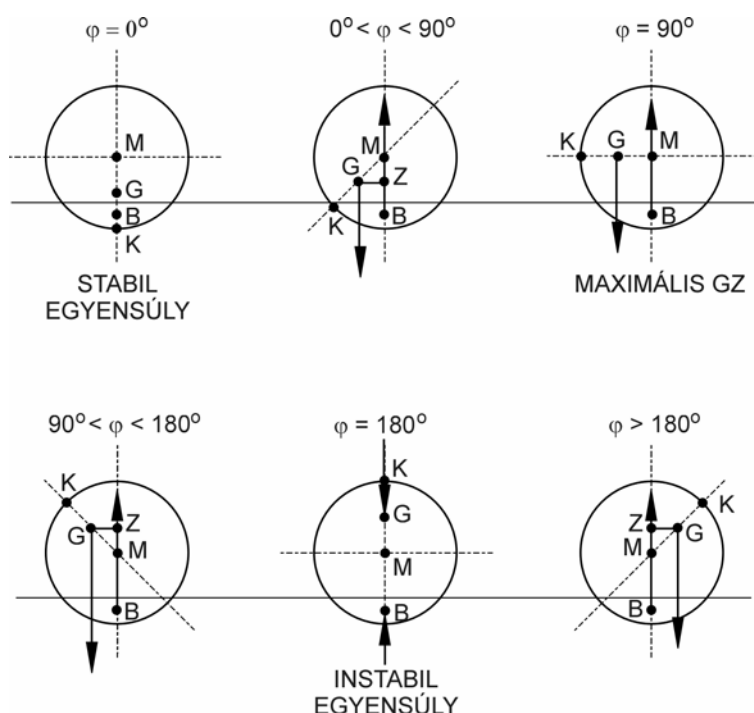
A különbség az, hogy nagy dőlésszögeknél a felhajtóerő hatásvonala nem megy át a metacentrumon ( $M$ ). Ennek az az oka, hogy amint a dőlés nagyobbra nő néhány foknál, a „*B-pálya*” eltér a  $BM$  sugarú körívtől. Az eltérés eredménye, hogy a visszatérítő kart már nem lehet egyszerűen összefüggésbe hozni a metacentrikus magassággal, tehát a  $GZ$  már nem fejezhető ki a  $GM \sin \varphi$

formulával, ahogy a nagy kis *dőlésszögek* esetében. Az igazság az, hogy nem ismerünk olyan egzakt képletet, amely nagy dőlésszögeknél a  $GM$  és a  $GZ$  közötti kapcsolatot kifejezné, kivéve néhány speciális hajótest alakot, amikor a vízkiszorítás súlypontja bármilyen dőlésszög esetén köríven mozdul el. Ez azonban csak a forgástesteknél van így. Ebbe a kategóriába azonban csak pontonok és tengeralattjárók tartoznak, a szokásos hajótestek nem ilyenek.

#### **Forgástestek stabilitása**

A forgástest a felszíni hajóknál nem fordul elő, mégis érdemes megvizsgálni az ilyen testformájú hajók viselkedését nagy dőlésszögeknél. Képzeljünk el egy hajót, amelynek valamennyi bordametszete kör-alakú (lényegtelen, hogy valamennyi metszet azonos sugarú, vagy esetleg szivar-alakú a test), úgy van megrakva, hogy trim nélkül úszik (forgás-szimmetria tengelye vízszintes), és rendszersúlypontja a tengely alatt helyezkedik el. A 2.3.2.2.1.2.1.2 ábra a testet több különböző úszáshelyzetben mutatja,

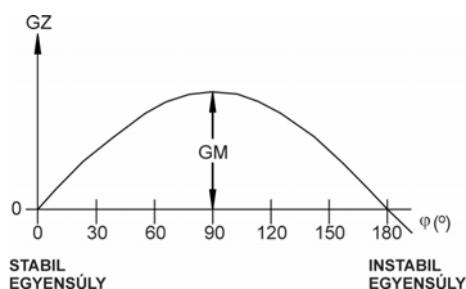
A vízszintes helyzet ( $\varphi = 0$ ) a stabil egyensúlyi állapot, amikor a  $G$  függőlegesen a forgástengely alatt van. Szemmel látható, hogy minden vizsgált helyzetben, azaz minden dőlésszögnél, a vízkiszorítás-felhajtóerő hatásvonala a forgástengelyen megy át, amely így a keresztirányú metacentrum ( $M$ ). A visszatérítő karok hossza ( $GZ$ ) minden dőlésszögnél a  $GM \sin \varphi$  értékkel egyenlő. Az ábráról jól látható, hogy a visszatérítő kar nagysága 90 foknál a legnagyobb, akkor  $GM$  értékű, majd megint nullára csökken, a test fordított helyzetében, illetve 180 fokos dőlésnél. Ez a helyzet tehát szintén *egyensúlyi állapot*, de *instabil*, mert a legkisebb zavar kitéríti ebből a helyzetből, és addig fordul vissza, amíg el nem éri az egyenes úszáshelyzetet.



2.3.2.2.1.2.1.2 ábra  
Forgástest stabilitása

Az ilyen úszótest stabilitása nagy dőlésszögeknél úgy ábrázolható, hogy koordináta-rendszerbe visszük fel a visszatérítő kar ( $GZ$ ) értékeit a dőlésszög ( $\varphi$ ) függvényében, amint azt a 2.3.2.2.1.2.1.3 ábra mutatja. Ezt a görbét a *sztatikus stabilitás görbéje* néven ismerjük. Ebben a különleges esetben a statikus stabilitás görbéje egy szinuszhullám  $GM$  amplitúdóval. A görbe a

forgástest más merüléseinél illetve vízkiszorításainál ugyanilyen lesz, mert a  $KM$  értéke a test sugarával egyezik meg a vízbemerült térfogattól függetlenül. A merülés és vízkiszorítás növekedésével azonban a visszatérítő nyomaték nő, bár a kar nem.



2.3.2.2.1.2.1.3 ábra Forgástest sztatikus stabilitási görbéje

Ez a statikus stabilitási görbe jól mutatja, hogy a forgástestnek egy teljes fordulat alatt két egyensúlyi állapota létezik (nulla és 180 fok), de ebből csak az egyik stabil (a nulla fok). Tehát egy ilyen test bármilyen dőlésből visszatér az

egyensúlyi úszáshelyzetbe, ha a kitérést külső hatás okozta.

A *körszimmetrikus hajótest* egyedi tulajdonsága, ami miatt statikus stabilitási görbéje

szinusz-hullám alakú, hogy a vízbemerült térfogat alakja minden dőlésszögnél azonos. Másképpen fogalmazva a vízkiszorítás eredeti helyének a hajó bejelölt pontja  $BM$  sugarú kört ír le egy körülfordulás alatt.

A visszatérítő karok nagyságát legjobban a  $G$  súlypont helyzete befolyásolja. Ha az lejjebb kerül, minden dőlésszögnél nagyobbak lesznek a visszatérítő karok, fordított esetben a súlypont feljebb kerülése csökkenti a karok nagyságát.

Ez azonban már nemcsak a forgástest alakú hajókra érvényes, hanem minden hajótest esetében.

### 2.3.2.2.1.2.2 A visszatérítő karok meghatározása bármilyen hajótestnél

A *felszíni hajóknál* szokásos hajótestek esetében a hajótervezőnek egy adott vízvonalhoz, tehát vízkiszorításhoz számos dőlésszögnél kell meghatároznia a visszatérítő karok nagyságát numerikus integráció segítségével. A 2.3.2.2.1.2.1.1 ábra rámutat, hogy egy adott hajónál bármilyen változás akár  $G$ , akár  $B$  helyzetében módosítani fogja a visszatérítő kar nagyságát. A  $B$  helyzete a vízkiszorítástól (felhajtóerőtől) és a dőlésszögtől függ. A  $G$  helyzetét a hajó *rakodási állapota* határozza meg, és három koordinátájával helyettesíthető. A fenti állításokat a következő komplett fizikai egyenlet fejezi ki:

$$GZ = f(\varphi, \Delta, KG, LCG, TCG)$$

Az egyenlet nem használható közvetlen gyakorlati számításokra, mivel a lehetőségek nagy száma miatt azok igen időigényesek lennének. Ha csak öt különböző értékét vennénk mindegyik változónak (ami nyilvánvalóan nem elégséges), összesen 3.125 visszatérítő kar értéket kellene kiszámítanunk.

A feladat nagyságát azonban jelentősen csökkenteni lehet a következő két szempont figyelembe vételével.

- A hajó rendszersúlypontjának hosszirányú helyzete ( $LCG$ ) ill. ezzel a trim csak elhanyagolható mértékben befolyásolja a visszatérítő kar nagyságát. Elegendő, ha egyenes úszásnál (trim nélkül) határozzuk meg.
- A  $KG$  és  $TCG$  változásának hatásait egyszerű korrekcióval ki lehet küszöbölni azt követően, hogy a  $GZ$  értékeket meghatároztuk egy tetszőlegesen kiválasztott  $KG$  értékhez. Tehát a  $G$  tetszőlegesen választott helyzete, amelyet „póluspont” néven is emlegetnek a  $GZ$  számításánál, bármilyen megfelelő ponton lehet a gerinc felett; a  $TCG$  helyzetét pedig nullára vesszük.

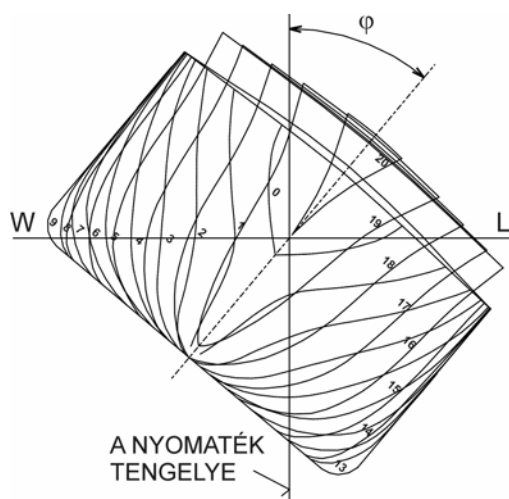
A fentiek figyelembe vételével a hajó  $GZ$  értékeinek fizikai egyenlete a következőre redukálódik:

$$GZ = f(\varphi, \Delta)$$

A számításokat öt vagy hét vízvonalhoz és mindegyiknél a dőlésszög 10 vagy 15 fokos

növelésével végezzük el. Így az eljárást minimálisan 30-szor maximálisan 60-szor kell megismételni.

Ennyi számítást elvégezni még mindig nagyon fárasztó és monoton művelet, azonban a manuális munka legfeljebb a vonaltervről a méretek leolvasását jelenti, mert a numerikus integrálást már számítógépes programokkal el lehet végezni. A hajótest hidrosztatikai jellemzőinek számítására készített szoftver csomagok rendszerint a visszatérítő karok számítására is alkalmasak. Azonban ezek input adatait ki kell egészíteni olyan elemekkel, amelyek a jellemzők között nem szerepelnek, pl. a *víz feljutása a fedélzetre* adott dőlésszögnél, vagy a *vízbemerülő fedélzeti házak* méretei. A programok azt is figyelembe veszik, ha a hajó a megdőlés következtében trimelődik, és korrekciót alkalmaznak. Annak figyelembe vételével, hogy bármilyen fejlett programot alkalmazunk, azzal tisztában kell lenni, mi is az, amit a gép számol és eredményül közöl, a következőkben ismertetjük az eljárás menetét, amikor manuálisan kell elvégezni. Alapvetően két módszer létezik, egyik a *teljes test módszer* és az *ék módszer*.



2.3.2.2.1.2.2.1 ábra Bordametszet-rajz a teljes test módszerhez

#### **A teljes test módszer**

A teljes test módszernél, a ferde vízvonalat, mint a 2.3.2.2.1.2.2.1 ábrán *WL*-lel jelölt vízvonal, a bordametszetek mindkét oldalát ábrázoló bordametszet-rajzon keresztül húzzuk meg. A súlypontként önkényesen kiválasztott  $G_0$  ponton át a *WL*-re merőleges függőleges tengelyt húzzunk. Mindegyik bordametszethez két mennyiséget határozzunk meg, ezek egyike a bordametszet *vízbemerült területe* ( $A_S$ ), a másik a terület nyomatéka a függőleges

tengelyre ( $M_S$ ). A területeket és azok nyomatékait ezután a hajó hossza mentén numerikusan integráljuk a *vízbemerült térfogat* ( $\nabla$ ) és a térfogat függőleges tengely körüli nyomatékának kiszámítása érdekében. A kapott vízkiszorítás eltér a kiindulási értéktől, ezért azt korrigálni kell, hogy a következő lépésnél meghúzott vízvonal helyét kijelölhessük. A számítást minden vízvonalra és dőlésszögre meg kell ismételni.

#### **Az ék módszer**

Az ék módszer a hajó megdőlése miatt *kiemelkedő és bemerülő éktérfogattal* és azok nyomatékával dolgozik. Az elemzés kicsit komplikáltabb, mint a másik módszer, de kevesebb mérést kell végezni a bordarajzon, mivel csak a *vízvonalszélességeket* és az éktérfogatok geometriáját kell meghatározni. A manuális számításoknál ez volt a legelterjedtebb módszer. A *térfogatelemek kiszámításához* számos eljárást dolgoztak ki. Amikor a hajó nagy szögben megdől, a vízkiszorítás felhajtóerejének hatásvonala nem megy keresztül a metacentrumon, az egyenes és a ferde úszáshelyezethez tartozó vízvonalak pedig nem a hossz-szimmetria síkban metszik egymást. Ezt mutatja a



2.3.2.2.1.2.2.2 ábra. Az ábrán a következő jelöléseket használjuk:

$\varphi$  = külső erőhatás által létrehozott megdőlés szöge

$WL$  = egyenes úszási állapot vízvonala

$W'L'$  = vízvonal  $\varphi$  dőlésszögnél

$B, B'$  = a vízkiszorítás súlypontja egyenes és ferde úszásnál

$b, b'$  = kiemelkedő és bemerülő térfogatok súlypontja

$h, h'$  =  $b$  és  $b'$  vetülete a ferde úszás  $W'L'$  vízvonalán

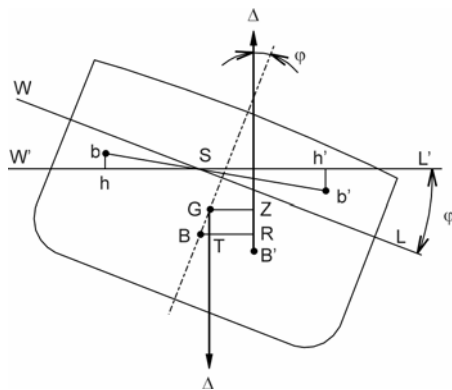
$G$  = a hajó rendszersúlypontja

$GZ$  = visszatérítő kar  $\varphi$  dőlésszögnél

$\Delta$  = a hajó súlya (vízkiszorítása)

a  $BB'$  elmozdulás párhuzamos a  $bb'$  elmozdulással

a  $GZ$ ,  $BR$  és  $hh'$  szakaszok párhuzamosak a  $W'L'$  ferde vízvonallal és merőlegesek a felhajtóerő  $B'Z$ -n áthaladó hatásvonalára.



2.3.2.2.1.2.2.2 ábra Visszatérítő kar számítása ék módszerrel

Mivel a hajó megdőlését külső erőhatás okozza, vízkiszorítása változatlan. Tehát a kiemelkedő éktérfogat megegyezik a bemerülővel.

Legyen  $v$  = az ék térfogata

$\nabla$  = a hajó vízkiszorításának térfogata

A hajó vízkiszorításának súlypontja a  $B$  pontból a  $B'$  pontba mozdul el az ékek ( $b$  és  $b'$ ) között lezajló térfogat-áthelyezés hatására. Ezt kifejezhetjük a térfogatok nyomatékaként

$$v \times bb' = \nabla \times BB'$$

Az egyenlet felírható a súlypontelmozdulásoknak a ferde  $W'L'$  vízvonalon levő vetületeire is

$$v \times hh' = \nabla \times BR$$

Tehát

$$BR = v \times hh' / \nabla$$

A hajó súlya függőlegesen lefelé hat a  $G$  súlypontban. Így

$$GZ = BR - BT$$

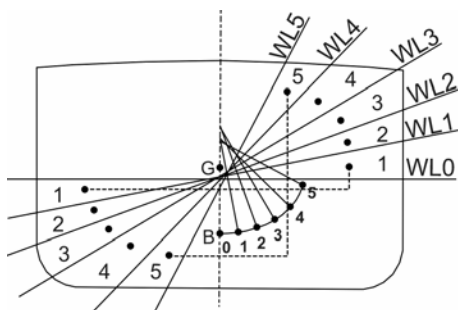
ahol a *GBT* háromszögben, amelynek csúcsszöge  $\varphi$  a *G* pontban,

$$BT = GB \sin \varphi$$

Az előző három egyenlet kombinálásával:

$$GZ = (v \, hh' / \nabla) - GB \sin \varphi$$

Ez az egyenlőség a *stabilitás alapvető egyenlete*, amely bármilyen dőlésszög esetén alkalmazható, akár kicsi, akár nagy. Ránézésre egyszerűnek tűnik, azonban megoldása a gyakorlatban elég sok számítást igényel. Nyilvánvaló azonban, hogy ha a hajó egyenes úszásához már rendelkezésre állnak a *jellemző görbék*, és kiválasztottuk a feltételezett *KG* értéket, bármelyik *WL* egyenes úszásvonalnál (merülésnél) ismerjük a vízkiszorítást és azzal a  $\nabla$ , *KB*, *KG* és *GB* értékét. Akkor már akármilyen dőlésszöget választhatunk. Tehát a *GZ* meghatározása egy adott esetben redukálódik a  $v$  éktérfogatra és a  $hh'$  vízszintes „vetületre”. Itt jelentkezik a nehézség ennek a formulának a használatánál. Iterációs megközelítéssel kell ugyanis meghatározni a ferde vízvonall helyét úgy, hogy a két éktérfogat megegyezzen. Az ékek térfogatát numerikus integrálással számítjuk ki a bordametszetekről leolvasott területek alapján a hajó hossza mentén. Amikor a vízvonall helyét sikerült helyesen kiválasztani, az ékek nyomatékát kell szintén integrálással kiszámítani az *S* pontra (az egyenes és a ferde úszáshelyzethez tartozó *WL* és *WL'* vízvonalak metszéspontja), hogy a *b* és *b'* súlypontokat illetve a *h* és *h'* pontokat megkapjuk. A számítások során több nehézség is felmerülhet, különösen olyan esetekben, amikor a víz eléri a fedélzet szélét.



2.3.2.2.1.2.2.3 ábra A vízkiszorítás súlypontjának pályája a hajó egyre nagyobb megdőlése során

Amikor az adott (vagy önkényesen kiválasztott) rendszersúlypont helyzethez és merüléshez (vízkiszorításhoz) a statikus stabilitás görbéjét kell megszerkeszteni, és ehhez a vízkiszorítás súlypontjának a hajó megdőlése miatti vándorlását határozzuk meg, a koordináta-rendszert, amelyben

dolgozunk, két módon választhatjuk meg. A fenti elemzés során a koordináta-rendszer a környezethez volt rögzítve, tehát a megdőlt úszáshelyzet vízvonala vízszintes volt, a hajó fordult el, ahogy ez a valóságban történik. Ez egy dőlésszögre vonatkozik. Amikor a következő dőlésfokozathoz a vizsgálatnál használt  $\delta\varphi$  szöggel megnöveljük a dőlésszöget (pl. ha  $\delta\varphi = 15$  fok, 30 fokról 45 fokra), akkor a koordináta-rendszerhez képest a hajó  $\delta\varphi$  szöggel ferdebben fog állni. a 2.3.2.2.1.2.2.2 ábrán alkalmazott jelölések mind érvényesek maradnak.

A koordináta-rendszert azonban rögzíthetjük a hajóhoz is, abban az esetben a ferde vízvonalakot kell minden újabb dőlésszögnél  $\delta\varphi$  értékkel ferdebben meghúzni. Ennek



$$M_{y_{ki\varphi 1}} = \Sigma A_{ki\ n\ \varphi 1} y_{ki\ n\ \varphi 1} dx$$

$$M_{y_{be\ \varphi 1}} = \Sigma A_{be\ n\ \varphi 1} y_{be\ n\ \varphi 1} dx$$

$$M_{z_{ki\ \varphi 1}} = \Sigma A_{ki\ n\ \varphi 1} z_{ki\ n\ \varphi 1} dx$$

$$M_{z_{be\ \varphi 1}} = \Sigma A_{be\ n\ \varphi 1} z_{be\ n\ \varphi 1} dx$$

Az ék-alakú felületek súlypontja pozitív, ha a kiemelkedő felület súlypontja a magasabb, a bemerülőé pedig az alacsonyabb oldalra esik a hajó hossz-szimmetriasíkjától.

A kiemelkedő és bemerülő éktérfogat keresztirányú és magassági helyzete:

$$y_{ki\ \varphi 1} = M_{y_{ki\ \varphi 1}} / v_{ki\ \varphi 1}$$

$$y_{be\ \varphi 1} = M_{y_{be\ \varphi 1}} / v_{be\ \varphi 1}$$

$$z_{ki\ \varphi 1} = M_{z_{ki\ \varphi 1}} / v_{ki\ \varphi 1}$$

$$z_{be\ \varphi 1} = M_{z_{be\ \varphi 1}} / v_{be\ \varphi 1}$$

A súlypont-koordináták közül a z mindig pozitív. Az y pozitív, ha a hossz-szimmetriasíktól az alacsony oldal felé esik.

Most meg kell határoznunk azt a (kis) távolságot, amennyivel az önkényesen felvett ferde vízvonalat önmagával párhuzamosan el kell tolni ahhoz, hogy a ferde úszáshelyzetben a helyes értékű  $\nabla$  vízkiszorítás alakuljon ki. Ehhez lemérjük minden bordametszeten a kiemelkedő és bemerülő félszélességeket a ferde vízvonalon az előző (egyenes úszáshelyzethez tartozó) és a jelenlegi vízvonál metszéspontjától a hajótest széléig. Ezekből numerikus integrálással a hajó teljes hosszára kiszámítjuk a ferde vízvonál területét.

$$A_{WL\ \varphi 1} = \Sigma (b_{be\ n\ \varphi 1} + b_{ki\ n\ \varphi 1})$$

A  $b_{be\ n\ \varphi 1}$  és  $b_{ki\ n\ \varphi 1}$  értéke akkor pozitív, ha  $b_{be\ n\ \varphi 1}$  az alacsony,  $b_{ki\ n\ \varphi 1}$  pedig a magas oldalon van a vízvonalak metszéspontjától.

A vízvonál-korrektio értéke, ha a korrekciós térfogatot a vízvonalfelülettel megegyező alakú vékony réteggel helyettesítjük:

$$dT_{\varphi 1} = (v_{be\ \varphi 1} + v_{ki\ \varphi 1}) / A_{WL\ \varphi 1}$$

(a tört számlálója a kiemelkedő térfogat negatív előjele miatt a két térfogat különbsége; pozitív, ha a bemerülő térfogat nagyobb a kiemelkedőnél és ellenkezőleg)

A  $\varphi_1$  dőlésszögű úszáshelyzethez tartozó korrigált vízvonál és az egyenes úszáshelyzet vízvonálának metszéspontjának helyzete az előző metszésponthoz képest (ebben az esetben ilyen nem létezik, tehát az egyenes vízvonál és a hossz-szimmetriasík metszéspontjához képest)

$$dy_{\varphi 1} = dT_{\varphi 1} / \sin \varphi_1 \quad dz_{\varphi 1} = 0 \text{ (a metszéspont a vízszintes vízvonálra esik)}$$

a hossz-szimmetriasíkhöz és az alapvonálhoz képest

$$\Sigma dy_{\varphi 1} = 0 + dT_{\varphi 1} / \sin \varphi_1 \quad \Sigma dz_{\varphi 1} = T + 0$$

A korrekcióval elértük, hogy a ferde úszáshelyzetben a korrigált vízvonál alatti térfogat megegyezik az egyenes úszáshelyzethez tartozó vízkiszorítás térfogatával. Szükségünk van azonban a korrekciós térfogat súlypontjának helyzetére, ehhez előbb a vízvonál nyomatékát kell a két vízvonál metszéspontjára (ebben az esetben az megegyezik a hossz-szimmetriasík és a ferde vízvonál metszéspontjával) meghatározni saját síkjában.

$$M_{y_{WL \varphi 1}} = \Sigma 0,5(b_{be \ n \ \varphi 1} + b_{ki \ n \ \varphi 1})(b_{be \ n \ \varphi 1} - b_{ki \ n \ \varphi 1}) \ dx$$

$$y_{AWL \varphi 1} = M_{y_{WL \varphi 1}} / A_{WL \varphi 1}$$

A korrekciós térfogat súlypontjának koordinátái:

$$y_{dT \varphi 1} = y_{AWL \varphi 1} \cos \varphi_1 + 0,5 \ dT_{\varphi 1} \sin \varphi_1$$

$$z_{dT \varphi 1} = T + y_{AWL \varphi 1} \sin \varphi_1 - 0,5 \ dT_{\varphi 1} \cos \varphi_1$$

A vízkiszorítás súlypontjának helyzetéhez ki kell számolnunk a ferde úszáshoz tartozó vízkiszorítás nyomatékát a hossz-szimmetriasíkra és az alapvonalra.

$$M_{y_{\varphi 1}} = v_{be \ \varphi 1} y_{be \ \varphi 1} - A_{WL \ \varphi 1} \ dT_{\varphi 1} y_{dT \ \varphi 1} - v_{ki \ \varphi 1} y_{ki \ \varphi 1}$$

$$M_{z_{\varphi 1}} = \nabla KB + v_{be \ \varphi 1} z_{be \ \varphi 1} - A_{WL \ \varphi 1} \ dT_{\varphi 1} z_{dT \ \varphi 1} - v_{ki \ \varphi 1} z_{ki \ \varphi 1}$$

A vízkiszorítás súlypontjának koordinátái:

$$y_{\varphi 1} = M_{y_{\varphi 1}} / \nabla$$

$$z_{\varphi 1} = M_{z_{\varphi 1}} / \nabla$$

A visszatérítő kar mérete:

$$GZ_{\varphi 1} = y_{\varphi 1} + (z_{\varphi 1} - KB) \operatorname{tg} \varphi_1 - GB \sin \varphi_1$$

### 3. *Ferde úszás* ( $\varphi_n$ ), azaz $\varphi_1 + (n-1)\delta\varphi$ dőlésszögnél

A  $\varphi_2$  dőlésszöghöz tartozó korrigálatlan ferde úszásvonalat azon a ponton át húzzuk meg, amelyet az egyenes és a  $\varphi_1$  dőlésszögű úszáshoz tartozó korrigált vízvonál metszéspontja jelöl ki (koordinátái a hajóhoz rögzített koordináta-rendszerben  $dy_{\varphi 1}$  és  $dz_{\varphi 1}$ ).

Megismételjük az adatfelvételt és a numerikus integrálási műveleteket. A vízvonál

metszéspont eltolódása miatt azonban a korrekciós térfogat számításától kezdve eltérések vannak az előző úszáshelyzethez képest. Korrigált vízvonál és az előző vízvonál metszéspontjának koordinátái:

$$dy_{\varphi 2} = (dT_{\varphi 2} / \sin \delta \varphi) \cos \varphi_1 \quad dz_{\varphi 2} = (dT_{\varphi 2} / \sin \delta \varphi) \sin \varphi_1$$

$$\Sigma dy_{\varphi 2} = dy_{\varphi 1} + dy_{\varphi 2} \quad \Sigma dz_{\varphi 2} = T + dz_{\varphi 1} + dz_{\varphi 2}$$

A korrekciós térfogat koordinátái:

$$y_{dT \varphi 2} = dy_{\varphi 1} + y_{AWL \varphi 2} \cos \varphi_2 + 0,5 dT_{\varphi 2} \sin \varphi_2$$

$$z_{dT \varphi 2} = T + dz_{\varphi 1} + y_{AWL \varphi 2} \sin \varphi_2 - 0,5 dT_{\varphi 2} \cos \varphi_2 \quad (dz_{\varphi 1} = 0)$$

A vízkiszorítás súlypontjának meghatározásakor az előző esettel szemben, amikor az előző (vízszintes) úszáshoz tartozó y koordináta nulla értékű volt, a keresztirányú nyomaték

$$M_{y \varphi 2} = \nabla y_{\varphi 1} + v_{be \varphi 2} y_{be \varphi 2} - A_{WL \varphi 2} dT_{\varphi 2} y_{dT \varphi 2} - v_{ki \varphi 2} y_{ki \varphi 2}$$

Az alapvonalra vett nyomaték kifejezése analóg az előzővel, csak a megfelelő indexű mennyiségeknek kell szerepelniük benne

$$M_{z \varphi 2} = \nabla KB + v_{be \varphi 2} z_{be \varphi 2} - A_{WL \varphi 2} dT_{\varphi 2} z_{dT \varphi 2} - v_{ki \varphi 2} z_{ki \varphi 2}$$

A vízkiszorítás súlypontjának koordinátái és a visszatérítő kar analóg az előző lépéssel ( $\varphi_1$ ).

Általános esetben, amikor a T merülésnél és a hozzátartozó  $\nabla$  vízkiszorítás térfogatnál az m-edik ferde úszásvonalat vizsgáljuk, a számításnál használt mennyiségek az alábbiak

n = bordametszet sorszáma

m = dőlésszög sorszáma

$\varphi$  = dőlésszög

$x_{AWL \varphi m}$ ,  $y_{AWL \varphi m}$  = ferde vízvonál súlypont koordinátái  $\varphi_m$  dőlésnél saját síkban

$b_{kin \varphi m}$ ,  $b_{ben \varphi m}$  = vízvonál szélességi méretei saját síkjában n-edik bordánál

( $b_{kin \varphi m}$  negatív,  $b_{ben \varphi m}$  pozitív)

$A_{kin \varphi m}$ ,  $A_{ben \varphi m}$  = bordaterület kiemelkedő ill. bemerülő része n-edik bordánál (ki negatív, be pozitív)

$dT_{\varphi m}$  = merülés-korrekció  $\varphi_m$  dőlésnél (pozitív, ha  $V_{be \varphi m} > V_{ki \varphi m}$ )

$dy_{\varphi m}$ ,  $dz_{\varphi m}$  =  $\varphi_m$  dőlés korrigált vízvonál és  $\varphi_{m-1}$  korrigált vízvonál

metszéspontjának y és z irányú távolsága az előző vízvonál-

metszéstől

$\Sigma dy_{\varphi m}, \Sigma dz_{\varphi m} = \varphi_m$  dőlés korrigált vízvonala és  $\varphi_{m-1}$  korrigált vízvonala metszéspontjának y és z irányú távolsága a hossz-szimmetriásktól és az alapvonalától

$y_{dT_{\varphi m}}, z_{dT_{\varphi m}} = A_{WL\varphi m} \times dT_{\varphi m}$  korrekciós térfogat súlypont koordinátái

$y_{\varphi m}, z_{\varphi m} =$  vízkiszorítás súlypont koordinátái  $\varphi_m$  dőlésnél

$GZ_{\varphi m}, G, B =$  a stabilitás karja  $\varphi_m$  dőlésnél; rendszersúlypont és vízkiszorítás súlypont egyenes úszásnál

A  $\varphi_m$  dőlésszöghöz tartozó számítás menete analóg a  $\varphi_2$  dőlésszöggel, azonban a korrigált vízvonala és az előző vízvonala metszéspontjának koordinátái, valamint a korrekciós térfogat súlypontjának koordinátái az alábbi kifejezésekkel írhatók le:

$$dy_{\varphi m} = (dT_{\varphi m} / \sin \delta \varphi) \cos \varphi_{m-1} \quad dz_{\varphi m} = (dT_{\varphi m} / \sin \delta \varphi) \sin \varphi_{m-1}$$

$$\Sigma dy_{\varphi m} = dy_{\varphi 1} + dy_{\varphi 2} + \dots + dy_{\varphi(m-1)} + dy_{\varphi m}$$

$$\Sigma dz_{\varphi m} = T + dz_{\varphi 1} + dz_{\varphi 2} + \dots + dz_{\varphi(m-1)} + dz_{\varphi m}$$

$$y_{dT_{\varphi m}} = \Sigma dy_{\varphi m} + y_{AWL \varphi m} \cos \varphi_m + 0,5 dT_{\varphi m} \sin \varphi_m$$

$$z_{dT_{\varphi m}} = T + \Sigma dz_{\varphi m} + y_{AWL \varphi m} \sin \varphi_m - 0,5 dT_{\varphi m} \cos \varphi_m$$

A visszatérítő nyomaték karja

$$GZ_{\varphi m} = y_{\varphi m} + (z_{\varphi m} - KB) \operatorname{tg} \varphi_m - GB \sin \varphi_m$$

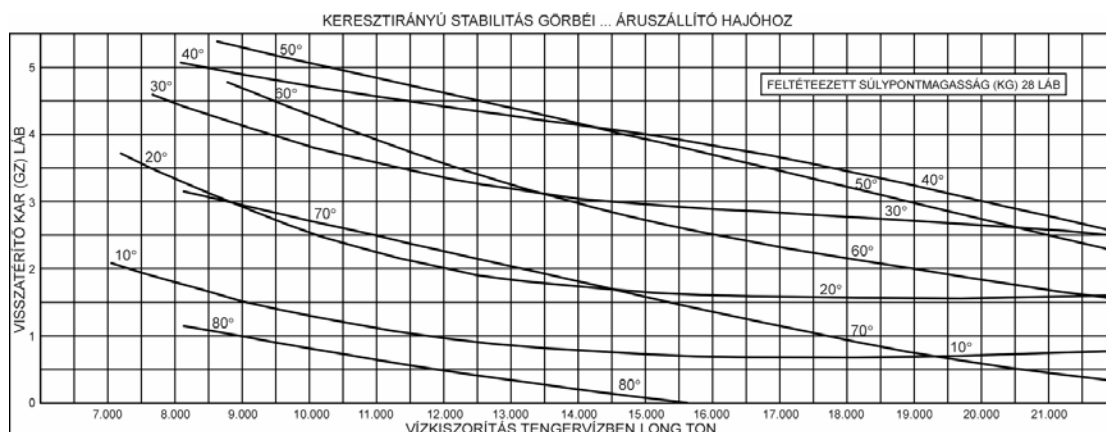
### 2.3.2.2.1.2.3 A keresztirányú stabilitás görbéi

A hajóhoz a különböző merülésekhez, vagyis vízkiszorításokhoz meghatározott visszatérítő karok görbeseregben ábrázolhatóak, ahol a görbék paramétere a dőlésszög. Ezeket a görbéket a hajó *keresztstabilitási görbéinek* nevezik. A görbék közül nyert adatok csak abban az esetben adnak egzakt eredményt, ha a hajó rendszersúlypontja egybeesik a *pólussal*, vagyis a  $G$  súlypontnak azzal a helyzetével, amelyet a számításoknál feltételeztek. A 2.3.2.2.1.2.3.1 ábrán egy szokásos keresztstabilitási görbesereg látható. A görbék vízkiszorítás intervalluma az üres hajóval kezdődik, felső határa jóval a maximális terhelés vízvonala fölött van, mivel szükség van a stabilitás értékeire az esetleges *lékesedett állapotban* is.

A *keresztstabilitási görbék megszerkesztésénél* a következő feltételezéseket teszik.

- A hajó rendszersúlypontja a dőlés szögétől függetlenül fix helyzetben marad a pólusban, vagyis a feltételezett súlypontban.
- A hajótest *fenék-, oldal- és szabad (időjárás vagy szabadoldal) fedélzeti szerkezete* teljesen vízáró.

- A felépítmények és fedélzeti házak a szabad fedélzet felett nem vízzáróak. A vízmentesség ezeknél a szerkezeteknél, amely a vízmentes ajtók jó zárása miatt jöhet létre, további biztonságot jelent a stabilitásban ahhoz képest, ami az érintett szerkezetek víz alá kerülése esetén a keresztstabilitási görbékből kiszámítható.
- A vízbemerült függelékek esetében, amilyen a kormánylapát, a hajócsavarok, stb., valamint szabadon elárasztható terek, mint a nagyobb méretű vízszekrények, a térfogat figyelembe vétele érdekében korrekciókat kell alkalmazni.



2.3.2.2.1.2.3.1 ábra Áruszállító hajó keresztstabilitási görbéi

#### 2.3.2.2.1.2.4 A sztatikus stabilitási görbe megszerkesztése

A keresztstabilitás görbéi megfelelő alakot biztosítanak annak az információnak a tárolására, amely ahhoz szükséges, hogy a hajó nagy dőlésszögnél mérhető stabilitásának jellemzőit meg lehessen határozni bármilyen vízkiszorításnál, de ugyanolyan feltételezett rendszersúlypont helyzetnél. Ami azonban a hajó üzemeltetőjének, illetve a tervezés során a hajótervezőnek kell, olyan eszköz, amivel meghatározhatók a visszatérítő karok vagy nyomatékok, amikor a hajó bármilyen szögben megdől, mégpedig egy adott rakodási állapotban, tehát adott vízkiszorításnál, és olyan rendszersúlypont helyzetnél, amely eltér attól, amelyet a keresztstabilitás görbéinek meghatározása során feltételeztek. Ez a megfelelő formátum a *sztatikus stabilitási görbe*, ahol a visszatérítő karok a dőlésszög függvényében vannak ábrázolva. Korábban láttuk már, milyen a sztatikus stabilitási görbe forgástesteknél. Ha egy hajónál adottak a keresztstabilitás görbéi, a sztatikus stabilitási görbe úgy szerkeszthető meg, hogy a keresztstabilitás görbéiből a megfelelő vízkiszorításnál leolvassuk a visszatérítő karok értékeit, és *korrekciót* alkalmazunk a *tényleges rendszersúlypont helyzetre*. Kétféle korrekcióra lehet szükség: egyik a *G* súlypont helyzete a gerinc felett (*KG*), a másik a *G* helyzete a hossz-szimmetriásktól (*TCG*). A függőleges helyzet korrekciója szinte mindig szükséges, hiszen csak csodával határos esetekben egyezik meg a hajónál ténylegesen érvényes *KG* érték a megadott rakodási helyzetben azzal, amit teljesen önkényesen *póluspontnak* választottak a keresztstabilitás görbéinek



megszerkesztése során. A keresztirányú súlyponthelyzet korrekciója ezzel szemben ritkán válik szükségessé rutin rakodási helyzetben, mert a hajók rakodásakor mindig törekednek arra, hogy a súlypont középre essen, és a hajó egyenesen ússzon. A  $G$  függőleges korrekciójának elve a 2.3.2.2.1.2.4.1 ábrán látható. A jelölések jelentése:

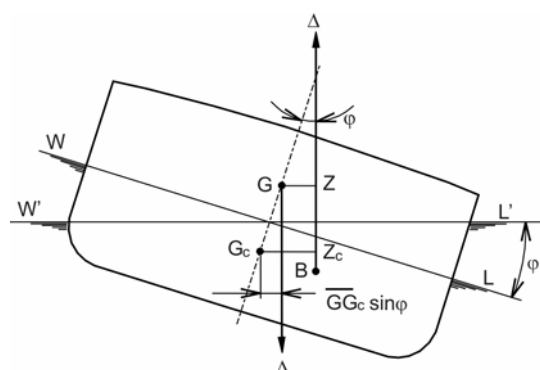
$G_c$  = a keresztstabilitás görbéinek szerkesztésekor feltételezett súlypont (pólus)

$G_c Z_c$  = a keresztstabilitás görbéiből leolvasott visszatérítő kar

$G$  = tényleges súlypont

$GZ$  = tényleges visszatérítő kar

$\varphi$  = dőlésszög



2.3.2.2.1.2.4.1 ábra A  $G$  súlypont függőleges mozgásának hatása a  $GZ$  értékére

A tényleges és a keresztstabilitás görbéiből leolvasott visszatérítő kar összehasonlításakor látható, hogy

$$GZ = G_c Z_c - GG_c \sin \varphi$$

és az is nyilvánvaló, hogy valamennyi visszatérítő kar kisebb lesz, mint a görbékből leolvasott, mivel a tényleges súlypont magasabban fekszik, mint a feltételezett. Tehát a  $G$  felfelé történő elmozdulása csökkenti a stabilitást, ahogy azt a kezdeti stabilitás mérésére alkalmas  $GM$  csökkenése esetén láttuk. Ha feltételezzük, hogy a tényleges súlypont a feltételezettnél lejjebb helyezkedik el, könnyű belátni, hogy a fenti egyenlet értelmében nagyobbak lesznek a visszatérítő karok, mint a görbékből leolvasott értékek. Ezért a képletben az előjelet  $\pm$  jelre változtatjuk, a plusz akkor érvényes, ha a valóságos súlypont a feltételezett alatt van.

#### Példa

Határozzuk meg annak a hajónak a statikus stabilitási görbéit, amelynek keresztstabilitási görbéi a 2.3.2.2.1.2.3.1 ábrán láthatók, ha a hajó vízkiszorítása 12.000 long ton, a  $KG$  értéke pedig a következő három értéket veszi fel:

- $KG = 26$  láb
- $KG = 28$  láb
- $KG = 30$  láb

Rajzoljuk fel a három görbét egy koordináta-rendszerben.

A keresztstabilitás görbéinek szerkesztésénél a  $KG$  feltételezett értéke 28 láb volt, így a b) statikus stabilitási görbe felrajzolását a görbékről 12.000 long ton vízkiszorításánál leolvasott  $GZ$  értékekkel végezhetjük el.

Az a) görbéhez

$$GG_c = 28 - 26 = 2 \text{ láb}$$

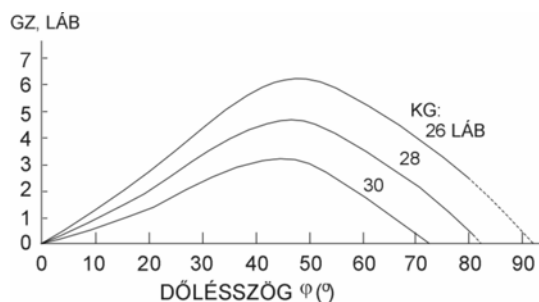
$GG_c \sin \varphi = 2 \sin \varphi$ , amelyet hozzá kell adni, mert a tényleges  $G$  a feltételezett  $G_c$  alatt van.

A c) görbéhez

$GG_c = 30 - 28 = 2$  láb a korrekciós  $2 \sin \varphi$  pedig levonandó, mivel a tényleges  $G$  a feltételezett  $G_c$  fölé esik. A munkát táblázatos alakban lehet legjobban elvégezni.

Visszatérítő karok hossza  $\Delta = 12.000$  long ton vízkiszorításnál

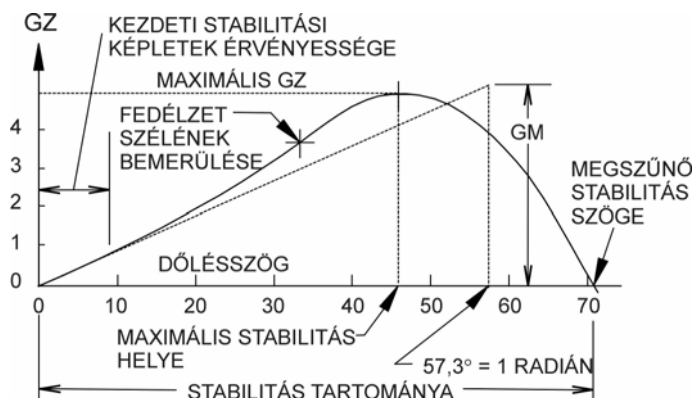
Dőlés $\varphi^\circ$	KG 28 láb	$GG_c \sin \varphi$	KG 26 láb	KG 30 láb
0	0	0	0	0
10	0,95	0,35	1,30	0,60
20	2,00	0,68	2,68	1,32
30	3,38	1,00	4,38	2,38
40	4,42	1,29	5,71	3,13
50	4,62	1,53	6,15	3,09
60	3,60	1,73	5,33	1,87
70	2,27	1,88	4,15	0,39
80	0,50	1,97	2,47	-1,47



2.3.2.2.1.2.4.2 ábra

A táblázat oszlopainak megfelelő három sztatikus stabilitási görbe a 2.3.2.2.1.2.4.2 ábrán látható. Jól mutatja, hogy a visszatérítő karok minden dőlésszögnél csökkennek, amikor a rendszersúlypont felfelé mozog és a KG értéke nő.

### 2.3.2.2.1.2.5 A sztatikus stabilitási görbe elemzése



2.3.2.2.1.2.5.1 ábra A sztatikus stabilitási görbe jellemzői

A 2.3.2.2.1.2.5.1 ábra tipikus sztatikus stabilitási görbét mutat. A hajó geometriai és súlyponti szimmetriája miatt mindegy, hogy a megdőlés balra vagy jobbra történik. A görbéket ugyan fel lehet rajzolni olyan dőlésszögekre is, ahol a

visszatérítő karból kitérítő vagy felborító kar lesz, vagyis negatív értékű, a görbéket csak a pozitív visszatérítő karok tartományában rajzolják meg.

A hajó stabilitásának teljes megértése érdekében nemcsak azt kell tudnunk, hogyan

lehet meghatározni a görbék értékeit, hanem azt is, miért olyan alakja van, amilyen, és milyen jelentősége van a görbe tipikus jellemzőinek. Ezért van szükség arra, hogy elemezzük a sztatikus stabilitási görbéket, vagyis „anatómiájukat tanulmányozzuk.

### ***Az első néhány fokos dőlés***

A sztatikus stabilitási görbe érvényessége nincs a nagy dőlésszögeknél korlátozva úgy, ahogy a kezdeti stabilitást kis dőlésszögekre kellett korlátozni. A visszatérítő karokat kis és nagy dőlésszögeknél egyaránt megadja. Tehát a görbe kezdeti szakaszának (az első 10 fok) összhangban kell lennie a kezdeti stabilitás értékeivel, vagyis a metacentrikus magassággal ( $GM$ ). A mint korábban láttuk,

$$GZ = GM \sin \varphi \quad [\text{a } \varphi \text{ értéke kicsi}]$$

amint pedig a  $\varphi$  zéróhoz közelít, a  $\sin \varphi = \varphi$  (radián). Tehát ezeknél a kis szögeknél, írhatjuk, hogy

$$GZ = GM \times \varphi \quad [\text{a } \varphi \text{ értéke nagyon kicsi}]$$

Ezeket az egyenleteket ábrázolhatjuk a sztatikus stabilitási görbében, az utóbbi az egyszerűbb, amely annak az egyenes vonalnak felel meg, amelynek meredeksége (differenciálja) a metacentrikus magassággal egyenlő ( $GM$ ). A sztatikus stabilitási görbe az origóban egybeesik az egyenessel, tehát annak a meredeksége is  $GM$ . Az első néhány fokos dőlésnél alig tér el tőle. A görbe megrajzolásánál ezt a tulajdonságot fel lehet használni, mivel az egy radián ( $180/\pi$ , azaz 57,3 fok) dőlésszögnél felrajzolt  $GZ = GM$  azt a derékszögű háromszöget jelöli ki, amelynek átfogója a görbe érintője az origóban. Ha a  $GZ = GM \sin \varphi$  egyenletet is ábrázoljuk, látható, hogy mindhárom nagyon közel van egymáshoz az origó környékén.

### ***A meredekség növekedése a kezdeti egyeneshez képest***

A szokásos hajótest formáknál a sztatikus stabilitási görbe eltér kezdeti irányától, és meredeksége nő a dőlésszöggel. Ennek okára a 2.3.2.2.1.2.2.3 ábra világít rá. Amint a hajó az egyenes úszáshoz képest ( $WL0$ ) megdől, és a  $WL1$  új vízvonal alakul ki, a vízkiszorítás alakja megváltozik, a kiemelkedő éktérfogat áthelyeződik a bemerülő ékbe (az ábrán 1-gyel jelölve). Mivel a vízkiszorítás súlypontjának mozgása nagyobb a hossz-szimmetriasíkra merőlegesen, mint azzal párhuzamosan felfelé, amint a  $B$  új helyzete (1) mutatja (amely elmozdulás a korábban már láttak alapján párhuzamos az 1-es éktérfogatok súlypontjainak összekötő egyenesével), a  $B$  vízkiszorítás súlypont pályájának kezdő érintője vízszintes, tehát a visszatérítő kar mérete kezdetben gyorsan nő. A második és harmadik lépésben is még dominál a vízszintes elmozdulás, ezért kezdetben a  $GZ$  visszatérítő kar mérete egyre növekedő ütemben nő.

### ***A fedélzet szélének bemerülése***

A dőlésszög növekedése során a hajó elér egy olyan pontot, amikor a fedélzet széléig ér

a víz a bemerülő (alacsony) oldalon, az ábrán ezt a  $WL3$  vízvonal jelzi. Valójában, mivel a hajó bordametszetei változnak a hajóhossz mentén, a *fedélzet szélének bemerülése* nem egyszerre történik a teljes hajóhosszon, hanem egy néhány fokos intervallumban fokozatosan. Az azonban általános trend, ahogy az ábra is mutatja, hogy a fedélzet bemerülése után már a térfogatékek közötti súlypontmozgás vízszintes összetevője jóval kisebb, és a  $B$  súlypont pályája felfelé görbül. Ez a hatás azonban azt is magával hozza, hogy a  $GZ$  értékei lassabban nőnek, tehát ezen a részen a sztatikus stabilitási görbében inflexiós pont van (görbületváltás). Ez a folyamatosan csökkenő meredekség a görbében oda vezet, hogy maximumot ér el, utána pedig viszonylag gyorsan csökken az amplitúdója.

A fedélzet szélének bemerülése nagy hatással van tehát a nagy dőlésszögeknél érvényes stabilitásra, aminek fontos következményei vannak mind a hajótervezőre, mind a hajó üzemeltetőjére nézve. A tervezési szempont az, hogy azok a hajók, ahol kisebb lehet a szabadoldal (amelyek nagy fajsúlyú rakományt szállítanak, tehát nem kell nagy térfogatú raktér), hajlamosabbak arra, hogy nem lesz megfelelő méretű a visszatérítő kar és a nyomaték nagyobb dőlésszögeknél, mivel a fedélzet szélének bemerülése és a *sztatikus stabilitási görbe maxima* viszonylag kis dőlésszögeknél található. Ennek a problémának az elkerülése érdekében a kis szabadoldallal rendelkező hajókat úgy kell megépíteni, hogy viszonylag nagy legyen a metacentrikus magasságuk, ugyanis a görbe nagyobb kezdeti meredeksége biztosíthatja, hogy akkor is elegendő visszatérítő nyomatékkal rendelkezzenek, ha a maximális  $GZ$  érték kisebb dőlésszögnél alakul ki. A hajót üzemeltető tiszt számára pedig, akinek kötelessége a hajó biztonságára ügyelni, a fedélzet szélének víz alá merülése, amelyet okozhat nagyobb *billegés* (rollázás) vagy a rakomány elmozdulása a viharos tenger miatt, olyan állapotot jelent, amely ellen lehetőleg azonnali intézkedéseket kell hozni, mivel ez esetleg a hajó *felborulásának* előjele lehet.

### ***A görbe maxima***

A sztatikus stabilitási görbe legmagasabb pontja két mennyiséget képvisel, amelyek a hajó általános stabilitási állapotáról igen lényeges dolgokat közölnek. Ezek egyike a *visszatérítő kar legnagyobb értéke*, a másik pedig az a dőlésszög, ahol ez ébred. A maximális visszatérítő kar ( $GZ_{\max}$ ) fontossága abban van, hogy annak és a hajó vízkiszorításának a szorzata adja ki azt a maximális állandó kitérítő (borító) nyomatékot, amelyet a hajó el tud viselni felborulás nélkül; másként fogalmazva, ha a hajót egy állandó külső kitérítő nyomaték (pl. szél erő) a maximális stabilitású dőlésszögig megdönti, a hajó fel fog borulni.

### ***A stabilitás tartománya***

A maximális stabilitás helyén túl (nagyobb dőlésszögeknél) a visszatérítő kar csökken, gyakran sokkal gyorsabban, mint ahogy nőtt a maximumig. A gyors csökkenéssel a  $GZ$  eléri azt a pontot, ahol nullára csökken, a görbe metszi a dőlésszög-tengelyt. Ez a dőlésszög az úgy nevezett *stabilitás megszűnésének szöge*, ennél nagyobb dőlésnél a  $GZ$  értéke negatív. Utána már kitérítő vagy borító karról beszélnek. Amelyik hajó ennél a dőlésszögnél jobban megdől, az felborul, függetlenül a megdőlés okától vagy

időtartamától. A szokásos sztatikus stabilitási görbe két pontban (dőlésszögnél) metszi a vízszintes tengelyt, mindkettő sztatikus egyensúlyi állapotot jelent, mivel a  $GZ$  értéke nulla. Ezek azonban a hajó viselkedése szempontjából homlokegyenest ellenkező értelműek. A tengely „felfelé” való metszése (a  $GZ$  értéke pozitív a metszésponttól jobbra) *stabil egyensúlyi állapotot* jelent, mert az átmeneti jellegű nagyobb megdőlés visszatérítő nyomatékot generál, amely a hajót vissza akarja téríteni abba az úszáshelyzetbe, ahol egyensúlyban lehet, amint a dőlést előidéző ok megszűnik. A „lefelé” történő metszés pontjától azonban (a  $GZ$  értékei negatívak a nagyobb dőlésszögeknél), amilyen a megszűnő stabilitás szöge, a további dőlés arra készteti a hajót, hogy a külső hatás megszűnése után billenjen ki az egyensúlyi állapotból. Tehát a lefelé való átmenet a tengelyen *labilis egyensúlyi állapotot* jelez. A fel- és lefelé való metszés között a hajó, amelyet külső kitérítő nyomaték kényszerít megdőlésre vagy billegésre, vissza fog térni stabil egyensúlyi állapotába, amint a külső kitérítő nyomaték megszűnik, ezért a két metszéspont közötti intervallumot a *stabilitás tartományának* nevezzük. A stabilitás tartományának megadásakor mindkét egyensúlyi állapot dőlésszögét meg kell jelölni, még akkor is, ha a stabil egyensúly nulla foknál alakul ki. Tehát ha a hajó egyenes úszásnál van stabil egyensúlyban és megszűnő stabilitásának szöge 80 fok, azt mondják, hogy a hajó nullától 80 fokig terjedő stabilitás-tartománnyal rendelkezik. A későbbiekben azonban fogunk látni olyan eseteket, amikor a stabil egyensúlyi állapot nem egyenes úszásnál van.

A hajó stabilitásának, vagyis azon tulajdonságának, hogy még legnagyobb stabilitásának helyénél nagyobb dőlésszögekből is vissza tud térni egyenes úszáshelyzetébe, a gyakorlatban vannak rejtett buktatói. Ugyanis a keresztirányú stabilitás görbéit azzal a feltételezéssel szerkesztették meg, hogy a *szabadoldal fedélzet* tökéletesen ép, vagyis vízálló. Ez kizárólag a tengeralattjárók esetében igaz. A felszíni hajók fedélzetén vannak *nyílások*, mint pl. rakodónyílások, lejárók, szellőztetés, csövek és még számos más célra készült nyílás. A megfelelően megépített fedélzeti nyílások vízmentesek, de valójában nem lehet mindet tökéletesen vízzáróra készíteni, azon kívül mindig ott van az emberi hiba lehetősége is, pl. a rakodónyílás fedelek és ajtók nem kellő elővigyázatos lezárása. Olyan dőlésszögek esetén, ahol a fedélzet egy részére is felmegy a víz, mindig megvan annak lehetősége, hogy ilyen nyílásokon *víz kerül a hajótestbe*. Ezt a jelenséget *vízbejutásnak* nevezik, és azt a legkisebb szöget, ahol ez előfordulhat, *vízbejutási szögnek*. Ha a hajóba ilyen módon túl sok víz jut be, többé már nem érvényes eredeti formájában a sztatikus stabilitási görbe, ugyanis megváltozott a hajó rakodási állapota. Tehát a vízbejutási szögnél nagyobb dőlésszögek esetén a sztatikus stabilitási görbét érvénytelennek kell tekinteni. Nagyobb hajóknál a vízbejutást ritkán tekintik kritikus kérdésnek, kisebb hajóknál azonban, mint pl. a halászhajók, a nyitott fedélzeti haltároló és a viszonylag kis szabadoldal komoly vízbejutási veszélyt képez. Ilyen hajóknál ezért a stabilitás tartományát csak a vízbejutás szögéig számolják, nem a megszűnő stabilitás szögéig.

### ***A negatív kezdeti stabilitás és a sztatikus stabilitási görbe kapcsolata***

Az a hajó, amelynek metacentrikus magassága negatív (a  $G$  az  $M$  felett van) nem úszhat egyenes helyzetben, mivel az labilis egyensúlyi helyzet. Akkor tehát ez a hajó fel fog

borulni a legkiesebb külső hatásra? Szerencsére a legtöbb hajónál erre a kérdésre a válasz az, hogy nem, bár erre a következtetésre nem lehet eljutni, ha csak a kezdeti stabilitást vizsgáljuk. A helyzet megvilágítása érdekében lássuk a következő példát, ahol az eredményül felrajzolt sztatikus stabilitási görbén megtaláljuk a magyarázatot.

#### *Példa*

Az a hajó, amelynek keresztstabilitási görbéi a 2.3.2.2.1.2.3.1 ábrán láthatóak, tengervízben 27 láb 0 hüvelyk merüléssel úszik,  $KG = 31,8$  láb súlypontmagassággal. Állapítsuk meg, hogy a hajó egyenes úszásnál labilis. Számítsuk ki a sztatikus stabilitási görbe értékeit ( $GZ$ ) és rajzoljuk fel a görbét ehhez a rakodási helyzethez.

A hajó jellemző görbéiből leolvassuk, hogy  $27'0''$  merülésnél a vízkiszorítás  $\Delta = 18.800$  long ton és a metacentrum magassága a gerinc felett  $KM = 31,1$  láb. Tehát a metacentrikus magasság

$$GM = KM - KG = 31,1 - 31,8 = -0,7 \text{ láb}$$

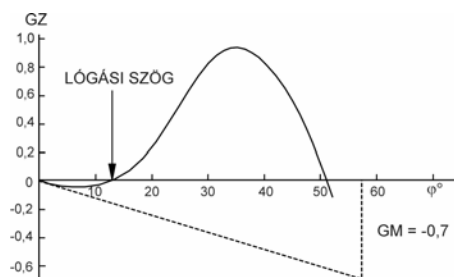
Tehát a  $GM$  valóban negatív értékű, a hajó labilis egyenes úszáshelyzetben, ezért nem tud egyenesen úszni. Mivel a hajó súlypontjának helyzete feljebb van, mint a 28 láb  $KG_c$ , amellyel a keresztstabilitás görbéit mint pólussal megrajzolták, a görbékől leolvasott visszatérítő kar értékeket korrigálni kell, azaz le kell vonni belőlük a  $GG_c \sin \varphi$  értékeket,

$$GG_c = KG - 28 = 31,8 - 28 = 3,8 \text{ láb}$$

A keresztstabilitás görbéiről 18.800 long ton vízkiszorításnál leolvassuk a  $GZ$  értékeket, és az alábbi táblázatban elvégezzük a számítást:

Visszatérítő karok értéke  $\Delta = 18.800$  long ton és  $KG = 31,8$  láb esetén

$\varphi$	$G_c Z_c$	$GG_c \sin \varphi =$	$GZ$
0	0	0	0
10	0,63	0,66	-0,03
20	1,53	1,30	0,23
30	2,72	1,90	0,82
40	3,26	2,44	0,82
50	3,02	2,91	0,11
60	2,04	3,29	-1,25



2.3.2.2.1.2.5.2 ábra

60-fokos dőlés felett nem érdemes tovább számolni, mert minden  $GZ$  negatív lesz.

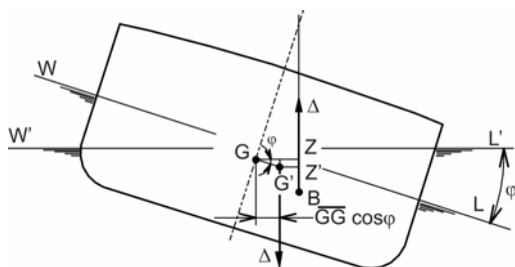
A megrajzolt sztatikus stabilitási görbe az 1 radián dőlésszögnél feltüntetett negatív  $GM$ -mel együtt az ábrán látható.

Nem kerülheti el a figyelmünket a görbe különleges formája. Három tengelymetszési pont van, amelyek mind egyensúlyi állapotra utalnak, azonban kettő ezek közül labilis egyensúlyi helyzetet képvisel, mert lefelé lépi át a görbe a tengelyt növekedő dőlésszög esetén. A negatív metacentrikus magasság a tengely alatt van berajzolva, a sztatikus stabilitási görbe pedig negatív meredekséggel indul, ahogy várni lehet. Mivel azonban a hajótest formája olyan, hogy a görbe a kezdeti érintő felett halad, a görbe ismét metszi a tengelyt  $\varphi = 13$  fok dőlésnél, és mindaddig pozitív is marad, amíg csak el nem éri a megszűnő stabilitás dőlésszögét, ami 51 fok ebben az esetben. Azt a szöveget, amelynél a hajó visszanyeri stabil egyensúlyát, *lógási szögnek* nevezik, a jelenséget magát pedig *lógásnak* (lollázásnak). Csendes vízben ez a hajó 13 fok lógásnál jön egyensúlyba. Ennél a hajónál a stabilitás tartomány a lógási szögtől a megszűnő stabilitás szögéig terjed, tehát 13 foktól 51 fokig.

A lógási szög egyedi jellemzője, hogy a hajó egyenes úszáshelyzetétől mindkét oldalon megvan. A hajó attól függően állapodik meg a lógási szögnél bal- vagy jobboldalt, hogy melyik oldalról jött a zavar, ami a kezdeti megdőlését okozta. Amint az ellenkező oldalról érkezik megfelelő intenzitású kitérítő hatás, a hajó átbillen, és utána azon az oldalon foglalja el a lógási szöveget. A lógással úszó hajó mozgása nem harmonikus, gyakorlott tengerésztiszt rövid idő alatt felismeri, és minden körülmények között arra törekszik, hogy megszüntesse a negatív  $GM$  által okozott helyzetet.

#### ***A kitérítő nyomatékok és a sztatikus stabilitási görbe kapcsolata***

Az olyan súlyok, amelyek azt okozzák, hogy a hajó súlypontja keresztirányban nem esik a hossz-szimmetriasíkba, amennyiben kis dőlésszöget okoznak, meghatározhatóak a döntéspróba kiértékelésére használt formulával. Amikor azonban a dőlésszög az excentrikus súly miatt nagyobb, mint 10 fok, már a sztatikus stabilitási görbéhez kell fordulni segítségért.



2.3.2.2.1.2.5.3 ábra A  $G$  oldalirányú elmozdulásának hatása a  $GZ$  értékre

Amikor egy hajó súlypontja  $G$  pontból  $G'$  pontba mozdul el egy súlyösszetevő excentrikus elhelyezése miatt, az ábrán látható úszáshelyzet alakul ki. A  $GZ$  visszatérítő

karok nagyságát a keresztirányú stabilitás görbéiből határoztuk meg, természetesen korrigálva a súlypont tényleges helyzete szerint, amely viszont feltételezésünk szerint a hossz-szimmetriasíkban van. Meg kell azonban határozni a visszatérítő kar csökkenésének mértékét  $GZ$  értékről  $G'Z'$  értékre, amikor a hajó  $\varphi$  szögben megdől. Tegyük fel, hogy a súlypont mozgása tisztán keresztirányban történik ( $GG'$ ), azaz merőlegesen a hossz-szimmetriasíkra illetve párhuzamosan az eredeti egyenes úszási helyzet vízvonalaival. Mindkét visszatérítő kart a ferde úszásvonallal párhuzamosan mérjük. A korrigált visszatérítő kar hossza

$$G'Z' = GZ - GG' \cos \varphi$$

amely az ábrából leolvasható. Az ábrán látható állapot nem csupán a  $G$  súlypont elmozdulása miatt kialakult egyensúlyi helyzet, hanem a külső kitérítő nyomaték és a súlypont elmozdulása által okozott dőlésszög együttes értéke. A  $GG' \cos \varphi$  korrekció ebben az esetben csökkenti a visszatérítő kart, mivel a két kitérítő hatás összeadódik. Ha a külső kitérítő hatást az ellenkező oldalon vizsgáltuk volna, a  $GZ$  értékét növelni kellett volna  $GG' \cos \varphi$  értékkel. Általában azonban a negatív hatás érdekli a hajótervezőt és a hajó irányításáért felelős tisztet is a  $G$  keresztirányú elmozdulásánál, mivel azzal kell tisztában lennie, mennyivel csökkenti a hajó stabilitását az, ha a bekövetkező külső kitérítő hatás miatt az alacsony oldalon a hajó még jobban megdől.

#### Példa

Az előbbi példában szereplő hajó tengervízben úszik egyenes úszási helyzetben, merülése elől és hátul egyaránt  $22'0''$ , a  $KG = 28,0$  láb értékű. Mintegy 500 long ton súlyú rakomány 30 láb távolsággal elmozdul balra. Számítsuk ki a  $GZ$  értékeit és rajzoljuk fel a statikus stabilitási görbét ehhez az úszáshelyzethez, és hasonlítsuk össze a kapott dőlésszöget azzal, amelyet a döntéspróba képletével kapunk. A hajó jellemző görbéiből  $22$  láb merülésnél a vízkiszorítás  $\Delta = 14.800$  long ton és a metacentrum a gerinc felett  $KM = 31,4$  láb magasan helyezkedik el. Tehát:

$$GM = KM - KG = 31,4 - 28,0 = 3,4 \text{ láb}$$

Ebben az esetben nincs szükség a súlypont miatti mínusz korrekcióra, mert a tényleges  $KG$  megegyezik a görbék szerkesztésénél feltételezett értékkel. Azonban a rakomány elmozdulása a hajó súlypontját az alábbi mértékkel oldalra elmozdítja:

$$GG' = wd / \Delta = (500 \times 30) / 14.800 = 1,01 \text{ láb}$$

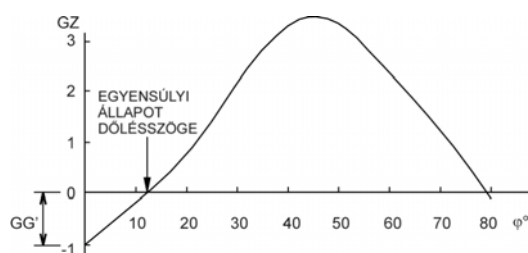
A visszatérítő karok súlypontmozgás miatti korrekciójához le kell vonnunk mindegyik  $GZ$  értékéből az  $1,01 \cos \varphi$  értékét. A számítást az alábbi táblázat tartalmazza, a görbe pedig az ábrán látható.

Visszatérítő karok értéke  $\Delta = 14.800$  long ton és  $GG' = 1,01$  láb esetén

$\varphi$	$G_c Z_c$	$GG' \cos \varphi$	$GZ$
0	0	1,01	-1,01
10	0,81	0,99	-0,18
20	1,67	0,95	0,72
30	2,98	0,87	2,11
40	4,00	0,77	3,23
50	3,97	0,65	3,32
60	2,82	0,51	2,31
70	1,63	0,35	1,28
80	0,10	0,18	-0,08



Ahogy vártuk, a sztatikus stabilitási görbe azt mutatja, hogy az excentrikus súlypont miatt a hajó nem képes egyenes úszásra, mivel az nem egyensúlyi állapot.



2.3.2.2.1.2.5.4 ábra

A stabil egyensúlyi helyzet (felfelé való metszés) 12 foknál alakul ki, ezt okozza a súlypont oldalirányú elmozdulása. Tehát a stabilitás tartománya 12 foktól 79 fokig terjed. Egyenes úszáshelyzetben a hajóra

kitérítő nyomaték hat, amelynek karja  $GG'$  nagyságú, ami megfelel a hajó súlypontjának oldalirányú elmozdulásának.

Nézzük meg, mekkora dőlésszöget ad a döntéspróba egyenlete:

$$\tan \varphi = wd / (\Delta GM) = GG' / GM = 1,01/3,4 = 0,297$$

$$\varphi = 16,5 \text{ fok}$$

A két eredmény közül a sztatikus stabilitási görbe adja a helyes értéket. A döntéspróba egyenlete csak nagyon kis dőlésszögek esetén ad jó értéket, nagyobb szögeknél már minden esetben túlzottan nagy dölést prognosztizál.

### ***Kitérítő és visszatérítő nyomaték görbék***

A sztatikus stabilitási görbéket más módon is ábrázolhatjuk. Nem kell mást tenni, mint a visszatérítő karok helyett a visszatérítő nyomatékokat rajzoljuk fel a dőlésszög függvényében, ahhoz pedig egyszerűen meg kell szorozni minden  $GZ$  értéket a hajó vízkiszorításával ( $\Delta$  vagy  $\Delta_m$ ). Ez a *visszatérítő nyomaték görbe*. A görbe alakja egyáltalán nem változik, mivel a vízkiszorítás állandó, csupán a  $GZ$  skála helyét nyomatékskálára veszi át ( $\Delta \times GZ$  vagy  $\Delta_m \times GZ$ ). Ha ugyanabban a koordináta-rendszerben a visszatérítő karokat és a kitérítő nyomatékokat is ábrázoljuk, a két görbe metszéspontjai az egyensúlyi állapotok helyét, azaz dőlésszögét jelzik. A következő példa szemlélteti az eljárást, az adatok az előző példával egyeznek meg.

### ***Példa***

Végezzük el az alábbi műveleteket az előző példa visszatérítő kar értékeit és súlyponteltolódását figyelembe véve.

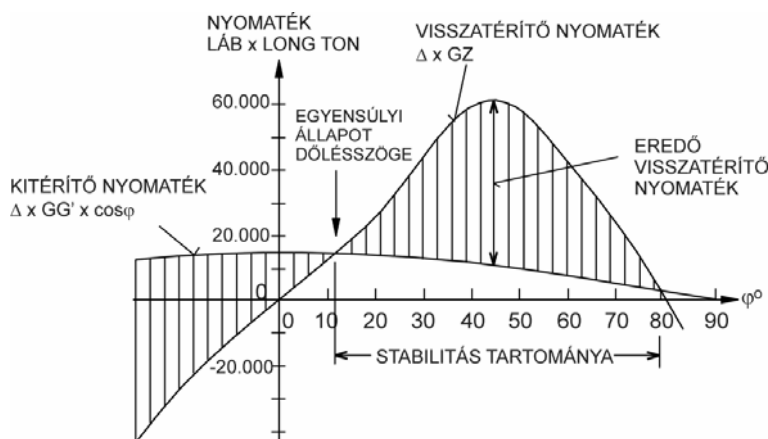
- Rajzoljuk meg a hajó visszatérítő nyomaték görbét a súlyponteltolódást megelőzően. Hosszabbítsuk meg a görbét 30 fokkal az origótól balra, hogy az ellenkező oldali billenést is vizsgálhassuk.
- Rajzoljuk fel a kitérítő nyomatékokat, amelyeket a súlyponteltolódás okoz ugyanabban a koordináta-rendszerben.
- Állapítsuk meg az egyensúlyi úszáshelyzet állandó dőlésszögét, a megszűnő stabilitás szögét és a stabilitás tartományát.

A visszatérítő és kitérítő nyomatékok értékeit úgy kapjuk meg, hogy az előző példa táblázatának értékeit megszorozzuk a vízkiszorítás értékével, ami 14.800 long ton. A számítást a következő táblázat tartalmazza.

Visszatérítő és kitérítő nyomatékok értéke  $\Delta = 14.800$  long ton és  $GG' = 1,01$  láb esetén

$\varphi$	$\Delta \times GZ$	$\Delta \times GG' \cos \varphi$
0	0	14.948
10	11.988	14.652
20	24.716	14.060
30	44.104	12.876
40	57.200	11.396
50	58.756	9.620
60	41.736	7.548
70	24.124	5.182
80	1.480	2.664

A görbék az alábbi ábrán láthatjuk.



2.3.2.2.1.2.5.5 ábra

A ferde egyensúlyi állapot dőlésszögét a két görbe első metszése jelzi (12 fok), a megszűnő stabilitás szögét pedig a második metszés (79 fok). A diagramon a stabilitás tartománya is fel van tüntetve. A görbék meghosszabbítása az

origótól balra jól mutatja, hogy amennyiben a külső kitérítő hatás a súlypont-eltolódással ellenkező irányba billenti ki a hajót, a visszatérítő nyomatékok nagyobbak, mint egyenes egyensúlyi állapotban úszó hajó esetében (súlypont a hossz-szimmetriasíkban) lennének.

A diagram a dőlésszög függvényében a kitérítő és visszatérítő nyomatékokat ábrázolja. Mivel a visszatérítő nyomatékok görbéje csupán léptékben különbözik a sztatikus stabilitási görbétől, alternatívaként úgy is megkaphatjuk ugyanezt a diagramot (visszatérítő és kitérítő karok értékeihez skálázva), ha a kitérítő nyomatékokat osztjuk el a vízkiszorítással, tehát a  $GG' \cos \varphi$  értékeit mérjük fel.

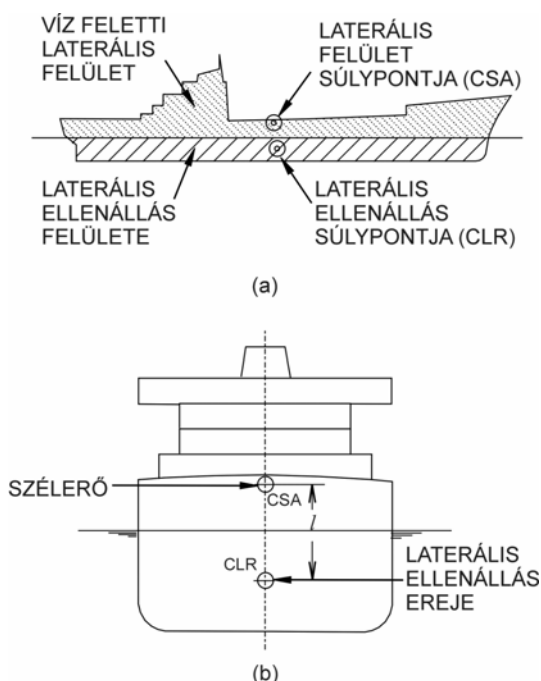
### Néhány alkalmazási példa a kitérítő karok és nyomatékok számítására

#### Excentrikusan berakott rakomány

Az előző két példa rámutatott, milyen hatása van a hajó stabilitására az excentrikusan (nem a hossz-szimmetriasíkban) levő rendszersúlypont, például a rakomány elmozdulása miatt. Ennek tipikus esetei.

1. Nem megfelelően elrendezett rakomány a rakterekben, amikor a hajó erősen hullámozó viharos tengeren hajózik.
2. Rakománykezelés a hajó saját emelő-berendezéseivel.
3. A hajó egyik oldalán csoportosuló emberek.
4. Ónos csapadék által okozott jegesedés a hajó szélfelőli oldalán.

Ezekben az esetekben a hajó súlypontja oldalra helyeződik át  $GG' = wd/\Delta$  távolsággal, amint azt korábban láttuk. A fenti esetekben azonban, a rakománykezelés kivételével, ennek a képletnek a gyakorlatban való alkalmazása nagyon sok fejtörést okozhat, mivel meg kell határozni becsléssel a súly nagyságát és helyét, amely elmozdult illetve többletsúlyként a hajóra került. Emellett, ha a kérdéses súly a hajó  $KG$  értékét és vízkiszorítását is megváltoztatja, amikor a hajóra kerül vagy elmozdul (pl. utasok felfelé haladása az oldalirányú mozgáson kívül), ki kell számítani az új  $KG$  és vízkiszorítás értékét is, mielőtt a  $GG'$  távolságot számolni tudnánk, amely csak a keresztirányú



2.3.2.2.1.2.5.6 ábra A szél kitérítő nyomatéka

változást jelzi a súlypontnál. Nehéz rakomány berakásakor ismerjük a súlyt is és viszonylagos pontossággal annak súlypont helyét is, amikor azonban saját rakodó-berendezéssel rakjuk be a tételt, annak súlya az ismert módon a darugém végére koncentrálódik.

#### Oldalszél

Egy hajó *laterális felületére* erős oldalszélben ható erők képesek nagy megdöléseket okozni, főleg magasabb hajóknál, amilyenek a *konténerszállítók*. A szélerők méretére vonatkozóan sok kutatást végeztek a tengeren és szélcsatornában

modelleken, de elméleti módszereket is dolgoztak ki a folyadékok mechanikája alapján. A nyilvánosságra hozott formulák és számítási eljárások közül az alábbiakban az egyik legismertebb képletet ismertetjük, amelyhez a 2.3.2.2.1.2.5.6 ábra szolgál segédletként. Ezek a képletek csak közelítő eredményt adnak, mivel az együttható (0,0035 ill. 0,0171) mindkét rendszerben szélcsatornában meghatározott átlagérték, a szélesebséget pedig az egész laterális felület mentén állandónak tételezték fel. A tengeren végzett mérések azt mutatják, hogy a valóságos szélesebségek jelentősen változnak attól függően, milyen magasan van elhelyezve a szélesebség mérő műszer a tengerszint felett. A számításokhoz azt ajánlják, hogy a műszert az átlagos 10 m magasan a víz felett helyezték el.

Ez a szél kitérítő karjának formulája, amely a szél borító nyomatéka osztva a hajó

## BBBZ-kódex

---

víz kiszorításával. A kitérítő nyomatékot közvetlenül a hajó sztatikus stabilitási görbéjére lehet felrajzolni. A szél kitérítő karjának (wind heel arm,  $WHA$ ) képlete:

$$WHA = (0,0035 V_w^2 A l \cos^2 \varphi) / (2.240 \Delta)$$

ahol  $WHA$  = szél kitérítő karja, láb  
 $V_w$  = szélesség, csomó  
 $A$  = a hajó oldalnézetében látható laterális felülete a víz felett, láb<sup>2</sup>  
 $l$  = függőleges távolság a víz feletti laterális felület súlypontja és a hossz-szimmetriasíkban levő víz alatti felület (más néven laterális ellenállás felülete) súlypontja között  
 $\varphi$  = dőlésszög  
 $\Delta$  = víz kiszorítás, long ton

SI rendszerben, ha a  $WHA$   $l$  mértékegysége méter,  $A$  m<sup>2</sup>, a  $\Delta_m$  pedig MT, de a  $V_w$  marad csomó, a képlet alakja

$$WHA = 0,0171 V_w^2 A l \cos^2 \varphi / (1.000 \Delta_m)$$

### *Megdőlés állandó sugarú körön történő fordulásnál*

Ha egy tömeg körpályán mozog, a mozgásra érvényes gyorsulás egyik összetevője a pályával érintőleges, a másik arra merőleges (normál), és a középpont felé mutat. A gyorsulási összetevők hatása alatt mozgó test dinamikus egyensúlyban van azoknak az erőknek a hatására, amelyek a gyorsulás összetevőivel ellentétesek. A normál irányban ható erő kifelé mutat, ezért megnevezése centrifugális erő. A tömegre ható centrifugális erő nagysága

$$F_c = mv^2 / r = wv^2 / (gr)$$

ahol  $F_c$  = centrifugális erő  
 $m$  = a mozgó test tömege  
 $v$  = a test sebessége érintőlegesen (kerületi sebessége)  
 $r$  = a körpálya sugara  
 $w$  = a test súlya  
 $g$  = gravitációs gyorsulás

Állandó sugarú körön forduló hajónál a centrifugális erő, amely a hajó súlypontjában hat, és a fordulási középponttal ellentétesen kifelé mutat, a következőképpen fejezhető ki:

$$F_C = (\Delta v^2) / (gR)$$

ahol  $\Delta$  = a hajó víz kiszorítása (súlya)

---

$v$  = a hajó sebessége fordulás közben

$R$  = a fordulókör sugara

Amikor a hajó egyensúlyi állapotba kerül fordulás közben, a centrifugális erőt egy azzal azonos nagyságú, de ellentétes értelmű erő egyenlíti ki, amely a *laterális ellenállás felületének súlypontjában* (kb. a gerinc felett fél-merüléssel) hat. A két erő függőleges távolsága  $KG - T/2$ , amikor a hajó egyenesen úszik, és lecsökken  $(KG - T/2) \cos \varphi$  nagyságúra a hajó  $\varphi$  szögű megdőlésénél. Az így keletkező kitérítő nyomatékot „*fordulási kitérítő kar*” formába tudjuk átalakítani (turn heel arm, *THA*), ha elosztjuk a hajó vízkiszorításával:

$$THA = F_C (KG - T/2) / \Delta = (\Delta v^2 / (gR)) ((KG - T/2) \cos \varphi / \Delta) = \\ = (v^2 / (gR)) (KG - T/2) \cos \varphi$$

A fenti egyenletben a hajó sebességének a „ $g$ ” gravitációs gyorsulás mértékegységének megfelelő rendszerben kell lennie. A hajó fordulási sugara ismeretes a *modellkísérleti fordulósugár tesztek*ből, amelyek az új hajónál előírt manőverkísérletek standard részét képezik. A legtöbb kereskedelmi áruszállító hajónál a *fordulási átmérő teljesen kifordított kormány*nal kettő és négy hajóhossz között van. Tehát a képletben szereplő  $R$  fordulósugár tipikus minimális értéke egy-két hajóhossz.

A fordulásnál kialakuló dőlésszöget úgy lehet megközelítően meghatározni, hogy az egyenletből kiadódó fordulási kitérítő karokat felrajzoljuk a hajó adott rakodási helyzetéhez tartozó sztatikus stabilitási görbére. A két görbe metszéspontja adja ki a megdőlés szögét.

A fordulás mint manőver kereskedelmi hajóknál általában nem jelent kockázatot, mert a hajók által elérhető sebesség ahhoz nem elegendő. A nagyobb sebességű hadihajóknál azonban a fordulás képes olyan dőlést okozni, amely akár veszélyes is lehet. Az ilyen hajók tisztjei és kormányosai ezért különleges képzést kapnak.

### 2.3.2.2.2 Hosszirányú stabilitás és trim

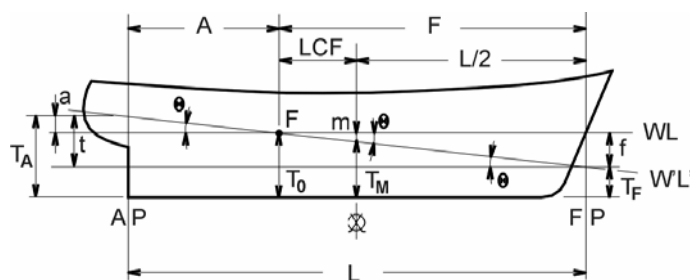
A korábban a keresztstabilitás területén elvégzett vizsgálatok és elemzések természetszerűen érvényesek a hajó hosszirányú stabilitására is. mindazok az elvek, amelyeket a merülés, megdőlés, súlypont-áthelyeződés, stb. számításánál alkalmaztunk, ezen a területen is érvényesek, az elnevezések természetesen a helyzethez igazodnak. A hajó *hosszirányú stabilitásának* nevezzük a hajónak azt a tulajdonságát, hogy visszatér egyensúlyi helyzetébe, amint azok a külső erők, amelyek olyan nyomatékokat hoztak létre, amelyek hatására a hajó egy keresztirányú tengely körül elfordult bizonyos mértékig, megszűnnek. Az ilyen nyomatékokat *billentő vagy trimmelő nyomatékoknak* nevezzük, és ezek eredménye a hosszirányú billenés, vagy *trimváltozás*. A trimben bekövetkező változást az orrnál és a farnál mérhető merülés-változással mérjük.

#### 2.3.2.2.2.1 Geometria

A hossz- és keresztirányú stabilitás egyetlen lényeges különbsége a méretekben van. A trim tehát a megdőléssel analóg, azonban a kettő mérése különböző. Először tehát a trim és a trimváltozás definícióját kell megfogalmaznunk és mérésének lehetőségét megalapoznunk. A 2.3.2.2.2.1.1 ábrán oldalnézetben látható hajó a trim geometriai jellemzőit mutatja. Természetesen a függőleges méretek túlzottak a szemléletesség érdekében.

#### Definíciók

Azt a hajót, amelynek merülése a hossz mentén mindenütt azonos, úgy jellemezzük, hogy *egyenes gerinccel* úszik, azaz *trim nélkül*. Ha az orrnál és a farnál mérhető merülés eltérő, a hajónak trimje van. A farnál levő nagyobb merülés a *fartrim*, ez megszokott üzemállapot. Ennek ellenkezője az *orrtrim*. A trim mértéke egyszerűen a farnál és az orrnál mérhető merülés különbsége.



2.3.2.2.2.1.1 ábra A trim geometriája

Az ábrán két azonos vízkioldást eredményező vízvonat van megajzolva: a trimet okozó és az egyenes gerincű úszás vízvonala. Az

ábrán ezek az egyenes úszáshelyzet vízvonatfelületének súlypontjában metszik egymást. Ennél az állapotnál a két vízvonatához tartozó vízkioldást megegyezik, ezt később látjuk majd be. Az ábrán feltüntetett mennyiségek a következők:

$L$  = a hajó függélek közötti hossza, amely feltételezés szerint ebben az esetben azonos a merülési mércék távolságával

$F$  = az ábrán  $F$  betűvel jelölt vízvonatfelület-súlypont távolsága a mellső függéltől vagy mércétől

---

$A$  = a vízvonalfelület-súlypont távolsága a hátsó függélytől vagy mércétől  
 $LCF$  = a vízvonalfelület-súlypont távolsága a főbordától  
 $T_F$  = merülés elől  
 $T_A$  = merülés hátul  
 $T_M$  = közepes merülés vagy más néven merülés a főbordán, amely a  $T_F$  és  $T_A$  átlaga  
 $T_0$  = merülés a vízvonalfelület súlypontjánál, más néven egyenes úszásnak megfelelő merülés  
 $t$  = trim  
 $f$  = orrmerülés-különbség, amely az egyenes úszásnak megfelelő merülés és a trimmel úszásnál elől mérhető merülés különbsége  
 $a$  = farmerülés-különbség, amely az egyenes úszásnak megfelelő merülés és a trimmel úszásnál hátul mérhető merülés különbsége  
 $m$  = merülés-különbség a főbordán, amely az egyenes úszásnak megfelelő merülés és a trimmel úszásnál a főbordán mérhető merülés különbsége  
 $\Theta$  = trimszög.

A trim ugyan megadható szögeként is, de a trim gyakorlati következményei a hajó függélyeinél kialakuló merülésekkel függnek össze, ezért a trim definíciója a hátul és elől mérhető merülések különbsége.

$$t = T_A - T_F$$

vagy  $t = T_F - T_A$

Az első változat fartrimet, a második orrtrimet jelent.

### **Trimszög**

Számos hasonló háromszöget láthatunk a 2.3.2.2.1.1 ábrán, amelyeket a két vízvonall alkot. A *trimszög* tangense tehát a következő alakokban fejezhető ki:

$$\tan \Theta = t/L = f/F = a/A = m/LCF$$

vagy általánosan  $\tan \Theta = x/X$ , ahol  $X$  a hajó adott pontjának távolsága a vízvonalfelület súlypontjától, az  $x$  pedig az adott pontnál az egyenes úszásnál és trimmel való úszásnál mérhető merülések különbsége.

A trim fenti képlete akkor igaz, ha minden méretnél azonos mértékegységek használatosak. A *nemzetközi konvenciók* alapján azonban a merülési mércék elkészítése és azok leolvasása során a következő mértékegységeket kell használni.

	<i>Merülés</i>	<i>Trim</i>	<i>Hossz</i>
Amerikai rendszer	láb és hüvelyk	hüvelyk vagy láb és hüvelyk	láb (decimális)

## BBBZ-kódex

---

SI rendszer      méter                      centiméter                      méter  
A fenti egyenletekben a félreértések elkerülése végett az ábrán feltüntetett mennyiségeket a nemzetközi konvenciók értelmében, ha lábban vagy méterben vannak megadva, nagybetűvel jelölik, ha hüvelykben vagy centiméterben, kisbetűvel. Ennek megfelelően az egyenleteket az alábbiak szerint át kell írni.

Amerikai rendszerben:

$$t = T_A - T_F \quad [\text{merülés lábban és hüvelykben, } t \text{ hüvelykben}]$$

$$\tan \Theta = t/12L = f/12F = a/12A = m/12LCF$$

SI rendszerben:

$$t = 100 (T_A - T_F) \quad [\text{merülés méterben, } t \text{ centiméterben}]$$

$$\tan \Theta = t/100L = f/100F = a/100A = m/100LCF$$

### **Trimváltozás**

A hajó rakodása vagy a hajón súlyok áthelyezése miatt bekövetkező trimváltozás mértéke független a hajó merülésétől. A közepes merülésre való tekintet nélkül a trim változása az adott helyzetben mérhető trim és az eredeti trim különbsége. A *trimet* mindig *nagysága és értelme jellemzi* – ami orr- vagy fartrimet jelent. Tehát a trimváltozás számítása egyszerű kivonási művelet. Ennek értelmében plusz vagy mínusz jelet kap aszerint, hogy far- vagy orrtrimről van szó (fartrim plusz, orrtrim mínusz). Ennek értelmében az eredeti trimből levonható. Más szavakkal, ha a változás ugyanolyan értelmű, mint az eredeti trim, akkor az új helyzetben kialakuló trim a kettő különbsége lesz.

#### **2.3.2.2.2.2 Mechanika**

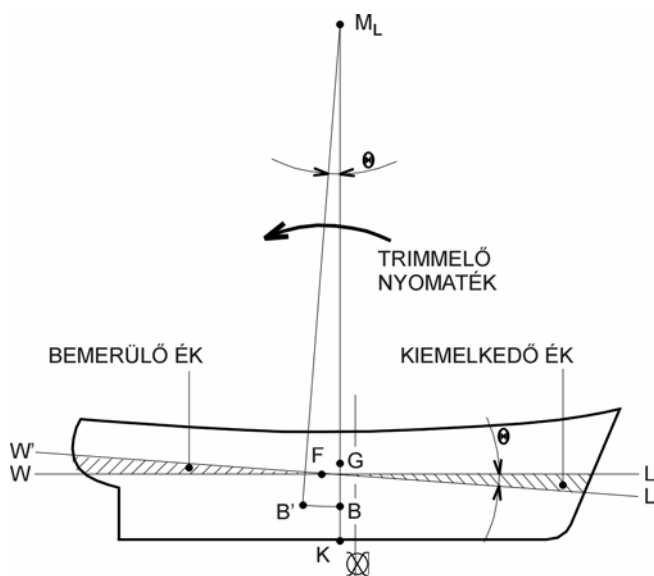
A trim geometriájának és a trimváltozásnak az alapos megértése hozzásegít bennünket az olyan változások megközelítéséhez, amelyeket a be- és kirakodás, valamint a hajón végzett súlymozgatás okoz. A *trim mechanikája* a trimváltozás fizikai okai és az így létrejövő merülés-változások közötti kapcsolatokat tárja fel.

### **Hosszirányú stabilitás**

A 2.3.2.2.2.1 ábrán látható hajó úszáshelyzete valamilyen erőhatásra hosszirányban megváltozik (trimváltozás), emiatt egyik végén nő, a másikon csökken a merülése. A billenést okozó nyomaték feltételezés szerint a vízkiszorítást nem változtatja meg, a billenési szög pedig nagyon kicsi. A keresztirányú stabilitáshoz hasonlóan a szögeltérés azt okozza, hogy a vízkiszorítás térfogata áthelyeződik egy kiemelkedő éktérfogatból egy bemerülőbe, a hajó vízkiszorítás-súlypontja pedig köríven mozdul el a *B* pontból a



$B'$  pontba. A hajó vízkiszorításának megfelelő nagyságú felhajtóerők hatásvonalai, amelyek a trimváltozás előtti és utáni úszáshelyzetben a  $B$  és a  $B'$  ponton haladnak át, abban a pontban metszik egymást, amely *hosszirányú metacentrum* néven definiálható ( $M_L$ ). Ennek a hosszirányú vízkiszorítás-áthelyeződésnek a mechanikája és a jelenség kapcsolata a hajótest alakjával tökéletesen hasonló a keresztirányú stabilitásnál megismert mechanika jellegével.



2.3.2.2.2.1 ábra Hosszirányú stabilitás

Tehát az alapvető kapcsolatot kifejező egyenlet a következő:

$$BM_L = I_L / \nabla$$

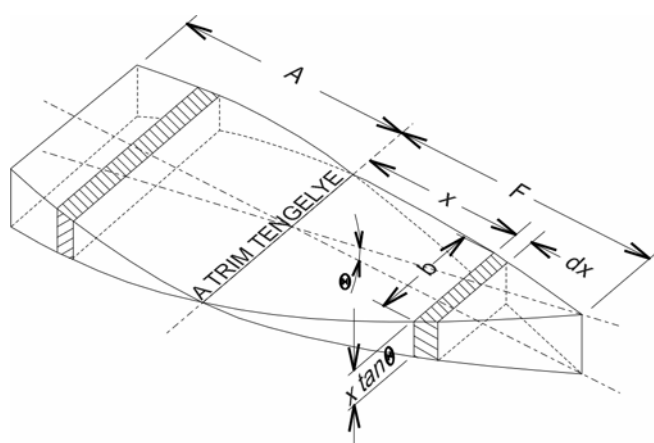
ahol

$BM_L$  = hosszirányú metacentrikus sugár

$I_L$  = a vízvonalfelület hosszirányú inercianyomatéka

$\nabla$  = a hajó vízkiszorításának térfogata

A formulában szereplő mennyiségek meghatározása hasonlóan a hajó teljes hosszára elvégzett numerikus integrálással történik, mint a keresztirányú stabilitás esetében, azonban különbségek is vannak, amelyek oka, hogy a hajó mellső és hátsó részének alakja nem szimmetrikus egymáshoz képest, szemben a hajó bal- és jobboldalának szimmetriájával, azon kívül a kiemelkedő és bemerülő térfogatékek mérete is más a hajó teljes vízkiszorításához képest, mint a keresztirányú stabilitás esetében.



2.3.2.2.2.2 ábra A kiemelkedő és bemerülő éktérfogatok geometriája

*A trim tengelye.* Az ábra szerint, de a hajótestről szerzett ismereteink értelmében is nyilvánvaló, hogy akármilyen kicsi is legyen a trimszög, a kiemelkedő és bemerülő éktérfogat alakja jelentősen eltér egymástól, mivel a hajó hosszirányban nem szimmetrikus. Ahhoz azonban,

hogy a vízkiszorítás ne változzék, térfogatuknak meg kell egyezniük. Ennek az

előfeltételnek az a következménye, hogy a hajó *trimelődése* során az a tengely, amely körül a trim létrejön, nem a főbordán helyezkedik el. A trim tengelye valójában a hajó minden merülési értékénél más és más helyen lesz. Helyét úgy tudjuk meghatározni, hogy egyenlővé tesszük a kiemelkedő és a bemerülő ék térfogatát.

Az ékek geometriáját a 2.3.2.2.2.2 ábra mutatja, ahol az  $x$  azt a távolságot jelöli, amely a trim tengelye és az egyik ék elemi térfogata között van, a  $b$  pedig a vízvonal szélességét az  $x$  koordinátánál. Az elemi térfogat magassága  $x \tan \Theta$  értékű, ahol a  $\Theta$  a trimszöget jelöli. Tehát az elemi térfogat (az ábrán vonalkázással jelölve)  $b (x \tan \Theta) dx$ . Az egész ék térfogata:

$$v = \int b x \tan \Theta dx = \tan \Theta \int b x dx$$

mivel a  $\Theta$  konstans. Az integrálás intervalluma hosszirányban a billenés tengelyétől a vízvonalfelület mellső végéig tart ( $F$  távolság). A másik éktérfogatra ugyanez a definíció érvényes, az ábrán a trim tengelyétől a farig ( $A$  távolság) integrálva. A két térfogatot egy egyenlet két oldalán felírhatjuk egymással szemben

$$\tan \Theta \int_{\text{aft}} b x dx = \tan \Theta \int_{\text{fwd}} b x dx$$

$$\text{illetve } \int_{\text{aft}} b x dx = \int_{\text{fwd}} b x dx$$

ahol az integrálás limitje a trim tengelyétől hátra és előre értendő a vízvonalfelület végéig. Mivel a  $b dx$  elemi felület a vízvonalfelület része az  $x$  koordinátánál, a legutóbbi egyenlet két oldala tulajdonképpen a vízvonalfelület hátsó és mellső részének a trim tengelyére vett nyomatékát jelenti. Ebből arra következtethetünk, hogy a trim tengelye egybeesik azzal a tengellyel, amely körül a vízvonalfelület hosszirányban egyensúlyban van, vagyis a vízvonalfelület súlypontján áthaladó keresztirányú tengellyel. Ezzel eljutottunk egy nagyon fontos következtetéshez, amely szerint *a hajó akörül a keresztirányú tengely körül trimelődik, amely áthalad a vízvonalfelület súlypontján*. A hajóstisztek gyakran nevezik ezt a trim-tengelyt „*billenési centrumnak*” (tipping center).

*A hossz- és a keresztirányú metacentrum összehasonlítása.* A másik fő különbség a kereszt- és hosszirányú stabilitás között nem hagyható figyelmen kívül. Ez pedig az, hogy a két metacentrikus sugár (a keresztirányú és a hosszirányú) a vízvonalfelület kereszt- ill. hosszirányú inercianyomatékával arányos. A hajó azonban sokkal hosszabb, mint amilyen széles, a két inercianyomaték tehát nagyságrendileg különböző. A tipikus hajók hossz/szélesség viszonyszáma 6 és 9 között van. Vegyünk pl. egy egyszerű téglalap alakú vízvonallal rendelkező bárkát, amelynek hossza 7,5-szer nagyobb, mint a szélessége. A *bárka* vízvonalának hossz- és keresztirányú inercianyomatéka:

$$I_L = BL^3/12 \qquad I_T = LB^3/12$$

A hossz- keresztirányú metacentrikus sugár aránya:

$$BM_L/BM_T = I_L/I_T = BL^3/LB^3 = (L/B)^2$$

tehát a hosszirányú metacentrikus sugár  $7,5^2$ , azaz 56,25-szor nagyobb lesz, mint a keresztirányú. Ez a nagyságrendi különbség jellemző általában a hajókra is. A hajó hosszstabilitása olyan nagy, hogy szinte lehetetlen azt hosszirányban instabillá tenni. A tipikus hajó hosszirányú metacentruma több, mint száz méterrel van a súlypontja felett.

### ***Billentő-nyomaték, trim és merülési értékek***

A hajó hosszstabilitásának nagyságrendje kizárja annak veszélyét, hogy a hajó hosszirányban instabillá váljék és felboruljon, ezért a hosszstabilitásnak kizárólag azokra a trimváltozásokra gyakorolt hatásaival foglalkozunk, amelyeket a hajón végzett súlymozgatás, be- és kirakodás okoz. A dőlésszög és trimszög számítási módjának analógiája:

$$\tan \varphi = GG'/GM_T = wd/(\Delta GM_T) \quad \tan \Theta = GG'/GM_L = wd/(\Delta GM_L)$$

ahol  $\varphi$ ,  $\Theta$  = dőlésszög; trimszög változása (nagyon kis szögek)  
 $wd$  = dölést vagy billenést okozó nyomaték (pl.  $w$  súly elmozdulása  $d$  úton)  
 $GG'$  = a súlypont kereszt- ill. hosszirányú elmozdulása a  $wd$  nyomaték hatására  
 $GM_T$ ,  $GM_L$  = metacentrikus magasság

A trimszögek a dőlésszögekkel ellentétben mindig kicsik, ezért, bár az egyenlet trimnél is csak kis szögekre érvényes, gyakorlatilag mindig használható. Szemléltetésül vegyünk egy hajót, amelynek hossza 600 láb, és 30 láb mértékű trim jön létre (ez többszöröse egy ekkora hajónál előforduló trimnek). A trimszög tangense  $30/600 = 0,05$ , a szög tehát kisebb, mint 3 fok.

Ha kombináljuk a korábbi egyenletet a mostanival a trimszög eltüntetése érdekében, amely nem könnyen kezelhető, közvetlenül meghatározhatjuk a billentő-nyomaték által okozott trim- vagy merülés-változást a mellső és a hátsó függélynél.

Amerikai mértékegységekkel:

$$t/12L = wd/(\Delta GM_L) \quad \text{illetve} \quad t = wd/((\Delta GM_L)/12L)$$

ami közvetlenül a trimváltozást adja meg hüvelykben, amelyet a  $wd$  billentő-nyomaték (láb x long ton) okoz a  $\Delta$  vízkiszorítású (long ton),  $GM_L$  hosszirányú metacentrikus magasságú (láb) és  $L$  hosszúságú (láb) hajónál.

Az ennek megfelelő kifejezés SI rendszerben (ahol a trimváltozás centiméter, a billentő-nyomaték metrikus tonna (tömeg) x méter, a vízkiszorítás tömege metrikus tonna, a metacentrikus magasság és hossz pedig méter):

$$t = wd/((\Delta_m GM_L)/100L)$$

## BBBZ-kódex

---

A mellső és hátsó függélynél keletkező merülés-változások a következő kifejezésekből adódnak:

$$f = (F/L)t \quad \text{illetve} \quad a = (A/L)t$$

Az  $f$  és a merülés-változások ellenkező értelműek, egyik helyen nő a merülés, a másikon csökken, az, hogy melyik hol, az a billentő-nyomaték irányától függ.

### *Példa*

Egy tankhajó hossza 1.045 láb, vízkiszorítása tengervízben 305.000 long ton, merülése elől 62'0" (62 láb 0 hüvelyk) és hátul 65'0". A vízkiszorítás súlypont-magassága  $KB = 33,0$  láb, rendszersúlypont magassága  $KG = 45,0$  láb, a hosszirányú metacentrum magassága a gerinc felett  $KM_L = 740$  láb, a vízvonalfelület súlypontja pedig a főborda mögött 15,5 láb távolságra van. Milyen merülések alakulnak ki, ha 2.200 long ton rakományt a #2 raktérből a #5 raktérbe (orrtól a far felé) szivattyúznak át, a távolság 285 láb?

A hosszirányú metacentrikus magasság:

$$GM_L = KM_L - KG = 740 - 45.0 = 695 \text{ láb}$$

A trim:

$$t = wdl((\Delta GM_L)/12L) = 2.200 \times 285 / ((305.000 \times 695)/(12 \times 1.045)) = 37,1 \text{ hüvelyk trimváltozás}$$

Mivel a súly hátrafelé mozgott, a trimváltozás *fartrim*, növeli a merülést hátul és csökkenti elől. A függélyeknél bekövetkező merülés-változás számításához meg kell határozni a vízvonalfelület súlypontjának távolságát a függélyektől.

$$F = L/2 + LCF = 1.045/2 + 15,5 = 538 \text{ láb}$$

$$A = L/2 - LCF = 1.045/2 - 15,5 = 507 \text{ láb}$$

(Ellenőrzésképpen:  $A = L - F = 1.045 - 538 = 507$  láb)

$$f = (F/L)t = (538/1.045)37,1 = 0,515 \times 37,1 = 19,1 \text{ hüvelyk} \\ = 1'7,1'' \text{ merülés-csökkenés elől (1 láb 7,1 hüvelyk)}$$

$$a = (A/L)t = (507/1.045)37,1 = 0,485 \times 37,1 = 18,0 \text{ hüvelyk} \\ = 1'6,0'' \text{ merülés-növekedés hátul}$$

(Ellenőrzés:  $a = t - f = 37,1 - 19,1 = 18,0$  hüvelyk)

Az  $f$  és  $a$  értékek számítása azt mutatja, hogy az orrnál nagyobb a trimváltozás, mint a farnál. Ez összhangban van azzal, hogy a vízvonalfelület súlypontja a főborda mögött helyezkedik el, és mindig ott van a kisebb merülés-változás, amelyik függély közelebb van a vízkiszorítás súlypontjához.

Most már kiszámíthatjuk a merüléseket a függélyeknél:

$$T_F = (62'0") - (1'7,1") = 60'4,9"$$

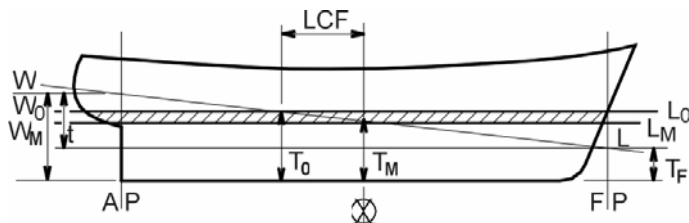
$$T_A = (65'0") + (1'6,0") = 66'6,0"$$

### 2.3.2.2.3 A feltételezések és a pontosság összefüggése

Amikor az előbbi példában szereplőhöz hasonló számításokat végzünk egy szokásos alakú hajó merülési értékeinek meghatározására, a kapott eredmények tartalmaznak bizonyos pontatlanságot, mivel bizonyos dolgokat maguktól értetődőnek tartunk, és azt tételezzük fel, hogy igazak, azonban ez nem így van tökéletesen. Azokat a hidrosztatikus jellemzőket, amelyeket ezekhez a számításokhoz felhasználunk (pl. vízkiszorítás,  $KM_L$ ,  $LCF$ ), a szokásos módon szerkesztettek meg, a korábban leírt hajótest-adatokból. A hidrosztatikus jellemzők azonban a hajóra csak akkor igazak, ha az egyenes gerinccel úszik, vagyis trim nélkül. Tehát ezek egy trimmel úszó hajó esetében nem tökéletesen pontosak. Szerencsére a szokásos hajóformáknál, olyan mértékű trim esetén, amely üzemi állapotnak számít, elfogadható az a feltételezés, hogy az egyenes úszási állapotban érvényes hidrosztatikai jellemzők jól leírják a trimmelt hajó állapotát is, mert az elkövetett hiba elhanyagolható. Mindössze két olyan eset létezik, amikor kivételt kell tennünk, egyik, amikor a trim túlzottan nagy, a másik, amikor a vízvonalfelület súlypontja nagyon távol van a főbortól, illetve amikor ez a két eset együtt jár. Az alábbiakból kiderül, hogy szükség esetén a trimmel úszó hajóhoz meghatározható a *korrigált vízkiszorítás* az egyenes úszási helyzetre megszerkesztett jellemző görbék alkalmazásával.

#### Trimmel úszó hajó vízkiszorítása

Három lehetőség van arra, hogy a *trimmel úszó hajónál* a mellső és a hátsó függélynél mérhető merülésekből határozzuk meg a vízkiszorítást (azzal szemben, amikor a súlyok összegzéséből számítjuk ki), attól függően, milyen pontosságra van szükségünk.



2.3.2.2.3.1 ábra Trimmel úszó hajó vízkiszorításának számítása

A 2.3.2.2.3.1 ábra mutatja a következő gondolatmenethez a merüléseket és egyéb

mennyiségeket.

A három módszer az alábbi, a következő mindig pontosabb, de bonyolultabb az előzőnél.

- A vízkiszorítás számítását a *közepes merüléshez* ( $T_M$ ) végezzük el a jellemző görbékből.
- A vízkiszorítás számítását a megfelelő *egyenés úszási állapothoz tartozó merüléshez* ( $T_0$ ) végezzük el a jellemző görbékből, amely a *vízvonalfelület súlypontjánál mérhető merülés*.
- Integráljuk a trimmel úszó hajó vízvonala alatti bordametszeteket a hajó teljes hosszára, hogy megkapjuk a trimmel úszó hajó *ténylegesen vízbemerült térfogatát*.

Az első módszer a legkevésbé pontos. Csak akkor egzakt, ha a trim zéróval egyenlő, és egy trimmel úszó hajónál majdnem pontos abban az esetben, ha a vízvonalfelület súlypontja ( $F$ ) a hajóközépnél van. Széles körben elfogadott vélemény azonban, hogy pontossága kielégítő azoknál az üzemeltetői számításoknál, amelyeket a hajót irányító tiszteteknek kell elvégezniük, mert a kisebb sebességtartományba tartozó kereskedelmi hajók alakja olyan, hogy kis és átlagos trim esetén a vízvonalfelület súlypontja közel van a főbordához. Nem elfogadható ez a pontosság a nagyobb sebességű hajóknál és azoknál, amelyek fara telt kialakítású (pl. *kompok a farnál elhelyezett rámpával*), ezeknél ugyanis a vízvonal súlypontja jóval a főborda mögött van.

A második módszer a gyors és széles farral rendelkező hajóknál is használható, kivéve az olyan eseteket, amikor a legnagyobb pontosságra van szükség. Annak alapelve ugyanis az, hogy amikor a hajó trimje változik változatlan vízkiszorításnál, a vízvonalfelület súlypontjánál nem változik a merülés. Az ábrán látható tehát, hogy amikor a hajó trim esetén a  $WL$  vízvonalon úszik, ugyanakkora a vízkiszorítása, mint az egyenes gerinccel való úszásnál a  $W_0L_0$  vízvonalon. Ez a vízkiszorítás megegyezik két mennyiség összegével, egyik a  $T_M$  közepes merülésnél érvényes vízkiszorítás egyenes úszásnál ( $W_M L_M$ ), a másik összetevő pedig annak az  $m = T_0 - T_M$  vastagságú korrekciós rétegnek a vízkiszorítása, amelyet az ábrán vonalkázva jelöltünk. A probléma csak annyi, hogy az  $m$  és a  $T_0$  meghatározásához már ismerni kell a  $W_0L_0$  vízvonal  $LCF$  értékét, ahhoz pedig ismerni kell a  $T_0$  értékét is. A megoldás az lehet, hogy feltételezzük, hogy a két egyenes úszáshelyzethez tartozó vízvonalfelület ( $W_0L_0$  és  $W_M L_M$ ) súlyponthelyzete megegyezik. Ez a közelítés elfogadható, mivel a rétegvastagság általában kicsi. Az eljárás tehát a következő:

1. A közepes merülésnél, amelynek értéke  $T_M = (T_F + T_A)/2$ , leolvassuk a jellemző görbéről a korrigálatlan vízkiszorítást, az  $LCF$  és  $TPI$  vagy  $TPC$  (*egységnyi merülés-változáshoz tartozó vízkiszorítás-változás*) értékét.
2. A  $WL$  trimszöge alapján a réteg vastagsága  $m = (LCF/L)t$  nagyságú. Az  $m$  mértékegysége ugyanaz, mint a  $t$  trimé, hüvelyk az amerikai és centiméter az SI rendszerben.
3. A *korrekciós réteg vízkiszorítása* a rétegvastagság és az egységnyi merülés-változáshoz tartozó vízkiszorítás-változás szorzata:  
$$d\Delta = m \times TPI \quad (m \text{ hüvelyk, } d\Delta \text{ long ton})$$
  
vagy 
$$d\Delta_m = m \times TPC \quad (m \text{ cm, } d\Delta_m \text{ metrikus tonna})$$
4. Korrigált vízkiszorítás = Korrigálatlan vízkiszorítás + korrekciós réteg vízkiszorítása.

A trimmel úszás vízvonalaához ( $WL$ ) tartozó egyenes úszáshelyzet merülése ( $T_0$ ):

$$T_0 = T_M + m = T_M + (LCF/L)t$$

A 2. és 3. lépés szerinti számítás összevonható egy lépésbe, és akkor megkapjuk a *víz kiszorítás-változás a trim függvényében* mennyiségét, azaz:

$$d\Delta = (TPI \times LCF/L)t \quad (t \text{ hüvelyk, } d\Delta \text{ long ton})$$

$$d\Delta_m = (TPC \times LCF/L)t \quad (t \text{ cm, } d\Delta_m \text{ metrikus tonna})$$

A víz kiszorítás korrekciójánál a réteg víz kiszorítása lehet pozitív vagy negatív. Az ábra szerinti szituációban a korrekciós víz kiszorítás pozitív, tehát a trimmel úszó hajó víz kiszorítása nagyobb, mint a közepes merüléshez tartozó víz kiszorítás. A korrekció értelmében megváltozik, ha a vízvonalfelület súlypontja a főborda előtt helyezkedik el, vagy ha a trim ellenkező értelmű. Eszerint négy lehetséges variáció létezik.

1. *Fartrim*, LCF a főborda mögött, a korrekció hozzáadandó.
2. *Fartrim*, LCF a főborda előtt, a korrekció levonandó.
3. *Orrtrim*, LCF a főborda mögött, a korrekció levonandó.
4. *Orrtrim*, LCF a főborda előtt, a korrekció hozzáadandó.

Ajánlatos a 2.3.2.2.2.3.1 ábrához hasonló egyszerű vázlatot készíteni minden hasonló számítás esetén, hogy a korrekció helyes értelmét meg lehessen határozni.

A víz kiszorítás-változás és a trim kapcsolatának jobb megértéséhez egyes esetekben a jellemző görbék között van olyan, amely a  $TPI \times LCF/L$  illetve a  $TPC \times LCF/L$  értékeit tartalmazza a hajó merülésének függvényében. Ezek megnevezése „*egy hüvelyk fartrimre eső víz kiszorítás növekedés*” illetve „*egy centiméter fartrimre eső víz kiszorítás növekedés*”. A görbék negatív eredményt adnak, ha az  $LCF$  súlypont a főborda előtt van, ezért orrtrim esetén az előjelet meg kell fordítani. Ezeknek a görbéknek a használatánál a víz kiszorítás változásának számítása egyszerűen a görbékéből levett érték beszorzása a hajó trimjének értékével.

Nagyon fontos, hogy a kifejezést „*víz kiszorítás növekedés a trim függvényében*” ne értsük félre. A trim bekövetkezésekor a *víz kiszorítás konstans*, tehát nem változik a trim miatt. A víz kiszorítás növekedése vagy csökkenése csak ahhoz az értékhez képest értelmezhető, amelyet a jellemző görbékéből határozunk meg a *közepes (a főbordán mért) merülésnél a trimmel úszó hajó esetében*.

#### Példa

Egy  $LBP = 150$  m (függélyek közötti hossz) méretű hajó tengervízben 8,2 m mellső ( $T_F$ ) és 9,8 m hátsó ( $T_A$ ) merüléssel úszik. A 9,0 m-es közepes merülésnél ( $T_M$ ) a jellemző görbékéből leolvasott adatok:  $\Delta_m = 20.200$  MT,  $TPC = 26,5$  MT/cm és  $LCF = 4,3$  m a főborda mögött. Határozzuk meg a trimelt úszáshelyzet vízvonalaának megfelelő egyenes úszási helyzetben a merülést és a trim szerint korrigált víz kiszorítást. A trim mértéke:

$$t = T_A - T_F = 9,8 - 8,2 = 1,6 \text{ m} = 160 \text{ cm fartrim}$$

Megfelelő merülés egyenes úszási helyzetben:

$$T_0 = T_M + (LCF/L)t = 9,00 + (4,3/150)1,6 = 9,04 \text{ m}$$

Ebben az esetben a trim értékét méterben kellett behelyettesíteni, hogy összhangban legyen a merülés értékével. A rétegvastagságot hozzá kellett adni a közepes merüléshez, mivel fartrimmel állunk szemben, és az LCF a főborda mögött van. A korrekciós réteg vízkiszorítása:

$$\Delta A_m = (TCP \times LCF/L)t = (26,5 \times 4,3/150)160 = 122 \text{ MT}$$

Itt a trimnek centiméterben kell lennie, hogy a *TPC* mértékegységével legyen összhangban.

Végül a vízkiszorítás:

$$\text{trimmel úszó helyzetben a } \Delta_m = 20.200 + 122 = 20.322 \text{ MT}$$

A legpontosabb harmadik módszernél, amely a trimmel úszó hajó vízkiszorításának meghatározására szolgál, tulajdonképpen a numerikus integrálási eljárást egy olyan hajónak a vízbemerült térfogatára kell elvégezni, amely ferde vízvonalon úszik. Az elméleti bordák vízbemerült felületét az ott érvényes merülésig a *Bonjean görbékről* olvassuk le, és ezekkel végezzük el az integrálást ugyanúgy, ahogy az egyenes gerinccel úszó hajó vízkiszorításának számításánál. Ezt a módszert csak akkor használjuk, ha rendkívüli pontosságra van szükség, mint pl. a hajó vízkiszorításának számításánál döntéssorán, vagy olyankor, ha egy hajónál különlegesen nagy trim előidézésre van szükség, mint pl. a *hajócsavar szemlélését, javítását vagy szerelését* kell vízszint felett elvégezni.

#### ***A nyomaték, amely a trimváltozást előidézi***

Térjünk vissza a trim és az azt előidéző billentő-nyomaték kapcsolatához:

$$t = wd / (\Delta GM_L/12L) \quad \text{illetve} \quad t = wd / (\Delta GM_L/100L)$$

A kifejezés jobboldalán a számlálóban van a *trimváltozást okozó nyomaték*, a nevezőben pedig a hajó jellemzői abban a szituációban, amikor a trimváltozás bekövetkezik. A számláló tehát az *egy hüvelyk vagy centiméter trimváltozást okozó nyomatékot* jelenti, mert ha a trim értéke egy hüvelyk vagy centiméter, a számláló és a nevező értéke megegyezik. Ebből tehát:

$$MT_i = \Delta GM_L/12L \quad \text{illetve} \quad MT_{cm} = \Delta GM_L/100L$$

ahol *MT<sub>i</sub>* ill. *MT<sub>cm</sub>* az egy hüvelyk ill. egy cm trimváltozást okozó nyomaték.



Ezeknek a mennyiségeknek a meghatározása megkönnyítheti a munkát, mert függetlenek a billentő-nyomaték nagyságától, és így előre kiszámolhatóak a jellemzők egyikeként, amelyek diagramban vannak ábrázolva, a *trimszámítások* során pedig a jellemző görbékhez hasonlóan használhatóak. Tehát az egyenletet a trimváltozás kiszámításához a következőképpen írhatjuk:

$$t = wd/MT_i \quad \text{illetve} \quad t = wd/MT_{cm}$$

Ennek a trimváltozást okozó nyomatéknak az előre történő kiszámítását azért bonyolítja az a tény, hogy nemcsak a hajó hidrosztatikai tulajdonságaitól függ, hanem a rakodási helyzettől is, hiszen a  $GM_L$  meghatározásához a  $KG$  értékét is ismerni kell. Szerencsére a  $KG$  értéke itt nem annyira fontos, hiszen a tipikus hajó esetében az sokkal kisebb, mint a  $GM_L$ . Még a legkülönlegesebb esetben is a  $KG$  értéke legfeljebb a hajó oldalmagasságának egyharmada és kétharmada között változik, a  $GM_L$  ugyanakkor a hajó hosszának nagyságrendjében van. Tehát nyugodtan meghatározhatunk jó közelítő értékeket az  $MT_i$  vagy  $MT_{cm}$  értékeire, ha a  $G$  súlypont feltételezett helyét kiválasztjuk. A leggyakoribb megközelítés az, hogy azonosnak vesszük a  $GM_L$  értékét a  $BM_L$  értékével. A feltételezéssel elkövetett potenciális hiba néhány láb vagy méter a többszáz ellenében. Tehát a *trimváltozást okozó megközelítő nyomaték* a következőképpen fejezhető ki:

$$\text{approx. } MT_i = \Delta BM_L / 12L$$

amely tovább egyszerűsíthető, ha figyelembe vesszük, hogy  $\Delta = \rho g \nabla$ , illetve  $BM_L = I_L / \nabla$ , ennél fogva

$$\text{approx. } MT_i = \rho g I_L / 12L = I_L / 420L \quad \text{tengervízben}$$

$$= I_L / 432L \quad \text{édesvízben}$$

Az így definiált trimváltozást okozó megközelítő nyomatékat általában a hajó teljes merülési tartományára meghatározzák az üres hajótól a terhelt vízvonalon túl, és a jellemző görbék között tüntetik fel. Viszonylagos pontossága miatt a jelzőt elhagyják, és egyszerűen  $MT_i$  néven szerepel. A görbét azonban csak tengervízre szerkesztik meg, kivétel az olyan hajók esete, amelyek édesvízben hajóznak sokat, pl. az amerikai nagy tavakon. A tengerjáró hajóknál a számítás elvégző tisztnek korrigálnia kell a leolvasott  $MT_i$  értéket édesvízi körülményekre.

Az SI rendszerben érvényes formulák tömeg-alapúak, így a  $g$  hiányzik:

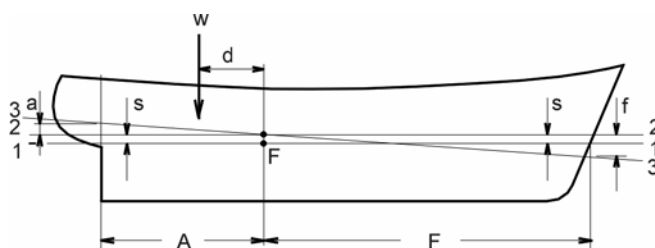
$$\text{approx. } MT_{cm} = \rho I_L / 100L = 1,025 I_L / 100L \quad \text{tengervízben}$$

$$= I_L / 100L \quad \text{édesvízben}$$

#### 2.3.2.2.4 Kis súlyok be- és kirakása

Amikor egy hajóra viszonylag *kisebb súlyú rakományokat be- vagy arról kiraknak*, a vízkiszorításban is bekövetkezik egy bizonyos változás (és így a közepes merülésben is), valamint a trimben is. Ha a vízkiszorítás változása a rakodás során viszonylag kicsi, ami nem okoz nagyobb változást a vízvonalfelület jellemzőiben ( $TPI$ ,  $LCF$ ,  $MTi$ ), a rakodás utáni merülést meg lehet határozni úgy, hogy egyszerűen még egy lépést adunk az eddigiekben leírt eljáráshoz, amikor a hajón levő súlyok mozgását vizsgáltuk, és először a *párhuzamos bemerülés vagy kiemelkedés* számítását kell elvégeznünk. Ez az eljárás, amelynek neve a *kis súlyok módszere*, úgy modellezi a kis súlyok be- és kirakását, mintha azokat először a vízvonalfelület súlypontjával megegyező helyre rakták volna be vagy onnan ki, majd elmozdították volna tényleges helyükre. A hajó merülésére gyakorolt végső hatás természetesen ugyanaz, mintha egyenesen a tényleges helyére került volna a súly, az így modellezett eljárás azonban lehetővé teszi, hogy külön foglalkozzunk a párhuzamos bemerüléssel és a trimváltozással. Ha a súly berakása a vízvonalfelület súlypontjában történik, nem változik a trim, azonban a hajó teljes hosszán a merülés egyenlő mértékben megnő  $w/TPI$  hüvelyk (ill.  $w/TPC$  cm) értékkel. A modellezett elmozdítási útvonal az a hosszirányú távolság, amely a vízvonalfelület súlypontja és a berakott súly tényleges helye között van, a trim és a merülési értékek változását pedig a fentiek szerint lehet kiszámítani. Ha a súlyt nem be-, hanem kirakják, ugyanaz az eljárás, csak a merülés-változások ellenkező értelműek, tehát nem bemerülés következik be, hanem párhuzamos kiemelkedés, a súly elmozdítása pedig tényleges helyzetéből a vízvonalfelület súlypontjába irányul. Ha egynél több súlyt kell mozgatni, be- vagy kirakni, a számítást célszerű táblázatosan elvégezni. Amikor azonban több súllyal végezzük el a számításokat, nem szabad arról megfeledkeznünk, hogy azok összegének is a kis súlyok kategóriájába kell esnie, különben az eljárás korlátait nem vesszük figyelembe. Tehát a súlyok összege sem változtathatja meg túlzottan a vízvonalfelület méretét és alakját. A következő példák a kis súlyok módszerének szemléltetésére szolgálnak.

*Példa*



2.3.2.2.4.1 ábra

Egy darabáru szállító hajó  
függélyek közötti hossza  $LBP = 528$  láb, merülése tengervízben  
22'3" elől és 23'6" hátul.

Határozzuk meg a merülést elől és

hátul azt követően, hogy 450 long ton rakományt beraktak a #5 raktérbe a második fedélzetre.

A példát a 2.3.2.2.4.1 ábra szemlélteti. Valamennyi példában azt feltételezzük, hogy a mellső és hátsó merülési mérce a függélyeknél ( $FP$  és  $AP$ ) van elhelyezve.

*Kezdeti közepes merülés.* A #1 vízvonál az ábrán a hajó rakodás előtti kezdeti merüléseinek megfelelő vízvonál. A rakodás előtti közepes merülés:

$$\begin{aligned}T_A &= 23'6,0'' \\T_F &= 22'3,0'' \\ \text{Összesen} &= 45'9,0''\end{aligned}$$

$$T_M = (T_A + T_F)/2 = (45'9,0'')/2 = 22'10,5''$$

*Hidrosztatikus jellemzők.* A jellemző görbékből a közepes merülésnél a következő adatokat olvastuk le:

$$\begin{aligned}TPI &= 65,1 \text{ long ton per hüvelyk} \\ MT_i &= 1.580 \text{ láb x long ton} \\ LCF &= 273,9 \text{ láb az } FP\text{-től (= } F)\end{aligned}$$

A hátsó függély (*AP*) helye a vízvonalfelület súlypontjától (*A*):

$$A = 528,0 - 273,9 = 254,1 \text{ láb}$$

(A kérdéses hajó jellemző görbéiben a súlypontok helyének vonatkoztatás az *FP*. Tehát az *LCF* ezért megegyezik az *F* távolsággal, amint az ábráról is látható.)

*Párhuzamos bemerülés.* Ha a súlyt a vízvonalfelület súlypontjában tették volna le, az párhuzamos bemerülést okozott volna az ábrán #2 vízvonalként jelült úszásvonalig, amely párhuzamos a #1 vízvonallal. Tehát a párhuzamos bemerülés mértéke hüvelykben:

$$s = w/TPI = 450/65,1 = 6,9 \text{ hüvelyk} \quad (\text{elől és hátul hozzá kell adni})$$

*Trimváltozás.* A hajó rakodási táblázata szerint az 5-ös raktér súlypontja a második fedélzeten 356,5 láb távolságra van az *FP* helyétől. Tehát a súly képzelt elmozdulása a 273,9 lábra levő vízvonalfelület-súlyponthoz képest:

$$d = 356,5 - 273,9 = 82,6 \text{ láb a far felé}$$

Mivel a mozgás a far felé irányul, ezért a trim változása fartrim értelmű. Az erre vonatkozó egyenlet alapján a trimváltozás:

$$t = wd/MT_i = 450 \times 82,6/1.580 = 23,5 \text{ hüvelyk fartrim}$$

*Merülés-változások a trimváltozás miatt.* A fartrim miatt a merülés elől *f* hüvelykkel csökken elől és *a* hüvelykkel nő hátul:

$$f = (F/L)t = (273,9/528)23,5 = 12,2 \text{ hüvelyk} = 1'0,2'' \quad (\text{elől levonandó})$$

$$a = (A/L)t = (254,1/528)23,5 = 11,3 \text{ hüvelyk} \quad (\text{hátral hozzáadandó})$$

Az  $s$ ,  $f$  és  $a$  jelöli a mellső és a hátsó függélynél keletkező merülés-változásokat hüvelykben. Az alábbi táblázat nagyon jó eszköz ahhoz, hogy a végső merülési értékeket kiszámítsuk. Különösen akkor célszerű ez a formátum, ha lábban és hüvelykben kell számolni, ugyanis nemcsak a jellemző görbéknel használják a hüvelykbeosztást, hanem a merülés-változásokat is általában hüvelykben számolják.

*Rakodás utáni merülési értékek*

	<i>Hátul</i>	<i>Elöl</i>
Kezdeti merülések	23' 6,0"	22' 3,0"
Párhuzamos bemerülés	+ 6,9"	+ 6,9"
	24' 0,9"	22' 9,9"
Trimváltozás	+ 11,3"	- 1' 0,2"
Végső merülések	25' 0,2"	21' 9,7"

*Példa*

Egy 170,5 m hosszú konténerszállító hajó merülése tengervízben elöl 8,80 m és hátul 10,80 m. Milyen merülések alakulnak ki azt követően, hogy 492 metrikus tonna tömegű konténert kiraknak róla 52 m-rel a főborda előtt? A kirakodás előtti közepes merüléshez tartozó hidrosztatikus jellemzők:  $TPC = 32,8 \text{ t/cm}$ ,  $MT_{cm} = 268 \text{ MT-m}$ ,  $LCF = 4,1 \text{ m}$  a főborda mögött.

A lépések megegyeznek az előző példában látottakkal. A számítás menete hasonló.

*Kezdeti közepes merülés*

$$T_M = (T_A + T_F)/2 = (10,80 + 8,80)/2 = 9,80 \text{ m}$$

*Vízvonalfelület súlypontja.* Mivel az  $LCF$  értéke a főbordától van megadva, a súlypont távolságát a mellső és hátsó függélytől ki kell számítani:

$$F = L/2 + LCF = 170,5/2 + 4,1 = 89,35 \text{ m}$$

$$A = L/2 - LCF = 170,5/2 - 4,1 = 81,15 \text{ m}$$

*Párhuzamos kiemelkedés.* Mivel a rakományt kirakják, a merülési értékek *csökkennek* elöl és hátul.

$$s = w/TPC = 492/32,8 = 15 \text{ cm} = 0,15 \text{ m} \quad (\text{levonandó elöl és hátul})$$

*Trimváltozás*

$$d = LCF \text{ távolsága a főbordától} + w \text{ a főbordától} = 4,1 + 52,0 = 56,1 \text{ m}$$

A trimváltozás a *fartrimet* növeli, mert a súly *levétele* a hajóról a vízvonalfelület súlypontja *előtt* történt.

$$t = wd/MT_{cm} = (492 \times 56,1)/268 = 103 \text{ cm} = 1,03 \text{ m fartrim}$$

*Merülési értékek változása*

$$f = (F/L)t = (89,35/170,5)1,03 = 0,54 \text{ m (levonandó elöl)}$$

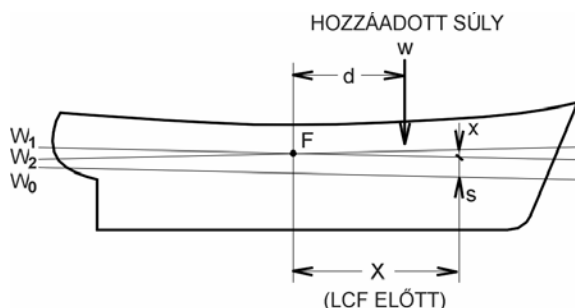
$$a = (A/L)t = (81,15/170,5)1,03 = 0,49 \text{ m (hozzáadandó hátul)}$$

*Merülési értékek kirakodás után*

	<i>Hátul</i>	<i>Elöl</i>
Kezdeti merülések	10,80 m	8,80 m
Párhuzamos kiemelkedés	- 0,15	- 0,15
	10,65	8,65
Trimváltozás	+ 0,49	- 0,54
Végző merülések	11,14 m	8,11 m

#### *A kis súlyok módszerének általánosítása*

Az előzőekben bemutatott számítások, amelyek célja kis súlyok be- és kirakása miatt a hajó bármely pontján a merülési értékekben bekövetkező változások meghatározása, közvetlenül is elvégezhetőek úgy, hogy kombináljuk a lépéseket egy komplex



2.3.2.2.4.2 ábra Merülésváltozás bármely ponton

képletben. Ilyen módon tetszőleges X helyen a  $w$  súly berakása miatt bekövetkező merülés-változás a 2.3.2.2.4.2 ábra szerint a következő:

$$dT_X = s + x = w/TPI + (X/L)t = w/TPI + (X/L) (wd/MT_i)$$

illetve

$$dT_X = s + x = w/TPC + (X/L)t = w/TPC + (X/L) (wd/MT_{cm})$$

ahol  $dT_X$  = merülés-változás (hüvelyk vagy cm)  $X$  távolságra (láb vagy m) a vízvonalfelület súlypontjától

$s$  = párhuzamos bemerülés vagy kiemelkedés (hüvelyk vagy cm)

$x$  = merülés-változás  $X$  helyen a trimváltozás miatt (hüvelyk vagy cm)

$w$  = a hozzáadott vagy eltávolított súly vagy tömeg

$d$  = a  $w$  súly vagy tömeg távolsága  $LCF$  helyétől (láb vagy m)

$W_0L_0$  = rakodás előtti vízvonal

$W_1L_1$  = elképzelt vízvonal a párhuzamos bemerülés után de trimváltás előtt  $W_2L_2$  = végső vízvonal. A fenti egyenletben az összegzés az algebra szabályait követi, az egyes összeadandók előjele attól függ, hogy a súly hozzáadott (+) vagy elvett (-) jellegű, illetve, hogy  $d$  és  $X$  a vízkiszorítás súlypontja mögött vagy előtt van. Például az  $s$  értéke negatív kirakott súly esetén, az  $x$  pedig negatív lesz az ábra szerint, ha a vizsgált hely nem a súlypont előtt, hanem mögött van. Az ábrához hasonló vázlatot minden esetben készíteni kell, mivel több kombinációs lehetőség is van a pozitív és negatív merülés-változásokra, a hibákat pedig feltétlenül el kell kerülni.

A számítás különleges esete, amikor egy bizonyos ponton kell a merülést adott értékkel megváltoztatni úgy, hogy súlyokat hozzáadunk, elveszünk vagy áthelyezünk. Ilyen esetekben a  $dT_X$  értéke van megadva, és az egyenletet  $w$ -re (pl. mennyi ballasztot kell felvenni egy adott tankba ahhoz, hogy hátul a merülés a megadott értékű legyen) vagy  $d$ -re kell megoldani (hova tegyük a 100 tonnás rakományt, hogy elérjük a kívánt merülés-változást). A legtöbb esetben a mellső vagy hátsó merülési mérce értékét kell adott értékkel megváltoztatni, ilyenkor az  $x$  és  $X$  helyett  $f$  és  $F$  vagy  $a$  és  $A$  írható, ahogy a 2.3.2.2.2.1.1 ábrán definiáltuk.

#### *Példa*

Egy áruszállító hajónak át kell haladnia egy csatornán, amelyben tengervíz van. A hajó hossza 528 láb, merülése elől  $28'0''$  és hátul  $29'6''$ . A csatorna zsilipjében a maximális megengedett merülés  $29'0''$ . A parancsnoknak ezt ballasztalással kell biztosítani, amelyet a #1 tankba vesznek fel. Három kérdésre kell megtalálni a választ.

1. Hány long ton ballasztra van szükség?
2. Van-e elég hely a #1 testtankban?
3. Kielégítő lesz-e a végső merülés?

Az általános kifejezés alkalmazása ebben a speciális esetben rámutat, hogy a követelmény a *fárnál* a merülés *csökkentése* hat hüvelykkel ( $29'6''$  értékről  $29'0''$  értékre). Mivel ezt úgy érik el, hogy elől felvesznek ballasztot, a párhuzamos bemerülés a merülést *növelni* fogja mindenütt s hüvelykkel, a trimváltás pedig *csökkenteni* fogja a merülést hátul a hüvelykkel. Az egyenlet tehát:

$$s - a = - 6,0$$
$$w/TPI - (A/L)(wd/MTi) = - 6,0$$

A hajó jellemző görbéiből meghatározható adatokhoz ki kell számítani a közepes merülést ballasztolás előtt

$$T_M = (T_F + T_A)/2 = (28'0'' + 29'6'')/2 = (57'6'')/2 = 28'9''$$

A  $28'9''$  értékű közepes merüléshez tartozó jellemző értékek:

$$TPI = 69,4 \text{ long ton per hüvelyk}$$
$$MTi = 1.870 \text{ láb-long ton}$$
$$LCF = F = 280,5 \text{ láb}$$
$$A = L - F = 528 - 280,5 = 247,5 \text{ láb}$$

A hajó tanktáblázatából a #1 testtank kapacitása 137,4 long ton tengervíznél, súlypontja (*LCG*) pedig 40,3 lábbal van a mellső függély mögött. A trimváltozás karja (*d*) a tank súlypontjának távolsága a vízvonalfelület súlypontjától:

$$d = 280,5 - 40,3 = 240,2 \text{ láb}$$

A trimváltozás orrtrim jellegű lesz, mivel a farnál kell csökkenteni a merülést. A *w* vagy *d* kiszámítására szolgáló egyenlet:

$$\begin{aligned} w/TPI - (A/L)(wd/MTi) &= -6,0 \\ w(1/TPI - (Ad/L MTi)) &= -6,0 \\ w(1/69,4 - (247,5 \times 240,2)/(528 \times 1.870)) &= -6,0 \\ w(0,01441 - 0,06021) &= -6,0 \\ -0,04580w &= -6,0 \\ w &= 6,0/0,04580 = 131,0 \text{ long ton} \end{aligned}$$

A párhuzamos bemerülés és a trimváltozás ezzel kiszámítható:

$$\begin{aligned} s &= w/TPI = 131,0/69,4 = 1,9 \text{ hüvelyk} && (\text{hozzáadandó}) \\ t &= wd/MTi = (131,0 \times 240,2)/1,870 = 16,8 \text{ hüvelyk orrtrim} \\ f &= (F/L)t = (280,5/528)16,8 = 8,9 \text{ hüvelyk} && (\text{hozzáadandó}) \\ a &= (A/L)t = (247,5/528)16,8 = 7,9 \text{ hüvelyk} && (\text{levonandó}) \end{aligned}$$

*Merülési értékek ballasztolás után:*

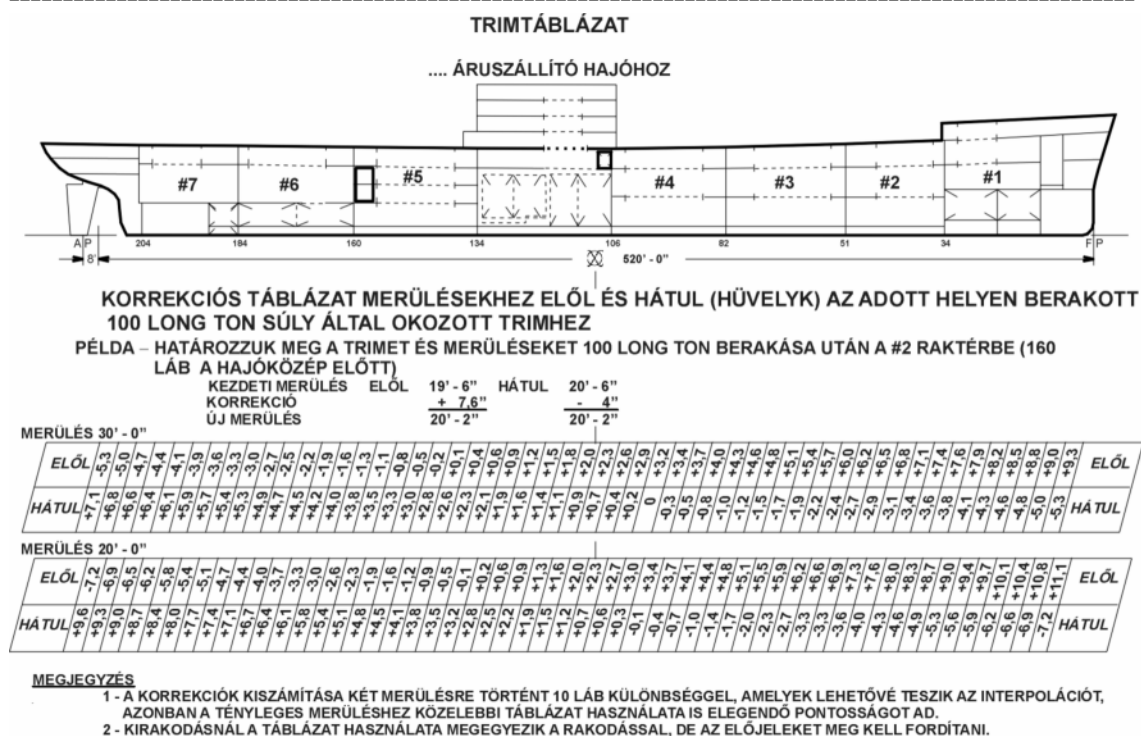
	<i>Hátul</i>	<i>Elöl</i>
Kezdeti merülések	29' 6,0"	28' 0,0"
Párhuzamos bemerülés	+ 1,9"	+ 1,9"
	29' 7,9"	28' 1,9"
Trimváltozás	- 7,9"	+ 8,9"
Végző merülések	29' 0,0"	28' 10,8"

Tehát a kérdésekre adható válaszok.

1. A ballaszt súlya 131 long ton.
2. A tank befogadó képessége 137,4 long ton, ami elegendő.
3. A merülés elöl 28' 10,8", a szintén megfelelő, mert kisebb, mint a 29' 0" limit.

### ***Trimtáblázat***

A hajótervezők által készített segédlet, amelynek neve *Trim és stabilitási könyv*, amelynek célja, hogy a hajó vezetésével megbízott tisztek ki tudják számítani a hajó stabilitását és trimjét minden út alkalmával, tartalmazzák általában az úgy nevezett *trimtáblázatot* vagy *trimdiagramot*. A következő 2.3.2.2.4.3 ábra erre mutat példát. A táblázatból kiolvashatók a merülés-változások hüvelykben a mellső és a hátsó merülési mércén, amelyet egy adott nagyságú súly (rendszerint 100 long ton súly vagy MT tömeg) berakása a hajó adott hosszirányú koordinátájú helyén előidéző. Az értékeket



2.3.2.2.2.4.3 ábra Trimtáblázat áruszállító hajóhoz

leginkább a hossz mentén egyenletes beosztásban kijelölt pontokra adják meg, pl. 10-lábanként. A táblázat közvetlenül a hajó oldalnézete alatt van elhelyezve, amelyen fel van tüntetve a tankok és rakterek helye, hogy minden berakott tételt grafikusán is lokalizálni lehessen. A táblázatban levő értékeket a korábban látott egyenlet segítségével számolják ki, ahol a  $w$  értéke mindig 100 tonna, a  $d$  kar pedig megfelel annak a távolságnak, amely a súlytételt választja el az adott rakodási állapotban feltételezett vízvonalfelület súlyponttól. Mivel a táblázatban levő merülés-változások az eredeti közepes merüléstől függenek (hiszen az  $LCF$ ,  $TPI$  és  $MTi$  értékei a merüléssel változnak), a táblázatokat két vagy több közepes merüléshez is elkészítik. A kívánt pontosságtól függően vagy a tényleges közepes merüléshez legközelebbi táblázat értékei használhatóak, vagy pedig két táblázatból kell interpolálni. Az ábra példaszámítást is mutat. Mivel a tisztek is kényelmesek, szeretik használni a trimtáblázatokat, mert egyszerűbbek, mint a fentiekben leírt kis súlyok módszere (amelyen egyébként maguk a táblázatok is alapulnak). Ez igaz mindaddig, amíg csak egy-két tételtől van szó. Ha azonban számos súly ki- és berakása történik, egy táblázatos számítást érdemes végigcsinálni.

#### 2.3.2.2.2.5 Nagyobb terhek be- és kirakása

Ha nem csupán kisebb súlyok be- és kirakódása történik, hanem olyan nagyobbaké, amelyeknél a bekövetkező merülés-változások olyan változást idéznek elő a



vízkeszorításban és a közepes merülésben, amikor a hajótest hidrodinamikai jellemzői ( $LCF$ ,  $MTi$ ,  $TPI$ ) már nem vehetők konstansnak a merülés-változások során, a kis súlyok módszere nem alkalmazható. Ezen kívül a párhuzamos bemerülés meghatározására a tonna vízkeszorítás-növekedés per hüvelyk merülés-növekedés ( $TPI$ ) jellemző nem kielégítően pontos, mert amint a merülés jelentősen megváltozik, nem igaz többé, hogy a párhuzamos bemerülés rétege függőleges határoló falakkal bír. Ezeknek a pontatlanságoknak az elkerülése érdekében olyan megközelítést kell alkalmaznunk, amely meghatározza a vízkeszorítást és a hajó rendszersúlypontjának helyét hosszirányban a rakodás előtt és után, és ezt az információt mindkét állapotban a merüléssel hozza kapcsolatba. A nagy súlyok módszere úgy is ismert, mint a trim számításának  $LCG$  módszere vagy teljes hajó módszere.

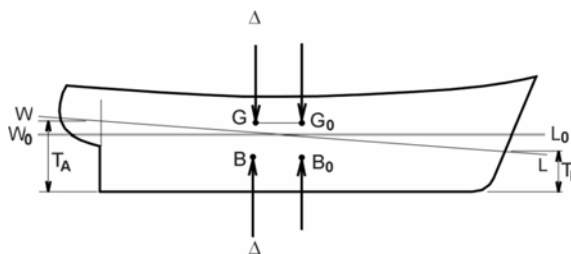
Az eljárás akkor érthető meg legjobban, ha három részre osztjuk a következőképpen.

1. Rakodás előtt ismert a merülés elől és hátul, meghatározzuk a vízkeszorítást és a rendszersúlypont hosszirányú helyét ( $LCG$ ).
2. Hozzáadjuk a kezdeti vízkeszorításhoz ( $\Delta$ ) és a hajó súlyának hosszirányú nyomatékához ( $\Delta \times LCG$ ) algebrai értelemben (előjelek figyelembe vétele nélkül) a rakományváltozás miatti súlyokat és nyomatékokat, és ebből meghatározzuk a rakodás utáni végső vízkeszorítást és rendszersúlypontot ( $LCG$ ).
3. A végső vízkeszorítás és súlyponthelyzet ismeretében meghatározzuk a megfelelő merüléseket elől és hátul.

Első pillantásra nyilvánvaló, hogy az 1. és a 3. lépés hasonló, a 3. lépés szerinti eljárás az 1. fordítottja. A 2. lépés pedig egy közös súly- és nyomatékszámítás, amely mind az egész hajót, mind az új rakományt magában foglalja.

1. lépés: a vízkeszorítás és  $LCG$  meghatározása a merülési értékekből. A vízkeszorítást a rakodást megelőző állapotban a korábban látott módon határozzuk meg. Ha a trim kicsi, a vízvonalfelület súlypontja pedig közel van a főbordához, a közepes merüléshez a jellemző görbékkel leolvasott vízkeszorítás eléggé pontos lesz anélkül, hogy a trim miatt korrigálni kellene a vízkeszorítás értékét. Az  $LCG$  értékének meghatározásához tételezzük fel, hogy a hajó a rakodás előtti helyzetben egyenes gerinccel úszott, ahogy a 2.3.2.2.5.1 ábra mutatja az egyenes úszáshoz tartozó  $W_0L_0$  vízvonalat.

Rendszersúlypontja ebben a referenciaállapotban  $G_0$ -ban lenne, vagyis közös függőleges egyenesen az egyenes úszáshoz tartozó vízkeszorítás-súlyponttal  $B_0$ . Ehhez a vízvonallal a vízkeszorítás-súlypont hosszirányú koordinátája ( $LCB_0$ ) a jellemző görbékkel leolvasható.



2.3.2.2.5.1 ábra A trimmel úszó hajó rendszersúlypontjának hosszirányú helyzete

A tényleges trimmelt állapot, az ábrán  $WL$  jelzésű vízvonalon, feltételezhetően egy  $w_d$  mértékű trimmelő nyomaték

eredménye, amely előidézte a rendszersúlypont eltolódását  $G_0$ -ból  $G$ -be, amelyet a következőképpen lehet kifejezni:

$$GG_0 = wd/\Delta = \text{trimmelő nyomaték} / \text{vízkiszorítás}$$

amely a valóságban megfigyelhető trimet okozza:

$$t = T_A - T_F = \text{a hátul és elöl mért merülések különbsége}$$

Mint ahogy a trim ismert, ki tudjuk számítani a trimmelő nyomatékot más módon is:

$$t = wd/MT_i \quad \text{tehát a trimmelő nyomaték} \quad wd = t \times MT_i$$

A két kifejezés összevonásával:

$$\Delta \times GG_0 = t \times MT_i \quad \text{vagy} \quad GG_0 = t \times MT_i / \Delta$$

ahol a  $GG_0$  a trimmel úszó hajó tényleges rendszersúlypontjának hosszirányú távolsága az egyenesen úszó hajó vízkiszorításának súlypontjától. Az  $MT_i$  értékét a jellemző görbékből leolvashatjuk annál a merülésnél, amelynél a  $\Delta$  vízkiszorítást meghatároztuk, azaz a vízvonalfelület súlypontjában ( $LCF$ ) érvényes merülésnél, ha a vízkiszorítást korrigáltuk a trimhez, vagy a közepes merülésnél, ha a korrekciót mellőzni lehetett. Tehát a trimmel úszó hajó rendszersúlypontjának hosszirányú helye ( $LCG$ ):

$$LCG = LCB_0 + GG_0$$

Ez algebrai összeg, bármelyik tag lehet pozitív vagy negatív, ha az  $LCB_0$  a főbordától van megadva, a trim értelmétől függően. Természetesen fartrim esetén  $G$  a  $B_0$  mögött van, illetve orrtrimnél előtte.

#### *Példa*

A korábbi példákban már előforduló áruszállító hajó tengervízben úszik, merülése elöl 19'2" és 23'8" hátul.

Határozzuk meg a hajó rendszersúlypontjának hosszirányú helyét ( $LCG$ ) lábban a mellső függélytől.

Először is számítsuk ki a közepes merülést és a trimet.

$$T_A = 23'8''$$

$$T_F = 19'2''$$

$$T_A + T_F = 42'10'' \quad T_M = (T_A + T_F)/2 = 21'5''$$

$$T_A - T_F = 4'6'' \quad t = T_A - T_F = 4'6'' = 54 \text{ hüvelyk fartrim}$$

A jellemző görbékből  $T = 21'5''$  merülésnél:

$$\Delta = 14.330 \text{ long ton}$$

$$LCB_0 = 265,45 \text{ láb a mellső függély (FP) mögött (zéró trimnél)}$$

$$MT_i = 1.530 \text{ láb-long ton}$$

A hosszirányú távolságot  $G$  és  $B_0$  között a következőképpen számítjuk ki:

$$GG_0 = t \times MT_1 / \Delta = 54 \times 1.530 / 14,330 = 5,77 \text{ láb, a } G \text{ a } B_0 \text{ mögött}$$

Mivel fartrimről van szó, a  $G$  az egyenes úszási helyzetben érvényes  $B_0$  vízkiszorítás-súlypont *mögött* kell, hogy legyen. Tehát a rendszersúlypont helye hosszirányban:

$$LCG = LCB_0 + GG_0 = 265,45 + 5,77 = 271,22 \text{ láb az } FP \text{ mögött.}$$

*2. lépés: a végső vízkiszorítás és LCG meghatározása.* Az előző lépésben meghatározott vízkiszorításból és súlyponthelyzetből ( $LCG$ ) kiindulva elvégezzük a súlyok és hosszirányú trimmelő nyomatékok számítását valamennyi be- és kirakott illetve elmozdított tétel és azok hosszirányú súlyponthelyzetének figyelembevételével. A végső vízkiszorítás egyszerűen az összes súly összege, a végső rendszersúlypont-helyzet ( $LCG$ ) pedig a teljes hosszirányú nyomaték és a végső vízkiszorítás hányadosa. A számítás során ügyelni kell arra, hogy a súlytételek súlyponthelyzetének viszonyítási tengelye valamennyi esetben ugyanaz legyen.

#### *Példa*

Az előző példában szereplő áruszállító hajó a következő berakodási műveleteken esik át:

320 long ton a #2 raktérbe a kettősfenékre,  
 355 long ton a #2 raktérbe a 3. fedélzetre,  
 640 long ton a #3 raktérbe a 3. fedélzetre,  
 386 long ton a #3 raktérbe a 2. fedélzetre,  
 652 long ton a #4 raktérbe a 3. fedélzetre,  
 448 long ton a #5 raktérbe a 2. fedélzetre,  
 685 long ton a #6 raktérbe a 3. fedélzetre,  
 422 long ton a #6 raktérbe a 2. fedélzetre,  
 355 long ton a #7 raktérbe a 3. fedélzetre.

Határozzuk meg a hajó vízkiszorítását és rendszersúlypontját a rakodás befejezése után. Az előző példa szerint a hajó rakodás előtt 14.330 long ton súlyú vizet szorított ki, és súlypontja a mellső függély mögött volt  $LCG = 271,22$  láb távolságra. A berakodott tételek súlypontját a hajó rakodási táblázatából vettük ki. A számítást a következő táblázat mutatja.

<i>Súly</i>	<i>LCG az FP-től</i>	<i>Nyomaték</i>
14.330	271,22	3.886.582,6
320	106,2	33.984,0
355	105,3	37.381,5
640	161,6	103.424,0
386	161,3	62.261,8
652	221,9	144.678,8

## BBBZ-kódex

---

448	356,5	159.712,0
685	415,5	284.617,5
422	416,5	175.763,0
355	469,4	166.637,0
18.593	271,88	5.055.042,2

---

Berakodás után tehát a hajó vízkiszorítása 18.593 long ton és az  $LCG = 271,88$  láb a mellső függély mögött.

*3. lépés: a merülési értékek meghatározása a vízkiszorításból és LCG hosszirányú súlyponthelyzetből*

Ez a lépés az 1. lépést fordítja meg. Az értékek természetesen mind különböznek az 1. lépésben szereplő mennyiségektől, mert a közepes merülésben jelentős változás következett be. A jellemző görbékből való leolvasás kiinduló adata a 2. lépésben meghatározott vízkiszorítás, amelynél a következő jellemzőket olvassuk le.

Közepes merülés =  $T_0$

Vízkiszorítás súlypontjának helyzete egyenes úszásnál és  $T_0$  merülésnél =  $LCB_0$

Egy hüvelyk trimet okozó nyomaték =  $MT_i$

Vízvonalfelület súlypontjának helyzete =  $LCF$

Azt a valószínűtlenül ritka esetet kivéve, amikor a 2. lépésben meghatározott  $LCG$  pontosan megegyezik az itt leolvasott  $LCB_0$  értékkel, a hajó trimmel fog úszni, hogy a trim miatt elmozduló  $LCB$  egy vonalba kerüljön az  $LCG$ -vel. Tehát a referenciának tekintett egyenes gerincű úszáshelyzettel szemben van egy adott trimmelő kar, amelyet az 1. lépésnél használt egyenletből határozzunk meg, de most a  $GG_0$  kifejezésével, amely a hosszirányú távolság a tényleges rendszersúlypont ( $G$ ) és az egyenes úszáshoz tartozó  $B_0$  vízkiszorítás-súlyponttal azonos függőlegesen levő egyenes úszáshoz tartozó rendszersúlypont ( $G_0$ ) között:

$$GG_0 = LCG - LCB_0$$

Ezúttal is ügyelni kell a mennyiségek előjelére, amiben a megszokott vázlat jó szolgálatot tesz, hogy amennyiben a főborda a referenciatengely, akkor lehessen látni az attól hátra illetve előre eső pontokat. A vázlat a trim értelmét is mutatja: ha a  $G$  a  $B_0$  mögött van, fartrim jön létre, ha viszont előtte, orrtrim alakul ki. A következő művelet a trim kiszámítása:

$$t = \Delta GG_0 / MT_i$$

A merülés-változások számítása során azokat az általános formulákat használjuk, amelyeket a kis súlyok módszerénél írtunk fel:

$$f = (F/L)t$$

---

és  $a = (A/L)t = t - f$

ahol  $F$  és  $A$  a mellső és a hátsó merülési mércék távolsága a vízvonalfelület súlypontjától. Végül a merülési értékek:

$$T_F = T_0 \pm f$$

$$T_A = T_0 \pm a$$

ahol a  $\pm$  jel azt jelenti, hogy figyelembe kell venni, far- vagy orrtrim jön létre.

#### Példa

Határozzuk meg az előző két példában szereplő hajó merülését elől és hátul az előző példa szerinti rakodási állapotban.

A hajó jellemző görbéiben az előző példa eredményeként kapott végső 18.593 long ton vízkiszorításból indulunk ki. A következő mennyiségeket olvassuk le:

$$T_M = 26'9''$$

$$LCB_0 = 267,70 \text{ láb az } FP \text{ mögött (zéró trimnél)}$$

$$MT_i = 1.758 \text{ láb-long ton}$$

$$LCF = F = 278,15 \text{ láb az } FP \text{ mögött}$$

$$\text{Tehát } A = 528 - 278,15 = 249,85 \text{ láb}$$

A  $GG_0$  trimmelő kar a tényleges rendszersúlypont ( $LCG$ ) és az egyenes úszáshoz tartozó vízkiszorítás-súlypont ( $LCB_0$ ) hosszirányú távolsága:

$$GG_0 = LCG - LCB_0 = 271,88 - 267,70 = 4,18 \text{ láb (} G \text{ a } B_0 \text{ mögött)}$$

A trim a  $26'9''$  merüléshez tartozó egyenes gerincű úszásnál:

$$t = \Delta GG_0 / MT_i = 18.593 \times 4,18 / 1.758 = 44,2 \text{ hüvelyk}$$

Fartrimről van szó, mivel a  $G$  a  $B_0$  mögött van. Az egyenes úszáshoz képesti merülés-változások elől és hátul:

$$f = (F/L)t = (278,15/528)44,2 = 23,3 \text{ hüvelyk} = 1'11,3'' \text{ (levonandó)}$$

$$a = (A/L)t = (249,85/528)44,2 = 20,9 \text{ hüvelyk} = 1'8,9'' \text{ (hozzáadandó)}$$

Merülések rakodás után:

	Hátul	Elől
Közepes merülés		
rakodás után	26' 9,0''	26' 9,0''
Trimváltozás	+ 1' 8,9''	- 1' 11,3''
Végső merülések	28' 5,9''	24' 9,7''

A nagy súlyok módszere a trim és merülési értékek meghatározásához ugyanolyan pontos kis súlyok esetében is, és az összes hajó rakodási számításaihoz használható. A hajókon megtalálható standard trim- és stabilitási segédletekben foglalt nyomtatványok arra szolgálnak, hogy a fent leírt eljárás 2. és 3. lépésének megfelelő számításokat el lehessen végezni. Az első lépés egyedi, mivel nem lehet előre listázni minden súlyt, amit be- vagy kiraknak, beleértve az üres hajót is, tehát azt az adott szituációnak megfelelően kell elvégezni.

### 2.3.2.3 Lékszámítás

Ha egy hajó kifut a kikötőből, főleg a nyílt tengerre, vállalja annak veszélyét, hogy valamilyen módon víz jut a hajótérbe. Minden évben számos kereskedelmi hajó süllyed el és vész el, mert ütközés vagy zátonyra futás miatt elegendő víz tud bejutni a hajótestbe ahhoz, hogy már nem maradhasson úszóképes. Akkor is, ha a statisztika az évente elvesztett hajók számát a világ aktív kereskedelmi flottájához képest csak a százalék töredékére teszi, a tengerészeti hatóságok és szakemberek közössége, akik felelősek az életek, hajók és rakomány megóvásáért, kötelességének érezte, hogy aggódásának úgy adjon hangot, hogy számtalan tanulmányban, nemzetközi konferenciákon és a kiadott rendelkezésekben foglalta össze, mit kell tenni ahhoz, hogy a katasztrófa valószínűsége kisebb legyen akkor is, ha a hajó sérülést szenved. Ez a fejezet azokat a vizsgálatokat tartalmazza, amelyek a hajótest vízzel való *elárasztásának* okaira és hatásaira koncentrálnak, valamint arra, hogyan lehet a hajótestet a legjobban felosztani *önálló vízmentes terekre* annak érdekében, hogy a hajó elvesztésnek veszélyét minimálisra lehessen csökkenteni lékesedés esetén.

#### 2.3.2.3.1 Lékesedés

A vízzel elárasztott hajótest viselkedése sokban emlékeztet a folyékony rakomány szállítására szolgáló hajóknál tapasztalható jelenségekre. Azonban a különbségek azok, amelyek miatt a *lékesedés* jelenségét elkülönülten kell vizsgálni.

##### 2.3.2.3.1.1 A vízbejutás (elárasztás) okai

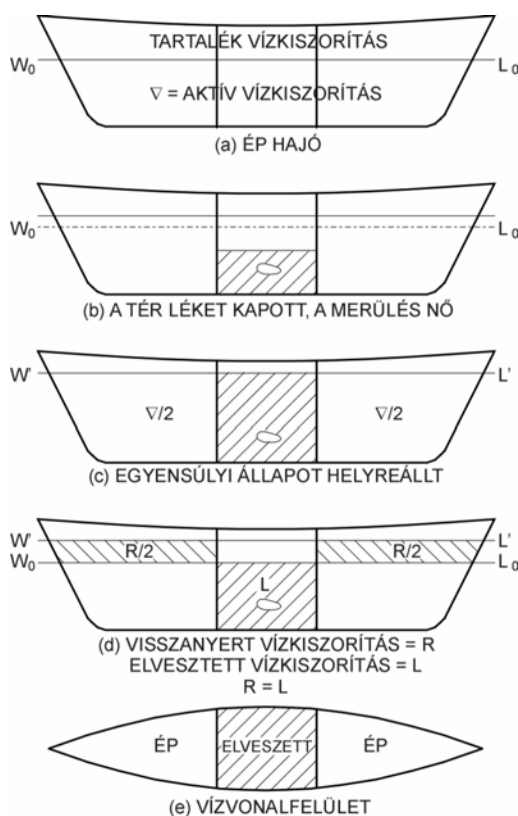
A *víz hajótestbe történő bejutásának* leggyakoribb két oka a hajók összeütközése a zátonyra futás. A mozgó hajó tehetetlensége (inerciája) hatalmas – tömeg szorozva a sebességgel – még akkor is, ha a hajók lassabban haladnak a többi járműnél, mivel a mozgó tömeg igen nagy. Tehát amikor nekiütközik egy másik hajónak vagy egy álló műtárgynak, amilyen egy móló vagy egy hídláb, vagy pedig, ha sziklás területen fut zátonyra, nem tud azonnal megállni. A hajó héjlemezelése deformálódik és kiszakad, a test terei pedig megtelnek vízzel. Más esetek is léteznek, amelyek során a hajótest vízmentessége sérül, pl. belső robbanás, a vasszerkezet valamelyik elemének törése, amely léket nyit, az utóbbi időben pedig a világméretű terrorizmus akciói nemzetközi vizeken, nemcsak hadihajók ellen. Az utóbbi esetet kivéve szinte minden emberi hibára vezethető vissza, pl. a navigáció során, a gépek helytelen működtetésénél vagy a nem megfelelő karbantartásban elkövetett mulasztásokra.

A vízmentes terek elárasztása úgy is előfordulhat, hogy a hajótest nem sérül meg a vízvonallal. Ilyen eset fordulhat elő viharos időben a fedélzeti nyílásokon át bejutó vízzel, amelyet *beszivárgás* néven ismerünk, vagy akkor, ha a hajón keletkező tűz eloltásához használt víz túlzott mennyiségű, de nem ritka az sem, hogy a csőrendszerek záró-szerelvényeinek helytelen nyitásakor jut be a külső víz a hajótestbe. A hajó ilyen esetekben másképpen viselkedik, mint amikor a *héjlemezen keletkezett léken* át a külső víz akadálytalanul bejuthat. Ilyenkor a hajótest érintetlen, a hajó jellemzőit az általános

stabilitási, trim és geometriai számítási elvek szerint határozhatjuk meg, amelyeket az *ép hajótest* vizsgálatánál láthattunk.

### 2.3.2.3.1.2 Az elárasztás hatásai

Mi történik a hajóval akkor, amikor a héjlemez megsérül a vízvonal alatt, és a víz beáramlik a léken egy *vízmentes térbe*? Tipikus esetben számos változás következik be, más lesz a merülés, a szabadoldal és a trim értéke, illetve a kereszt- és hosszstabilitás is megváltozik. Ezeknek a vizsgálata külön- külön a 2.3.2.3.1.2.1 ábra szerint történhet, amely a lehető legegyszerűbb esetet ábrázolja, ami bekövetkezhet egy feltételezett hajóval, ahol az orr és a far alakja megegyezik, tehát nemcsak kereszt-szimmetriával bír, valamint a fedélzetig kialakított *vízmentes keresztválaszfalak* elrendezése is szimmetrikus. Az ilyen válaszfalakat *térelválasztó válaszfalak* néven ismerjük, mivel vízmentes terekre osztják fel a hajótestet.



2.3.2.3.1.2.1 ábra Az elárasztás hatásai

A legfelső olyan fedélzet neve, amelyet a vízmentes válaszfal érint, tehát amely lezárja a válaszfalat felülről, *válaszfalfedélzet*. Az (a) részleten egyenes gerinccel  $W_0L_0$  vízvonalon úszó ép hajótest stabil egyensúlyi állapotban van. A vízkiszorítás térfogata ( $\nabla$ ) *aktív vízkiszorítás* néven van megjelölve. A *tartalék vízkiszorítás* a terek vízmentes térfogata a vízvonal felett a válaszfalfedélzetig, mert ha a hajó valamelyik vízmentes tere léket kap, és emiatt a hajó mélyebbre merül a vízben, ezek a térfogatrészek, kivéve az *elárasztott teret*, az aktív vízkiszorítás részévé válnak. Ha a középső tér kap léket, amint a (b) részlet mutatja, a tér elárasztott része már nem járul hozzá a vízkiszorítással együtt járó felhajtóerőhöz, a merülésnek emiatt meg kell növekednie, hogy kiegyenlítse a felhajtóerő veszteséget. A lék miatti elárasztás a (c) részlet szerint akkor áll meg, amikor a léket

kapott tér előtti és mögötti aktív vízkiszorítás összege megegyezik a hajó sérülés előtti  $\nabla$  vízkiszorításával, az egyensúly pedig a  $W'L'$  vízvonalon áll helyre. A hajótestbe beáramló víz a *külső víztér* (tenger vagy folyó) részeként van figyelembe véve (a másik nézet szerint súlya hozzáadódik a hajó súlyához), így a hajó úszásához szükséges felhajtóerő nem változik.

Azzal sem követünk el hibát, ha azt mondjuk, hogy a hajó elárasztott állapotában akkor



áll helyre az egyensúly, amikor az elárasztás miatt kieső vízkiszorítást a tartalék vízkiszorítás azonos mértékben helyettesíti. Az ábra (d) részlete ezt szemlélteti. A *lékesedett tér* térfogata az ép hajó eredeti vízvonalaig ( $W_0L_0$ ) az *elvesztett vízkiszorítás*. Általában a korábbi aktív vízkiszorítás minden olyan része, amely elárasztódik, elvesztett vízkiszorításnak tekinthető. Az ép hajó  $WL$  vízvonala és a lékesedett állapot  $W'L'$  vízvonala közötti vízkiszorítás-térfogat a lékesedett téren kívül a *visszanyert vízkiszorítás*. Általában a korábbi tartalék vízkiszorítás minden olyan része, amely lékesedett állapotban, amikor az új egyensúlyi állapot kialakult, aktív vízkiszorításnak tekinthető. Tehát mondhatjuk úgy is, hogy akkor áll helyre az egyensúlyi állapot, amikor a visszanyert vízkiszorítás megegyezik az elvesztett vízkiszorítással, amint az ábra (d) részlete mutatja. Nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy az elárasztott tér felső része nem tartozik az elvesztett vízkiszorításhoz, hiszen nem volt része az eredeti aktív vízkiszorításnak, de a visszanyert vízkiszorításba sem tartozik bele, mivel az új egyensúlyi állapot beálltakor el van árasztva. Ennek alapján egyértelmű, hogy az a hajó, amely nincs külön terekre osztva vízmentes válaszfalakkal, el kell, hogy süllyedjen, ha bárhol a vízvonala alatt léket kap, mivel nem képes visszanyert vízkiszorítás képzésére. Az ábra (e) részlete jól szemlélteti a lékesedett állapotban érvényes vízvonalfelületet. A szabadon beáramló környezeti víz a vízvonalfelületnek az elárasztott térben levő részét hatástalanná tette, ami csökkenti a vízvonalfelület területét ( $A_w$ ) és kereszt- és hosszirányú inercianyomatékát ( $I_T$  és  $I_L$ ). Tehát a hajó  $TPI$  ill.  $TPC$ , valamint  $BM_T$  és  $BM_L$  értékei mind csökkennek. A következőkben részletesen megvizsgáljuk a lékesedésnek ezeket a hatásait.

#### ***Az elárasztás hatása a merülésre és a szabadoldalra***

A hajó egy terének elárasztása általában azt okozza, hogy a hajó mélyebbre merül, és így a szabadoldal csökken. Az egyetlen kivétel ez alól, ha a lékesedett tér meg van töltve folyadékkal az egyensúlyi úszáshelyzet vízvonalaánál magasabban. Ilyen esetben a merülés inkább csökken, mivel a folyékony rakomány helyett a léken szabadon áramló vízzel kell számolni. Minden más esetben növekszik a merülés mindaddig, amíg az egyensúly helyre nem áll, vagy amíg a léken beáramló víz be nem hatol a többi vízmentes térbe. Ha az ép hajó szabadoldala annyira kicsi, hogy a *lékesedett állapot vízvonala* eléri a válaszfalfedélzetet, a teljes tartalék vízkiszorítás elfogy, a hajó pedig elsüllyed. Amikor egy hajó nem azért süllyed el, mert felborul hirtelen megdőlés vagy negatív stabilitás miatt, hanem azért, mert nincs elegendő tartalék vízkiszorítása, azt *elmerülés (foundering)* néven emlegetjük. A nemzetközi rendelkezések, amelyek a *minimális engedélyezett szabadoldalról* intézkednek, részben azon alapulnak, hogy elegendő tartalék vízkiszorítást biztosíthassanak az elmerülés megakadályozásához.

#### ***Az elárasztás hatása a stabilitásra***

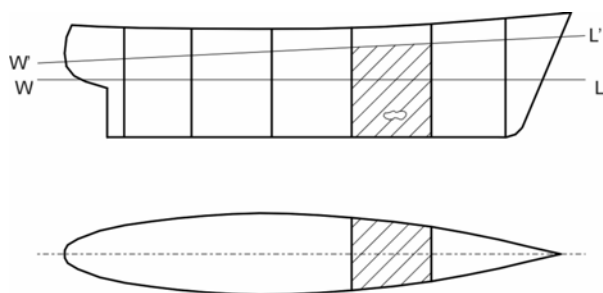
A szokásos alakú hajóknak mind a kereszt-, mind a hosszirányú stabilitása lecsökken, amikor valamelyik nagyobb tér elárasztódik. Ahogy az előző ábra (e) részletében láttuk, a legfőbb oka a stabilitás változásának az, hogy csökken a vízvonalfelület inerciája, vagyis a  $BM$  értéke. Ezzel szemben a merülés növekedésével feljebb kerül (a gerinchez képest) a vízkiszorítás súlypontja. A  $KB$  értékének növekedése a  $BM$  csökkenését

bizonyos mértékben kiegyenlíti, ezért vannak olyan hajóformák, amikor még kis mértékben növekszik a hajó stabilitása. A szokásos esetekben azonban, különösen, amikor a lékesedett tér a hajó hengeres középrészén van, a keresztirányú stabilitás csökkenése jelentős lehet, és ez veszélyes. Amikor a keresztirányú stabilitás negatív értékbe megy át, az *felborulást (capsizing)* eredményez. Ez akkor is megtörténhet, ha a lékesedés maga nem okoz kitérítő nyomatékot, de a  $GM_T$  értéke negatív lesz, és a szabadoldal annyira lecsökken, hogy a legkisebb lógási szögnél is *bemerül a válaszfalfedélzet széle*. A hajózó tiszták nem engedhetik meg, hogy a maradék stabilitást olyan kis értékűre hagyják lecsökkenni, amikor a felborulás nagy valószínűséggel bekövetkezik; az ilyen helyzet veszélyességét nem lehet túlértékelni.

Az előző egyszerű eset kapcsán nem lehetett szemléltetni az elárasztás két további hatását, mivel az ott ábrázolt hajó mindkét irányban szimmetrikus volt. A lékesedés általában a trimben is változást idéz elő, mert az nagyon ritka eset, hogy a léket kapott tér olyan helyen legyen, ami kizárólag párhuzamos bemerülést okoz. Ha emellett az elárasztott tér a hajó szimmetriasíkjára sem szimmetrikus, a beáramló víz a hajónál megdőlést is okozni fog.

#### ***Az elárasztás hatása a trimre***

A léken át beáramló víz nemcsak merülés-növekedést, tehát bemerülést okoz, hanem a trim értékét is megváltoztatja. A 2.3.2.3.1.2.2 ábra azt mutatja, amint egy hajónál a hajó mellső részén levő teret elárasztó víz addig növeli az orrtrimet, amíg a hajótest ép víz alatti részének vízkiszorítás-súlypontja a hajó rendszersúlypontjával közös függőleges egyenesre nem kerül. Ha az egyensúlyi állapot nem tud azt megelőzően helyreállni, hogy a trimmel úszó hajó úszásvonala a válaszfalfedélzet egy részét bemerítene, a fedélzeten levő nyílásokon át a hajótest ép tereibe is bejut a víz (a fedélzeti zárószerkezetek ugyanis csak időjárásállóak, de nem vízmentesek), a hajó pedig az egyre nagyobb vízbejutás miatt el fog süllyedni.



2.3.2.3.1.2.2 ábra Az elárasztás miatti trim

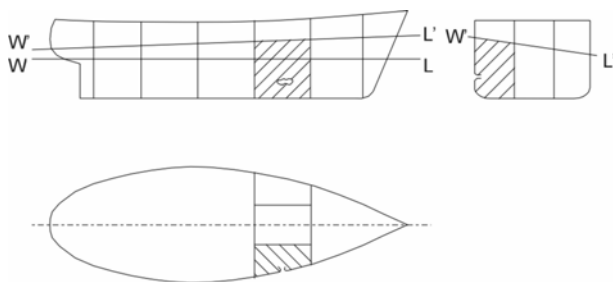
Amint egyre több vízmentes tér árasztódik el, a vízvonalfelület hosszirányú inerciájának csökkenése jelentősen csökkenti a hosszirányú stabilitást és azzal együtt az egységnyi

trimet előidéző nyomaték értékét, a hajó pedig a legstabilabb helyzetet fogja elfoglalni (amikor a gerinc függőleges), és *orral előre elsüllyed (plunge)*. Az ilyen módon történő elsüllyedés általában hosszabb időt vesz igénybe ahhoz képest, amennyi idő alatt egy felboruló hajó süllyed el.

#### ***Az elárasztás hatása a megdőlésre***

A hajó helyzete bármelyik tér elárasztása esetén nagyon veszélyes, de ha a léket kapott tér távol esik a szimmetriasíktól, és egyidejűleg bemerülést, trimet és megdőlést is okoz,

amint azt a 2.3.2.3.1.2.3 ábra mutatja, az a legveszélyesebb helyzet.



2.3.2.3.1.2.3 ábra Az elárasztás általános esete trimmel és megdőléssel

A sérült hajó megdőlése addig nő, amíg a hajótest ép víz alatti részének vízkiszorítás-súlypontja a hajó rendszersúlypontjával közös függőleges egyenesre nem kerül. A

mélyebb oldalon a szabadoldal gyorsan csökken, és amennyiben az elárasztott tér nagy, a megdőlt állapotban az egyensúlyi helyzet nem tud azt megelőzően kialakulni, hogy a fedélzet széle bemerülne. Egy ilyen kétes állapotban levő hajó ugyan úszóképes maradhat egy ideig, mert a fedélzet vízmentes, azonban, mivel a hullámok átcsapnak a fedélzeten, a hajó pedig állandóan billeg, csak idő kérdése, hogy a nem vízmentes fedélzeti nyílásokon elegendő víz hatoljon be a további terek elárasztásához, ami elkerülhetetlenül a hajó elsüllyedését okozza. A mi a legnagyobb veszélyt jelenti, az a tény, hogy amint az elárasztás fokozódik, a hajó keresztirányú stabilitása is változik, általában csökken. A negatív metacentrikus magasság az excentrikus elárasztás által okozott megdőléssel kombinálva azt eredményezheti, hogy a hajó egyik pillanatról a másikra felborul.

### 2.3.2.3.2 Vízmentes válaszfalak kiosztása

Az előzőekben bemutatott példákban azt tételeztük fel, hogy a hajótest vízmentes terekre van felosztva vízmentes keresztválaszfalakkal, amelyek konstrukciója biztosítja a víz átáramlásának megakadályozását egyik térből a másikba, mivel a válaszfal felső szélét a fedélzet jelenti. Tehát ezek szilárdságának elegendőnek kell lennie ahhoz, hogy akkor is vízmentesek maradjanak, amikor akkora víznyomás terheli őket, hogy a válaszfal egyik oldalán a tér egészen a válaszfalfedélzetig fel van töltve vízzel, a másikon pedig semmi sem tart ellent a nyomásnak, mert a tér üres. Az nyilvánvaló, hogy az olyan hajó, amely nincs vízmentes terekre felosztva, mindenképpen el fog süllyedni, amint a héj bárhol megsérül, mert egyáltalán nem lennének ép terek, amelyek vízkiszorítást tudnának biztosítani. Tehát mindegyik hajónál szükség van valamilyen mértékű térfelosztásra, hogy úszóképes maradjon a héjlemez sérülése esetén, amely a víz beáramlását a hajótestbe lehetővé teszi.

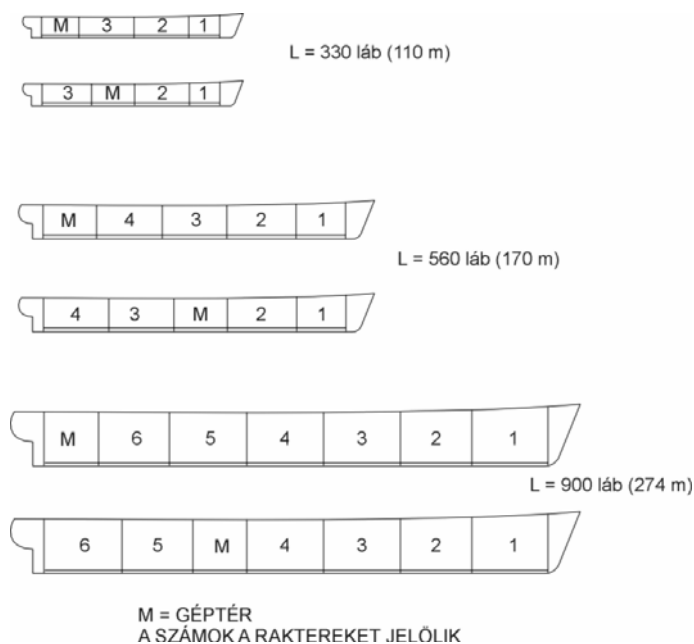
Már sok évvel ezelőtt felismerték a hajótervezők, hajótulajdonosok, biztosító társaságok és tengerészeti hatóságok, hogy szükség van a vízmentes válaszfalak valamilyen kiosztására ahhoz, hogy a hajó úszóképes maradjon sérülés esetén. A felismerés azonban még nem volt elég. A kritikus kérdés a következőképpen hangzik: „Hány válaszfalra van szükség és mennyire közel kell azokat egymáshoz elhelyezni?” A nyilvánvaló válasz: „Amennyire és amilyen sűrűn kell őket elhelyezni ahhoz, hogy a lehető legnagyobb sérülés esetén is a hajó úszóképes maradjon.” Ez azonban olyan követelményt támaszt, amit nem lehet kielégíteni. Az elsüllyeszthetetlen hajó

megvalósíthatatlan (hacsak nem a víznél könnyebb anyagból épül), ugyanis minél közelebb kerülnek a válaszfalak egymáshoz, annál nagyobb annak a valószínűsége, hogy egynél több tér is megsérül, és így számos szomszédos tér árasztódik el. Bármilyen válaszfal kiosztást választunk, mindig lehetséges olyan helyen történő és olyan mértékű sérülés, amely elegendő számú tér elárasztásával a hajó elsüllyedését okozza. Ezen kívül nyilvánvaló, hogy nagyszámú kis tér kialakítása esetén a hajón nehézkessé vagy lehetetlenné válik a rakomány kezelése, sőt, a terekbe való bejutás is. Tehát a válaszfalak kiosztásánál az a feladat, hogy olyan megoldást lehessen találni, amely elfogadható fokú biztonságot nyújt anélkül, hogy azzal ésszerűtlenül csökkenne a gazdaságosság vagy a használhatóság.

### 2.3.2.3.2.1 Vízmentes válaszfalak kiosztására vonatkozó követelmények

A hajóosztályozó intézetek voltak az első olyan hatósági intézmények, amelyek követelményeket dolgoztak ki a vízmentes válaszfalak kiosztására. Ezeknek a követelményeknek az alapja nemcsak a lékesedés, hanem a keresztzilárdság is. A szabályok az összes osztályozó intézetnél hasonlóak.

A *kollíziós válaszfal* az orrban van elhelyezve valamennyi hajónál. Mivel szinte minden ütközésnél (kollízió) legalább az egyik hajónál (amelyik ütközik) az orrész megsérül, statisztikailag a hajó legelöl található része, az orr a leghajlamosabb a megrongálódásra.



2.3.2.3.2.1.1 ábra Tipikus vízmentes válaszfal kiosztás áruszállító hajóknál

A kollíziós válaszfalnak az orrtőkéhez eléggé közel kell lennie ahhoz, hogy korlátozza a beáramló víz mennyiségét, vagyis akadályozza meg, hogy a trim veszélyesen nagy legyen, de elég messze is ahhoz, hogy az ütközésnél maga ne sérüljön meg. Az előírások szerint távolsága a mellső függély mögött legalább  $0,05L$  (5%-a a vízvonalhossznak) kell, hogy legyen, személyhajóknál ez

$0,05L$  plusz 10 láb (3,05 méter), de az összes többi hajótípusnál nem lehet messzebb, mint  $0,08L$ . A kollíziós vagy orrkamra válaszfal különlegesen szilárd konstrukciójáról a hajótest szerkezetének ismertetése tartalmaz többet.

Szükség van hasonló módon a fárnál a *farkamra válaszfalra* is, amelynek magába kell fogadnia a *hajócsavar tengely* vagy tengelyek *tönkcsövét*. Így azt lehet megakadályozni, hogy a hajócsavart ért sérülés miatt nagyobb mennyiségű víz jusson a hajóba. Erre a

válaszfalra az egyetlen konkrét előírás, hogy a *tengelykilépés* előtt kell kialakítani. *Géptéri válaszfalak* elhelyezése kötelező a géptér két végénél, hogy a géptér külön vízmentes térben legyen kialakítva. Ezek nemcsak lékesedésnél választják le a gépteret, hanem *tűzvédelmi ernyőként* is szerepet játszanak. Amennyiben *far-géptér* van a hajón, a hátsó géptéri válaszfal és a farkamra válaszfal azonos.

*Raktéri válaszfalak.* Az orr- és farkamra, illetve a géptér válaszfalain kívül a rakterek között további vízmentes válaszfalakat osztanak ki. Ezeknek a további válaszfalaknak a számát és helyét az osztályozó intézetek, nemzetközi konvenciók és nemzeti szabványok szabják meg, esetleg a *Nemzetközi Tengerhajózási Szervezet* (International Maritime Organization, *IMO*) ajánlásai. A hajóhossz növekedésével a válaszfalak száma is nagyobb. A 2.3.2.3.2.1.1 ábra az amerikai osztályozó intézet (*American Bureau of Shipping, ABS*) irányelvein alapuló tipikus válaszfal kiosztást mutat áruszállító hajóknál. Az ábrán három hossz-kategória látható, mindegyiknél két géptéri elrendezési változat.

#### 2.3.2.3.2.2 A jellemzők kiszámítása a sérülés bekövetkezése után

A vízmentes válaszfalak kiosztása csak az első dolog, amit a hajótervezőnek meg kell tennie annak az elemzésnek a során, amelynek segítségével meghatározhatja azt a *biztonsági tényezőt*, amely a hajó úszóképes állapotban maradását fejezi ki azt követően, hogy léket kapott és elárasztódott. A tényleges vízmentes terek, tankok és egyéb helyiségek ismeretében számításokat kell végezni a hajó merülésének, trimjének, dőlésének és stabilitásának meghatározására, amelynél a hajó visszanyeri egyensúlyi helyzetét az egyes terek és helyiségek elárasztása után. A hajóra vonatkozó számos nemzetközi és nemzeti előírás meghatározza azt a feltételezett sérülési mértéket, annak helyét a hajón, valamint a biztonság szükséges mértékét azt követően, hogy a hajó a sérült állapotban visszanyerte egyensúlyi helyzetét.

##### 2.3.2.3.2.2.1 Az elárasztott terek kitöltési tényezője

A lékesedési számítások nem adhatnak pontos merülési és stabilitási értékeket az adott tér elárasztása után, mert nagyon sok bizonytalanság fordul elő a *valóságos lékesedési szituációknál*, amelyeket csak becsülni lehet a lehetséges károk elemzése során. Amellett, hogy a *sérülés tényleges mértékét* (hossza, magassága, vízbeeresztő képessége) és annak helyét nehéz előre megbecsülni, az is kérdéses, hogy valójában mennyi víz tud behatolni az elárasztott térbe, amely már tartalmaz rakományt, gépeket, folyadékokat, lakótéri felszereléseket vagy bármilyen más anyagokat. A behatoló víz térfogatának ( $v_w$ ) és a tér köbözési térfogatának ( $v_c$ ) hányadosát a tér *kitöltési tényezőjének* ( $\mu$ ) nevezzük.

$$\mu = v_w / v_c$$

A számítások során a  $\mu$  tizedes tört alakjában van kifejezve (pl. 0,85), amikor azonban

az értékeket táblázatba foglalják, százalékban adják meg (pl. 85% vagy egyszerűen 85-ös kitöltési tényező).

A szokásos terekhez meghatározták a körülbelüli kitöltési tényezőket, amelyek attól függenek, milyen mértékben vannak a terek eredetileg telerakva. A következő táblázat azokat a gyakorlatban vagy elméleti számítások segítségével meghatározott értékeket tartalmazza, amelyek a lékesedési számítások során ajánlhatóak. Érdekes azt is megfigyelni, hogy az üres terek sem 100%-osak, mivel maga a vasszerkezet is kitölti a tér bizonyos részét.

<i>A tér és tartalmának megnevezése</i>	<i>Kitöltési tényező, %</i>
Üres tér	95
Száraz rakomány vagy készletek	60
Lakóterek	95
Gépterek	85
Konténer rakterek (a konténerek megtelnek vízzel)	70
RO/RO rakterek (kerekes járművek)	90
Bárkaszállító hajó rakterei (a bárkák megtelnek vízzel)	76
Bárkaszállító hajó rakterei (a bárkák nem telnek meg vízzel)	30

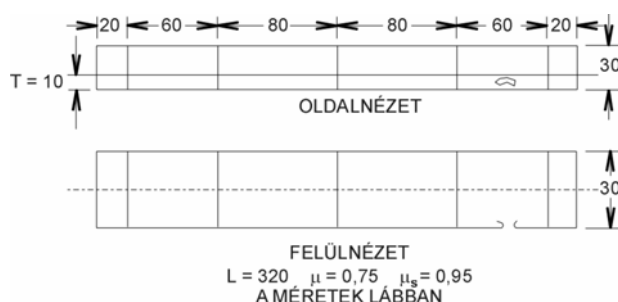
A lékesedés egyik következménye a vízvonalfelület és az inercianyomaték csökkenése az elárasztott téren belül. Ennek a csökkenésnek a mértékét befolyásolja a különböző szintig való elárasztás során a vízvonalfelületet csökkentő szerkezetek, gépek vagy rakományok mérete. A teret elárasztó víz felületének ( $a$ ) és a tér sablon szerinti felületének ( $a_s$ ) az arányát *felület-kitöltési tényezőnek* ( $\mu_s$ ) nevezzük. Ehhez használható valóságos méretek és adatok szinte nem léteznek. Számításoknál a  $\mu_s$  gyakran ugyanolyan értékűre van feltételezve, mint a tér kitöltési tényezője, bár annál sokkal magasabb is lehet, különösen, ha a víz a tér felső részéig emelkedik, hiszen a gépek és rakományok a terek alsó részét foglalják el. Annak érdekében, hogy ne lehessen alábecsülni a stabilitás csökkenését, a hagyományos megoldás az, hogy a felület-kitöltési tényezőt 95%-ra választják, ami azt jelenti, hogy üres térként kezelik az elárasztott teret, vagyis csak a szerkezeti elemek csökkentik a stabilitást rontó vízfelület mértékét.

A lékesedett állapotban érvényes vízvonalfelület és stabilitás meghatározására két megközelítés létezik. Egyik az *elvesztett vízkiszorítás módszere*, a másik a *hozzáadott súly módszere*. Mindkettő elég sok számítási munkával jár, beleértve az iterációt is, amit a megváltozó hidrosztatikus jellemzők és a merülés-változás tesz szükségessé. Ezek a számítások manuálisan nagyon nehézkesek. A következőkben bemutatott példák egyszerű hajótest geometriára vannak kidolgozva – a már ismert derékszögű bárka –, így a módszert a lehető legkevesebb ismétlődő iterációval mutathatjuk be. A szakirodalom azonban több ilyen számítást tartalmaz meglehetősen átfogó feladatokra. Hasonló számításokhoz számítógépes programokat dolgoztak ki, amelyek a számítási munkát elvégzik a manuálisan leolvasott és betáplált adatok alapján, annyiszor, amennyiszer szükséges.

### 2.3.2.3.2.2.2 Az elvesztett vízkiszorítás módszere

Ez a módszer a léken beáramló vizet a hajót körülvevő közeg részeként kezeli, ezért a hajó vízkiszorítása és a vízkiszorítás térfogata, valamint a  $KG$  értéke nem változik, azonban a vízbemerült rész alakja és eloszlása megváltozik, mivel az eredeti vízvonál alatti elvesztett vízkiszorítást az afelett levő visszanyert vízkiszorítás helyettesíti. Az alábbi példa ezt szemlélteti.

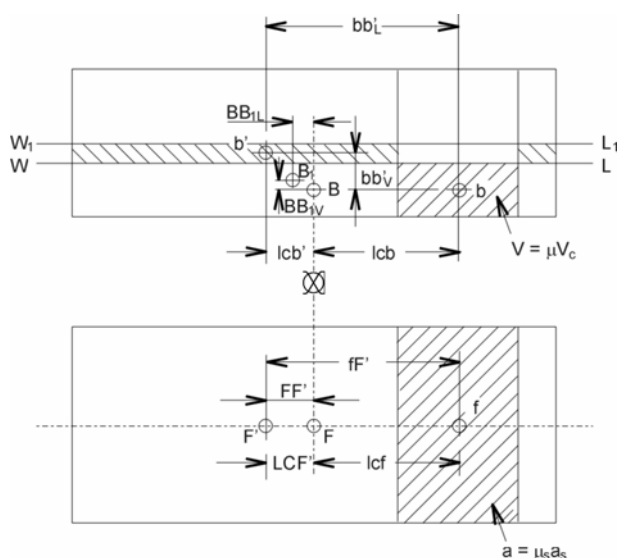
*Példa*



2.3.2.3.2.2.1.1 ábra

A 2.3.2.3.2.2.1.1 ábrán látható téglatest alakú bárka méretei:  $L = 320$  láb,  $B = 50$  láb,  $D = 30$  láb. Egyenes úszáshelyzetben merülése tengervízben 10 láb, a rendszersúlypont magassága  $KG = 12$

láb. Öt válaszfal osztja vízmentes terekre az ábrán látható helyeken. Az orrnál a kollíziós válaszfal mögötti tér léket kap és a víz beáramlik. A kitöltési tényező a térben 75%, a felület-kitöltési tényező 95%.



2.3.2.3.2.2.1.2 ábra

Határozzuk meg, milyen merülési és stabilitási értékeknél alakul ki a lékesedett állapot egyensúlyi helyzete. *Vízkiszorítás.* A vízkiszorítás térfogata:

$$\nabla = LBT = 320 \times 50 \times 10 = 160.000 \text{ láb}^3$$

$$\Delta = \nabla / 35 = 160.000 / 35 = 4.571 \text{ long ton}$$

*Párhuzamos bemerülés.* Amint a trim számításánál láttuk, ugyanúgy járunk

el az elárasztás hatásának számításánál is, tehát a merülési értékeket két lépésben számítjuk ki, először a párhuzamos bemerülést (az eredeti trim változatlan), majd a trim változását. A párhuzamos bemerülés meghatározásánál a következő mennyiségekkel kell dolgozni:

$v_c$  = az elárasztott tér sablon szerinti térfogata a  $WL$  vízvonaltól a 2.3.2.3.2.2.1.2 ábrán

$v$  = elvesztett vízkiszorítás térfogata = a lékesedett térbe a  $WL$  vízvonal alatt beáramló víz térfogata

$\mu$  = az elárasztott tér kitöltési tényezője (%/100)

$A$  = az ép hajó eredeti vízvonalfelülete ( $WL$ )

$a_s$  = az elárasztott tér sablon szerinti felületének területe

$a$  = elvesztett vízvonalterület

$A'$  = a hajó megmaradt vízvonalfelületének területe lékesedett állapotban

$\mu_s$  = az elárasztott tér felület-kitöltési tényezője

$s$  = párhuzamos bemerülés

A megadott méretekből a tér térfogata:

$$v_c = 60 \times 50 \times 10 = 30.000 \text{ láb}^3$$

az elvesztett vízkiszorítás térfogata ebből:

$$v = \mu v_c = 0,75 \times 30.000 = 22.500 \text{ láb}^3$$

Az egyensúlyi helyzet akkor áll be, amikor az elvesztett vízkiszorítás térfogata megegyezik a visszanyert vízkiszorítás térfogatával. Mivel a trimet nem vesszük figyelembe, a visszanyert vízkiszorítás térfogata az ábrán látható párhuzamos bemerüléssel egyezik meg a  $WL$  és  $W_1L_1$  között, kivéve az elárasztott térbe beáramló víz felületét. Vagyis a visszanyert vízkiszorítás térfogata a maradék vízvonalterület szorozva a párhuzamos bemerüléssel.

Az eredeti vízvonalfelület területe:

$$A = L \times B = 320 \times 50 = 16.000 \text{ láb}^2$$

Az elvesztett vízvonalterület:

$$a = \mu_s \times a_s = 0,95 \times 60 \times 50 = 2.850 \text{ láb}^2$$

Tehát a maradék vízvonalterület:

$$A' = A - a = 16.000 - 2.850 = 13.150 \text{ láb}^2$$

Ezzel a párhuzamos bemerülés, mivel az elvesztett és visszanyert térfogat megegyezik az egyensúlyi helyzetben

$$s = v/A' = 22.500/13.150 = 1,711 \text{ láb}$$



*Trimváltozás.* Amikor az a feltételezés már nem igaz, hogy csak párhuzamos bemerülésről beszélünk, akkor a vízkiszorítás áthelyeződése az elvesztett vízkiszorítás súlypontjából a visszanyert vízkiszorítás súlypontjába azt okozza, hogy a bárka orrtrimmel fog úszni. A 2.3.2.3.2.2.1.2 ábrán látható mennyiségek, amelyeket a trimszámításhoz fel kell használni, a következők (a hosszméretek a főbordától érvényesek, az orr felé pozitív előjelűek):

$B$  =  $WL$  vízvonalon úszó ép bárka vízkiszorítás-súlypontja  
 $B_1$  =  $W_1L_1$  vízvonalon úszó sérült bárka vízkiszorítás-súlypontja  
 $BB_{1V}$  = a  $B$  mozgása felfelé a párhuzamos bemerülés miatt  
 $b$  = elvesztett vízkiszorítás súlypontja  
 $b'$  = visszanyert vízkiszorítás súlypontja  
 $bb'_L$  = a vízkiszorítás-térfogat ( $v$ ) súlypontjának hosszirányú elmozdulása  
 $bb'_V$  = a vízkiszorítás-térfogat ( $v$ ) súlypontjának függőleges elmozdulása  
 $lcb, lcb' = b$  és  $b'$  távolsága a főbordától  
 $Kb, Kb' = b$  és  $b'$  magassága a gerinc felett  
 $f$  = elvesztett vízvonalfelület ( $a$ ) súlypontja  
 $F$  = eredeti vízvonalfelület ( $A$ ) súlypontja  
 $F'$  = megmaradó vízvonalfelület ( $A'$ ) súlypontja  
 $lcf, LCF, LCF' = f, F$  és  $F'$  távolsága a főbordától

Az ábra és a megadott adatok alapján:

$LCF = 0$  (téglalap alakú vízvonala)  
 $lcb = lcf = 80 + 30 = 110$  láb

A megmaradó vízvonalfelület és a visszanyert vízkiszorítás súlypontja ( $F'$  és  $b'$ ) a vízvonalfelületek főbordára vett nyomatékainak kisámításával határozható meg:

megmaradó = eredeti – elvesztett  
 $A' \times LCF' = A \times LCF - a \times lcf$   
 $13.150 \times LCF' = 16.000 \times 0 - 2.850 \times 110$   
 $LCF' = -(2850 \times 110)/13.150 = -23,84$  láb (a főborda mögött)

Tekintve, hogy a bárka oldala függőleges, a  $b'$  függőlegesen az  $F'$  alatt van, tehát

$lcb' = -23,84$  láb

Ezzel a vízkiszorítás elárasztás miatti hosszirányú elmozdulása

$bb'_L = 110 + 23,84 = 133,84$  láb a far felé

A  $tm$  trimmelő nyomaték, amelyet a  $v/35$  long ton elvesztett vízkiszorítás 133,84 lábbal a far felé való elmozdulása okoz:

$$tm = (v \times bb'_L)/35 = (22.500 \times 133,84)/35 = 86.040 \text{ láb-long ton}$$

amely a trim következő változását okozza (a  $t$  lábban van megadva):

$$t/L = tm/(\Delta GM'_L) = tm/(\Delta BM'_L) = tm/(I'_L/35)$$

$$t = (35 \times L \times tm)/I'_L$$

Az alkalmazott egyszerűsítések a párhuzamos bemerülés állapotára utalnak, a  $BM'_L$  behelyettesítése pedig a  $GM'_L$  helyett csak megengedhetően kis tévedést okoz. Tehát mindössze a megmaradó vízvonalfelület  $I'_L$  inerciáját kell kiszámítanunk az  $F''$  súlyponton áthaladó keresztirányú tengelyre. A felület-kitöltési tényezőről ( $\mu_s$ ) feltételezzük, hogy az elvesztett vízvonalfelület inerciájának csökkenésére is érvényes. A megmaradó vízvonalfelület hosszirányú inercianyomatéka az  $F''$  súlyponton áthaladó tengelyre az eredeti ép hajó vízvonalfelületének hosszirányú inerciája az  $F''$  tengelyre és az elvesztett vízvonalfelület ugyanarra a tengelyre vett inerciája közötti különbség:

$$I_L = (I_{L0} + A FF'^2) - \mu_s(i_{L0} + a_s fF'^2)$$

ahol a 0 a „saját súlypontra vett” jelentésű.

$$I_{L0} = BL^3/12 = (50 \times 320^3)/12 = 136,533 \times 10^6 \text{ láb}^4$$

$$A \times FF'^2 = 16.000 (23,84)^2 = 9,094 \times 10^6 \text{ láb}^4$$

$$\mu_s i_{L0} = (0,95 \times 50 \times 60^3) = 0,855 \times 10^6 \text{ láb}^4$$

$$\mu_s a_s fF'^2 = a \times fF'^2 = 2.850(133,84)^2 = 51,052 \times 10^6 \text{ láb}^4$$

Tehát

$$I'_L = 10^6 (136,533 + 9,094 - 0,855 - 51,052) = 93,720 \times 10^6 \text{ láb}^4$$

A trimváltozás

$$t = (35 \times 320 \times 86.040)/(93,720 \times 10^6) = 10,28 \text{ láb orrtrim}$$

Mivel a bárka az új vízvonalfelület  $F''$  súlypontja körül trimmelődik, a függélyek távolsága a tengelytől

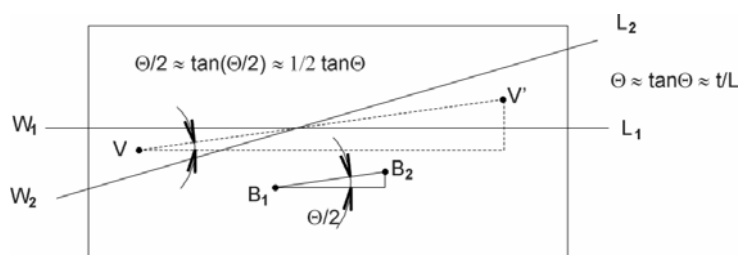
$$F = L/2 + LCF'' = 320/2 + 23,84 = 183,84 \text{ láb}$$

$$A = L/2 - LCF'' = 320/2 - 23,84 = 136,16 \text{ láb}$$

a merülések pedig elől és hátul

$$T_F = T + s + (F/L)t = 10,00 + 1,71 + (183,84/320)10,28 = 17,62 \text{ láb}$$

$$T_A = T + s - (A/L)t = 10,00 + 1,71 - (136,16/320)10,28 = 7,34 \text{ láb}$$



2.3.2.3.2.2.1.3 ábra

*Lékesedett hajó stabilitása.*  
Lékesedett állapotban a metacentrikus magasság

$$GM_{T2} = KB_2 + BM_{T2} - KG$$

ahol 2-es index a lékesedés után beálló egyensúlyi állapotra utal.

A  $KB$  az elárasztás során két lépésben nő meg – az első a párhuzamos bemerülés miatti növekedés, amelyet a 2.3.2.3.2.2.1.2 ábra illusztrál, a második pedig a trimváltozás miatt következik be, ezt a 2.3.2.3.2.2.1.3 ábra mutatja.

Az első növekedést úgy számítjuk ki, hogy a teljes vízkiszorítás térfogatának nyomatékát egyenlővé tesszük az elvesztett vízkiszorítás térfogatának nyomatékával. A 2.3.2.3.2.2.1.2 ábra alapján világos, hogy

$$Kb = 10,0/2 = 5,0 \text{ láb}$$

$$Kb' = T + s/2 = 10,0 + 1,71/2 = 10,86 \text{ láb}$$

$$bb'_v = 10,86 - 5,00 = 5,86 \text{ láb felfelé}$$

A vízkiszorítások nyomatékának egyenlősége

$$\nabla \times BB_{1v} = v \times bb'_v$$

$$BB_{1v} = (22.500 \times 5,86)/160.000 = 0,824 \text{ láb}$$

A trimváltozás a 2.3.2.3.2.2.1.3 ábra értelmében újabb növekedést okoz a  $KB$  értékében. Az ábra a bárka oldalnézetét mutatja kissé túlzott trimmel, a valóságos trimszög ugyanis nagyon kicsi. Látható egy ék-alakú vízkiszorítás térfogat áthelyeződése a  $v$  pontból a  $v'$  pontba, amint a bárka a  $W_1L_1$  párhuzamos úszásvonalhoz képest trimmelődik. Az elmozdulás függőleges összetevője minden esetben felfelé mutat, mivel a  $v$  pont mindig a vízvonallal van, a  $v'$  pont pedig mindig felette, tekintet nélkül a trimváltozás értelmére. Mivel az ábrán eltúlzott szögek mindig nagyon kicsik, használhatjuk az alábbi közelítéseket.

1. A  $vv'$  és  $W_1L_1$  által bezárt szög megközelítően feleakkora, mint a trimváltozás szöge ( $\Theta$ ).
  2. A kis szögek radiánban megközelítően egyenlők saját tangensükkel.
  3. A tangens függvény kis szögeknél majdnem lineáris.
- Ezzel a következőt írhatjuk:

## BBBZ-kódex

---

$$\Theta = \tan \Theta$$

$$\Theta/2 = \tan (\Theta/2) = (\tan \Theta)/2$$

Mivel a  $\Theta$  a trim szöge, ezért

$$\tan \Theta = t/L \quad (t \text{ és } L \text{ lábban})$$

$$\tan (\Theta/2) = t/2L$$

Az ábrából látható, hogy a  $B$  elmozdulását ábrázoló háromszög hasonló a  $v$  mozgását ábrázolóval. Ha a vízkiszorítás súlypontjának elmozdulásánál a  $B_1B_{2V}$  és  $B_1B_{2L}$  az elmozdulás függőleges és hosszirányú összetevője, akkor

$$B_1B_{2V}/B_1B_{2L} = \tan (\Theta/2) = t/2L$$

$$B_1B_{2V} = (t \times B_1B_{2L})/2L$$

A  $B_1B_{2L}$  értéke a korábban már meghatározott trimmelő nyomatékból számítható ki

$$tm = \Delta \times B_1B_{2L}$$

$$B_1B_{2L} = tm/\Delta = 86.040/4.571 = 18,82 \text{ láb}$$

Tehát

$$B_1B_{2V} = (t \times B_1B_{2L})/2L = (10,28 \times 18,82)/(2 \times 320) = 0,302 \text{ láb}$$

Ezzel meghatározható a lékesedett egyensúlyi állapotban érvényes  $KB_2$  értéke is:

$$\text{a KB eredetileg } T/2 = 10/2 = 5,000 \text{ láb}$$

$$\text{növekedése a párhuzamos bemerülés miatt} = 0,824$$

$$\text{növekedése a trimváltozás miatt} = \underline{0,302}$$

$$KB_2 = 6,126 \text{ láb}$$

A lékesedett állapotban a metacentrikus sugár

$$BM_{T2} = I_{T2}/\nabla$$

ahol  $I_{T2}$  a lékesedés utáni állapotban a megmaradó vízvonalfelület keresztirányú inercianyomatéka. A trimmelt egyensúlyi helyzet vízvonalfelületét jól közelíti a párhuzamos bemerülés állapotában érvényes vízvonalfelület. Mivel az elárasztás a hajó középsíkjára szimmetrikus, a vízvonalfelületek (eredeti és sérült bárka) szimmetriatengelye közös, így a keresztirányú inercianyomatékok összeadhatóak vagy kivonhatóak közvetlenül.

$$I_{T2} = I_{T0} - \mu_s i_{T0}$$

---


$$I_{T0} = LB^3/12 = (320 \times 50^3)/12 = 3.333.333 \text{ láb}^4$$

$$\mu_s I_{T0} = (0,95 \times 60 \times 50^3)/12 = 593,750 \text{ láb}^4$$

Ezzel

$$I_{T2} = 3.333.333 - 593.750 = 2.739.583 \text{ láb}^4$$

$$BM_{T2} = 2.739.583/160.000 = 17,122 \text{ láb}$$

Végül a metacentrikus magasság lékesedett állapotban

$$GM_T = 6,126 + 17,122 - 12,000 = 11,248 \text{ láb}$$

A lékesedés miatti stabilitásvesztés mértékét úgy kapjuk meg, hogy a  $GM_{T2}$  értékét levonjuk az eredetileg 10 láb merülésű ép bárka  $GM$  értékével:

$$GM_T = KB + BM_T - KG = T/2 + B^2/12T - KG = 10/2 + 50^2/(12 \times 10) - 12 =$$

$$= 5,000 + 20,833 - 12,000 = 13,833 \text{ láb}$$

Tehát a  $GM$  csökkenése  $13,833 - 11,248 = 2,585$  láb, ami 19%-ot jelent.

### 2.3.2.3.2.3 A hozzáadott súly módszere

Az előzőekben kidolgozott példa jól illusztrálja azokat az eljárásokat, amelyeket alkalmazni kell, amikor a lékesedés után kialakult egyensúlyi állapotban érvényes merüléseket és stabilitást meg kell határozni az elvesztett vízkiszorítás módszerével, amikor feltételezzük, hogy a hajó vízkiszorítása és rendszersúlypont helyzete változatlan marad, mivel a beáramló vizet a környező közeg részeként kezeljük. A másik gyakran használt módszernél, amelynek neve *hozzáadott súly módszere*, amelynél az elárasztott térbe beáramló vizet úgy kezeljük, mint a hajó vízkiszorításához hozzáadott súlyt, tehát ahogy a léken beáramló víz elárasztja a teret, megváltozik a vízkiszorítás és a  $KG$  rendszersúlypont-magasság is, valamint a hajó jellemző értékei. Általában a hozzáadott súly módszere több számítást igényel, mint az elvesztett vízkiszorítás módszere, mert előre meg kell becsülni egy kialakuló trimmelt úszásvonalat az elárasztás után, hogy ki lehessen számolni a hajótestbe beáramló víz súlyát és súlypontját. Ez tehát iterációs eljárásokat jelent még egy olyan egyszerű hajótest alaknál is, amilyen a bárka. Mivel ez a módszer kézzel igen nehézkes, itt erre nem dolgoztunk ki példát. Vannak előnyei a másik módszerrel szemben egyes esetekben – különösen, ha az elárasztott helyiségek alakja nagyon szabálytalan (ez a helyzet általában a hadihajóknál), vagy olyankor, ha a hajó stabilitását az elárasztás folyamán több fázisban is meg kell vizsgálni, mielőtt elérné az egyensúlyi helyzetet. Egy adott esetben, amennyiben a számítási munkát korrekt módon végezzük el, mindkét módszer ugyanazt az eredményt hozza ki a sérült hajó úszásvonalára és stabilitására az egyensúlyi helyzet elérése után. Azt azonban meg kell jegyezni, hogy a lékesedett állapot metacentrikus magassága a két módszer esetén nem ugyanolyan értékre adódik.

Ez nem azt jelenti, hogy a stabilitás is eltér. A stabilitás valódi mérőszáma egy adott dőlésszögnél a visszatérítő nyomaték, illetve egyenes úszási állapotban a vízkiszorítás és a  $GM$  szorzata. Mivel a hozzáadott súly módszerénél feltételezzük, hogy az elárasztás során megnő a vízkiszorítás, ennek megfelelő mértékben kisebb lesz az elárasztott egyensúlyi állapotban a  $GM$  értéke, mint az elvesztett vízkiszorítás módszerénél. A vízkiszorítás és a  $GM$  szorzata azonban ugyanannyi lesz mindkét számítási módszerrel.

### 2.3.2.3.2.4 Számítógépes módszerek

A példaként közölt egyszerű számításból is kiderül, hogy mennyire munkaigényes feladat a lékesedés utáni jellemzők meghatározása. A szokásos hajótesteknél elvégzendő számítási munka a vízmentes terek nagy számának és az esetleg aszimmetrikus terek nemcsak trimet, hanem dőlést is okozó elárasztásának köszönhetően manuálisan szinte reménytelenül nagy terjedelmű lenne. Az elmondottak miatt a lékesedési számításokat ma már szinte kizárólag számítógéppel végzik, emiatt egész sor programot dolgoztak ki hozzájuk, és ezek a kereskedelemben beszerezhetőek. A programok használata teljesen nem veszi le a terhet a szakemberek válláról, mert a számításához nagyon adatot kell beadni: mérettáblázat, hidrosztatikai jellemzők, válaszfalak helye, tankok, fedélzetek, az elárasztásnál figyelembe vehető specifikáció az egyes tereknél, és természetesen a kitöltési tényezők, amelyeket becsülni kell. A legtöbb számítógépes program nem a korábban ismertetett két módszeren alapul. Mivel sokkal gyorsabbak az emberi számításoknál, iterációs megközelítést használnak az elárasztott állapotban egyensúlyba került hajó vízkiszorításához és a vízkiszorítás-súlypont három koordinátájához, az egyes lépések az ép hajótest úszáshelyzetétől az elárasztási folyamat követésével számos új úszásvonalat vesznek fel, arra kiszámítják a merüléseket, trimet, dőlésszöveget, amíg el nem érik az új egyensúlyi helyzetet. Az alapvető számítások elvégzése a mérettáblázat közvetlen numerikus integrálásával történik a vízbemerült térfogat figyelembe vételével. A számítógépes eljárások nyilvánvaló előnye, hogy sokkal több lékesedési változat egyensúlyi helyzetének meghatározására van lehetőség, mint manuálisan, emellett arra is van lehetőség, hogy valamennyi sérült állapothoz a sztatikus stabilitás görbáját is felrajzoljuk – amely kézzel valóban lehetetlen lenne.

### 2.3.2.3.2.3 Az elárasztható hossz

Az előzőekben bemutatott számítási módszerekkel meg lehet határozni az adott tér lékesedése esetén beálló egyensúlyi állapotban a merüléseket és a hajó stabilitását, ahol az elárasztott tér adatait annak mérete, elhelyezése és kitöltési tényezője képezi. Arra nem alkalmasak, hogy a hajó tervezésének kezdeti időszakában előre meg lehessen határozni a fő vízmentes válaszfalak elhelyezési rendjét ahhoz, hogy azok biztosíthassák lékesedés esetén a kívánt úszóképességi feltételeket. Ebben az a számítási eljárás tud segítséget adni, amelyet úgy nevezünk, hogy *az elárasztható hossz számítása* a hajóhossz bármely pontján.

Az elárasztható hossz fogalmának megértéséhez célszerű megteremteni egy hipotetikus

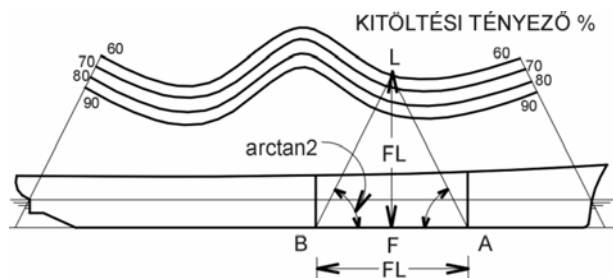
hajót, és világosan definiálni az elsüllyedés fogalmát. A *feltételezett hajó* vízmentes fenéklemezeléssel, oldallal és válaszfalakkal rendelkezik. Az oldallemezelés és az összes vízmentes válaszfal a fenéktől a *válaszfal fedélzetig* terjed. A számítás során azonban a válaszfal fedélzetet nem vízmentesnek tételezzük fel, valójában a számítás úgy veszi figyelembe, mintha egyáltalán nem is létezne, mivel a héjlemez és a válaszfalak lemeze egy olyan vonalnál ér véget, amelynek neve lékesedési *határvonal* (*margin line*), és amely olyan távolságra van a válaszfal fedélzet alatt, amelyet később definiálunk. A határvonal felett tehát a hipotetikus hajó nem létezik, fedélzete sincs. Tehát a hajó elméletileg egy fedélzet nélküli kenu, de vízmentes válaszfalakkal különálló vízmentes terekre van osztva. Kizárólag a hossz-szimmetriasíkra szimmetrikus elárasztás lehetséges. Ami azt is jelenti, hogy elárasztás után a hajó úszáshelyzetében csak bemerülés és trim létezik, dőlés nem fordul elő. A hajó akkor úszóképes, ha olyan merülés-vonalon alakul ki az egyensúlyi állapot, amely a határvonal alatt helyezkedik el, ha úszásvonala a határvonal fölé kerül, elsüllyed. Az olyan vízvonalak, amelyek érintik a határvonalat annak bármely pontján, tehát a trim vonalának korlátait is jelentik, mivel az elsüllyedés határára sodorják a hajót. Az alábbi meghatározások rögzítik az elárasztható hossz meghatározására szolgáló hajó elvi kritériumait.

- *Válaszfal-kiosztási merülés-vonal* (*subdivision load line*). A legmélyebben fekvő olyan engedélyezett vízvonal lékesedés előtt, amely összhangban a hajóra érvényes válaszfal-kiosztási előírásokkal.
- *Válaszfal fedélzet* (*bulkhead deck*). A legfelső olyan folyamatos fedélzet, amely az időjárásnak ellenáll, és amelyhez a vízmentes válaszfalak felső széle és az oldalsó héjlemez csatlakozik.
- *Határvonal* (*margin line*). A hajó konfigurációjának megfelelő, többféleképpen definiált vonal. Minimális távolsága a válaszfal fedélzetnek a hajó oldalánál mérhető felső éle alatt 3 hüvelyk (76 mm). Ha a vízmentes válaszfalak a hajó különböző részein különböző fedélzetekig nyúlnak fel, a határvonalat a különböző fedélzetektől lehet mérni az előírásokban foglalt módon.
- *Elárasztható hossz* (*floodable length*). Az elárasztható hossz a hajó bármely pontján hosszirányban a hajó hosszának az a maximális töredéke, amelynek közepe a kérdéses pont, és amelyet az adott kitöltési tényező figyelembe vételével a ponttól szimmetrikusan előre-hátra elhelyezve el lehet árasztani anélkül, hogy a határvonal víz alá kerülne.
- *Válaszfal-kiosztási tényező* (*factor of subdivision*). Ezzel a tényezővel kell elosztani az elárasztható hossz értékét, hogy a megengedhető hossz értékéhez jussunk. A tényezőt a nemzeti és nemzetközi szabályok és konvenciók írják elő a hajóhossz és a szolgálat típusa (személy- vagy áruszállító és az áru típusa) függvényében. Egyszerűbben kifejezve, ez a tényező garantálja, hogy egy, kettő vagy három vízmentes tér lékesedhet azt megelőzően, hogy a hajó úszásvonala érintené a határvonalat. Az ennek megfelelően tervezett hajókat időnként *egy-, két- vagy három-terű hajóknak* is nevezik a lékesedéskor tanúsított úszóképességük miatt.
- *Engedélyezhető hossz* (*permissible length*). Az engedélyezhető hossz úgy

számítható ki, hogy az elárasztható hossz értékét a tér közepénél elosztjuk a válaszfal-kiosztási tényezővel.

- *Elárasztható hossz görbéje.* Amint az alábbiakban látni fogjuk, az elárasztható hossz görbéje a hajó valamennyi pontjában a hossz mentén megmutatja, hogy az adott pontban milyen hosszú lehet a vízmentes tér anélkül, hogy a határvonal víz alá kerülne, azaz, az adott ponttól, mint a tér közepétől, előre és hátra felmérve a hossz felét, a tér két vízmentes válaszfalának helyét kapjuk meg.

Az nem lehet kétséges, ha az előzőekben definiált hajót magunk elé képzeljük, hogy a hajóhossz mentén az elárasztható hossz nem állandó, és függ az eláraztott tér kitöltési tényezőjétől. A 2.3.2.3.2.3.1 ábra tipikus görbéket mutat egy hajóhoz, amelynek oldalnézete is látható, amelyek az elárasztható hosszat mutatják különböző kitöltési tényezők esetében. Az ordináta, pl. az ábrán  $FL$ , amelyet a hajó alapvonalának egy pontjában húzunk, pl. az  $F$  pontban, mutatja az elárasztható hosszat a hajónak abban a pontjában. Az elárasztható hossz léptéke megegyezik a hajóhossz léptékével. Ezért pl., ha a kitöltési tényező 60%, az  $FL$  elárasztható hossz vízszintesen felmérhető az alapvonalra az  $F$  felezőponttal, hogy az elképzelt vízmentes tér mellső és hátsó határait kijelöljük. Ha a teret  $A$  és  $B$  pontban elhelyezett két vízmentes válaszfallal határoljuk, a 60%-os kitöltési tényezőjű tér lékesedésekor az eláraztás hatására a hajó olyan mélyre fog bemerülni, hogy a trimmelt vízvonal érinteni fogja a határvonalat valamelyik pontban. Nyilvánvalónak látszik, hogy az adott geometria érvényessége esetén az elárasztható hossz végpontjai úgy is kijelölhetőek, ha meghúzzuk a két ferde vonalat ( $LA$  és  $LB$ ) olyan szögben, amelyre igaz, hogy  $\arctan$  értéke 2,0, mivel azok  $AF$  és  $BF$  szakaszokat jelölik ki az alapvonalon, hiszen mindegyik fele az  $FL$  szakasznak. Ugyanezt a szerkesztést a hajó bármely pontján elvégezhetjük bármilyen kitöltési tényező esetén.



2.3.2.3.2.3.1 ábra Az elárasztható hossz definíciója

Az elárasztható hossz görbéit meg lehet szerkeszteni manuálisan a következő összefüggések alapján, de számítógépes programok is rendelkezésre állnak hozzá.

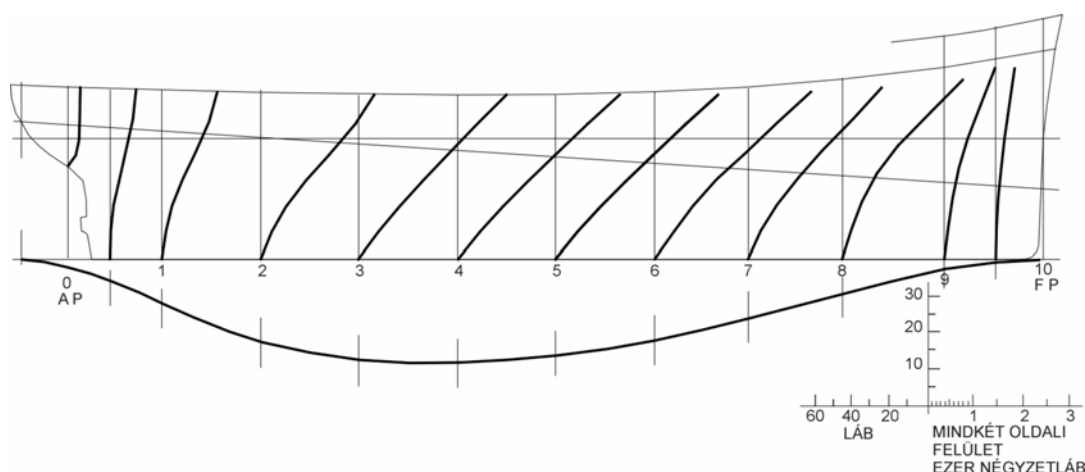
A 2.3.2.3.2.3.2 ábra mutatja azokat a mennyiségeket, amelyekkel a görbe ordinátáinak kiszámításánál dolgozni kell. A számításhoz az amerikai mértékrendszerben használható formulákat közöljük, az SI rendszer azonban értelemszerűen szintén használható. Vegyünk egy pontot a görbén, pl. az  $A$  pontot, amely a főbordától ( $\otimes$ )  $x$  távolságra esik. Az  $A$  pont az alapvonal felett  $l$  távolságra helyezkedik el, mivel az ordináta megegyezik annak a vízmentes térnek a hosszával, amelynek felezőpontja az  $x$  metszetenél van, amely, ha eláraztódik, a hajót a  $W_1L_1$  vízvonalon való úszásra kényszeríti, amely érinti a határvonalat. A tér hosszának legkisebb növelése is azt eredményezné, hogy az adott keresztmetszetben az  $A$  pont a görbe fölé kerülne, azaz a





úszásvonalat jelölünk ki a Bonjean görbéken, ahhoz leolvasható mindegyik elméleti bordánál a vízvonál alatti terület. Ezzel numerikus integrálással meghatározható a megfelelő vízkiszorítás és annak súlyponthelyzete, és kiszámítható a léken beáramló víz súlya, térfogata és súlyponthelyzete. Iterációs lépések segítségével lehet ezután a vízmentes tér mellső és hátsó határoló válaszfalának helyét meghatározni. A Bonjean görbék egy szokásos áruszállító hajónál a 2.3.2.3.2.3.3 ábra szerinti alakot veszik fel. A lékesedés után kialakuló úszáshelyzet vízvonálahoz tartozó bordafelület görbe is látható az ábrán, amelynek numerikus integrálásával számítható ki a beáramlott víz súlyával megnövekedett vízkiszorítás.

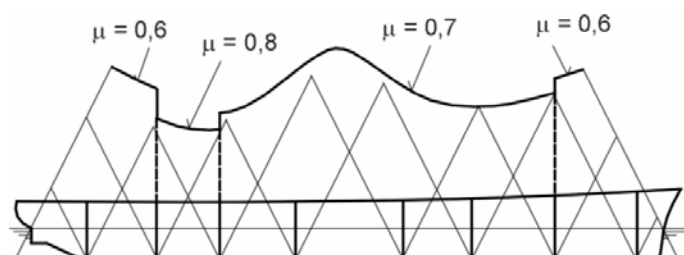
A hajótervezőnek a vízmentes válaszfalak helyének meghatározásánál az elárasztható hossz görbéjének figyelembe vételével kell eljárnia, az  $\arctan 2$  ferdeségű vonalakból képzett háromszögek segítségével. Először a kollíziós és a farkamra válaszfalat kell kijelölni, ezeket az osztályozó intézetek szabályozzák. Ezt követi a géptér és a rakterek válaszfalainak elhelyezése, a háromszögek oldalai ezeknek az alapvonallal való metszéspontjaiból indulnak ki. Ha a tereknek megfelelő háromszögek csúcsa a terekre vonatkozó kitöltési tényezőjű elárasztható hossz görbe alatt marad, a hajó nem süllyed el az illető tér lékesedése vagy beszivárgás miatt.



2.3.2.3.2.3.3 ábra Bonjean görbék és adott vízvonalhoz tartozó bordafelület görbe

A háromszögek csúcsának magassága az „elárasztható hossz” méretével vehető azonosnak, amennyiben egyszerre csak egy vízmentes tér lékesedik. Amennyiben a háromszög csúcsa jóval a vonatkozó görbe alatt marad, a lékesedés utáni egyensúlyi állapot úszásvonala jelentősen lejjebb lesz a határvonalnál, ha azonban a csúcspont majdnem érinti a görbét, az úszásvonal közel lesz a határvonalhoz, csak az dönti el a valóságos helyzetet, mennyire pontos volt a kitöltési tényező becslése a számítások során. A vízmentes terek hosszának ilyen ellenőrzése nagyon gyorsan elvégezhető, és a tervezés kezdeti szakaszában a válaszfal-kiosztás is egyszerűen módosítható. Emellett a háromszögek megrajzolása olyan módon, hogy minden második válaszfaltól induljanak ki az oldalak, azaz a csúcsuk magasabbra kerüljön, azt is ellenőrizhetjük, úszóképes

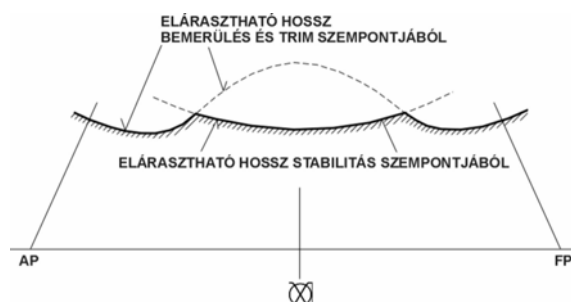
marad-e a hajó, ha két szomszédos vízmentes tér árasztódik el amiatt, hogy a sérülés során a vízmentes válaszfal is károsodik a héjlemezen kívül. Abban az esetben, ha az első vizsgálat pozitív, a hajó úszóképese marad egy tér sérülése esetén, a hajó *egyszerű hajó* kategóriába sorolható süllyedés és trim szempontjából. Ha a háromszögek csúcsai akkor is az elárasztható hossz görbe alatt maradnak, amikor a háromszögek oldalai minden második válaszfaltól indulnak, *kéttérű hajóról* beszélünk, ami sokkal biztonságosabb az egyszerűnél, hiszen az a teljes hossz mentén bármelyik két szomszédos tér elárasztását elviseli elsüllyedés nélkül. A 2.3.2.3.2.3.4 ábra azt szemlélteti, ahogy az elárasztható hossz görbét felhasználhatjuk a hajó válaszfalkiosztásának ellenőrzésére.



2.3.2.3.2.3.4 ábra A válaszfalkiosztás ellenőrzése az elárasztható hossz görbével

Az ábra azt is mutatja, hogy a görbe nem folytonos, mert nem minden szomszédos tér kitöltési

tényezője azonos. Azt is láthatjuk, hogy az illető hajó kéttérű, mivel a két szomszédos teret átfogó háromszögek csúcsa is valamennyi esetben a görbe alatt marad.



2.3.2.3.2.3.5 ábra Az elárasztható hossz komplex határértékei

Az elárasztható hossz görbéje az adott feltételekhez (válaszfalkiosztási tényező, kitöltési tényező) nem feltétlenül jelenti a legkritikusabb követelményeket a lékesedett hajó válaszfalkiosztásánál.

Amint korábban láttuk, a lékesedéssel a hajó stabilitása is csökken, tehát azt a görbét is meg kell rajzolni ugyanazon az oldalnézeten, amely az *elárasztható hossz stabilitás szerinti határértékeit* mutatja. A két görbe metszi egymást, és az jelenti a valódi határértékeket, amely kisebb elárasztható hosszt enged meg. Jól látható a 2.3.2.3.2.3.5 ábrán, hogy a stabilitás a hajó középső részén levő terek elárasztása esetén csökken nagyobb mértékben, a trim pedig akkor veszélyesebb, ha a hajó végeinél levő terek lékesednek.

### 2.3.2.3.2.3.1 A vízmentes válaszfalak kiosztására vonatkozó szabályok és kritériumok

A huszadik század elején az óceánokat egyre több nagy személyszállító hajó szelte át, amelyek neve ma már legenda, a legfontosabb tengerészeti hatóságok előtt világossá vált, hogy elkerülhetetlen a hajók vízmentes válaszfalainak kiosztására vonatkozó szabályok sokkal alaposabb kidolgozása, mint ahogy arról az osztályozó intézetek

rendelkeztek. Az első nemzetközi konferenciát 1913-ban hívták össze a Titanic 1912-ben történt elvesztésének hatására. Elnevezése *Nemzetközi Konferencia az Élet Védelméről a Tengeren* (International Conference on Safety of Life at Sea, *SOLAS*) volt. Eddig összesen öt SOLAS konferenciát rendeztek (1913, 1929, 1948, 1960 és 1974), amelyek legfontosabb tevékenységeit manapság az ENSZ egyik szervezete, a Nemzetközi Tengerhajózási Szervezet (International Maritime Organization, IMO) koordinálja. Ezeknek a nemzetközi konferenciáknak a határozatai és ajánlásai csak személyhajókra vonatkoznak (nem hagyható figyelmen kívül, hogy a 12 főnél több utast szállító teherhajók is ebbe a kategóriába esnek), a legfontosabb tengerhajózási országoknak azonban vannak saját nemzeti szabványaik vagy előírásaik az áruszállító hajók válaszfal-kiosztására is.

A leggyakoribb szabványok előírják a hajótervezőknek, hogy az előírt mértékű (hossz, kitöltési tényező, függőleges méret, sérülés helye a vízmentes válaszfalak között vagy magukban a válaszfalakban) elárasztást feltételezve, a hajó elfogadható úszóképességi és stabilitási jellemzőkkel rendelkezzen (határvonalhoz képesti bemerülés, maximális megdőlés, minimális értékű *GM*, stb.). Bár az előírások részletes ismertetésére itt nincs lehetőség, három olyan megközelítést röviden ismertetünk, amelyek a szabványok alapját képezik. Ezek: *integer (egész számú) terek kialakítása, válaszfal-kiosztási tényező és úszóképesen maradás valószínűsége*.

### ***Integer terek kialakítása***

Az erre vonatkozó előírások megkövetelik, hogy a hajó megfelelően úszóképes maradjon egész számú vízmentes tér egyidejű elárasztása esetén. Korábban egyterű és kétterű hajókat definiáltak, ma már azonban létezik a három- vagy többterű hajók definíciója is. Az előírások időnként lehetővé teszik, hogy a hajó eltérő zónái különböző válaszfal kiosztási elveknek feleljenek meg, ennek az az értelme, hogy a hajó egyes részei sokkal gyakrabban sérülnek meg, mint a többiek. A legfontosabb biztonsági küszöböt akkor lépik át a tervezők, amikor egyterű helyett kétterű hajót alkotnak, mivel az utóbbi akkor is úszóképes marad, ha nemcsak a héjlemez, hanem valamelyik válaszfal is megsérül.

### ***Válaszfal-kiosztási tényező***

Már az első SOLAS konferenciák óta az a törekvés, hogy a válaszfalak kiosztásának világosan bizonyítania kell, hogy adott biztonsági tényezőt vesz figyelembe, amelyet az előírások megkövetelnek. A válaszfal-kiosztási tényező olyan szám, amely egynél kisebb vagy azzal egyenlő, és amellyel meg kell szorozni az elárasztható hossz értékét, hogy a vízmentes tér engedélyezhető hossza kiadódjon a hajó hossza mentén az adott pontban. Ennek rejtett értelme, hogy nő a hajó úszóképesen maradásának valószínűsége, ha a vízmentes válaszfalak még közelebb vannak egymáshoz elhelyezve. Ez a „minél közelebb, annál jobb” filozófia, amely feltételezi, hogy ha pl. a hajó egy pontján az elárasztható hossz 100 láb, és a válaszfalakat ezen a helyen egymástól 90, 80, 70 vagy 60 lábra helyezik el (vagyis a válaszfal-kiosztási tényezőértéke 0,9, 0,8, 0,7, stb.), az egyre növekvő biztonságot nyújt, ahogy a terek egyre kisebbek lesznek. A tényező kiválasztásának szempontja a hajó „szolgálati kritériuma”, az a tapasztalati

szám, amelynek értelme, hogy megmutassa, milyen mértékben számít a hajó személyhajónak. A kisebb számok kevesebb szállított utast jelentenek, a nagyobbak sokat. A szolgálati szám növekedésével a válaszfal-kiosztási tényező csökken, 1 és  $\frac{1}{2}$  között a hajó egyterű,  $\frac{1}{2}$  és  $\frac{1}{3}$  között kétterű,  $\frac{1}{3}$  és  $\frac{1}{4}$  között háromterű, és így tovább. Nyilvánvaló azonban, hogy a biztonság nemcsak a válaszfalak sűrűbb elhelyezésének függvénye, hiszen a közelebb kerülő válaszfalak esetén nő annak kockázata is, hogy sérülésnél nemcsak a héj vagy egy válaszfal sérül meg, hanem több is, emiatt, bár a nemzetközi szervezetek még elfogadják őket, egyre kevésbé népszerűek az ilyen numerikus tényezőkön alapuló előírások; helyettük inkább a harmadik megközelítést alkalmazzák, és a numerikus tényezők elavulttá válnak egy idő múlva.

### ***Úszóképesen maradás valószínűsége***

A legracionálisabb megközelítés ahhoz, hogy a hajó sérülés esetén úszóképes maradjon, az 1960-as SOLAS konferencia témája volt, és az 1974-es konvencióba olyan előírások kerültek be, amelyek az úszóképesen maradás valószínűségére vannak helyezve.

Jelenleg ezek a rendelkezések csak személyhajókra vonatkoznak, nevük is erre utal: „*alternatív egyenértékű személyhajó rendelkezések*”, mivel az 1974-es rendelkezések lehetővé teszik a személyhajóknál alkalmazott válaszfal-kiosztást alternatív módon az új valószínűségi elvek alapján, vagy a hagyományos tényezők szerint, amely az 1960-as előírásokban szerepelnek.

Az új előírások kb. 860 hajósérülés adatainak tanulmányozásán alapulnak, az adatok között van az elárasztás helye és nagysága, a sérülés bekövetkezése előtti rakodási állapot (merülés, kitöltési tényezők, üzemi *GM* értéke, stb.), valamint a környezeti tényezők, pl. a hullámozgás és a szél. A sérült hajók modelljeivel különböző hullámrendszereknél szimulációs kísérleteket is végeztek, és azokat elemezték. Három olyan valószínűség létezik, amely a válaszfal-kiosztásra és a lékesedett hajó stabilitására befolyással van:

1. annak valószínűsége, hogy a baleset bekövetkezik,
2. az elárasztás helyének és mértékének valószínűsége a baleset bekövetkezése esetén,
3. annak valószínűsége, hogy elárasztás esetén a hajó úszóképes marad.

Az új előírások megalkotásánál az összegyűjtött adatokra alkalmazták a valószínűség elméletét. Az elmélet alkalmazása egy úgy nevezett „*eseti válaszfal-kiosztási index*” meghatározásához vezetett, amely különböző valószínűségeken alapult a sérülés helyét és hosszát, illetve a szabadoldalt, a stabilitás és a lékesedett állapotban kialakuló megdőlés hatásait illetően. A hajó eseti indexének egyenlőnek vagy nagyobbak kell lennie, mint az „*előírt válaszfal-kiosztási indexnek*”, amely a hajó hosszától és a szállított utasok létszámától függ. A nagyobb számú utast szállító hajók előírt válaszfal-kiosztási indexe nagyobb, emiatt szigorúbb válaszfal-kiosztási előírások vonatkoznak rájuk.

A IMO kutatócsoportjaiban dolgozó szakemberek majdnem egyöntetű véleménye szerint a szükséges válaszfal-kiosztás ilyen valószínűségi alapon való megközelítése jobb a korábbi eljárásoknál. A valószínűségek helyes szintjének meghatározása azonban nehéz feladat. Mégis, amint elegendő adat gyűlik össze olyan hajókra is, amelyek nem

sorolhatóak a személyhajók közé, és azok elemzése is befejeződik, várható, hogy a valószínűségi megközelítés lesz majd az elfogadott elv azoknál is.

### **2.3.2.3.2.2 A merülés-vonalra vonatkozó szabályok**

A 'szabályok' utalás ebben a fejezetben az 1966-os International Convention on Load Lines of Ships (*nemzetközi konvenció a hajók merülés-vonalairól*) követelményeit jelenti.

#### **2.3.2.3.2.2.1 A szabadoldal számítása**

A szabályok az alapvető szabadoldal értéket a hajó hosszától és típusától függően határozzák meg. Ahol *osztályozó intézeti jelzésről* esik szó, ott a legrégebbi ilyen intézet, a *Lloyd's Register of Shipping* előírásaira hivatkozunk, amely egyben a legtekintélyesebb hasonló intézmény a világon.

A hajókat 'A' és 'B' típusba sorolják. Az 'A' típusú hajók azok, amelyeket úgy terveztek, hogy csak *flyékony rakományt* szállítanak *tömégáru* jelleggel, és amelyeken a rakomány szállítására szolgáló tankokon csak kis méretű nyílásokat helyeztek el hozzáférés céljából, amelyeket *tömítéssel ellátott vízmentes fedél* zár le, ennek anyaga acél vagy annak megfelelő anyag. Ezek a hajók a legkisebb jóváhagyható szabadoldal használatára jogosultak. Az összes olyan hajó, amely jellemzői miatt nem sorolható be az 'A' típusba, 'B' típusú hajónak minősül.

Mivel a hajók igen széles skálája tartozik a 'B' típusú kategóriába, a következő esetekben az alapvető 'B' típusú táblázatban levő szabadoldal csökkenthető vagy azt növelni kell.

- (a) Azoknál a hajóknál, amelyek a *nyitott szabadoldal fedélzeten* vagy *emelt lakótér fedélzeten*, illetve a hajó hosszának 25%-án belül a mellső függélytől (*FP*) mérve a *nyitott felépítmény fedélzeten* olyan rakodónyílásokkal rendelkeznek, amelyek zárása *hordozható gerendákkal vagy fedelekkal* van megoldva, az alapvető szabadoldal értékét meg kell növelni.
- (b) Azok a hajók, amelyeken acélból készült, *tömítéssel és szorítószerkezetekkel ellátott vízmentes vízzáró fedelek* vannak felszerelve, biztosítva van a legénység fokozott védelme, az átlagosnál jobb menekülési útvonalak vannak kiépítve és kielégítő lékesedés elleni válaszfal-kiosztásuk van, lehetőséget kaphatnak a 'B' típusú hajókra érvényes alapvető szabadoldal érték csökkentésére. Ez a csökkentés elérheti akár a teljes különbséget is az 'A' és 'B' típusú hajók alapvető szabadoldal értéke között. Azt a 'B' típusú hajót, amely elég hatékony ahhoz, hogy az 'A' típusú hajók alapvető szabadoldal értékét elérje, *'B-100' típusú osztályozó jellel* látják el, és végső számított szabadoldal értéke majdnem ugyanakkora, mint az 'A' típusú hajóé. Olyan más 'B' típusú hajók esetében, amelyek a fenti szigorú lékesedési térbeosztási előírásokat nem elégítik ki teljes mértékben, olyan alapvető szabadoldal érték csökkentés követelhető meg a jóváhagyás során, amely akár 60%-át elérheti a 'B' és 'A' típusú alapvető értékek közötti különbségnek.

Számos 'B' típusú hajónál nagyon fontos lehet a lehetőség szerinti maximális merülés elérése, tehát ha a kezdeti tervezési szakaszban a tervezők jobban figyelembe veszik a térbeosztási követelményeket, az azzal az előnnyel járhat, hogy a hajó nagyobb merüléssel közlekedhet. Ez a helyzet leginkább a *tömegáru szállító hajóknál* áll fenn, mivel ezeket a hajók gyakran úgy tervezik, hogy megkapják a 'B-60' szabadoldal értékre a jóváhagyást; ahol pedig erre nincs lehetőség, még mindig elérhető a szabadoldal bizonyos mértékű csökkentése. A konvenció megengedi a 'B' és 'B-60' típusoknak jóváhagyott szabadoldal értékek közötti értékek használatát, ahol biztosítható, hogy az egy elárasztott tér mellett az úszóképességet biztosító térbeosztás elérhető egy 'B' típusú hajó merülése esetén is, de nem ez a helyzet a 'B-60' típusú merülésnél.

A normál elrendezésű *ércszállító hajók*, amelyeknél két *hosszirányú válaszfal* van beépítve, és az oldalsó tereket *ballaszttankként* használják, különösen alkalmasak arra, hogy 'B-100' típusú szabadoldal értékkel közlekedjenek, amennyiben a válaszfalak helyzetét körültekintően választották ki. A 225 m-nél hosszabb 'A', 'B-100' és 'B-60' típusú hajókon a gépteret is *elárasztható térként* lehet kezelni. A következő táblázatban a térbeosztási követelmények vannak összefoglalva.

<i>Típus</i>	<i>Hossz</i>	<i>Térbeosztási követelmények</i>
A	150 m alatt	Nincs előírás
A	150 és 225 m között	Úszóképesnek kell maradnia bármelyik olyan tér elárasztása esetén, amely a rakománytank hosszan belül van, és amelyet tervezésnél úgy vettek figyelembe, hogy üres, amikor a hajó a nyári merülés-vonalig van megrakva, a tér kitöltési tényezője 0,85
A	225 m felett	Ugyanaz, mint az előző, de a gépteret is elárasztott térnek kell tekinteni, becsült kitöltési tényezője 0,85
B+	–	Nincs előírás
B	–	Nincs előírás
B-60	100 és 225 m között	Úszóképesnek kell maradnia minden egyes sérült tér elárasztása esetén, amely a rakománytank hosszan belül van, becsült kitöltési tényezője 0,95
B-60	225 m felett	Ugyanaz, mint az előző, de a gépteret is elárasztott térnek kell tekinteni, becsült elárasztási tényezője 0,85
B-100	100 és 225 m között	Úszóképesnek kell maradnia bármelyik két szomszédos egymás mögötti tér elárasztása esetén, amely a rakománytank hosszan belül van,

Ugyanaz, mint az előző, de a gépteret is elárasztott  
térnek kell tekinteni, becsült kitöltési  
tényezője 0.85

Ha a hajó típusa már ismert, a szabadoldal kiszámítása már viszonylag egyszerű, a szükséges korrekciókat a hajó hossza alapján a szabályok értelmében az 'A' és 'B' típusú hajókra megadott alapvető szabadoldal értékhez kell alkalmazni. A hossz ( $L$ ) úgy van meghatározva, hogy az 96%-a a vízvonalon mért teljes hosszának a hajó sablon szerinti legkisebb oldalmagasságának 85%-ánál, vagy az a hossz, amelyet az orrtőke mellső élétől lehet mérni a kormányoszár tengelyéig a vízvonalon, amelyik érték nagyobb.

Az alapvető szabadoldal érték korrekciói a következők.

$$7,5(100 - L)(0,35 - E/L) \text{ mm}$$

(b) *Hasábos teltség korrekció.* Ahol a hasábos teltség (block coefficient,  $C_B$ ) nagyobb, mint 0,68, az alapvető szabadoldal értéket (a fentiek szerint módosított érték, ha értelemszerű) a következő szorzóval kell megszorozni:

$$(C_B + 0,68)/1,36$$

(c) *Oldalmagasság korrekció.* A szabadoldalnál figyelembe veendő oldalmagasságot ( $D$ ) a szabályok írják elő. Ahol a  $D$  nagyobb, mint  $L/15$ , a szabadoldalt növelni kell ( $D - (L/15)$ ) $R$  mm-rel, ahol  $R = L/0,48$  120 m-nél kisebb hajóhossz esetén, és 250 olyankor, ha a hossz 120 m vagy több. Ahol  $D$  kisebb, mint  $L/15$ , nem kell korrekciót alkalmazni, kivéve olyan hajónál, amelynek zárt felépítménye a hajó középső szakaszán legalább  $0,6L$  hosszú. Ezt a levonást, ahol alkalmazni lehet, a fenti mértékben kell alkalmazni.



(d) *Felépítmény korrekció.* Ahol a felépítmény teljes hossza  $1,0L$  értékű, a szabadoldalt 350 mm-rel lehet csökkenteni 24 m-es hajónál, 860 mm-rel 85 m-esnél, és 1.070 mm-rel 122 m-es és hosszabb hajónál. A közbenső hajóhossz értékeknél a levonásokat lineáris interpolációval kell meghatározni. Ahol a felépítmények és légtankok teljes hossza kisebb, mint  $1,0L$ , a levonás a fenti érték megfelelő százaléka. Ezeket a százalékokat a szabályok táblázatos formában tartalmazzák, a hozzájuk tartozó megjegyzések pedig a 'B' típusú hajóknál az orrlakótér méretéhez adnak korrekciókat.

(e) *Fedélzet oldalvonal felhajlás (sheer) korrekció.* A tényleges görbe alatti területet kell összehasonlítani egy standard parabolikus fedélzetvonal görbe alatti területtel, ahol a hátsó függélyen a koordináta értéke ( $S_A$ )  $25(L/3 + 10)$  mm, a mellső koordinátáé pedig ( $S_F$ )  $2S_A$  mm. Ahol a far- vagy orrfelépítmény magassága nagyobb a standard értéknél, a szabadoldal fedélzet oldalvonal-felhajlásának mértékéhez hozzá lehet adni a szabályok szerinti értéket.

A felhajlást csökkentő vagy növelő korrekció az a különbség, amely a tényleges felhajlás és a standard felhajlás közötti érték, megszorozva a  $(0,75 - (S/2L))$  tényezővel, ahol  $S$  a zárt felépítmény teljes átlagos hossza. Ahol a felhajlás kisebb a standard értéknél, a korrekciót a szabadoldalhoz hozzá kell adni. Ha a felhajlás a standard értéket meghaladja, a szabadoldal csökkenthető, amennyiben a felépítmény a hajó középső szakaszán túl hátra és előre egyaránt több, mint  $0,1L$  hosszal túlnyúlik. Nem alkalmazható csökkentés a többlet felhajlás miatt, amennyiben a hajó középső szakaszán nincs felépítmény. Ahol a felépítmény a hajóhossz középső szakaszán való túlnyúlása kisebb, mint  $0,1L$  hátra és előre, a csökkentés mértékét lineáris interpolációval lehet meghatározni. A többlet fedélzet-felhajlás miatti csökkentés maximális mértéke 125 mm per 100 m hossz.

Ha a fenti korrekciókat elvégezték az alapvető szabadoldal értéknél, a számítással így kapott végső szabadoldal érték a *hajó maximális nyári merülés-vonalára* fog vonatkozni. A végső szabadoldal értéket azonban általában meg kell növelni akkor, ha az orr magassága nem kielégítő, vagy a tulajdonos a lehetséges maximális merülésnél kisebb merüléshez kívánja a szabadoldalt jóváhagyni. Az orr magasságának definíciója szerint azt úgy kell értelmezni, mint azt a függőleges távolságot, amely a mellső függélynél mérhető a jóváhagyott nyári szabadoldalhoz tartozó vízvonalától a szabad fedélzetig a hajó szélénél. Ez a magasság nem lehet kisebb, mint a konvencióban foglalt értékek.

### **Minimális szabadoldalak**

A *minimális szabadoldal* a *nyári zónában* annyi, amennyi a fentiekben leírt módon kiadódik; ez azonban nem lehet kevesebb, mint 50 mm. A *trópusi* és *téli zónákban* a minimális szabadoldal értéket úgy kapjuk meg, hogy levonjuk vagy hozzáadjuk értelemszerűen a sablon szerinti nyári merülés  $1/48$ -adát. A trópusi szabadoldal alsó értékét is korlátozzák azonban 50 mm-ben. Egy 100 m-nél nem hosszabb hajó szabadoldala a téli Atlanti-óceán északi részén egyenlő a *téli szabadoldal* plusz 50 mm értékkel. Más hajóknál a téli Atlanti-óceán északi részén érvényes szabadoldal érték a

téli szabadoldallal egyenlő. Az *édesvízben mérhető szabadoldal* értéke úgy adódik ki, hogy a nyári vagy trópusi szabadoldal értékéből levonjuk a következő mennyiséget:

víz kiszorítás sós vízben / (4xTPC) mm

ahol TPC az 1 cm merülés-változáshoz tartozó víz kiszorítás változás tonnákban a víz vonalnál, a víz kiszorítás pedig metrikus tonnákban van kifejezve.

#### ***Faáruszállító hajók szabadoldala***

Ha egy hajó a szabad fedélzetén faárut szállít, feltételezhető, hogy a *fedélzeti rakomány* kiegészítő úszóképességet biztosít, ezzel együtt nagyobb fokú védelmet a tenger kockázatai ellen. Az ilyen hajóknál kisebb szabadoldal engedélyezhető, mint amekkorát egy 'B' típusú hajóra engedélyeznének, amennyiben a faáruszállító hajóknál érvényes további jóváhagyási feltételeket kielégítik. Nem csökkenthető a szabadoldal azoknál a hajóknál, amelyeknél már egyébként is 'A' vagy csökkentett 'B' szabadoldal van engedélyezve. A szabadoldalt a fentiek szerint kell kiszámítani, de a felépítmény korrekció eltérő, mivel azt módosítani kell a faáruszállító hajók szabadoldalának eltérő csökkentési módjának alkalmazásával. A *téli faáruszállító szabadoldal* úgy számítható ki, hogy hozzá kell adni a *nyári faáruszállító szabadoldalhoz* a *sablon szerinti nyári faáruszállító merülés 1/36-odát*. A téli Atlanti-óceán északi részén érvényes faáruszállító szabadoldal megegyezik a normál szabadoldallal, a trópusi faáruszállító szabadoldal pedig úgy adódik ki, hogy le kell vonni a nyári faáruszállító szabadoldalból a *sablon szerinti nyári faáruszállító merülés 1/48-adát*. Az *édesvízben mérhető faáruszállító szabadoldal* értéke a normál szabadoldalnál alkalmazott módon határozható meg.

#### **2.3.2.3.2.3.2.2 A szabadoldal jóváhagyásának feltételei**

- (1) *Konstrukció.* A hajó konstrukciójának olyannak kell lennie, amely biztosítja, hogy általános szerkezeti szilárdsága elegendő a jóváhagyásra váró szabadoldalhoz. A hajót olyanra kell tervezni és építeni, hogy stabilitása a rakodás összes valószínű esetében elegendő a jóváhagyásra váró szabadoldalhoz. A stabilitási kritériumokat a konvenció tartalmazza.
- (2) *Felépítmény végeinél beépített válaszfalak.* A hatóság követelményeinek megfelelő hatékony konstrukciójuknak kell lenniük. A zárt felépítmények végeinél elhelyezett nyílások alsó szélének magassága legalább 380 mm kell, hogy legyen a fedélzet felett.
- (3) *Hordozható fedelekkal és ponyvával zárható rakodónyílások.* A rakodónyílások keretének megfelelő konstrukciójúnak kell lennie, magassága a fedélzet felett legalább 600 mm kell, hogy legyen a szabad szabadoldal és farfedélzeteken illetve szabad felépítmény fedélzeteken a hajó hosszának ¼-én belül a mellső függélytől (FP, 1-es pozíció), és legalább 450 mm a szabad felépítmény fedélzeteken a hajó hosszának ¼-én kívül a mellső függélytől (FP, 2-es pozíció).

A fedeleket hordozó perem szélességének legalább 65 mm-nek kell lennie. Ahol a fedelek anyaga fa, annak vastagsága legalább 60 mm legyen 1,5 m-nél nem nagyobb fesztávnál. A lágyacélból készült hordozható fedelek szilárdságát a feltételezett terhelés alapján kell kiszámítani. A feltételezett terhelés mértéke az 1-es pozícióba eső rakodónyílásoknál nem lehet kevesebb 1 tonna/m<sup>2</sup>-nél a 24 m hosszú hajóknál, és nem lehet kevesebb, mint 0,75 tonna/m<sup>2</sup> a 2-es pozícióban levő rakodónyílásoknál. Ahol a hajó hossza 100 m vagy több, a feltételezett terhelés az 1-es pozícióban levő rakodónyílásoknál 1,75 tonna/m<sup>2</sup>, illetve a 2-es pozíciójaúknál 1,30 tonna/m<sup>2</sup>. A közbelső hosszértékekhez tartozó terheléseket interpolációval lehet meghatározni.

Az így kiszámított maximális feszültség 4,25-ös biztonsági tényezővel szorozva nem lépheti túl az anyag minimális szakítószilárdságát. A lehajlás ezeknél a terheléseknél a fesztáv 0,0028-szorosára van korlátozva.

Lágyacélból készült hordozható gerendák esetén a feltételezett terhelések fogadhatók el, az így kiszámított maximális feszültség 5-ös biztonsági tényezővel szorozva nem lépheti túl az anyag minimális szakítószilárdságát. A lehajlás ezeknél a terheléseknél a fesztáv 0,0022-szorosára van korlátozva.

A hordozható gerendák helyett acéllemezéből készült önhordó nyílászáró fedelek alkalmazása esetén azok szilárdságát a fentiekben felsorolt feltételezett terhelések alapján kell kiszámolni. Az így kiszámított maximális feszültség 5-ös biztonsági tényezővel szorozva nem lépheti túl az anyag minimális szakítószilárdságát, a lehajlás pedig a fesztáv 0,0022-szorosára van korlátozva. A lágyacél lemezek, amely a fedelek tetejét alkotja, legalább olyan vastagsággal kell rendelkeznie, amely nem kisebb a merevítők távolságának 1%-ánál vagy 6 mm-nél, amelyik érték nagyobb. Az egyéb anyagokból készült fedeleknek ezzel azonos szilárdságúaknak kell lenniük. A fedél alátámasztásának és egyéb szerelvényeinek kielégítő konstrukciójúaknak kell lenniük, ahol pedig gördülő pályaként működő gerendák vannak beépítve, biztosítani kell, hogy a gerendák akkor is a helyükön maradnak, amikor a fedél zárva van.

Ferde felületeket kell kialakítani, amelyek az ékek lejtésének felelnek meg. Ezek szélessége legalább 65 mm legyen, egymástól való távolságuk legfeljebb 600 mm középtől középig; és legfeljebb 150 mm a nyílásfedéltől. A hézagolóknak és az ékeknek megfelelő kialakításúaknak és jó állapotban levőnek kell lenniük. Az ékek anyaga szívós fa legyen vagy azzal egyenértékű anyag, maximális lejtésük 1:6 arányú lehet, és a legvékonyabb helyen nem lehetnek vékonyabbak 13 mm-nél. Mindegyik rakodónyíláshoz biztosítani kell legalább két jó állapotban levő ponyvát, amelynek jóváhagyott szilárdságú vízmentes anyagból kell lennie. Acélrudakat vagy azzal egyenlő értékű eszközöket kell biztosítani a rakodónyílás fedél mindegyik szakaszának rögzítéséhez azt követően, hogy a ponyvákat beékelték, azokat a fedeleket pedig, amelyek hossza több, mint 1,5 m, legalább két ilyen eszközzel kell rögzíteni.

- (4) *Vízmentes acél fedelekkal zárható rakodónyílások.* A keretek magassága megegyezik azzal, amely a hordozható gerendával zárható nyílásoknál van előírva. Ezt a magasságot lehet csökkenteni, vagy akár el is hagyhatók a keretek azzal a

feltétellel, hogy a hatóság meggyőződött arról, hogy a hajó biztonságát ez nem veszélyezteti. A lágyacélból készült fedelek szilárdságát a korábban megadott terhelési adatokból kell kiszámítani. Az így kiszámított maximális feszültség 4,25-ös biztonsági tényezővel szorozva nem lépheti túl az anyag minimális szakítószilárdságát, a lehajlás pedig a feszítáv 0,0028-szorosára van korlátozva ezeknél a terheléseknél. A lágyacél lemezeknek, amely a fedelek tetejét alkotja, legalább olyan vastagsággal kell rendelkeznie, amely nem kisebb a merevítő távolságának 1%-ánál vagy 6 mm-nél, amelyik érték nagyobb. Az egyéb anyagokból készült fedelek szilárdsága és merevsége ugyanekkora kell, hogy legyen.

Azoknak az eszközöknek, amelyek az időjárás-állóságot biztosítják, ki kell elégíteniük a hatóság igényeit, a vízmentességet minden a tenger minden viszonyai között biztosítaniuk kell.

- (5) *A géptér nyílásai.* Ezeket megfelelő keretekkel kell ellátni és kellő szilárdságú acél záró-fedelekkkel kell védeni. Ahol a záró-fedeleket más szerkezet nem védi, ott ezek szilárdságára különös figyelmet kell fordítani. Az acél ajtók nyílásának alsó széle, amelyeken át a tereket meg lehet közelíteni, legalább 600 mm-rel kell, hogy legyen a fedélzet felett 1-es pozíció esetén, és legalább 380 mm-rel 2-es pozíciónál. A kéményburkolatok, kémények vagy géptéri ventilátorok kereteit a szabad fedélzeten a fedélzet fölé kell vinni ésszerű magassággal.
- (6) *Más nyílások a szabadoldal és felépítmény fedélzeteken.* A búvó-nyílásokat és mosónyílásokat 1-es vagy 2-es pozícióban vagy nem vízmentes felépítményeken belül megfelelő időjárásálló fedelekkkel kell lezárni. Egyéb nyílásokat zárt felépítménnyel vagy fedélzeti házzal kell védeni, vagy annak megfelelő szilárdságú összekötő folyosóval. A bejáratú ajtókat acélból kell készíteni, a nyílás alsó szélének pedig a fentiek szerinti magasságban kell elhelyezkednie.
- (7) *Ventilátorok.* Ezeknek acél kerettel kell rendelkezniük, és ahol magasságuk meghaladja a 900 mm-t, megfelelően meg kell őket merevíteni. Az 1-es pozícióban a ventilátor keretek magasságának 900 mm-nek kell lennie a fedélzet felett, a 2-es pozícióban pedig 760 mm-nek. A szellőztető nyílásokat megfelelő időjárásálló zárószerkezettel kell ellátni, kivéve, ha a keret magassága a 4,5 m-t meghaladja 1-es pozícióban és a 2,3 m-t 2-es pozícióban a fedélzet felett.
- (8) *Levegőztető csövek.* A csövek szabadban levő alkatrészeinek megfelelő konstrukciónak kell lenniük. A fedélzet feletti magasságuk legalább 760 mm kell, hogy legyen a szabadoldal fedélzeten, és 450 mm a felépítmény fedélzeteken. Alacsonyabb érték akkor hagyható jóvá, ha a munkafeltételek szabják meg. A cső nyílásának elzárásához állandó konstrukciós megoldást kell biztosítani.
- (9) *Rakodóajtók és más hasonló oldalsó nyílások.* Ezeket a szabadoldal fedélzet alatt vízmentes ajtóval kell felszerelni, hogy a hajó szerkezeti integritását biztosítani lehessen. Kivéve azokat az eseteket, amikor a hatóság hozzájárul, az ilyen nyílások alsó széle nem kerülhet alacsonyabbra, mint az a vonal, amelyet a szabadoldal fedélzet szélével párhuzamosan lehet meghúzni, és amelynek legalsó pontja a legmagasabban levő merülési vonal.

- (10) *Vízleeresztő, vízvételvezető és kidobó-nyílások.* Azokat a kidobó-nyílásokat, amelyek a hajó héjlemezen vannak átvezetve a szabadoldal fedélzet alatti terekből vagy a szabadoldal fedélzetén levő olyan felépítményekből és fedélzeti házakból, amelyeken vízmentes ajtók vannak elhelyezve, megfelelő kivitelű és hozzáférésű szerkezetekkel kell felszerelni, amelyek megakadályozzák, hogy a víz a hajó belsejébe bejusson. Normális esetben ez egy automatikus működésű visszacsapó szelep, amely a szabadoldal fedélzet felett elhelyezett zárószerkezettel rendelkezik. Ahol a függőleges távolság a nyári merülés-vonal és a vízkidobó cső belső vége között kevesebb, mint  $0,02L$ , a kidobó-cső két automatikus működésű visszacsapó szeleppel lehet felszerelve, amelyek nem rendelkeznek kézi zárószerkezettel, feltéve, hogy a hajótesten belüli szelep mindig megközelíthető. Ahol ez a távolság több, mint  $0,02L$ , egyetlen kézi zárószerkezettel nem rendelkező automatikus működésű visszacsapó szelep is elfogadható. A személyzettel ellátott gépterekben a gépek működésével kapcsolatos fő és segéd vízvételvezető és kidobó-nyílásokat a helyszínről lehet kezelni. A héjlemezen átmenő minden vízlevezető nyílást és kidobó-csövet, amelynek alsó szélé több, mint 450 mm-rel a szabadoldal fedélzet szintje alatt vagy kevesebb, mint 600 mm-rel a nyári merülés-vonal felett van, automatikus működésű visszacsapó szeleppel kell ellátni. Azokat a vízlevezetőket, amelyek a vízmentes ajtóval nem rendelkező felépítményekből vagy fedélzeti házakból indulnak, a hajóoldalon kívülre kell vezetni.
- (11) *Oldalsó vízlevezető nyílások.* A szabadoldal fedélzet alatt vagy a zárt felépítményeken belül az oldalsó vízlevezető nyílásokat megfelelő konstrukciójú, sarokpánttal rendelkező, vízmentes belső záró-fedelekkkel kell ellátni. Nem alakítható ki oldalsó vízlevezető nyílás úgy, hogy alsó szélé alatta van annak a vonalnak, amelyet a szabadoldal fedélzetnek a hajó oldalánál levő vonalával párhuzamosan lehet meghúzni, és amelynek legalsó pontja a hajó szélességének 2,5%-ával vagy 500 mm-rel van a nyári merülés-vonal felett, amelyik érték nagyobb.
- (12) *Habvéd kifolyónyílások.* A hajó mindegyik oldalán a habvéden kialakított kifolyónyílások minimális összfelülete ( $A$ ), ahol a fedélzet felhajlása a víz összegyűlésére alkalmas legmélyebb szakaszon (kút) a standard értékkel megegyező vagy annál nagyobb, négyzetméterben a következő képletből adódik:

$$A = 0,7 + 0,035l \quad \text{ahol } l \text{ a habvéd hossza a kútban, amennyiben az}$$

$$\text{illetve } A = 0,07l \quad \text{ahol } l \text{ nagyobb, mint 20 m.}$$

Az  $l$  értékének semmilyen esetben sem szükséges nagyobbak lenni, mint  $0,7L$ . Ha habvéd magassága nagyobb 1,2 m-nél, az  $A$  értékét növelni kell  $0,004 \text{ m}^2$ -rel a kút hosszának minden méteréhez a magasságkülönbségben mért 0,1 m-enként. Ha a habvéd magassága kisebb, mint 0,9 m, az  $A$  értéke csökkenthető  $0,004 \text{ m}^2$ -rel a kút hosszának minden méteréhez a magasságkülönbségben mért 0,1 m-enként. Ahol a fedélzetnek nincs felhajlása, az  $A$  értékét meg kell növelni 50%-kal, ha pedig a

felhajlás kisebb a standard értéknél a növelés értékét interpolációval lehet kiszámítani.

A habvéd kifolyónyílások alsó szélének olyan közel kell lenniük a fedélzethez, ahogy az megoldható. A kifolyónyílások felületének kétharmadát a kút szakaszának azon a felén kell biztosítani, amely legközelebb van a felhajlási görbe legalsó pontjához, ahol a fedélzetnek van felhajlása. A habvéd nyílásait rudak védik, ezeket egymástól kb. 230 mm távolságra kell elhelyezni. Ha záró-fedeleket alkalmaznak, azoknál biztosítani kell, hogy ne tudjanak beragadni.

- (13) *A legénység védelme.* Megfelelő konstrukciójú *védőkorlátokat* vagy habvédeket kell a szabadoldal fedélzet és a felépítmény fedélzetek valamennyi szabadon levő részre felszerelni, amelyek minimális magassága 1 méter. A hatóság engedélyezheti alacsonyabb korlát kialakítását. A fedélzet és a korlát alsó vízszintes rúdja közötti maximális függőleges távolság 230 mm, a többi vízszintes rúd közötti távolság pedig legfeljebb 380 mm.

Kielégítő eszközöket kell biztosítani a legénység védelmére a szálláshelyük és a hajó azon részei közötti közlekedésük során, ahol munkájukat végzik.

#### ***A jóváhagyás különleges feltételei 'A' típusú hajók esetében***

- (1) *Gépberendezések védelme.* A gépberendezések védelmére standard magasságú farfelépítményt vagy középső felépítményt (hidat) kell kiképezni, illetve fedélzeti házat, amelynek szilárdsága és magassága azzal egyenértékű. A gépek burkolata szabadon is állhat, ha nincsenek ajtók beépítve a szabadoldal fedélzetről való megközelítésük útjában, vagy, ha időjárásálló ajtó van felszerelve egy közlekedő folyosóra, amely a géptérbe vezető lépcsőaknátnál el van választva egy ugyanolyan anyagból készült második időjárásálló ajtóval.
- (2) *Gyaloghíd és megközelítés.* A farfelépítmény és a hajóközépen levő híd vagy fedélzeti ház között a felépítmény fedélzet szintjén megfelelő konstrukciójú *gyaloghidat* kell kialakítani, vagy azzal egyenértékű közlekedési lehetőséget kell biztosítani, pl. a fedélzet alatt. Ha fedélzeti házak mind hátul vannak elhelyezve, megfelelő konstrukciós megoldásokat kell biztosítani a legénységnek, hogy elérhessék munkahelyüket a hajó minden részén.
- (3) *Rakodónyílások.* A szabadoldal fedélzeten és az orrfelépítmény fedélzeten, illetve a tágulási tankok tetején kialakított mindegyik szabadba nyíló rakodónyílást el kell látni hatékonyan működő vízálló fedelekkal acélból vagy más azzal egyenértékű anyagból.
- (4) *Vízlevezető megoldások.* Nyitott korlátokat kell kialakítani az időjárásnak kitett szabad fedélzet hosszának legalább a felén, a mestersornak a fedélzet feletti felső élét a lehető legalacsonyabbra kell kiképezni. Ahol a felépítményeket üres testtankok kötik össze, nyitott korlátot kell elhelyezni a szabadoldal fedélzetnek a tank oldalánál szabadon levő teljes hosszában.

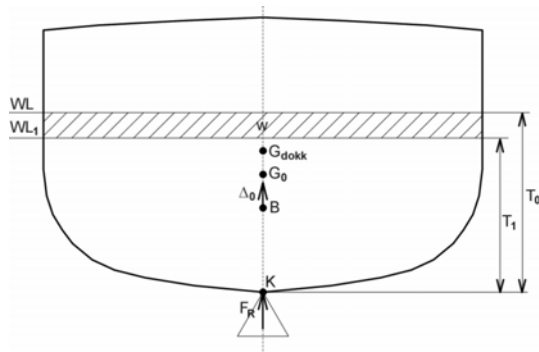
#### **2.3.2.3.3 Dokkolás**

Ez a fejezet a hajókatasztrófák legtöbbet vizsgált csoportját vizsgálja, a lékesedést, azonban van két olyan hajóbaleset típus, ami szintén a hajó elvesztését eredményezheti, ha nem tesznek meg mindent a negatív körülmények elhárítására. Ez a két eset a *dokkolás* és a *megfeneklés*. Az utóbbi nagyon sokféle módon következhet be, azonban amellett, hogy a megfeneklés gyakran eredményezi a hajótest vízmentességének megszűnését (ami visszaviszi a témát a fejezetben korábban tárgyalt esetekhez), az is szinte minden esetben megtörténik, hogy a mederfenékre felült hajó stabilitása erősen lecsökken a vízkiszorítás-csökkenés miatt, ez pedig a hajó *felborulásához* vezethet. Belátható, hogy az ilyen esetek vizsgálata ugyanúgy végezhető el, mint amikor a megfeneklést és vízkiszorítás-csökkenést (majd annak teljes megszűnését) mesterségesen idézik elő a hajó dokkolásakor. Mivel ez a művelet előre megtervezett és előkészített módon történik, ennek vizsgálata egyszerűbb a megfeneklési esetekénél. A vizsgálat eredményei azonban kiterjeszthetők a megfeneklett hajó viselkedésére is, ezért azt külön nem kell vizsgálni.

A hajó szárazdokkban történő elhelyezése alapján súlycsökkentést jelent. Ilyen esetben a hajó súlyát csak részben viseli a víz (illetve egyáltalán nem). A hajó súlyának többi része a *blokkokon* keresztül a dokk fenekét terheli.

A feladatot elméletileg úgy szemléltethetjük, ha úgy kezeljük, mint a súlyeltávolítást. Amikor a hajó elkezd a gerince alá helyezett blokkokra felülni, és emiatt már nem tekinthető szabadon úszó testnek, már nem képes annyi felhajtóerőt biztosítani, ami az eredeti vízkiszorítással egyensúlyt tarthat. A lecsökkent merülés miatti vízkiszorítás-csökkenéssel kizárólag a hajó fenekén felfelé ható erő tart egyensúlyt. A hajót olyannak tekinthetjük, mintha az továbbra is úszó test lenne, de kisebb vízkiszorítással – a kisebb vízkiszorítás ugyanis annak az erőnek köszönhető, amely a fenékre hat felfelé (és amelyet eltávolított súlyként kezelhetünk). Normális esetben feltételezhetjük, hogy ez az erő az érintkezési pontban hat, vagyis a gerincen, tehát ez az a hely, ahonnan a képzelt súlyt eltávolítjuk. Az állapotot az jellemzi, hogy a hajó kiemelkedik egy olyan víztérfogatnak megfelelő térfogattal, amelynek alapterülete a vízvonallal egyezik meg, a réteg vastagságát pedig a térfogat és a vízvonalterület hányadosa adja ki. Emiatt az  $M$  metacentrum és a  $G$  rendszersúlypont helye megváltozik. A  $G$  és  $M$  helyének változását figyelembe véve új keresztirányú metacentrikus magasságot számolhatunk ki, amelynek segítségével a korrigált elméleti sztatikus stabilitási görbe is felrajzolható. Mivel azonban a fenékre ható erő hatáspontja általában elmozdul, amikor a hajó a gerincen feltámaszkodik és megbillen, az egyenes úszáshoz tartozó teljes sztatikus stabilitási görbe nem lenne megfelelően pontos.

A dokkolást irányító tengerésztisztet a módosult kezdeti stabilitási jellemzők érdeklik, más szóval a merülés változásának hatása a  $GM$  értékére. Ez a különleges értelmű  $GM$ , amelyet jelöljünk  $GM_{\text{dokk}}$  megnevezéssel, nagyon hasznos lehet annak a tendenciának a meghatározásánál, hogy hogyan viselkedik a hajó, amikor függőlegesen kell állnia a gerincblokkokon a szárazdokkban elvégzett vízleeresztési és felúsztatási művelet során. (Ugyanez játszódik le a hajónál, mint fent említettük, amikor megfeneklik, olyankor is fennáll annak a veszélye, hogy felborul, ha a hajó nem lapos fenékű.)



2.3.2.3.3.1 ábra A hajó erőviszonyai dokkolásnál

A dokkolás és megfeneklés esetére vonatkozóan vezessünk be néhány jelölést, amelyet a 2.3.2.3.3.1 ábra szemléltet.  $F_R$  = a feltámasztás reakcióereje a gerincen, amelynek nagysága megegyezik a kiemelkedő réteg elvesztett  $w$  felhajtóerejével.

$$F_B = \text{maradék felhajtóerő} = \Delta_0 - F_R = \Delta_0 - w$$

$\Delta_0$  = a dokkolás megkezdése előtti vízkiszorítás súlya

$KG_0$  = a rendszersúlypont magassága a gerinc felett a dokkolás megkezdése előtt

Mivel a súlyt eltávolítottként vesszük figyelembe a gerincnél, a megfelelő képlet

$$KG_{\text{dokk}} = (\Delta_0 KG_0 - F_R Kg) / (\Delta_0 - F_R)$$

illetve, mivel  $Kg = 0$ ,

$$KG_{\text{dokk}} = \Delta_0 KG_0 / F_B$$

A  $KG_{\text{dokk}}$  értékét úgy vehetjük, hogy az a tényleges magassága a rendszersúlypontnak a gerinc felett, bár a hajó súlypontja valójában nem változott a dokkolás előttihez képest. Ezzel

$$GM_{\text{dokk}} = KM_{\text{dokk}} - KG_{\text{dokk}} = KM_{\text{dokk}} - (\Delta_0 KG_0 / F_B)$$

ahol  $KM_{\text{dokk}}$  = a metacentrum magassága a gerinc felett a lecsökkent merülésnél.

A képletet átalakítva

$$GM_{\text{dokk}} = (F_B KM_{\text{dokk}} - \Delta_0 KG_0) / F_B$$

A visszatérítő nyomaték kis dőlésszögek esetén, amikor a hajó a gerincblokkokra támaszkodik

$$F_B GZ = F_B GM_{\text{dokk}} \sin \varphi$$

illetve

$$F_B GZ = (F_B KM_{\text{dokk}} - \Delta_0 KG_0) \sin \varphi$$

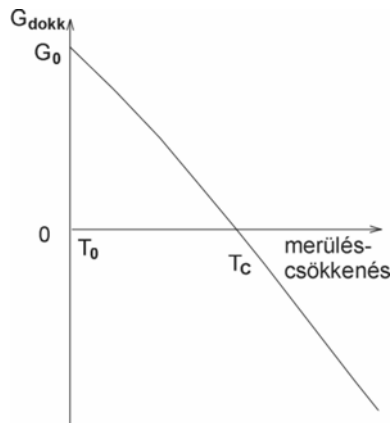
A hajó labilis helyzetűvé válik (negatív stabilitás), ha a visszatérítő nyomaték karja negatív előjelű lesz, azaz



$$GM_{\text{dokk}} < 0$$

Tehát dokkolási helyzetben a stabilitás kritériuma

$$F_B KM_{\text{dokk}} > \Delta_0 KG_0$$



2.3.2.3.3.1 ábra A merülés és a metacentrikus magasság kapcsolata dokkolásnál

A függőleges oldalú hajók esetén (pl. bárkáknál, ahol a  $C_B$  hasábos teltség és a  $C_{WL}$  vízvonalteltség nagy tartományban konstans és egyenlő egymással) a  $T_C$  *kritikus merülés* értékét a korábban már megismert képletek kombinálásával számíthatjuk ki

$$GM_{\text{dokk}} = 0$$

$$F_B KM = F_B (KB + BM) = \Delta_0 KG_0$$

$$C_B (LBT_C/35) \{ [C_{WL} T_C / (C_{WL} + C_B)] + [C_{IT} B^2 / (C_B 12 T_C)] \} = C_B (LBT_0/35) KG_0$$

$$[C_{WL} T_C^2 / (C_{WL} + C_B)] [(C_{IT} B^2 / (C_B 12))] (T_0 / T_0) = T_0 KG_0$$

Mivel azonban

$$C_{IT} B^2 / (C_B 12 T_0) = BM_0$$

valamint

$$C_{WL} / (C_{WL} + C_B) = 1/2, \text{ ha } C_{WL} = C_B$$

ezért

$$T_C^2 / 2 + T_0 BM_0 = T_0 KG_0$$

ebből

$$T_C = [2T_0 (KG_0 - BM_0)]^{1/2}$$

A kritikus merülés fogalmát a 2.3.2.3.3.1 ábra szemlélteti.

A nagy tömegű szállító hajók és kis bárkák oldala megközelítőleg függőleges, azoknál ez a kifejezés jól alkalmazható a dokkolásnál érvényes kritikus merülés

meghatározására. Az összefüggésből látszik, hogy ha a  $KG_0$  kisebb, mint  $BM_0$ , akkor a hajó mindaddig stabil, amíg még van valamennyi merülése.

A valódi hajóformájú járművek kritikus merülését, amelyek teljesen elveszthetik stabilitásukat a dokkolási művelet során, iterációs módszerrel lehet meghatározni, vagy pedig a jellemző görbék segítségével grafikus úton.

### 2.3.2.4 Jellemző görbék

A hajótest geometriájának és hidrosztatikai jellemzőinek vizsgálatánál láttuk, hogy a hajótest bonyolult alakja matematikai formulákkal nem írható le, ezért a vízvonalak, bordametszetek területének és súlypontjának meghatározásához, illetve az azok felhasználásával kiszámítható vízkiszorításhoz és annak súlypontjához matematikai függvények integrálása helyett numerikus integrálást kell végezni. A megfelelő számítógépes programok kidolgozása ma már szinte teljesen feleslegessé teszi a hosszadalmas és fáradtságos számítások manuális elvégzését, azonban a vonalterv elkészítése és a mérettáblázat adatainak kigyűjtése a hajótervező munkája maradt (kivétel a vonalterv kiegyenlítése, amely már a többi aprólékos számítási munkával együtt teljes egészében elvégezhető számítógép segítségével). Azokat a hajótest-paramétereket, amelyek a későbbiekben magának a hajótervezőnek is, de leginkább a hajó szolgálati ideje során a hajót irányító tiszteknek számtalan esetben szolgálnak forrásként, diagram-rendszerben ábrázolják, ahol a független változó minden esetben a hajó egyenes úszási helyzetéhez tartozó merülés. Ebben a fejezetben csupán ismertetés következik a hajó hidrosztatikai jellemzőiről, nem foglalkozunk azok mélyebb elemzésével, de más fejezetekben (stabilitás, trim, lékszámítás) sokkal alaposabban kell velük megismerkedni, hogy a hajó be- és kirakodása, üzemszerű szituációi vagy vészhelyzetei során felmerülő számítási feladatokat gyakorlattan el tudjuk végezni. Az ezeket a jellemzőket a merülés függvényében ábrázoló görbéket *jellemző görbéknek* nevezzük. Előfordul, hogy az adatokat nem diagram, hanem nomogram alakjában ábrázolják, de abba csak a legfontosabbakat teszik bele, sőt, van úgy, hogy táblázatokba foglalják őket. A legtöbb esetben azonban a hagyományos derékszögű koordinátarendszer az a forma, amelyben a jellemzőket megtaláljuk. Amint említettük, a független változó, amelyet a szokásostól eltérően a függőleges tengelyre van felmérve, a *közepes merülés* (lábban vagy méterben). A legfontosabb függő változó a vízszintes tengely mentén a *vízkiszorítás* (long ton vagy metrikus tonna mértékegységben). Emiatt, mivel nem praktikus a vízszintes tengely mentén annyi beosztást csinálni, ahány görbét ábrázolnak, az egyes görbék saját léptéke és a vízkiszorítás léptéke közötti viszonyszám van megjelölve.

A körülmények határozzák meg, hány jellemzőre rajzolják meg a görbéket, leginkább attól függ, hogy a hajótervező saját magának készíti el ezeket elsősorban a részletes számításokhoz, vagy a hajózó tisztek számára az előforduló stabilitás- és trimszámításokhoz. Az utóbbiakhoz kevesebbre van szükség.

#### 2.3.2.4.1 A görbék között mindig megtalálható legfontosabb jellemzők

A következő hat hidrosztatikus jellemző a hajószemélyzet munkájához szükséges, ezért ezeket mindig felrajzolják.

1. *Vízkiszorítás* ( $\Delta$  vagy  $\Delta_m$ ). Az amerikai mértékrendszerben a vízkiszorítás a hajó súlya minden rajta levő dologgal együtt. Az SI rendszerben a vízkiszorítás a hajó tömege. Mindkét esetben a hajó vízkiszorításának térfogata szorozva a víz

sűrűségére utaló mennyiséggel (fajsúly vagy sűrűség), amelyben a hajó úszik.  
Az erre vonatkozó formulák:

$$\Delta = \rho g \nabla \quad (\text{amerikai mértékegységek})$$

$$\Delta_m = \rho \nabla \quad (\text{SI mértékegységek})$$

ahol  $\Delta$  = vízkiszorítás súlyban  
 $\Delta_m$  = vízkiszorítás tömegben  
 $\rho$  = a víz sűrűsége (fajlagos tömeg)  
 $g$  = nehézségi gyorsulás  
 $\nabla$  = a vízkiszorítás térfogata

Nem ritkán két vízkiszorítás görbét rajzolnak fel, egyik tengervízben, másik édesvízben érvényes.

2. *Vízkiszorítás súlypontjának hosszirányú helyzete* (longitudinal center of buoyancy, *LCB*). Az *LCB* meghatározása úgy történik, hogy a vízkiszorítást és annak hosszirányú nyomatékát numerikus integrálással kiszámítjuk, majd a nyomatékot elosztjuk a vízkiszorítással. A súlypont helyzete a főbordától, a hátsó vagy a mellső függélytől van megadva, leggyakoribb a főborda referenciasíkként. A görbe használatánál a közepes merülésnek megfelelő merüléshez leolvassuk az ordináta értékét, és elosztjuk a vízkiszorítás léptékéhez kapcsolt viszony számmal (pl. ha az *LCB* görbéhez meg van adva, hogy 100 long ton vízkiszorítás megfelel 2 lábnak, akkor ez a viszony szám  $100/2 = 50$ ).
3. *Keresztirányú metacentrum magassága a gerinc felett (KM)*. Ez a jellemző a kezdeti keresztirányú stabilitás számításához szükséges. Kiszámítása:

$$KM = KB + BM = KB + I_T / \nabla$$

ahol  $KB$  = a vízkiszorítás súlypontjának magassága a gerinc felett  
 $BM$  = keresztirányú metacentrikus sugár  
 $I_T$  = a vízvonalfelület keresztirányú inercianyomatéka  
 $\nabla$  = vízkiszorítás térfogata

A görbe használatánál a már ismertetett módon le kell olvasni az értéket és elosztani a vízkiszorítás léptékéhez való viszony számmal.

4. *Tonna per hüvelyk (vagy cm) bemerülés (TPI vagy TPC)*. Számítási mód:

$$TPI = A_W / 420 \quad (\text{amerikai mértékegység})$$

$$TPC = A_W / 97,56 \quad (\text{SI mértékegység})$$

ahol  $A_W$  = vízvonalfelület területe

A görbéből leolvasható értékek csak tengervízre érvényesek. Ha az édesvízben érvényes értékekre van szükség, a leolvasott értéket meg kell szorozni az édesvíz és tengervíz relatív sűrűségének hányadosával (*TPI* esetén  $35/36$ , *TPC*-nél  $1,000/1,025$ ). A görbe használata megegyezik az előzőekkel.

- 
5. *Vízvonalfelület súlypontjának hosszirányú helyzete* (longitudinal center of flotation, *LCF*). Számítása úgy történik, hogy a vízvonalfelület hosszirányú nyomatékát elosztjuk a vízvonalfelület területével. Érvényes rá mindaz, ami a 2-es görbére, az *LCB* értékeire elmondtunk. Az *LCF* a trim tengelye, a trimmel úszó hajó ott mért merülése megegyezik az azonos vízkiszorításnál egyenes gerinccel úszó hajó merülésével.
6. *Egy hüvelyk (vagy egy centiméter) trimet okozó nyomaték* ( $MT_i$  ill.  $MT_{cm}$ ). A pontos számításnál ezek a mennyiségek nemcsak a hajótest alakjától függnek, hanem a rakodás módjától is, azonban a kizárólag a hajótest alakjától függő közelítő értékek eléggé pontosak a trimszámításokhoz, ezért kerültek be a jellemző görbék közé. Számítási mód:

$$MT_i = \Delta BM_L / 12L = I_L / 420L \quad (\text{amerikai mértékegység})$$

$$MT_{cm} = \Delta_m BM_L / 100L = 0,01025 I_L / L \quad (\text{SI mértékegység})$$

ahol  $BM_L$  = hosszirányú metacentrikus sugár

$I_L$  = vízvonalfelület hosszirányú inercianyomatéka

Ezeknek a mennyiségeknek az ismertetése a hosszirányú stabilitás vizsgálatánál található.

#### 2.3.2.4.2 További jellemző görbék

7. *Egy hüvelyk (vagy centiméter) fartrim által okozott vízkiszorítás változás* ( $dAPI$ ,  $dAPC$ ). Mivel a vízkiszorítás görbe egyenes gerinccel úszó hajó esetében érvényes, ha a vízkiszorítást trimmel úszó hajónál nagyon pontosan kell meghatározni, amikor tehát elől és hátul más-más merülés van érvényben, ez a jellemző kényelmes segédeszköz a korrigált vízkiszorítás kiszámításához. Definíciója:

$$dAPI = TPI \times LCF / L \quad (\text{amerikai mértékegység})$$

$$dAPC = TPC \times LCF / L \quad (\text{SI mértékegység})$$

ahol az *LCF* helyét a főbordától kell mérni.

8. *Vízkiszorítás súlypontjának magassága a gerinc felett* ( $KB$ ). Meghatározása a hajó geometriai vizsgálatánál leírt módon történik: a vízkiszorítás alapvonalra vett nyomatékát elosztjuk a vízkiszorítással.
9. *Hosszirányú metacentrum magassága a gerinc felett* ( $KM_L$ ). Ez a mennyiség az alábbiak szerint számítható ki:

$$KM_L = KB + BM_L = KB + I_L / \nabla$$

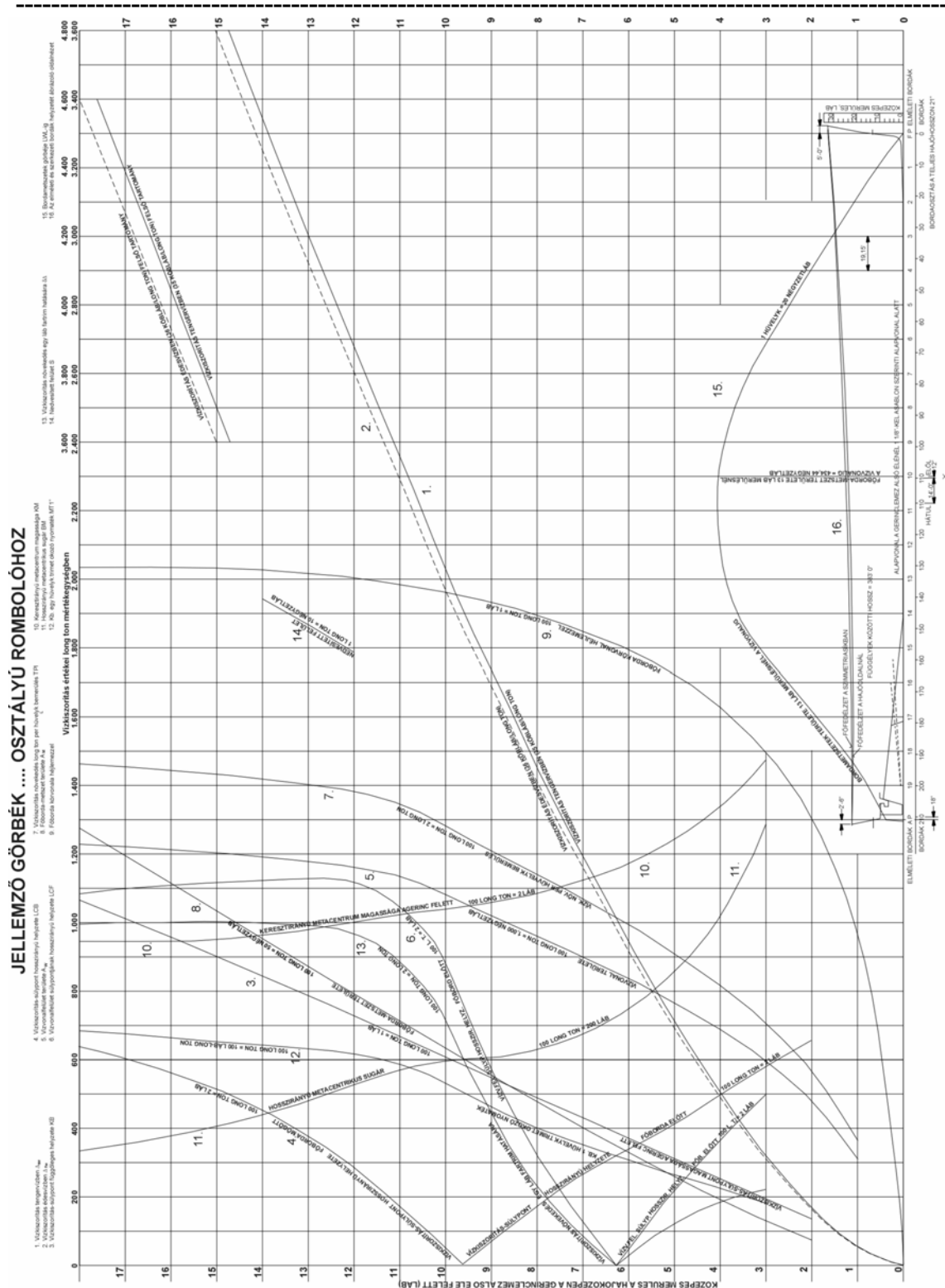
Mivel ez a mennyiség származtatott, gyakran helyette a *hosszirányú metacentrikus sugár* szerepel a jellemző görbék között.

10-13. Teltségi tényezők. A négy teltségi jellemző ( $C_B$ ,  $C_M$ ,  $C_P$  és  $C_W$ ) gyakran megtalálható a jellemző görbék között. Ezek definíciója a hajótest geometriai vizsgálatánál található.

**HIDROSZTATIKUS JELLEMZŐK NOMOGRAMJA**

KÖZEPES MERÜLÉS A GERINC ALJÁTÓL LÁB	VÍZKISZO- RÍTÁS TENG- VÍZBEN LONG TON	HARÁNT- METACENT- RIKUS MAG. KM <sub>T</sub> LÁB	VÍZKISZO- RÍTÁS NÖV. L. T. PER HŰVELYK BEMERÜLÉS	MT1" TRIMET OKOZÓ NYOMATÉK LÁB-L.T.	LCB FP MÖGÖTT LÁB	LCF FP MÖGÖTT LÁB	KÖZEPES MERÜLÉS A GERINC ALJÁTÓL LÁB
30	21000	31,4	70	1950	269	282	30
29	20000	31,3	69	1900	268	281	29
28	19000	31,2	68	1850	267	280	28
27	18000	31,1	67	1800	266	279	27
26	17000	31,05	66	1750	265	278	26
25	16000	31,1	65	1700	264	277	25
24	15000	31,2	64	1650	263	276	24
23	14000	31,3	63	1600	262	275	23
22	13000	31,4	62	1550	261	274	22
21	12000	31,5	61	1500	260	273	21
20	11000	31,6	60	1450	259	272	20
19	10000	31,8	59	1400	258	271	19
18	9000	32,0	58	1350	257	270	18
17	8000	32,5	57	1300	256	269	17
16		33,0	56		255	268	16
15		33,5	55		254	267	15
14		34,0	54		253	266	14
13		34,5	53		252	265	13
12		35,0	52		251	264	12
		35,5	51		250	263	
		36,0	50		249	262	
		37,0	49		248	261	
		38,0	48		247	260	

2.3.2.4.1 ábra Áruszállító hajó nomogram alakban felrajzolt jellemző görbéi



2.3.2.4.2 ábra Könnyű hadihajó (romboló) jellemző görbéi

14. *Nedvesített felület* (wetted surface, *WS*). Amint a név mutatja, a nedvesített felület a hajótest teljes vízbemerült felülete, amikor az adott merüléssel úszik. Ez a mennyiség akkor szükséges a hajótervező számára, amikor a hajó súrlódási ellenállását számolja ki. A nedvesített felület számítása szükségessé teszi, hogy a bordametszetek fél-oldalának a vízzel érintkező hosszát meghatározzuk a hajófenék szimmetriasíkjában levő vonalától az adott vízvonallig, majd a numerikus integrálást a teljes hajóhosszra elvégezzük. A nedvesített felületre a hajózó tiszteknek nincs szükségük, ezért ez a jellemző nem mindig szerepel a görbék között.

Az eddigieken kívül kivételes esetekben a következő jellemzők is megtalálhatóak a jellemző görbék között:

- *vízvonalfelület területe* ( $A_W$ ),
- *főborda-metszet területe* ( $A_M$ ),
- *főborda körvonala héjlemezzel*.

A 2.3.2.4.1 ábra egy áruszállító hajó nomogram alakban felrajzolt jellemző görbéit mutatja, amely csak azokat tartalmazza, amelyekre a hajót üzemeltető tiszteknek szükségük van a stabilitási és trimszámításokhoz.

A 2.3.2.4.2 ábra egy könnyű hadihajó (romboló) jellemző görbéit szemlélteti, amelyek között olyanok is vannak, amelyek felsorolásunkban nem szerepeltek.



## 2.4 A hajó menettulajdonságainak tervezése

Az előző fejezetekben láthattuk, milyen egyedi alakot vesz fel a hajótest, és mennyire bonyolult annak a felületnek a definiálása, amely a hajó héjazatát jelenti. Ez a nem mindennapi forma évezredek fejlődésének eredménye, amelynek során minden követelményt, amelyet a hajóval szemben annak felhasználója támaszt, egyenlő mértékben lehetőleg maximálisan ki kell elégíteni. Egyik sem mehet a többi rovására, a sebesség nem veszélyeztetheti sem a stabilitást, sem a hossz-szilárdságot. A gazdaságosság, hogy minél több hasznos terhet lehessen adott vízkiszorítású hajóba berakni, tehát az minél kisebb önsúllyal bírjon, nem veszélyeztetheti a hosszú-távú gazdaságosságot, tehát pl. a hajózási körzet korlátozását vagy a karbantartási költségek túlzott mértékét.

Amikor ezekkel a kérdésekkel foglalkozik a hajótervező és építő, általában az elméleti hajó a vizsgálat tárgya. A hajónak azonban valóságos környezetben kell üzemelnie, valóságos folyamokon vagy tengereken kell közlekednie. A valóságos körülmények veszélyeket hordoznak, és a hajónak ezeket a veszélyeket le kell győznie.

A következőkben azzal foglalkozunk, hogy azoknak a berendezéseknek a tervezése, amelyek az elméleti hajót leginkább valóságos használható eszközzé teszik, milyen módon végezhető el, milyen további tudást kell ahhoz még az eddigieken kívül megszerezni, hogy a tervezési munka alapos és lelkiismeretes lehessen.

Ez a három terület, amely az elméleti tudáson kívül alapos gyakorlati ismereteket is szükségessé tesz, a főgépüzem, a kormányberendezés és a fedélzeti berendezések területe.

Mielőtt azonban magukat a területeket érintenénk, meg kell ismerkedni a tengerrel, azzal a tereppel, ahol a hajónak bizonyítania kell saját és tervezőinek illetve építőinek rátermettségét, és el kell végeznie a kijelölt feladatokat.

### 2.4.1 A valóságos hajózási környezet

#### 2.4.1.1 A mozgásban levő víz

A nyílt tengeren és a véges vízfelületeken kialakuló *hullámmozgás* bonyolult törvényeket követ. Az ilyen mozgásformák analitikus leírása rendkívül nehéz, és leginkább csak statisztikai módszerekkel lehetséges. Ugyanakkor meglehetősen jó eredményeket lehet felmutatni a *periodikus hullámok* geometriai és matematikai elemzésének elméleténél, ennek fejlődése lehetővé teszi, hogy a *valóságos óceáni hullámok* jelenségét jól meg lehessen közelíteni.

Az óceán hullámai hozzák létre a leghatalmasabb erőket az összes létező természeti jelenség közül. Mivel azonban hatalmas az erejük, és a hajók szerkezetére és mozgására összetett hatást gyakorolnak, ezeket az erőket ugyanakkor nagyon nehéz is mennyiségi alapon elemezni. Ennek ellenére bemutatunk olyan eljárásokat, amelyek az óceáni hullámok eredetét és azok hatásait többé-kevésbé mennyiségi alapon írják le.

### 2.4.1.1.1 Periodikus hullámok

A gravitáció szabályait követő hullámok közül egyes típusok periodikusak, és így lehetőség van *matematikai elemzésükre*. A hajó haladása közben a vízfelszínen létrehozott *hullámrendszer* alapján periodikus hullámsor jól definiálható *haladási sebességgel*. Ilyen periodikus jellegűek azok hullámok is, amelyeket modellkísérleti vontatásnál és *hullámvizsgálati medencékben* hoznak létre a modellek és a *hullámok partra gyakorolt hatásának* tanulmányozása érdekében. Óceánokon azok a hullámok, amelyeket több száz mérföld távolságban hozott létre valamilyen hatás, majdnem teljesen periodikusnak mutatkoznak, kis eltéréssel az átlagos periódusidőtől. A periodikus hullám legegyszerűbb esete a monokromatikus fény *egyszerű szinuszhulláma*, vagy a hanghullámok, de a kis amplitúdójú gravitációs hullámok is ilyenek. Ilyen hullámok szinte sohasem jönnek létre természetes módon, mégis széles körben tanulmányozzák a matematikai elmélet és a kísérletek jó egyezése miatt. A víz felszínén kialakuló egyszerű harmonikus, széles (kétdimenziós), kis amplitúdójú *gravitációs hullámok* esetében az alábbi egyenletet írhatjuk fel:

$$c^2 = (gL_w/2\pi)\tanh(2\pi h/L_w)$$

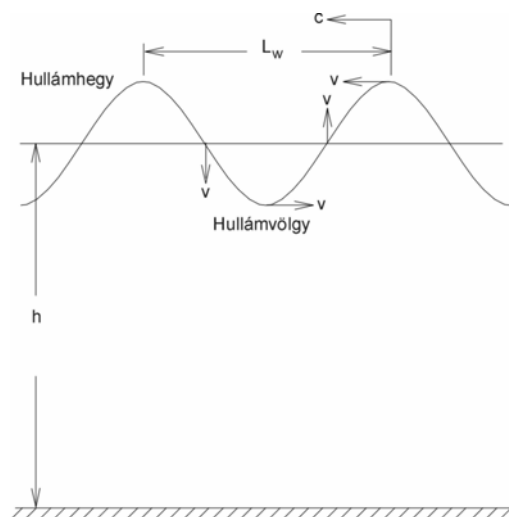
ahol  $L_w$  = hullámhossz (láb vagy méter)

$h$  = vízmélység (láb vagy méter)

$g$  = gravitációs gyorsulás

$c$  = a hullám haladási sebessége láb/sec vagy m/sec egységben (ez nem egyenlő a vízrészecskék sebességével)

$\tanh(x)$  = hiperbolikus tangens  $x$  független változóval =  $(e^x - e^{-x})/(e^x + e^{-x})$



2.4.1.1.1 ábra Szinuszhullám

A szinuszhullám  $T$  periódusideje az egy hullámhossz megtételéhez szükséges időtartam, azaz

$$T = L_w/c$$

Az ilyen hullám periódusideje állandó.

### 2.4.1.1.2 Klasszikus hullámelmélet

A következő gondolatmenet D. W. Taylor amerikai tengernagy munkájából származik, aki a klasszikussá vált első átfogó *sorozatmodell kísérletet* végezte a *hajók ellenállásának kiszámíthatósága* érdekében. A 2.2 fejezet tartalmazza az általa kidolgozott diagramokat és ellenállás-számítási módszerét.

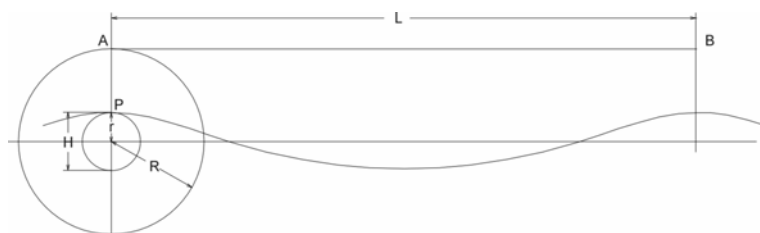
### ***Trochoidális hullámok a víz felületén***

**Matematikai hullámok.** A tenger hullámainak végtelen sok változata létezik. Vihar idején, amikor a legnagyobbak, ezek a hullámok egyáltalán nem szabályosak. Magasságuk és hosszuk nem egyforma két hullámhegy között, a *hullámhegyek és hullámvölgyek* pedig nagyon rövid lefutásúak. Valójában a viharos tenger nagyban ugyanazt mutatja, mint egy közepes szélben kialakuló *tarajos hullámrendszer*. Amikor azonban a viharok vége van, a rendszertelen tengerfelszín meglehetősen *egységes és szabályos hullámrendszer* alakját veszi fel, amelynek mozgástörvényei közel állnak a matematikai hullámokéihoz. A *matematikai hullámsort* úgy definiálhatjuk, mint végtelen sorát a párhuzamos, végtelenül széles, azonosságig hasonló bemélyedéseknek, amelyek egyenlő sebességgel haladnak olyan irányban, amely merőleges a hullámrendszer párhuzamos kiemelkedéseinek (hullámhegyek) és bemélyedéseinek (hullámvölgy) irányára.

A matematikai hullámok a *kétdimenziós mozgás* tipikus esetei, mivel a mozgás azonos minden síkban, amely merőleges a hullámhegyek irányára.

**Trochoidális hullámelmélet.** Az ideális folyadék felszínén kialakuló matematikai hullámok elméletét, amely a legjobban megfelel a mi céljainknak, „trochoidális elméletnek” nevezzük.

Ez nem felel meg minden fizikai követelménynek, de elegendően jó megközelítést jelent gyakorlatilag minden esetben. Anélkül, hogy belemerülnénk ennek az elméletnek a matematikájába, a mozgást, a képleteket annak megfelelően fogadjuk el, ahogy az eredményeket sok évvel ezelőtt *W. J. M. Rankine* és a többi matematikus kidolgozta. A trochoidális hullámmozgásnál, amikor a víz mélysége nincs korlátozva, minden egyes vízcsepecske ugyanolyan *körmozgást* ír le, egy teljes *hullámperiódus* alatt teljes fordulatot tesz meg. A *körpálya* sugara a felületen elhelyezkedő részecskéknél maximális, és gyorsan csökken a felülettől lefelé haladva annak ellenére, hogy elméletileg csak *végtelen vízmélységben* éri el a nulla értéket.



2.4.1.1.2.1 ábra  
Trochoidális hullám alakja  
és a *legördülő kör*

A 2.4.1.1.2.1 ábrát  
figyelembe véve, legyen  
két hullámhegy között a

*hullám hossza*  $L$ , a *hullám magasságát* pedig a hullámvölgy legalsó és a hullámhegy legfelső pontja között jelöljük  $H$ -val.

Legyen az  $L$  kerületű kör *sugara*  $R = L/2\pi$ .

Helyezzük el a kört a hullámban a hullámhegy helyénél úgy, hogy középpontjának magassága a hullámhegy és a hullámvölgy közé középre essen, majd jelöljünk ki egy  $P$  pontot, amelynek sugara a kör középpontjától  $r = H/2$ .

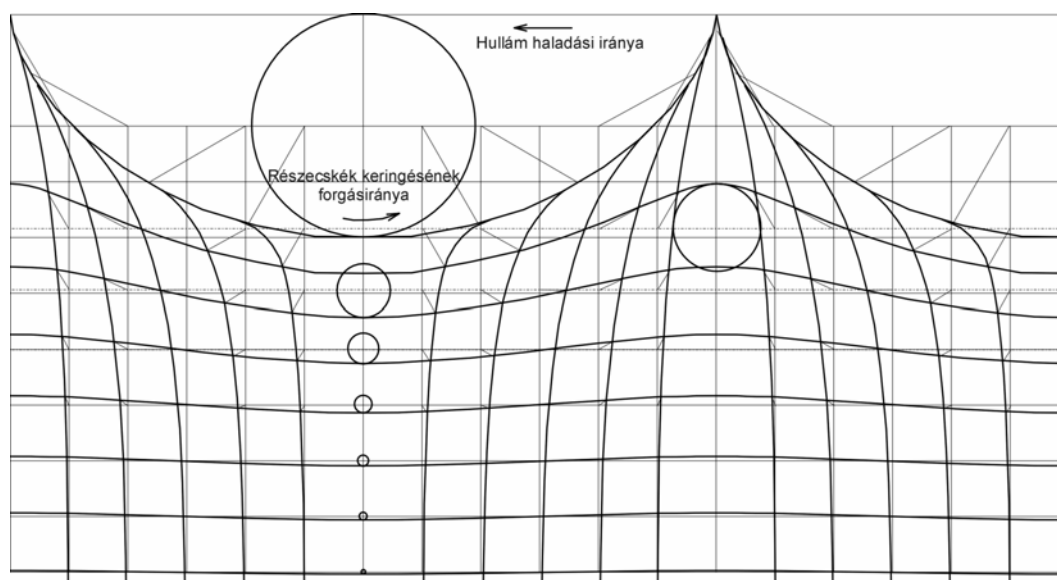
Abban az esetben, ha az  $R$  sugarú kör *végiggördül* az  $AB$  vízszintes egyenesen, a  $P$  pont egy *trochois görbét* fog leírni, amely olyan hullámfelületet ad, amelyet az eredetileg a

vízfelszínen levő részecskék alkotnak.

Analóg módon azok a vízrészecskék, amelyek bármilyen távolságra voltak eredetileg a vízfelszín alatt, egy kisebb sugarú pálya trochoidális felülete mentén találhatók. A pálya sugara a felszín alatti távolságtól függ, és a mélységgel határozatlanul csökken.

A 2.4.1.1.2.2 ábra azt mutatja, milyen belső mozgások jellemzik a trochoidális hullámokat, ahol láthatók a különböző mélységekben érvényes trochois görbék, a pályaátmérők és azoknak a részecskéknek az egymás utáni helyzetei, amelyek sima vízben egyenlő távolságra levő függőlegesen helyezkednének el. Az ábra *legfelső határgörbéje* a maximális sugárhoz tartozó trochois görbe – más néven *tiszta trochois* vagy *ciklois* –, azonban a valóságos hullámok előbb összeomlanak, mielőtt ezt az állapotot elérnék.

A végtelen vízmélységben lezajló körmozgás tulajdonképpen az általános esetnek – amikor a vízmélység véges – a speciális esete. Az általános esetben ugyanis a vízrészecskék mozgásának pályája ellipszis, vagyis a vízszintes elmozdulás nagyobb, mint a függőleges.



2.4.1.1.2.2 ábra Trochoidális hullámmozgás

Jelöljük  $a$  és  $b$  betűvel az *elliptikus pálya* vízszintes és függőleges *féltengelyének* hosszát, az ellipszis középpontja  $h$  távolságra helyezkedik el a felszínen levő részecske alatt. Jelölje  $a_0$ ,  $b_0$  a felszíni részecske pályájának féltengelyeit. Legyen  $d$  a *vízmélység*, azaz a távolság a felszíni pálya középpontja és a fenék között. Jelöljük  $R$ -rel a legördülő kör sugarát és  $\omega$ -val a *szögsebességet*, amely ahhoz szükséges, hogy középpontjának sebessége egyenlő legyen a *hullám haladási sebességével*.

Jelölje  $L$  a hullám hosszát lábban,  $v$  a *hullám sebességét* láb per szekundumban,  $g$  a nehézségi gyorsulást láb per szekundum-négyzetben,  $e$  pedig a *természetes logaritmusszámot*, amelynek értéke 2,7183.

A mennyiségek közötti összefüggéseket az alábbi képletek fejezik ki.

$$\begin{aligned}a_0 &= b_0(e^{4\pi d/L} + 1)/(e^{4\pi d/L} - 1) \\b &= b_0(e^{2\pi(d-h)/L} - e^{-2\pi(d-h)/L})/(e^{2\pi d/L} - e^{-2\pi d/L}) \\a &= b_0(e^{2\pi(d-h)/L} + e^{-2\pi(d-h)/L})/(e^{2\pi d/L} - e^{-2\pi d/L}) \\v &= \omega R, \quad \omega = ((b_0/a_0)(g/R))^{1/2} \\v^2 &= (b_0/a_0)gR\end{aligned}$$

Amennyiben pedig  $T$  jelöli a hullám periódusidejét szekundumokban, annak értéke

$$T = L/v = ((a_0/b_0)(2\pi L/g))^{1/2} = ((a_0/b_0)(4\pi^2 R/g))^{1/2}$$

A végtelen vízmélység esetére írjuk be, hogy  $d = \infty$ .

Ekkor  $a_0 = b_0 = r_0$ , azaz, ha  $r$  a körpálya sugarát jelöli  $h$  mélységben a felszín alatt, írhatjuk, hogy

$$a = b = r = r_0 e^{-2\pi h/L}$$

Továbbra is  $v = \omega R$ , azonban  $\omega = (g/R)^{1/2}$ , így  $v^2 = gR = g(L/2\pi)$ , azaz

$$T = L/v = (2\pi L/g)^{1/2}$$

Behelyettesítve  $g$  értékét, ami 32,16 (amerikai rendszerben), valamint  $\pi$  értékét, a következő képleteket kapjuk a *mélyvízi trochoidális hullámokra*.

Sebesség láb per szekundumban	$v = 2,26\sqrt{L}$
Sebesség csomóban	$V = 1,34\sqrt{L}$
Periódusidő szekundumokban	$T = 0,442\sqrt{L}$
Hullámhossz lábban	$L = 0,196v^2 = 0,557V^2 = 5,118T^2$
Részecskék pálya-menti sebessége láb per szekundumban	$v_0 = \pi H/T = 7,11H/\sqrt{L}$

A *trochoidális hullámprofil* derékszögű koordinátákban való kifejezésekor válasszuk a  $\theta$  görög betűt a *legördülés* során megtett szög jelölésére, amelynek értéke zéró a kezdeti állapotban, ahol a legördülő kör sugara függőleges, középpontja pedig a hullámhegy alatt van, amivel felírhatjuk az alábbiakat, ahol  $y$  értékét lefelé mérjük:

sekély vízben

$$x = R \theta - a \sin \theta$$

$$y = h - b \cos \theta$$

és mély vízben

$$x = R \theta - r \sin \theta$$

$$y = h - r \cos \theta$$

A hullámmozgás vonatkoztatási szintje a fenti képletekben is a felszíni részecskék

pályájának középpontja.

A trochois görbe természete miatt ez valamivel feljebb van a sima víz szintjénél.

A különbség sekély víznél  $a_0 b_0 / 2R$ , mély víznél pedig  $r_0^2 / 2R$ .

Mély víznél a felszín alatti trochois görbék esetében ez az érték, azaz a pályaközéppontok magassága a sima vízben érvényes szint felett  $(r_0^2 / 2R) e^{-2h/R}$ , ahol  $h$  a pályák középpontjának távolsága a felszíni pálya középpontja alatt.

A trochoidális hullámok *potenciális energiával* rendelkeznek abból a tényből kiindulva, hogy ennél a mozgásnál a részecskék feljebb helyezkednek el, mint ahol sima víznél lennének, és kinetikus energiával is a részecskéknek saját pályájukon történő mozgási sebessége miatt.

Mély vízben annak a vízmennyiségnek a kinetikai illetve potenciális energiáját, amely végtelen mélységig terjed ki, fajsúlya  $w$  és egy hullámhossz hosszúságú, a következőképpen írhatjuk fel:

$$\begin{aligned} \text{kinetikus energia} &= \\ &= \text{potenciális energia} = (\omega\pi/2)r_0^2 R(1-r_0^2/2R^2) = \omega r_0^2 L/4(1-2\pi^2 r_0^2/L^2) \end{aligned}$$

Habár egy egységes hullámrendszer hullámának energiája, vagy inkább annak a víztömegnek az energiája, amelynek hosszúsága egy hullámhossz, és amelyen áthalad a mozgás, állandó marad, ez a tömeg állandóan energiát vesz fel a mögötte levő víztől, és azt átadja az előtte levő víznek, ahol az energiatovábbítás mértéke akkora, hogy az egy hullám alatt továbbított teljes energiamennyiség megegyezik a fenti kifejezésben foglalt állandó kinetikus vagy potenciális energia mennyiségével.

Mivel a  $2\pi^2 r_0^2 / L$  értéke a valóságos hullámoknál ritkán éri el az 1/20 értéket, de általában 1/100 körül van, gyakorlati okokból feltételezhetjük, hogy a trochoidális hullámok energiája, potenciális és kinetikus, a hullámmagasság négyzetének és a hullámhossznak a szorzatával arányos.

*Hullám-szuperpozíció és hullámcsoportok.* Ha szuperponálunk két trochoidális hullámsort, amelyek azonos  $L$  hullámhosszúságúak, tehát azonos haladási sebességűek, és amelyek azonos irányban haladnak, a két rendszer párhuzamos hullámhegyeinek távolsága  $a$ , az eredmény egy  $L$  hullámhosszúságú egyetlen hullámrendszer lesz. Ha a két összetevő hullámmagasságát  $H_1$  és  $H_2$  jelöli, az eredő hullámsorét pedig  $H$ , felírhatjuk:

$$H^2 = H_1^2 + H_2^2 + 2H_1 H_2 \cos(2\pi a/L)$$

Ha az összetevő hullámsorok *azonos fázisban* vannak, a hullámhegyek és hullámvölgyek helye megegyezik,

$$a = 0 \quad H = H_1 + H_2$$

Ha *ellenkező fázisban* vannak, egyikük hullámhegye a másik hullámvölgyével találkozik

$$a = L/2H^2 = H_1^2 + H_2^2 + 2H_1H_2\cos\pi = H_1^2 + H_2^2 + 2H_1H_2$$

Tehát  $H = H_1 - H_2$ . Ebben az esetben, ha  $H_1 = H_2$ , az összetevők kioltják egymást, és az eredő sima vízfelület.

A hullámok szuperpozíciójából levonható érdekes és fontos következtetés a hullámcsoporthoz tartozó elmélete. Tételezzük fel, hogy szuperponálunk két azonos magasságú trochoidális rendszert, amelyek hullámhossza azonban eltérő, így az egyik rendszer kicsit gyorsabban halad a másiknál. Tehát lesznek olyan pontok, ahol a hullámmagasság kétszerese lesz az egyes összetevők magasságának, lesznek azonban olyan pontok is, ahol a hullám magassága zéró lesz, hiszen az eredő hullámsornál hullámhegy találkozik hullámhegygyel, más ponton pedig hullámhegy adódik hozzá a hullámvölgyhöz.

Az eredő hullámsor ebben az esetben számos hullámcsoporthoz fog állni, mindegyik közepén maximális hullámmagasságot lehet tapasztalni, amely fokozatosan csökken előre vagy hátrafelé haladva, amíg a csoportokat végtelenül kis magasságú hullámok választják el, ami gyakorlatilag sima vizet jelent.

A trochoidális elmélet segítségével bizonyítható, hogy mindegyik csoport együtt mozog éppen feleakkora sebességgel, mint amely az eredeti összetevők hullámhosszának felel meg.

Az egyes hullámok azonban saját természetes sebességükkel haladnak, ami a csoport sebességének kétszerese. Mindegyik hullám a csoport hátsó részéből indul el, ahol magassága végtelenül kicsi, majd áthalad a csoporton, amíg el nem éri magassága maximumát a csoport közepén, aztán magassága ismét csökken, amint előre halad, és ismét végtelenül kicsire változik a csoport elején, azaz a következő csoport végén. A fenti gondolatmenet arra épült, hogy eredetileg két végtelen hullámsorral volt dolgunk.

Úgy is elindíthatunk azonban egy természetes körkörös kifelé haladó hullámrendszert, hogy kavicsot dobunk egy hídról az alul levő sima vízbe. Ez a körkörös kifelé haladó csoport olyan általános jellemzőket mutat, amelyek hasonlóak az elméleti trochoidális csoportéhoz.

Ha a vízben elegendő hely van a híd lábáig a hullámok kifutásához, megfigyelhetjük, amint egy hullám észrevehetővé válik a körkörös csoport hátsó végénél; áthalad a csoporton, miközben eléri maximális magasságát, majd ismét elhal, amint egyre messzebb és messzebb kerül a csoport közepétől.

Az is belátható azonban, hogy az elméleti trochoidális csoporttal ellentétben, amely előtt és mögött hasonló csoportok vannak, az egyszerű körkörös csoport szélesedik terjedése közben. Például, ha adott pillanatban öt látható hullámból áll, kicsit később hat, aztán hét, és így tovább, egyre növekvő számú hullámból fog állni. Ez a jelenség azonban azzal függ össze, hogy ugyanakkor a csoport hullámainak magassága csökken.

*Kísérleti vizsgálatok a trochoidális elmélet területén.* Bár a trochoidális hullámelmélet eléggé bonyolult, még mindig ez a legegyszerűbb azok közül, amelyek a témával foglalkoznak. Felmerül azonban a kérdés, mennyire jól reprezentálja a valóságot *vízfelületi hullámokat*.

A trochoidális hullámok alapvető jellemzője az, hogy haladási sebességük kizárólag hosszúságuktól és a vízmélységtől függ, de az utóbbitól is csak sekély vízben, azonban mély vízben csak a hullámhossznak van ráhatása.

A huszadik század elején „A hullámok hatása műszaki szemszögből” (Wave Action in Relation to Engineering) című tanulmányában, amely az *amerikai hadmérnökök testülete* (U. S. Army Corps of Engineers) egyik szakmai közleményében jelent meg, D. D. Gaillard őrnagy ezt az összehasonlítást végezte el a valóságos és a trochoidális hullámok között.

Azt találta, hogy a közzétett adatok a nyílt tengeren végzett megfigyelésekről nem túlzottan vannak összhangban – ami természetes, ha a megfigyelések nehézségeit is figyelembe vesszük. Szerencsére azonban Gaillard saját maga elvégzett erre vonatkozóan egy kísérletsort, amelynek körülményei kedvezően befolyásolták a pontosságot, a Felső-tavon (Lake Superior) a Minnesota állambeli Duluth mellett a hajózó csatornában 1901 és 1902 folyamán.

A csatorna, ahol a megfigyelést elvégezték, kb. 300 láb széles, 26 láb mély és mintegy 1.000 láb hosszú. A csatorna Duluth kikötőjét köti össze a Felső-tóval, és egyedülálló abban a jelenségben, hogy vihar alatt és után a hullámok gyakran egyenesen haladtak be a torkolatán és haladtak végig rajta. A hullámok alakját fényképeken rögzítették.

A hullámok sebességét is eléggé pontosan lehetett meghatározni.

A két év során összesen 631 megfigyelést végeztek.

A hullámok magassága 2 és 23 láb között változott, a hullámhossz 45 és 425 láb között, a hullámok haladási sebessége pedig 9,1 és 33,3 láb per szekundum között. A vízmélység alsó és felső határa 33 ill. 27 láb volt, a 631 megfigyelésből 533-at végeztek a csatornában, amelynek mélysége 26 láb.

Ennél az 533 megfigyelésnél a megfigyelt közepes sebesség és a sekély-vízi trochoidális képlettel kiszámított közepes sebesség eltérése kevesebb volt mint fél százalék. Ez gyakorlatilag egzakt egyezés. A csatornán kívüli megfigyeléseknél, ahol a körülmények nem kedveztek annyira a pontosságnak, az egyezés nem volt ennyire jó.

Gaillard megfigyelései szemmel láthatóan igazolják a trochoidális elmélet megbízhatóságát a legfontosabb paraméter esetében, ami a hullámhossz és a haladási sebesség közötti összefüggést jelenti.

Igaz, hogy csak sekélyvízi hullámokkal foglalkozott, de tudjuk, hogy éppen a sekélyvízi trochoidális hullámok hajlamosak arra, hogy ne kövessék pontosan a valóságos hullámok viselkedését.

Gaillardnak a duluthi csatornában fényképezéssel nyert valóságos hullámalakjai nagyon jó egyezést mutattak a trochoidális hullámalakokkal. Az eltérések a hullám közepes magasságánál voltak a legnagyobbak, ahol a trochoidális elmélet gyengesége a folyamatossági és dinamikus stabilitási feltételek kielégítése szempontjából a legszembetűnőbb.

Gaillard úgy találta, hogy a valóságos hullám megemelkedett része „mindig keskenyebb, lesüllyedt része pedig mindig szélesebb, mint ahogy az elmélet állítja, a különbségek pedig egyre szembetűnőbbek lesznek, amint a hullám megközelíti az átesési pontot”.

A valóságos hullámalakok azonban egyáltalán nem voltak egyformák, egymástól



legalább annyira különböztek, mint a trochoidális formától.

A viharos tenger hullámainak megfigyelése nagyon hamar bebizonyítja, hogy nincs két egyforma hullám, ami nyilvánvalóan lehetetlenné teszi, hogy bármilyen matematikai képlettel pontosan helyettesíthessük a valóságos tengeri hullámokat. Összegzésül azonban levonhatjuk azt a következtetést, hogy a trochoidális képlet nagyon jól megközelíti a valóságos hullámokat a haladási sebességet illetően, elégséges pontossággal közelíti a hullám alakját is, és gyakorlati célokra sokkal jobb, mint a valamivel pontosabb, de sokkal bonyolultabb többi képlet, amelyeket szintén kidolgoztak. Ezek maguk is eléggé bonyolultak és nehézkesek.

*A trochoidális hullámok változása a mélység függvényében.* Mély vízben a trochoidális hullámok haladási sebessége,  $v$ , a következő képlettel írható le:

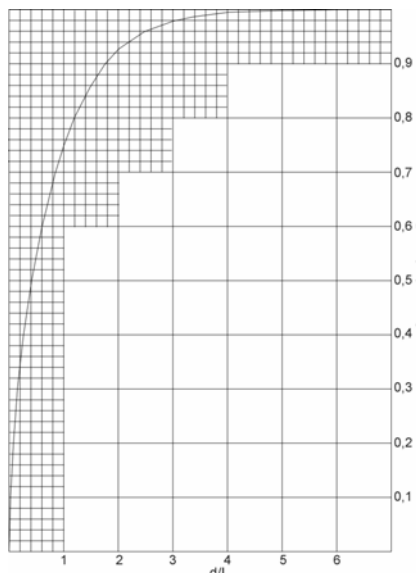
$$v^2 = gL/2\pi$$

Korlátozott  $d$  vízmélységnél ugyanez:

$$V^2 = (gL/2\pi)((e^{4\pi d/L} - 1)/(e^{4\pi d/L} + 1))$$

Tehát ha az  $L$  hosszúságú hullám haladási sebességét a körpálya középpontja alatt mérhető  $d$  mélységű vízben viszonyítjuk az ugyanolyan hosszúságú hullám haladási sebességéhez végtelen vízmélységnél, a viszonyszám

$$((e^{4\pi d/L} - 1)/(e^{4\pi d/L} + 1))^{1/2}$$



2.4.1.1.2.3 ábra Hullám haladási sebessége sekély és mély vízben

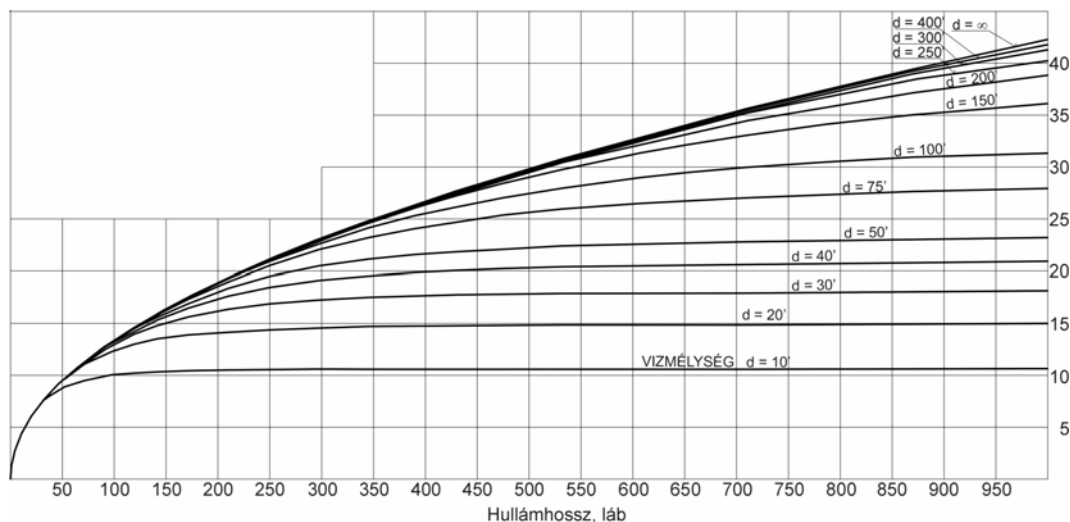
A 2.4.1.1.2.3 ábra ennek a viszonyzámnak az értékét ábrázolja a  $d/L$  függvényében. Jól látható, hogy amikor a vízmélység a hullámhossz felével egyenlő, a sebesség szinte ugyanannyi, mint végtelen mélységnél, és amikor a vízmélység mindössze  $0,3L$ , a sebesség csökkenése csak  $2,5\%$ .

A 2.4.1.1.2.4 és 2.4.1.1.2.5 ábra grafikusán mutatja a kapcsolatot a vízmélység, a hullámhossz és a hullám haladási sebessége között, ahol a sebesség egysége a csomó. A 2.4.1.1.2.5 ábra csupán a 2.4.1.1.2.4 ábra alsó részét nagyítja ki érthetőség kedvéért. Jól látható, hogy mindegyik vízmélységnél létezik egy *határsebesség*, amely független a hullámhossztól.

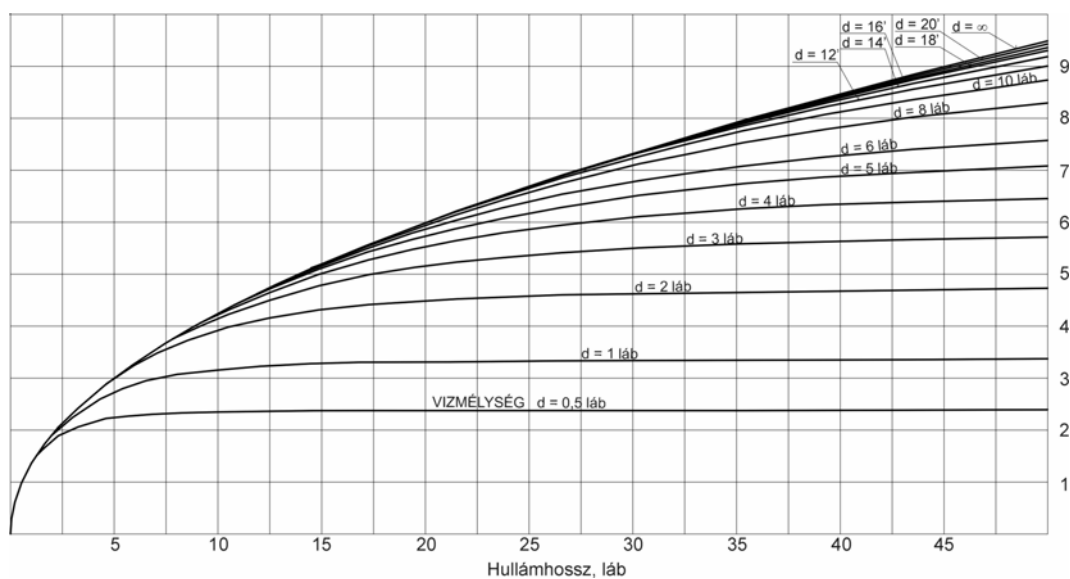
Be kell látnunk, hogy ha a fenti összefüggést alkalmazzuk a *sekélyvízi hullámterjedésre*, amint  $d/L$  egyre kisebb lesz, a határérték képletéhez közelítünk, azaz  $V^2 = gd$ .

Ebben az esetben  $d$  nem a víz eredeti mélységét jelöli, hanem a felszíni vízrétegcskék

pálya-középpontja alatti mélységet.



2.4.1.1.2.4 ábra Kapcsolat a hullámhossz, vízmélység és hullámsebesség között



2.4.1.1.2.5 ábra Az előző ábra alsó tartományának részletezése

Ez fizikailag azt jelenti, hogy minél sekélyebb a víz, a trochoidális hullámrendszer annál inkább megközelíti azt az állapotot, amikor a hullámhegyek elválnak a hullámvölgyektől, amelyek gyakorlatilag a sík alakhoz közelítenek. Vagyis, másképpen fogalmazva, úgy viselkedik, mint különálló hullámok sora, átalakulóban levő hullámok, ahol csak hullámhegyek vagy kiemelkedések vannak hullámvölgyek nélkül.

#### *Az óceán hullámainak méretei*

### 3. kiadás 2014. 0.1 TARTALOMJEGYZÉK 02.TÁRGYMUTATÓ 1.BEVEZETÉS

#### 2.HAJÓELMÉLET

---

A tengerjáró emberek számára legfontosabb adatot az óceán hullámainak magassága jelenti.

Az előzőek alapján világos, hogy a mély tengerek hullámaihoz tartozó magasságok, hosszak és sebességek meghatározása nehézségekbe ütközik.

A világ különböző országaiból származó szakemberek megfigyelése alapján megállapítható, hogy 40 láb magasságot elérő hullámokat (hullámhegytől hullámvölgyig) is létre tudnak hozni nagy mélységű vízben a szokatlanul heves és hosszantartó viharok.

Ezt a magasságot egyes szuperpozícióval létrejövő hullámok túl is léphetik.

Gaillard megfigyelt egy hullámot az amerikai halászati bizottság *Albatross* gőzösének fedélzetén az Egyesült Államok északi csendes-óceáni partvidékén, amely a kameraállás és a hajó méretei alapján elérhette az 55-60 láb magasságot.

Hasonló hullámmagasságot más hajókról is jelentettek a viharos északi Atlanti-óceánról.

A fentiek alapján kijelenthetjük, hogy a 30 láb hullámmagasság megszokott. Viharos tengeren azonban nem mindegyik hullám éri el a maximális magasságot. A 30-40-láb magas hullámok bizonyos időközönként érkeznek, a közbeeső hullámok alacsonyabbak. A hullámoknak a hajó igénybevételét jelentő hatásánál megszokott dolog, hogy a legrosszabbat tételezik fel, tehát úgy számolnak, mintha a hajó olyan hullámos tengeren hajózna a hullámok haladási irányával párhuzamosan (vagyis a hullámok irányára merőlegesen), ahol a hullámhossz megegyezik a hajó hosszával, és a hullám magassága a hullámhossz 1/20 értéke. Ez ésszerű átlagnak látszik, de vannak ennél meredekebb hullámok is. A nagyobb meredekség a rövidebb hullámokra jellemző, a vihar-hullámok pedig kialakulásuk időszakában sokkal meredekebbek, mint azok a tartósan nagy hullámok, amelyek a vihar elvonulása után végighaladnak.

A hullámhossz kérdéséhez tudni kell, hogy az 500 láb feletti hosszúságú hullámok ritkák, azonban a 40-láb magas tengeri hullámok hossza könnyedén elérheti a 600-800 lábat, sőt, mértek már 1.000 láb hosszúakat is.

A maximális méretű hullámok kialakulásához igen nagy szabad vízfelületre van szükség. Gaillard következtetései szerint a nagy tavakon és part-menti vizeken 20-25 láb magas és 275-325 láb hosszú hullámokkal lehet találkozni, tehát az 500 lábat elérő hajók szinte sohasem találkoznak saját hosszuknak megfelelő hosszúságú hullámokkal. Ez napjainkban is igaz, bár olyan esetekben, amikor a hajó haladási iránya a hullámrendszerrel nem derékszöget zár be, előfordulhat olyan hullám, ahol a farnál és az orrnál hullámhegy van, amikor a főborda alatt hullámvölgyet figyelhetünk meg.

*A szél és hullámok kapcsolata.* A hullám hossza (és annak haladási sebessége) a hullámkeltő szél sebességének függvénye.

Ez a kapcsolat azonban nem tökéletesen ismeretes. Vihar érkezése előtt vagy vihar alatt figyeltek meg olyan hullámokat, amelyek a szél sebességénél gyorsabban haladtak. Ebből még nem következik, hogy a hullám gyorsabban halad, mint az azt létrehozó szél. A jelenséget az okozza, hogy a komolyabb viharok kör-alakúak (ciklonok), a vihar középpontja pedig a szél sebességénél lassabban halad. A hullám tehát, amelyet a szél hoz létre, és amely annál lassabban halad, a vihart meg tudja előzni, és olyan területre

## BBBZ-kódex

---

eljuthat, ahol a szél nem fúj olyan hevesen.

Az elmondottak értelmében a nyilvánosságra hozott megfigyelések és adatok nem nevezhetők egybehangzónak. A francia haditengerészet közlése szerint viharban a hullámok haladási sebessége a szélesebesség 0,6-szerese, Gaillard pedig azt közölte, hogy sekély vízben, ahol a hullámok lassabban haladnak, ez a viszonyszám 0,5 lehet. Ha a trochoidális képletet fogadjuk el, 0,5 sebességviszony esetén az alábbi táblázat szerinti értékeket kapjuk.

2.4.1.1.2.1 táblázat A szélesebesség, hullámsebesség, hullámhosszúság és periódusidő kapcsolata

Szélesebesség, mérföld per óra (1,61 km/h)	20	40	60	80	100
Hullámsebesség, mérföld per óra	10	20	30	40	50
Hullámsebesség, csomó	8,7	17,4	26,1	34,7	43,4
Hullámsebesség, láb per szekundum	14,7	29,3	44,0	58,7	73,3
Hullámhosszúság, láb	42	168	378	673	1.051
Hullám periódusidő, szekundum	2,86	5,73	8,59	11,46	14,33

A vihar hullámainak magassága is a szél erejétől függ, illetve a nyitott felület méretétől, a kifutástól, ahol a szél fúj.

Egy ismert brit mérnök, *Thomas Stevenson*, megfigyeléseit a következő képletbe foglalta:

$$h = c\sqrt{f}$$

ahol  $h$  a hullámmagasság lábban,  $c$  olyan tényező, amely a szélerősségtől függ,  $f$  pedig a nyitott tér mérete (fetch, kifutás) mérföldben (1,61 km). Erős szélben a  $c$  értéke 1,5.

A képletből a következő táblázatot állíthatjuk össze:

$h =$	10	15	20	25	30	35	40
$f =$	44	100	178	278	400	544	711

Első látásra ezek az értékek nem látszanak összhangban levőnek azzal a ténnyel, hogy a magas hullámok ritkák még akkor is, ha nagy nyitott vízfelületekről beszélünk.

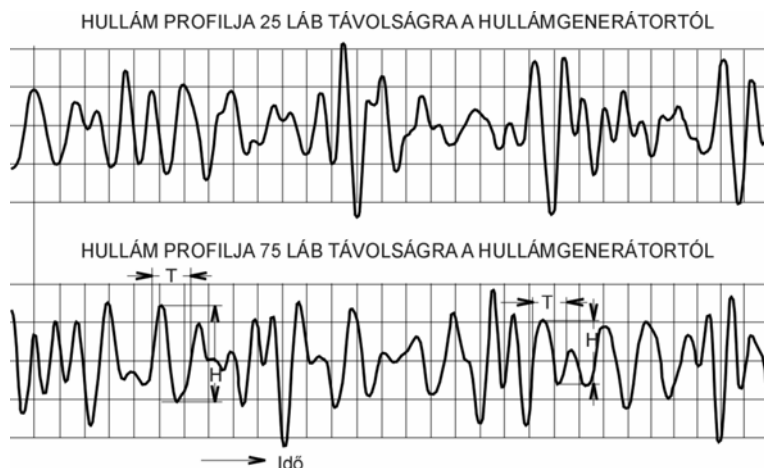
Mivel azonban a nagyobb viharok ciklonok, tehát körben forognak, és a leghevesebb része ezeknek ritkán nagyobb öt-hatszáz mérföldnél, Stevenson formulája mégis összhangban van az általános adatokkal.

### 2.4.1.1.3 Az irreguláris hullámok leírása

Az *irreguláris hullámokat* az idő függvényében ábrázolhatjuk, amint azt a 2.4.1.1.3.1 ábra mutatja.

Ábrázolhatjuk azonban a frekvencia szerint is. A 2.4.1.1.3.2 ábrán látható a kapcsolat a két függvényrendszer között.

Az irreguláris hullámok a *harmonikus hullámok felharmonikusaiból* is kialakulhatnak, amelyek az idő szerint arányosak a harmonikus hullámokkal *Fourier sorozatoknak* megfelelően.

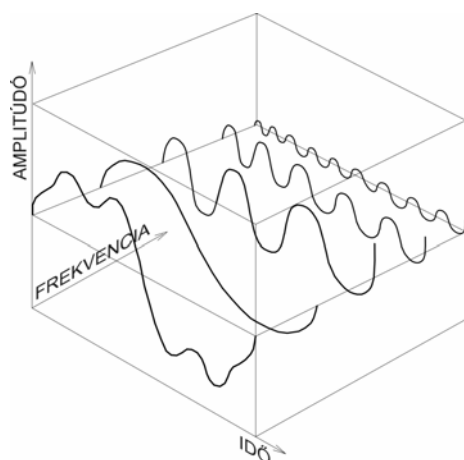


2.4.1.1.3.1 ábra Irreguláris tengeri hullámok

Az óceáni hullámsorok azonban sohasem felelnek meg a Fourier sorozatoknak, tehát nem is írhatók le azokkal. A nem ismétlődő hullámsort a folyamatos spektrum statisztikai becslésével lehet helyettesíteni, amint azt a 2.4.1.1.3.3 ábra

mutatja.

Mivel azonban számos különböző hullámkép eshet ugyanabba a spektrumba, és a hullám haladási irányára egy egyponos mérés nem ad kellő információt, a hullámrendszer leírása nem lehet teljes.



2.4.1.1.3.2 ábra Hullámok ábrázolása az idő és a frekvencia függvényében

Bizonyos paraméterek specifikálása azonban hasznos lehet, pl. a lényeges hullámmagasság,  $H_{1/3}$ , amely a harmadik legmagasabb hullám magassága az irreguláris hullámséma során. A lényeges hullámmagasság az, amelyet a legtöbb megfigyelést végző szakember fogad el annak az értéknek, amelyet a vizuális megfigyeléseknél *átlagos hullámmagasságnak* neveznek.

A 2.4.1.1.3.1 táblázat a World Meteorological Organization (*WMO*, meteorológiai

*világszervezet*) korrelációit tartalmazza a tenger viharfokozata és a lényeges hullámmagasság között, de szerepelnek olyan értékek is benne, mint a tartós szélsébség, a viharfokozat valószínűségi százalékos aránya és a hullám periódusideje.

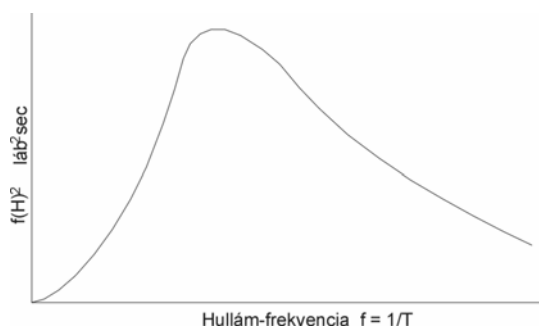
2.4.1.1.3.1 táblázat Éves viharfokozatok a nyílt óceánon az északi féltekén

Vihar-fokozat	Lényeges hullám-magasság (láb)	Tartós szél-sebesség (csomó)	Százalékos valószínűség	Hullám periódusidő (sec)
				Tartomány Legvalószínűbb

## BBBZ-kódex

0-1	0-0.3	0-6	0	-	-
2	0.3-1.6	7-10	5.7	3-15	7
3	1.6-4.1	11-16	19.7	5-15.5	8
4	4.1-8.2	17-21	28.3	6-16	9
5	8.2-13.1	22-27	19.5	7-16.5	10
6	13.1-19.7	28-47	17.5	9-17	12
7	19.7-29.5	48-55	7.6	10-18	14
8	29.5-45.5	56-63	1.7	13-19	17
>8	>45.5	>63	0.1	18-24	20

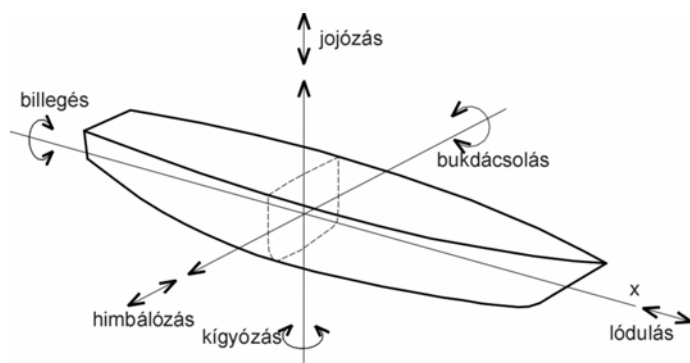
### 2.4.1.2 A hajó mozgásformái hullámos vízén



2.4.1.1.3.3 ábra Grafikus kapcsolat a hullámmagasság és a periódusidő között

A hajó mozgásformáiról már volt szó korábban, de annak okait és részleteit ez a fejezet mutatja be. A hajó mozgása egy összetett három-dimenziós hullámrendszerben nagyon bonyolult, de ezeket a mozgásformákat hat

szabadságfokra bonthatjuk három egymásra merőleges tengelyhez viszonyítva, amint azt a 2.4.1.2.1 ábrán látjuk.



2.4.1.2.1 ábra A hajó mozgásai  
Ez a három tengely-menti egyenes-vonalú mozgás a következő.

1. *Sebesség-ingadozás (lódulás)*  
– A hajó haladási irányában történő sebességnövekedés illetve csökkenés, amely a haladási sebességet periodikus módon

változtatja.

2. *Himbálózás* – A hajó hossz-szimmetriasíkjára merőleges *y-tengely* mentén történő oldalirányú lengőmozgás.
3. *Jójózás* – Függőleges tengely mentén történő lengőmozgás, amelyet a hajó súlya és a vízkiszorítás közötti állandó egyensúlyváltozás okoz, amelynek forrása az utóbbinak a hullámok miatt bekövetkező változása.

A három forgómozgás.

4. *Billegés (rollázás)* – A hajó hossz-tengelye körüli forgó lengőmozgás (ami független

- 
- a nem lengő billenéstől vagy lógástól).
5. *Bukdácsolás* – A hajó keresztirányú tengelye körüli lengőmozgás (ami független más nem lengő trimtől).
  6. *Kígyózás* – A hajó függőleges tengelye körüli lengőmozgás.

Az említett mozgásformák közül több, vagy esetleg valamennyi felléphet egyszerre is rövid ideig, amikor ezek szuperponálódnak, és annyira összetett mozgást hoznak létre, amelyet szinte lehetetlen leírni. Ez az oka annak, hogy a vizsgálatokat leginkább egy adott mozgásra korlátozzák, a többi szabadságfoktól pedig eltekintenek. Amikor például a hajó a hullámokkal szemben halad, nyilvánvalóan jelen van a bukácsolás, a jojózás és a lódulás, azonban szinte nem létezik a himbálózás, a billegés és a kígyózás. Annak fontosságát, hogy a fenti mozgások bármelyikét elhanyagoljuk, annak fényében kell nézni, mi a hajó feladata, és milyen valóságos körülmények között kell üzemelnie, ahol bizonyítania kell üzemképességét.

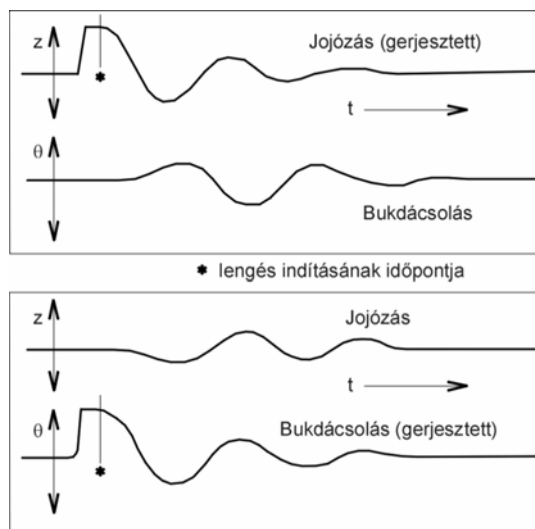
### ***Történelmi aspektusok***

A vitorlás korszakban a hajók nem voltak képesek egyenesen szél ellen hajózni, emiatt szinte sohasem találkoztak olyan helyzettel, amikor a hullámok ellenében kellett volna haladni. A keresztvitorlázatú hajók oldal- vagy hátszéllel közlekedtek, azokat az útvonalakat kellett választaniuk. Oldalszélben a vitorlák hatalmas csillapítóként működnek, így a billegést is ki lehet hagyni a számításból. A gépi propulzióval rendelkező hajók nem rendelkeznek a vitorlák csillapításával, ezért azok könnyebben kezdenek billegni és nagyobb szögig térnek ki. Hátszél esetén mindkét hajótípus szenved a *kormány hatásának csökkenésétől*. A hullámok ellen azonban csak a géphajók tudnak hajózni, ilyenkor jelentkezik a megnövekedett ellenállás, és a hajótest igénybevétele a hullámcsapások erejétől. Az első géphajók megtartották vitorlázatukat, és megtapasztalták a szél elleni hajózás nehézségeit, széntartalékuk igen hamar elfogyott. Ezek a hajók még a régi vitorlás útvonalakon haladtak, és egyrészt gyorsabbak voltak a vitorla és a gép kombinációja miatt, másrészt teljesen kiküszöbölték a szélcsend miatti állásidőket. A 19. század végén, amikor a beépített gépteljesítmény megnőtt, a gőzösök közvetlenebb útvonalakat választhattak, a mai tekintélyes teljesítményű hajóknak pedig gyakran kell sebességüket csökkenteni, hogy elkerüljék a fenéklemezek és merevítők sérülését a hullámokon való *lovaglás* miatt, illetve, hogy kevesebb víz jusson be az orrésznel. Ezek miatt az okok miatt a hajók útvonal-kiválasztása során az egyik fő cél a viharos zónák kikerülése, amikor csak mód van rá.

#### **2.4.1.2.1 A hajó mozgásainak vizsgálata külön-külön**

A *hajó mozgásainak elemzését* az a tény is bonyolítja, hogy a mozgásformák egy része mindig együtt jár, különösen az olyan hajóknál, ahol az orr- és farrész erősen eltér. Az ilyen hajótesteknél a vízvonalfelület súlypontja nem esik egybe a vízkiszorítás hosszirányú súlypontjával, ezért a visszatérítő erő és a gravitációs erő erőpárt alkot. A 2.4.1.2.1.1 ábra egy *fartükrös (tranzom) hajó* esetében mutatja a bukácsolás és a

jojózás közti összefüggést.



2.4.1.2.1.1 ábra Bukdácsolás és jojózás kapcsolata

A felső diagram azt mutatja, hogy a kis hajó súlypontja lefelé mozdult el, majd visszatért felfelé. Az ennek hatására elinduló jojózás során látható, hogy a lengés csillapított, a bukdácsolás görbéje pedig mutatja bukdácsolás és a jojózás közti kapcsolatot. Az alsó diagram szerint a hajóorr külső hatásra bemerült, majd annak megszűnésekor felemelkedett, és a bukdácsoló mozgás is jojózást *gerjesztett*. A mozgásokat azonban nem vizsgáljuk összefüggésükben, az egyes mozgások

önálló vizsgálata is kellő bepillantást enged a hajó viselkedésébe.



2.4.1.2.1.2 ábra Rugóra függesztett tömeg lengése

Ennél az elemzésnél azt a formát alkalmazzuk, amely egy rugóra felfüggesztett tömeg mozgását írja le *csillapítatlanul* vagy *csillapítással*, és amely a 2.4.1.2.1.2 ábrán látható.

Az alapegyenlet a mozgásnál a jól ismert

$$\Sigma F = ma$$

vagy másként, a *gerjesztő erők*ből levonva a *csillapító erőket* és a *visszatérítő erőket*, megkapjuk a tömeg és gyorsulás szorzatát. A függőleges koordinátát  $z$ -vel jelölve,

$$\dot{z} = dz/dt = \text{függőleges sebesség}$$

$$\ddot{z} = d^2z/dt^2 = \text{függőleges gyorsulás}$$

$f(t)$  = gerjesztő erő  
 $c$  = csillapítási tényező  
 $k$  = rugóállandó  
 $m$  = a felfüggesztett test tömege.

Tehát,



$$f(t) - c\dot{z} - kz = m\ddot{z}$$

vagy, ha átrendezzük,

$$m\ddot{z} + c\dot{z} + kz = f(t)$$

Általában három esetet tételezünk fel.

1. *Csillapítatlan szabad lengés*, ahol  $c = f(t) = 0$
2. *Csillapított szabad lengés*, ahol  $f(t) = 0$
3. *Harmonikus gerjesztésű lengés*, ahol  $f(t) = A \sin \omega t$

Mind a három esetben meghatározható vonatkoztatott frekvenciaként a *csillapítatlan önlengésszám*, amely részét képezi a csillapítatlan szabad lengés megoldásának.

$$m\ddot{z} + kz = 0$$



(a) Csillapítatlan lengés

2.4.1.2.1.3 ábra Csillapítatlan és csillapított lengések

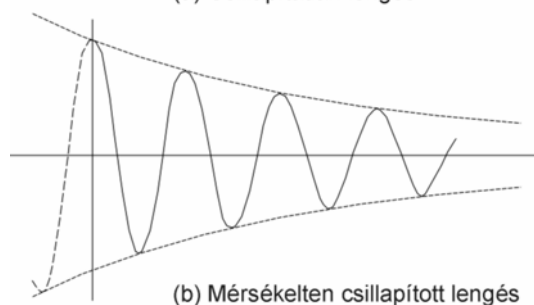
Ahhoz, hogy ezt az egyenletet „hullám-egyenletté” átírjuk, legyen

$$\omega_n^2 = k/m$$

$$\text{Ezzel } \ddot{z} + \omega_n^2 z = 0$$

Amelynek általános megoldása

$$z(t) = A \cos \omega_n t + B \sin \omega_n t$$



(b) Mérsékelt csillapított lengés

ahol  $\omega_n$  = csillapítatlan önlengésszám.

Az ennek megfelelő *csillapítatlan önlengésidő*



(c) Erősen csillapított lengés

$$T_n = 2\pi / \omega_n = 2\pi(m/k)^{1/2}$$

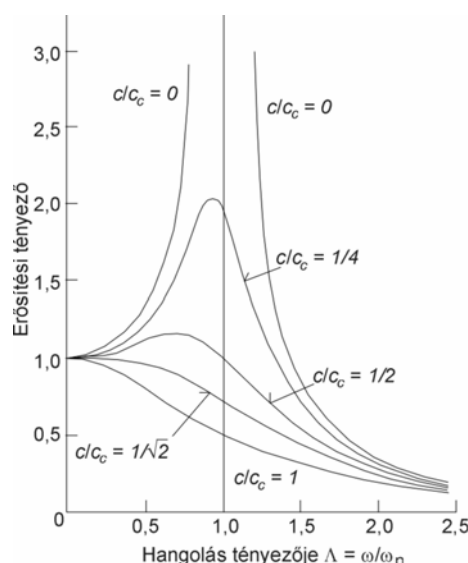
Ha a 2.4.1.2.1.2 ábrán látható tömeget fel- vagy lefelé kimozdítjuk, és elengedjük, és nincs ott a csillapító edény, a végtelenségig fog lengeni  $\omega_n$  csillapítatlan önlengésszámon, amint a 2.4.1.2.1.3(a) ábra mutatja.

Ha van valamennyi csillapítás, a tömeg csökkenő amplitúdóval fog lengeni és lassan változó lengésidővel, ahogy a 2.4.1.2.1.3 (b) ábrán látható. Ha csillapítás erős, a tömeg csak néhány lengést végez, amint a 2.4.1.2.1.3 (c) ábra mutatja.

Ha a csillapítás kritikus méretű, a tömeg lengés nélkül tér vissza eredeti helyzetébe. Ha

most hozzáadjuk az  $f(t)$  harmonikus gerjesztést, a tömeg mozgása felerősödik vagy gyengül a gerjesztő hatás szerint, attól függően, milyen kapcsolatban van a gerjesztés frekvenciája a csillapítatlan önlengésszámmal (ennek elnevezése a *hangolás tényezője*, jele  $\Lambda$ ) és a csillapítási tényező a kritikus méretű csillapítási tényezővel, amint azt a 2.4.1.2.1.4 ábra mutatja. Figyelemre méltó, hogy a nagyon erős csillapítás a rezonáns frekvenciát az önlengésszám alá csökkenti.

### Jojózó mozgás



2.4.1.2.1.4 ábra Független jojózás vagy bukdácsolás erősítő tényezője hullámos vízben

Ha ezt a mechanikus analógiát a hajó jojózó mozgására akarjuk átvinni, idézzük fel, hogy a hajó rugóállandója egyrészt arányos a vízvonalfelület területével illetve a tonna per hüvelyk bemerülés ( $TPI$ ) tényezővel az adott merülésnél,

$$k = TPI \times 12 \text{ hüvelyk/láb}$$

valamint a lengésbe jövő tömeggel, ami jelenleg a hajó tömege, plusz a hozzáadott víz tömege, amelyet a hajó mozgása magával visz. A

hozzáadott víz tömegét általában a hajó tömegének százalékában fejezzük ki, és jelölése  $x_A$ . Ezzel

$$m = (\Delta/g) (1 + x_A)$$

Vagyis

$$T_{nz} = 2\pi ((\Delta(1 + x_A)/12gTPI)^{1/2}$$

A fenti egyenlet kísérlettel meglehetősen nehezen igazolható, mivel a jojózó mozgásnál nagyon erős a csillapítás, így a jojózás természetes lengésideje kérdéses. Ha a mozgás csillapítása nem lenne annyira erős, az  $x_A$  hozzáadott tömeg tényező meghatározható lenne a jojózó mozgás természetes lengésidejének mérésével. Sajnos nem ez a helyzet, sőt, a kapcsolódó bukdácsoló mozgás tovább bonyolítja a hozzáadott tömeg becslését. Tehát csak az marad, hogy elméleti módszerekből nyerjünk bizonyos útmutatást egyes hajótest formák esetében a hozzáadott tömeg értékének megállapításához.

A legfontosabb dolog független jojózás esetében a gyorsulásnak a hajó látszólagos tömegére gyakorolt hatása. Annak figyelembe vételével, hogy a keresztirányú stabilitást a hajó vízkiszorításának és a visszatérítő karnak a szorzatával fejezhetjük ki,

nyilvánvaló, hogy hullámos vízen, ahol a hajó jojózó mozgást végez, a stabilitás periodikusan növekszik illetve csökken, amint a gyorsulás pozitív vagy negatív maximumát eléri. Amikor például a hajót a hullám megemeli, a mozgás felső végpontjában a legkisebb lesz a látszólagos súlya, és következésképpen abban a pillanatban a legkisebb ellenállást tanúsítja a kitérítő nyomatékkal szemben (ami a pillanatnyi vízvonalfelület területétől függ).

### **Csillapítatlan billegő és bukdácsoló mozgás**

A korábbi elvek szerint csillapítatlan billegésnél és bukdácsolásnál a hajó forgómozgására vonatkozó forgatónyomatéki egyenlet a következő

$$I(1 + x_A)\ddot{\varphi} + \Delta \overline{\mathbf{GM}}\varphi = 0$$

ahol  $I$  = az adott tengely körül vett inercianyomaték

$x_A$  = az adott mozgásra vonatkozó hozzáadott tömeg tényező

$\ddot{\varphi}$  = szöggyorsulás

$\Delta \overline{\mathbf{GM}}\varphi$  = visszatérítő nyomaték (csak  $\varphi < 10^\circ$  esetre korlátozva, radiánban, ahol érvényes, hogy  $\overline{\mathbf{GZ}} = \overline{\mathbf{GM}}\varphi$ ).

Érdemes a kereszt- és hossz-stabilitásnál használt kifejezést alkalmazni, és az inercianyomatékokat a  $k_x$  vagy  $k_y$  forgáskarral helyettesíteni.

$$I_x = mk_x^2 \text{ billegő mozgásnál}$$

$$I_y = mk_y^2 \text{ bukdácsoló mozgásnál.}$$

Ezzel,

$$\ddot{\varphi} + (\Delta \overline{\mathbf{GM}}/((\Delta/g)(1 + x_A)k_x^2))\varphi = 0$$

Definiáljuk a csillapítatlan önlengésszámot billegésnél a következőképpen

$$\omega_{n\varphi}^2 = (g\overline{\mathbf{GM}}/(1 + x_A)k_x^2)$$

ezzel az előző egyenlet az egyszerű harmonikus lengés egyenletének alakját veszi fel,

$$\ddot{\varphi} + \omega_n^2\varphi = 0$$

ahol a csillapítatlan önlengésidő billegésnél

$$T_{n\varphi} = 2\pi k_x((1 + x_A)/g\overline{\mathbf{GM}})^{1/2} = 1,108k_x((1 + x_A)/g\overline{\mathbf{GM}})^{1/2}$$

Míthogy a billegésnél a csillapítás gyenge, ezt a kifejezést felhasználhatjuk arra, hogy mérésel határozzuk meg a *billegő forgáskart*, amelyben benne lesz a hozzáadott tömeg

befolyása is. Ha a billegő forgáskar már ismert a súlyelosztásból, a kifejezést arra használhatjuk, hogy megbecsüljük a billegésnél érvényes hozzáadott tömeg tényezőt. Bukdácsoló mozgásnál  $\varphi$  helyett  $\theta$ ,  $k_x$  helyett  $k_y$ , és  $\overline{GM}$  helyett  $\overline{GM}_L$  kerül a képletbe.

$$T_{n\theta} = 1,108k_y((1 + x_A)/g\overline{GM}_L)^{1/2}$$

A bukácsoló mozgás is erősen csillapított, így a képlet méréssel nehezen igazolható.

#### **2.4.1.2.2 A billegő-mozgás**

Amikor a hajó stabilitási jellemzőit vizsgáljuk, azt tapasztaljuk, hogy a viszonylag nagy  $\overline{GM}$  (metacentrikus magasság) értékkel rendelkező hajó hullámos vízen kellemetlenebb az utasok számára, mint az a hajó, amely kisebb  $\overline{GM}$  értékkel rendelkezik. Ennek az a magyarázata, hogy a nagy  $\overline{GM}$  a hajót „merevvé” teszi, ami viszonylag rövid önlengéssel jár és azzal, hogy a szélső megdőlt helyzetből a hajó gyorsan tér vissza.

Sima vízen a stabil hajó billegését külső kitérítő nyomaték alkalmazása és eltávolítása idézi elő. Kitérített állapotban létezik egy visszatérítő nyomaték, amely egyenlő nagyságú, de ellenkező értelmű a kitérítő nyomatékkal. Amikor a külső nyomatékok eltávolítjuk a hajóról ebben a kitérített állapotában, a visszatérítő nyomaték a hajót az egyenes úszáshelyzet irányában kezdi forgatni. A kitérített állapotban rejlő helyzeti (potenciális) energia teljesen átalakul mozgási (kinetikus) energiává (ha elhanyagoljuk a víz és a hajótest között levő súrlódást), így egyenes úszáshelyzetben a hajó csak mozgási energiával rendelkezik. Tehát a hajó folytatja a forgómozgást a másik oldal felé, amíg az összes mozgási energia át nem alakul potenciális energiává a másik szélső helyzetben. Amennyiben elhanyagoljuk a súrlódási veszteséget, a hajó folytatni fogja a lengőmozgást azonos amplitúdóval a végtelenségig. A gyakorlatban azonban a hajótest és a víz között létező súrlódás és a lengés által keltett hullámok hatása csillapítani fogja a lengést, ahogy a kezdeti energia felemésztyődik.

Annak a feltételezésnek az alapján, hogy  $\overline{GZ}$  egyenlő  $\overline{GM}\sin\varphi$  értékével kis szögek esetében, a billegés lengésideje független a  $\varphi$  amplitúdótól. Tekintve, hogy bármely hajónál a  $k_x$  értékének meghatározása nehéz és hosszadalmas feladat, tételezzük fel, hogy  $k_x$  lineárisan függ a hajó szélességétől, és ezzel a következő tapasztalati képletet írhatjuk fel

$$T = CB/\sqrt{\overline{GM}}$$

ahol  $C$  egy empirikus konstans. (Nagy hajóknál a  $C$  értéke 0,38 és 0,55 között változik, függ a hajótól és a rakodási módtól.) A  $B$  ebben a képletben a hajó teljes szélessége lábban.

#### **A hajó billegése a hullámok hatására**

A hajó billegését elsődlegesen az a hatás idézi elő hullámos vízen, hogy a vízkiszorítás súlypontja a hullázással együtt folyamatosan elmozdul, és ettől a hajó súlya és a

víz kiszorítás között kiegyenlítetlen nyomadék ébred. Amint egy hullám áthalad a hajó alatt, a vízvonalfelület változáson megy át, és ferdévé válik, amelynek az eredeti úszáshelyzet síkjával bezárt szöge függ a hullám sebességétől, hosszától és magasságától. A víz kiszorítás súlypontja, amelynek helyzete az adott merülésnél függ a vízvonalfelület ferdességétől, elmozdul a hajó súlypontjának megfelelő függőleges egyeneshez képest. Az elmozdulás keresztirányú összetevőjének a hatására létrejön egy kitérítő kar, amelytől a hajó megdől, és úgy próbálja az új egyensúlyi helyzetet felvenni, hogy a hossz-szimmetriás merőleges legyen a hullám felületére. Ezt azonban kissé módosítja, hogy a víz maga is a hajóval együtt mozog.

A hullámok természetéről szóló fejezetben szó volt arról, hogy a vízfelszín hullámaiban a vízrészecskék körpályán mozognak. A hullámhegy hátsó oldalának közepén a részecskék függőlegesen felfelé mozognak; a csúcson vízszintesen a hullám haladási irányában; a hullámhegy mellső oldalának közepénél függőlegesen lefelé; a hullámvölgy közepénél pedig vízszintesen, szemben a haladási iránnyal. Tehát a hajót, amely nagy hullámok között úszik, a vízrészecskék körmozgása is befolyásolja. Létezik a centrifugális erő, amelyet hozzá kell adni a súlyerőhöz és a víz kiszorítás felhajtóerejéhez. A centrifugális erő az őt létrehozó víz dinamikai ellenállás-erejével ellentétesen hat, és emiatt két különálló erőpár hat a hajóra, és okozza annak billegését:

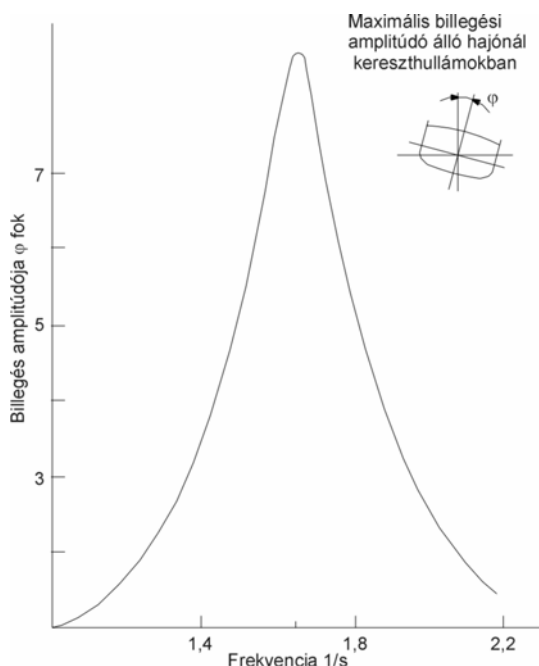
- (1) az egyik az, amit már ismerünk, tehát a súly és a víz kiszorítás, és
- (2) a másik az, amelyet a körpályán mozgó hajó centrifugális ereje és a víz dinamikus ellenállás-ereje alkot.

Az első erőpár periodikus hatásáról nemrég volt szó, ahol láttuk, hogy a hajónak van saját billegési önlengésszáma. A másik erőpár olyan erők hatására jön létre, amelyek a hullámmozgás részét képezik. A hajó, illetve pontosabban annak súlypontja, körpályán mozog, amelynek periódusideje és körpálya-sugara megegyezik az azonos szinten kint a vízben mozgó részecskékével. Az ebből eredő centrifugális erő a súlypontban hat, a vele ellentétes hidrodinamikai ellenállás-erő pedig a víz kiszorítás súlypontjában, és ez az erőpár ugyanolyan periódusidővel váltakozik, mint a hullámé, amely a hajó billegését előidézi.

Beláthatjuk tehát, hogy a kialakuló billegés periódusideje függ egyrészt a hajó billegési önlengésszámától, másrészt a hullámok periódusidejétől. Hozzá kell azonban tenni a teljesség kedvéért, hogy van még egy alapvető tény. Korábban a hajó szabad önlengéséről beszéltünk sima vízen, amikor ez a lengés mindaddig tartott, amíg a víz ellenállása fel nem emésztette az energiát. Ez a szabad lengés. Amikor azonban a hajó hullámos vízen billeg, megközelítőleg periodikus impulzusoknak van kitéve, ami gerjesztett lengés vagy *gerjesztett billegés* néven ismeretes (ld. 2.4.1.2.2.1 ábra). Ezek a periodikus impulzusok a rendszertelenül hullámozó víz hullámhegyei, amelyek azonban tendenciájukban rendszeresek, ha figyelembe vesszük, hogy egy hullámrendszer elemei.

Bármilyen lengésre kész tárgy, mint pl. egy inga, ha lehetősége van lengésbe jönni egy állandó frekvenciájú gerjesztő impulzussor hatására, olyan lengésidejűvel fog lengeni, amely megegyezik az őt érő impulzusok frekvenciájával. Ha tehát egy hajó billegését tökéletesen egyforma és állandó periódusidejű hullámok okozzák, azt a lengésidejű fogja átvenni, amely a hullámok periódusidejével azonos. A valóságos hullámok a

vízfelszínen azonban sem periódusidő, sem magasság, sem hullámhossz szempontjából nem tekinthetők egyformának, ezért a hajót érő impulzusok sem lesznek egyformák. Ilyen körülmények között, amikor a billegést létrehozó impulzusok nem eléggé rendszeresek, a hajó nagyon hajlamos saját billegési önlengésszámát felvenni – azt, amellyel egy független impulzusra reagál. Végül soron a hajó billegő mozgására olyan periódusidő lesz jellemző, amely kombinációja saját önlengésidejének és a billegést keltő hullámok periódusidejének, ahol azonban az utóbbi a domináns periódusidő.



2.4.1.2.2.1 ábra Hullámok által gerjesztett billegés, halászhajó modell teszt

*Szinkron-billegés.* A hullámok által gerjesztett billegés különleges esete, amikor a hullámimpulzus periódusideje (az az időintervallum, amely eltelik a hajót érő két hullámhatás között) megegyezik a hajó billegési önlengésidejével vagy ahhoz nagyon közel van. Ilyenkor a kitérítő energia szuperpozíciója következik be, ami rendkívül komoly billegést eredményez. Sajnos ez nem ritka eset, és nem nehéz megkülönböztetni az egyszerű billegéstől vagy a nem kellő stabilitás okozta megdőléstől. Ennek ellenére a szinkron-billegést gyakran félreértik, és a stabilitás hiányának tulajdonítják. A legtöbb esetben a

tények maguk cáfolják meg ezt. Az alábbiakban látni fogjuk, hogy a nagy  $\overline{GM}$  értékű vagy túlzottan nagy sztatikus visszatérítő nyomatékkal rendelkező hajók hajlamosabbak szinkron-billegésbe átmenni. A nagyon kis  $\overline{GM}$  értékű hajók sokkal ritkábban kerülnek ilyen helyzetbe.

Idézzük fel, hogy a hajó billegési önlengésideje

$$T = CB/\sqrt{\overline{GM}}$$

tehát a lengésidő a metacentrikus magasság négyzetgyökével fordítottan arányos. Tehát minél nagyobb a metacentrikus magasság ugyanolyan szélességű hajónál, annál rövidebb az önlengésidő. A nagyobb hajók esetében a rövidebb billegési periódusidő esetében (12 sec vagy annál kevesebb) nagyobb a szinkronizmus kialakulásának valószínűsége nagy tengeri hullámokban. Például, ahogy Taylor bemutatta, az Atlanti-óceán nagy viharaiban a hullámok hossza 500-600 láb, periódusidejük pedig 10-11 szekundum. Ilyen körülmények között egy nagyobb hajó, ha a szokásos mérsékelt vagy kis metacentrikus magassággal rendelkezik, az önlengésidő sokkal nagyobb a hullámok periódusidejénél, így a hajó viszonylag nyugodtan fog viselkedni. Éppen ellenkezőleg, egy hasonló hajó, amelynek  $\overline{GM}$  értéke viszonylag nagy, tehát önlengésideje 10-11

szekundum körül van, nagyon rossz billegést produkál ilyen helyzetben. Ez a helyzet hadihajók esetében jelentkezhet legmarkánsabban, amelyeket úgy kell megtervezni, hogy egyéb körülmények között is megőrizték stabilitásukat, pl. sérült állapotban, oldalszélben, nagy-sebességű forduláskor, stb. Ezenél tehát a metacentrikus magasság eleve nagyobb értékű. Az óceánjáró személyhajóknál a helyzet pontosan az ellenkező, így kielégítik a kényelem követelményeit.

#### 2.4.1.2.3 Bukdácsolás és jojózás

A bukácsolás jelenségét analógnak vehetjük a billegéssel, kivéve, hogy annak tengelye a billegés tengelyével  $90^\circ$ -ot zár be. Bukácsolásnál az önlengésidő jóval rövidebb.

Ahol a bukácsolás, a kígyózás és a jojózás együtt jelentkezik, ott sokkal nehezebb a mozgás vizsgálata, mint billegéskor. Különösen szoros kapcsolat van a bukácsolás és a jojózás között, emellett mindkettőt befolyásolja a másik négy mozgásforma. Ezeknek a mozgásoknak a matematikai leírásához a differenciálegyenletekhez kell fordulni.

A bukácsolás és a jojózás, amikor együttes mozgásként jelentkezik hullámos vízen, a hajó irányítását erősen megnehezíti, pl. csökken a hajó sebessége, a hajó lovagol a hullámokon, ami az orrész fenékszerkezetét erősen igénybe veszi, illetve a fedélzetet állandó jelleggel víz borítja, mindez akadályozza az emberek és a gépek funkcióit egyaránt.

Az magától értetődik, hogy kevés eredményt hozhatnak a szinkron-bukácsolás megakadályozásában a hajótesten végrehajtott módosítások. Vannak azonban olyan csillapítási lehetőségek, amelyek a kellemetlen hatásokat csökkenthetik. Amikor a hajótest kialakításánál az orrnál éles formákat alkalmazunk, mint pl. a tulipános orr, az hajlamos a bukácsolás kiváltására. A konvex formák ellenkező hatást váltanak ki. Vannak irányzatok, amelyeknél azt vizsgálják, milyen sebességekhez milyen hajótest alak a legjobb, természetesen oda kell figyelni a hajó viselkedésén kívül a gazdaságosságra is.

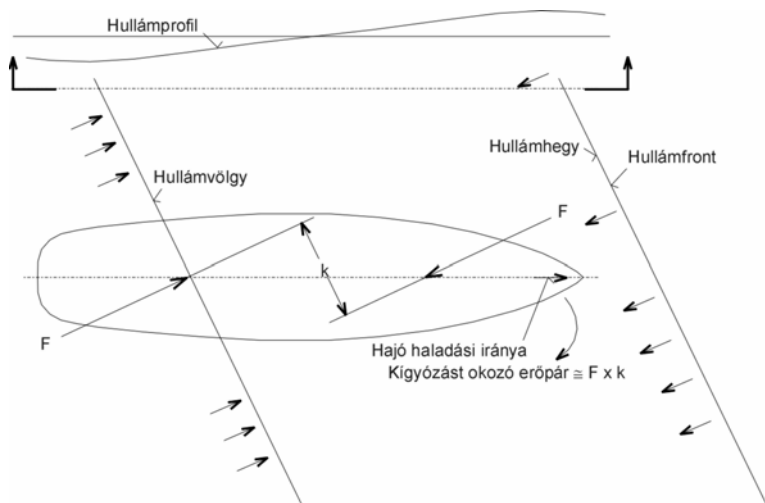
#### 2.4.1.2.4 Kígyózás

A kígyózás az a jelenség, amikor a hajó lengőmozgást végez a súlypontján áthaladó függőleges tengely körül. A mozgás kialakulásában a helytelen kormányzáson kívül a következő három tényező játszik közre:

- (1) a hajótestre ható statikus nyomás nem egyenletes eloszlása,
- (2) a hullámozó vízen jelentkező körmozgás és
- (3) *giroszkóp hatás*.

Hullámos vízen való hajózásnál általános jelenség, hogy a hullámprofil a hajó bal- és jobboldalán nem azonos, aminek eredményeként a nyomáscentrum hossz- és keresztirányú helyzete a hajó vízbemerült felületének egyik oldalán eltér a másik oldali helyzettől. Ez erőpárt hoz létre a függőleges tengely körül, vagyis kígyózó tendenciát, amellett, hogy billentő nyomatékot is teremt. Amint a hullámok haladásával változik a hullámprofil a hajó oldalain, a kígyózást okozó erőpár nagysága és értelme is változik,

amitől a hajó lengésbe jön. Ennek a lengésnek a periódusideje azonos a hajó mellett elhaladó hullámokéval. Legjobban úgy lehet kiegyenlíteni a mozgást, hogy előre kell látni a hullámok mozgását és kormánymozdulattal kompenzálni kell a hatást.



2.4.1.2.4.1 ábra A kígyózás okai

Az említett kvázi-sztatikus erőkon kívül, amelyek kígyózást okoznak, a hullámban levő vízrészecskék körmozgása dinamikus kígyózó hatást is okoz (ld. 2.4.1.2.4.1 ábra).

Ennek az utóbbi kígyózó mozgásnak a kompenzálása

kormánymozdulattal sokkal nehezebb. Ennek oka, hogy fél hullámhosszon keresztül a kormány közelében levő vízrészecskék a hajóval azonos irányban haladnak, ami a kormány hatékonyságát csökkenti. Ez a hatáscsökkenés még nagyobb akkor, ha a kormánylapát nem a hajócsavar sodorban van elhelyezve. Ha a hullámok nagyok, és emiatt a dinamikus kígyózás erősen érezhető, a legjobb megoldás többcsavaros hajónál a hajócsavarok fordulatszámának változtatása. Az is segíthet bizonyos esetekben, ha erős fartrimet hozunk létre rakodással.

### 2.4.1.3 Mozgás-csökkentő eszközök

A hajótervezők nehéz feladata volt az idők kezdete óta, hogy megregulázzák a hajó bonyolult mozgását hullámos vízen, és megpróbáljanak olyan szerkezeteket kifundálni, amelyek csillapítani tudják a nem-kívánatos mozgásokat, leginkább a billegést és a bukdácsolást. Ennek a két lengésformának, valamint a kígyózásnak a csökkentése már jó ideje kiterjedt kutatások tárgya, és számos eredeti találmány született ezen a területen. A múltban sok készülék csak részleges sikert eredményezett, például a 19. század elején egy csatorna-komphajón kialakított függesztett utas-szalón. Az utóbbi években azonban sok figyelemre méltó kivétel volt ez alól, a túlzott billegést sikerült szinte alig észlelhető mértékűre csökkenteni azokon a helyeken, ahol ez gazdaságosan megoldható volt. A mechanikai problémák megoldása nem volt teljes, és az egyes készülékek között sem található olyan, amelyik kiemelkedően jobb lenne a többinél. Általában elmondható, hogy a stabilizációs rendszerek mindegyike a tömeg lengésén alapul, és a következőképpen lehet őket osztályozni.

1. Felhasznált erő típusa
  - a) ellensúly – gravitációs erő
  - b) gyorsulás – tehetetlenségi erő



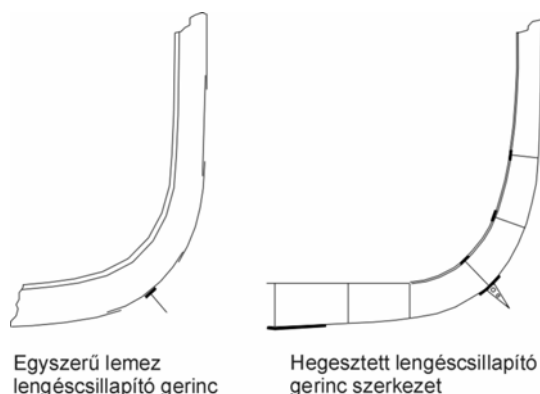
- 
2. A rendszer elhelyezése
    - a) belül
    - a) kívül
  3. Tömeg típusa
    - a) szilárd
    - a) folyadék.

Ezek közül csak a leggyakoribb megoldásokat ismertetjük. A billegés csökkentését célzó eszközök közül a következőket találjuk meg leginkább:

1. *lengéscsillapító gerincek,*
2. *vezérelhető uszonyok,*
3. *lengéscsökkentő tankok,*
4. *giro-stabilizátor* (aktív típus) (Cox and Lloyd 1977).

### **Lengéscsillapító gerincek**

Azok a hosszú uszonyszerű taréjok, amelyeket szinte minden hajón meg lehet találni a medersornál kb. a hajóhossz kétharmadán, általában lengéscsillapító gerinc néven ismeretesek. Ezek a legegyszerűbb, és egyben a legrégebbi, ugyanakkor a legjobban működő és gazdaságos eszközök, amelyek a hajó billegését csillapítják.



2.4.1.3.1 ábra Lengéscsillapító gerincek

A lengéscsillapító gerinc általában egyetlen vastag acéllemezről készült folyamatos szerkezeti elem, amely nagyobb hajóknál 2-4 láb szélességben a héjlemezre merőlegesen van a hajótesthez hegesztve. A legnagyobb hajók esetében sima lemezcsík helyett V keresztmetszetű szerkezet, amelynek felerősítésénél figyelemmel kell lenni arra is, hogy megfeneklés vagy dokkolás esetén ne

rongálódjon meg (ld. 2.4.1.3.1 ábra).

Kisebb hajókon a lengéscsillapító gerincet viszonylag vékony acéllemezről alakítják ki, és szakaszos hegesztéssel rögzítik, a keresztben menő hegesztéseknél a gerincet kivágják a kereszt-hegesztés elkerülése érdekében.

A lengéscsillapító gerincek működése méretüktől és kialakításuktól függetlenül nagyon egyszerű elven történik. A hajó billegésének lengésidejére vonatkozó összefüggés:

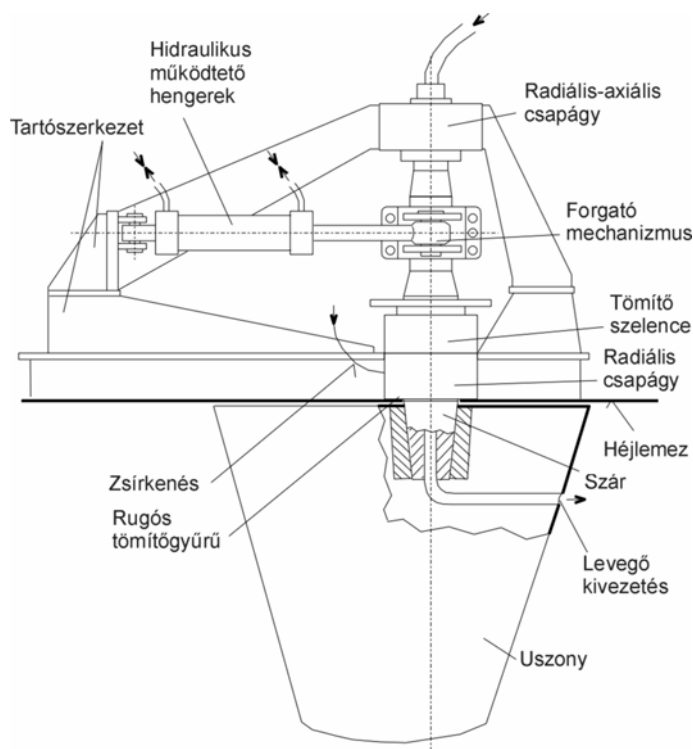
$$T = 1,108k/\sqrt{GM}$$

Ebben a képletben a  $k$  tényező a hajó billegési forgáskarja. Mivel a lengéscsillapító gerinc a hajó oldalából kilóg, azt idézi elő, hogy kissé megnöveli a hajóval együtt mozgó víz tömegét, tehát a fenti képletben a  $k$  értéke nagyobb lesz, ami a billegés

lengésidejét növeli meg. Gerjesztett billegési körülmények között, amellyel a hajó hullámos vízen találkozik, a hosszabb önlengésidő miatt csökken a billegés amplitúdója. A szerkezet legfontosabb hatása azonban az, hogy a viszkózus örvényeffektusnak köszönhetően nagyobb a billegéssel szembeni ellenállás.

Modellkísérleteknél és természetes körülmények között végzett méréseknél beigazolódott, hogy a lengéscsillapító gerincek hatékonyabbak a hullámos vízen előre haladó hajónál, mint álló hajónál. Ezek a megfigyelések azt sugallják, hogy hidrodinamikai felhajtóerő ébred a lengéscsillapító gerinc mellső szakaszán. Ez a hidrodinamikai felhajtóerő fékezi a billegés keresztirányú erőit, és nyugodtabbá teszi a hajó viselkedését. Azt is mondhatjuk tehát, hogy a lengéscsillapító gerincek lényegében hosszúkas hordszárnyak, emiatt különleges kialakítású stabilizáló uszonyok. A következőkben ezekkel még foglalkozunk, most csak annyit kell még elmondani, hogy dinamikus hatásuk javítható, ha nem folyamatosak, hanem rövidebb szakaszokból állnak. Ugyanakkor meg kell állapítani, hogy amikor szükség van a billegés dinamikus csillapítására, a stabilizáló uszonyok jobban beválnak. A legfontosabb annak felismerése, hogy a lengéscsillapító gerincek kizárólag arra szolgálnak, hogy csökkentsék a billegő-mozgást, de annak teljes megszüntetésére nem alkalmasak. Működésük pontosan azon alapul, hogy a hajó billegésben van. Nagy előnyük, hogy sztatikus eszközök, nem igényelnek energiát.

A *lengéscsillapító gerincek elhelyezésénél* arra törekednek, hogy a hajótest mentén kialakuló áramvonalakkal párhuzamosak legyenek. Azt azonban nem hagyhatjuk



2.4.1.3.2 ábra Hidraulikus működtetésű stabilizáló uszony

figyelmen kívül, hogy ezek az áramvonalak a hajó minden egyes rakodási és működési állapotában másként alakulnak ki. Amint a hajó nem névleges merülésének megfelelő úszáshelyzetben van, illetve hullámos vízen úszik vagy kormánymozdulatot kell végezni, a lengéscsillapító gerincek megnövelik a hajó ellenállását, és haladásához nagyobb géperőre van szükség.

#### ***Vezérelhető uszonyok***

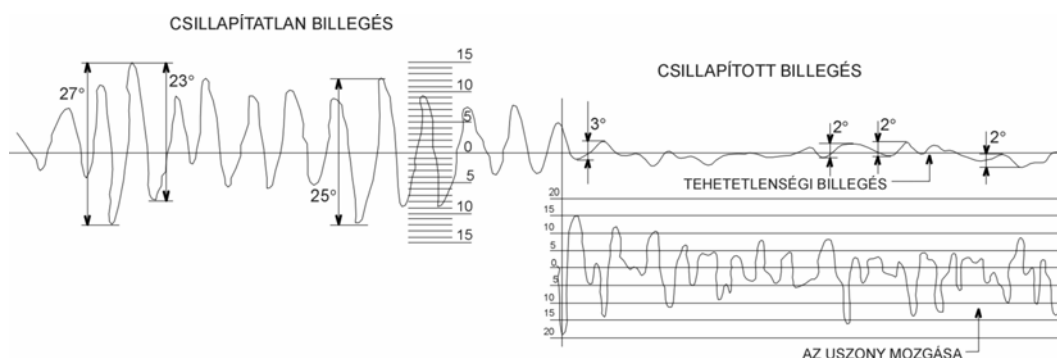
A stabilizáló uszonyokat már 1889-ben szabadalmaztatta *John*

*Thornycroft* Angliában, de a gyakorlatban csak mintegy huszonöt évvel később a *Motora* cég alkalmazta őket Japánban. A II. Világháború óta ezek a vezérelhető

berendezések egyre gyakrabban jelennek meg, a nagy hajóknál és a luxusjachtoknál a leggyakoribbak. A berendezések jó alkalmazhatósága elsősorban két cégnek köszönhető, a Denny-Brown Company angol és a Sperry Gyroscope Company amerikai cégeknek. A készülék lényegében egy uszonyból áll, amely kiáll a hajótestből (a hajó mindkét oldalán) a medersorban a főborda előtti részen.

Vannak olyanok, amelyeket be lehet húzni, amikor azonban ki vannak tolvá, adott szögtartományban forgatni lehet őket, analóg módon, mint a repülőgépek magassági kormányát vagy a tengeralattjárók kormányfelületeit. Olyanok is vannak, ahol az uszony hátsó részén külön mozgatható felület van kialakítva, amely sokkal hatékonyabban hoz létre függőleges erőhatást (beállítási szögtől függően fel- vagy lefelé). Ezeknél az uszonyoknál a megfűvási szöget a hajótesten belül levő motoros mozgó hajtóművel szabályozzák.

A motorokat giroszkópos érzékelő készülék hozza működésbe, amellyel reagál a hullám hatására, vagy inkább megelőzi azt (Nelson és Mc-Callum, 1978).



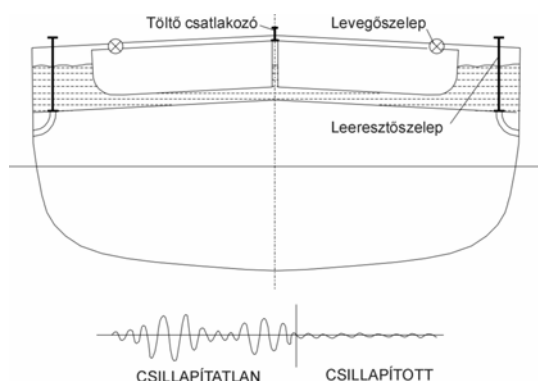
2.4.1.3.3 ábra Billegés csillapítatlan és csillapított viszonyok között

Az uszonyoknak a megfelelő időben a megfelelő szögbe történő mozgatása azokon olyan erőt hoz létre, amely a hullámok kitérítő hatását ellensúlyozza. A bal- és jobboldali uszony között  $180^\circ$ -os fáziskülönbség van, így a billegéssel ellentétes értelemben a kellő nyomatékot tudja létrehozni. A 2.4.1.3.3 ábra egy mérés eredményét mutatja, ahol a hajó szabad billegő-mozgása van összevetve a csillapított állapotú lengéssel, és az ahhoz tartozó uszonyhelyzetekkel.

### ***Lengéscsökkentő tankok***

A számos hasonló próbálkozás közül itt csak a legjobban sikerült változatokat mutatjuk be.

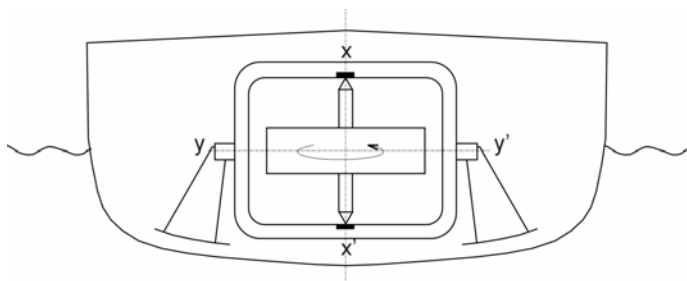
A *Frahm* lengéscsökkentő tank alapvetően egy különleges U-alakú tankrendszerből áll, amely a hajó egyik oldalától a másikig terjed. Valójában a rendszer két függőleges (mindkét oldalon egy) és egy vízszintes összekötő szakaszból áll. A vízszintes rész kisebb keresztmetszetű, mint a függőlegesek, és úgy van megtervezve, hogy amikor a rendszer kb. félig van töltve vízzel, a víz önlengésideje megközelítően megegyezik a hajó billegési önlengésidejével, annál kicsit kisebb.



2.4.1.3.4 ábra Lengéscsökkentő tank

A függőleges részek felül össze vannak kötve egy csővel a levegő áramlásához, amelynek méretei szintén fontosak a rendszerben levő víz periódusidejének szempontjából. Ennek a levegőcsőnek a keresztmetszetét szeleppel lehet beállítani, hogy szabályozni lehessen a két oldaltank közti vízáramlást, illetve a fáziseltolódást a

hajó billegése és a víznek a két oldaltank közti áramlása között. A fáziseltolódást kb. 90°-ra állítják be, így a víz az alsó vízszintes ágba mindig a magasabb tankból folyhat az alacsonyabba, ami csillapítóhatást fejt ki és a hajó billegése ellen hat.



2.4.1.3.5 ábra Egyszerű giroszkópos stabilizálás

A tankokat a hajó súlypontja felett szokás elhelyezni. Ennek fő oka, hogy a víz vízszintes gyorsulásával létrehozott erő nyomatéka ugyanabban az

irányban hasson, mint a függőleges részekben levő víz sztatikus nyomatéka.

A 2.4.1.3.4 ábra vázlatosan mutatja a Frahm tankok elrendezését, és látható a rendszer hatásossága a szabad lengés és a csillapított lengés összehasonlításával.

### Giro-stabilizátorok

A giro-stabilizátorok működése a giroszkóp egyszerű elvén alapul. Vegyük a 2.4.1.3.5 ábrán látható elrendezést. A giroszkóp az  $XX'$  tengely körül forog.

A keret a hajó szerkezetéhez az  $YY'$  tengely mentén csapágyazottan csatlakozik. Ha feltételezzük, hogy a hajóra billentő nyomaték hat, az azt okozza, hogy a giroszkóp tengelye elmozdul, és a kitérítő nyomatékkal ellentétes értelmű nyomatékot adó erőpár jön létre. Az ábrán az úgy nevezett alap-giroszkóp látható, amelyet passzív vagy reaktív típusúnak definiálnak. A Sperry Gyroscope Company azonban tökéletesítette, így aktív típusúvá vált. Ilyen típusú giro-stabilizátorokat már több évtizede sikeresen alkalmaznak, főleg olyan kisebb hajókon, mint a kalauzhajók és a jachtok. A II.

Világháború előtt épült *Conte di Savoia* olasz luxus személyhajó volt a legnagyobb hajó, amelyen ilyen berendezést használtak. A hajó vízkiszorítása meghaladta a 40.000 tonnát. A hajó három giro-stabilizátorral rendelkezett, ezek átmérője 13 láb volt, teljes súlyuk beépítve 690 tonna volt, ami kb. a vízkiszorítás 1,72%-a. Amikor be voltak kapcsolva, a billegés amplitúdóját 60%-kal csökkentették. Ez tekintélyes csillapítás, de azóta a legjobbak a 80%-ot is elérték.

A giro-stabilizátorok alkalmazhatósága a kis és közepes méretű hajókra korlátozódik a

szerkezeti korlátok és a tömeg miatt. Manapság a nagyobb hajók kizárólag a vezérelhető uszonyokat és a lengéscsökkentő tankokat alkalmazzák.

## **2.4.2 Főgép-teljesítmény meghatározása**

A hajó alapvető funkcióját a *főüzemi berendezés* biztosítja, mégpedig azt, hogy képes legyen személyeket, árukat vagy egyéb berendezéseket és felszereléseket (pl. hadihajók esetében fegyverzetet) szállítani, vagy olyan járműveket vontatni, amelyek az említett feladatot látják el vagy amelyeket egy kijelölt helyre el kell juttatni, illetve olyan eszközöket, amelyek géperővel nem rendelkeznek, mint a halászhálók, saját géperejükkel ebben segíteni (*tengeri vontatók, halászhajók*), esetleg más járműveket *kikötési, dokkolási* vagy egyéb *helyzetben* a kívánt helyzetbe hozni (*kikötői vontatók*). A főüzemi berendezés központi elemét a *főgépek* képezik, amelyek azonban szoros kölcsönhatásban vannak két másik területtel:

- egyik a *hajó főméretei*, amelyekhez a hajó feladatának meghatározása alapján a hajótervező hosszadalmas elemző munka segítségével jut el a hajó hidrosztatikai, ellenállási, szilárdsági és hullámos vízen való mozgási jellemzőinek kiválasztása során,
- a másik a *propulziós berendezés*, amely az előző pontban említett jellemzők és a rendelkezésre álló főüzemi berendezések függvénye.

Már a második pontból is következik, hogy az említett két terület és a főüzem egymással szoros összefüggésben van, nemcsak a másik kettő hat a főüzemi jellemzőkre, hanem a főgép és ahhoz tartozó berendezések paraméterei is számos esetben változtatásokat kívánnak meg a másik két területen.

A 4.2.1.1 fejezetben a szóba jöhető főgép-típusokat ismertetjük, az ott említett statisztikai adatok mutatják, hogy a nagy teljesítményű *dízelmotorok* méreteinek állandó növekedése miatt (jelenleg 100.000 LE felett van a műszaki lehetőségek határa) a nagyobb hajók főüzemét is ma már lehetséges ezzel a géptípussal megvalósítani, ahol korábban kizárólag a *gőzturbina* volt az egyetlen lehetőség, ma már több dízelmotor hatásfokban, helyigényben és zajszintben kedvezőbbnek mutatkozik, tehát a dízelmotorok aránya tovább emelkedik.

### **2.4.2.1 A működésmód és üzemanyag kiválasztása**

A főüzemi berendezés *működési módjának* és ezzel az *üzemanyag típusának* kijelölésénél a hajó méretét, a leggyakrabban igénybe vett hajózási útvonalakat és számos más tényezőt kell számításba venni.

A hajó mérete azért a legfontosabb, mert a tervezés legelső fázisától kezdve, amikor a hajótervező az elképzelést rajzba önti, majd azok alapján számításokat végez, ismernie kell azokat a korrelációs kapcsolatokat, amelyek a méret és a főüzemi berendezés típusa között fennállnak. Az első *ellenállásbecslésektől* egészen a *modellkísérleti eredményekig* a hajó méretei bizonyos intervallumon belül jelölik ki a főgép teljesítményét, amely ugyan a szükségessé váló esetleges módosítások miatt változhat bizonyos mértékben, de nagyságrendileg nem. A főgépként alkalmazható gépek leginkább *teljesítmény, üzemi fordulatszám* és a *rendelkezésre álló hely* miatt csoportosíthatók.

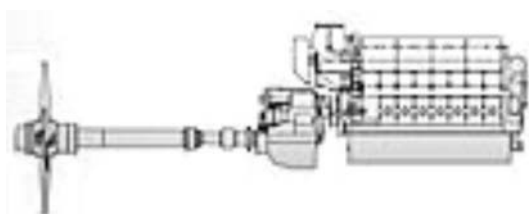
A kisebb hajóknál és azoknál a típusoknál, ahol a rendelkezésre álló hely nagyon korlátozott, a *magas fordulatszámú dízelmotorok* alkalmazása van leginkább elterjedve.



2.4.2.1.1 ábra Propulziós főgépnek alkalmas 16-hengeres V-elrendezésű magas fordulatszámú dízelmotor

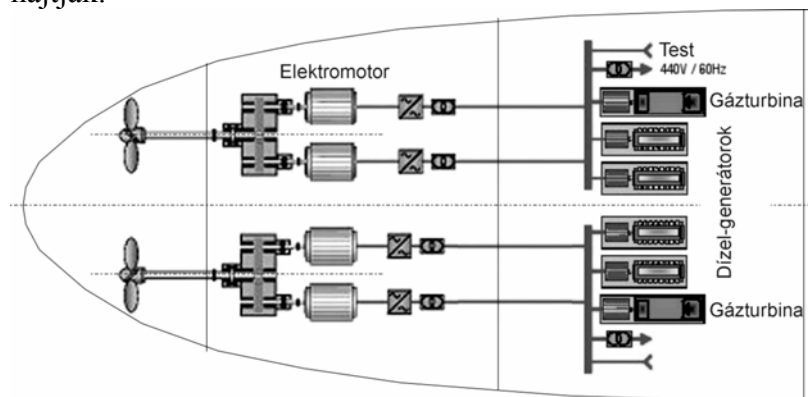
Ezek sebességtartománya 800 és 1.000 1/min körül van, általában 1.200 a felső határ. A kisebb hajóknál ezekkel a gépekkel közvetlenül hajtják meg a hajócsavart, ahol azonban a helyigény miatt

fordulnak ehhez a megoldáshoz, ott a főgép és a hajócsavar közé *hajtómű* kerül, hogy a hajó egyéb méretei, pl. a farrész kialakítása és a merülés által meghatározott méretű hajócsavar fordulatszáma az optimális értéket elérhesse.



2.4.2.1.2 ábra Magas fordulatszámú dízelmotor fordulatszám-csökkentő hajtóművel

A főgép vagy főgépek és a hajócsavar vagy hajócsavarok közé *elektromos tengely* is kerülhet, ahol a dízelmotorok elektromos hálózatra kapcsolt generátorokat hajtják meg, a hajócsavarokat pedig elektromotorok hajtják.

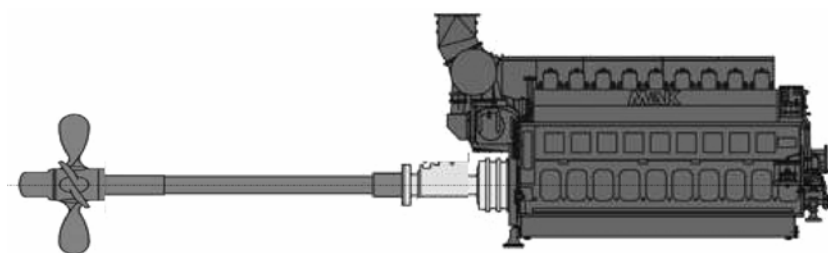


2.4.2.1.3 ábra Elektromos főüzem

Ez az utóbbi megoldás kompoknál és személyhajóknál gyakori, mivel azoknál a típusoknál a propulzió teljesítményigénye a

segédüzemi fogyasztáshoz képest nem annyira döntő, mint áruszállítóknál, és az elektromos főüzem lehetővé teszi közös *elektromos hálózat* alkalmazását. A magas fordulatszámú dízelmotorok teljesítményének felső határa 800-1.000 LE.

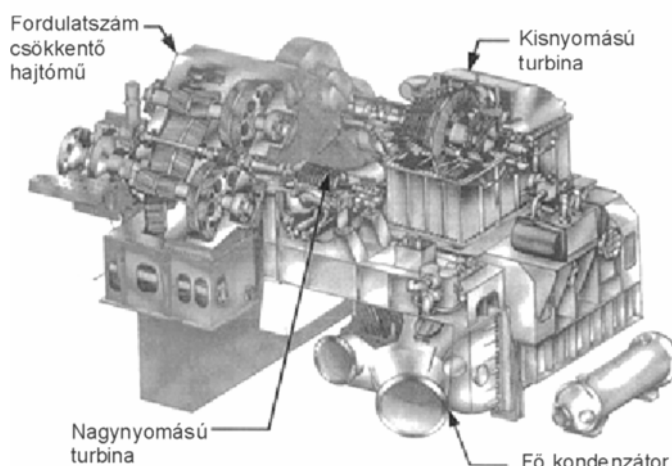
A *közepes fordulatszámú dízelmotorok* sebességtartománya 300 és 600 1/min közé esik, ebből a leggyakoribban a 300-400 1/min fordulatszámon dolgozó erőgépek, alsó határként a 200, felsőként a 650 1/min fordulatszám fordul elő. Teljesítmény tartományuk 400 és 3.000 LE közé esik, de ez a tartomány felfelé kitolódhat a műszaki fejlődés miatt.



2.4.2.2.4 ábra  
Közepes  
fordulatszámú  
dízelmotor állítható  
szárnyú  
hajócsavarral

Mind a magas, mind a közepes fordulatszámú dízelmotorok *négyütemű* elven működnek.

A dízelmotorok óriásai ezzel szemben *kétüteműek*. Ez lehetővé teszi a szelepek (legalábbis részleges) elhagyását, és a teljesítmény azonos méretek melletti jelentős emelését, ami annak közel megkétszerezését jelenti. Ezek a gépóriások magukon hordozzák a *hajógőzgépek* jellegzetességeit. *Keresztfejes konstrukciójuk* is ilyen, valamint az is, hogy a gyártó műben való készre-szerelés után szétbontják őket, és a hajó gépterében ismét felépítik. A legnagyobb teljesítményű kétütemű dízelmotorok sebessége a 90 és 120 1/min közötti tartományban van. A világ jelenleg legnagyobb ilyen gépe 94 1/min fordulatszámmal közvetlenül hajtja meg a hajócsavart, teljesítménye 130.000 LE.



2.4.2.2.5 ábra Kétlépcsős  
gőzturbina főüzemhez

Azoknál a hajóknál, ahol a fenti három csoport valamelyikébe sorolható dízelmotor alkalmazás műszakilag megoldható, főleg a teljesítmény oldaláról nézve, ott majdnem biztos, hogy a dízelmotornak a termikus gépek között legmagasabb hatásfoka döntő érv lesz, és főgépként valamilyen dízelmotort választanak ki. Ez alól

természetesen lehet kivétel, fontos érv pl. a leggyakoribb (vagy kizárólagos) hajózási útvonal, és az ott legjobban elérhető üzemanyag (szénszállító hajók).

A legnagyobb hajók esetében, amilyenek a *kőolajszállító tankhajók*, érdemes megvizsgálni minden lehetőséget a főüzem típusát illetően. Ezeknél a hajóknál a propulzió oldaláról nincs korlát, akár egyetlen hajócsavarral elérhető az üzemi sebességhez szükséges tolóerő, az üzemanyag pedig a legegyszerűbb ásványolaj termék lehet abban az esetben, ha a gőzturbina mellett dönt a hajótulajdonos. Ezek a hajóóriások általában ugyanazon az útvonalon járnak, a kitermelt kőolaj a rakományuk, a fogadóhely pedig rendszerint a kőolaj-feldolgozó telep, ahol a kőolaj-lepárlás maradéka, a *pakura* minden mennyiségben rendelkezésre áll fűtőanyagként.



Ennek ellenére a lassú-járású dízelmotorok képessége arra, hogy nehéz olajtermékeket is fel tudjanak használni, könnyen versenyképessé teheti az óriás dízeleket a gőzturbinával szemben.

A nagy hadihajók, mint a repülőgép-anyahajók, illetve a tudományos kutatóhajók főüzemét sokkal több tényező alakítja ki, azoknál például fontos az is, hogy az üzemanyag vételezés minél ritkábban kerüljön sorra. Ez egy olyan energia-hordozó változatot hoz a képbe, amely más hajótípusoknál nem jelent gyakori alternatívát, és ez a *nukleáris energia*.

#### 2.4.2.2 A propulzió konstrukciójának meghatározása

A hajó főgépeinek energiáját a *propulziós eszközök* változtatják át tolóerővé, amely a hajótest ellenállását hivatott legyőzni, hogy a számításba vehető legkedvezőtlenebb körülmények között is a kívánt üzemi sebesség elérhető legyen.

A hajó feladata a döntő tényező annak eldöntésénél, hogy az ismert propulziós eszközök közül melyik az a változat, amely a legjobban megfelel a követelményeknek. Ha egy kisebb folyami hajónál keressük a legalkalmasabb propulziós eszközt, a földrajzi működési terület fogja azt első sorban kijelölni. A Duna középső szakaszán, ahol a folyamszabályozás hiányosságai még jelenleg is valós akadályokat állítanak a hajózással szemben, a folyam sebessége nem jelent komoly gondot, viszont számolni kell az év nagy részében a kis vízmélységgel. Ilyen helyen a legmegfelelőbb propulziós eszköz a (teljes vagy részleges) gyűrűben dolgozó több (kettő vagy három) hajócsavar, amely a navigációs képességeket is javítani tudja.

A kellően szabályozott európai folyamokon a feladatra a *vezérelt uszonyokkal dolgozó propulziós eszközök* a legmegfelelőbbek, mint pl. a *Voith-Schneider propeller*, amely szükségtelenné teszi, hogy külön kormányberendezést szereljenek fel a járműre.

Ha viszont olyan eredeti állapotban levő, de természetből jól hajózható környezetről beszélünk, mint a nagy dél-amerikai Amazonas felső szakasza, ahol a kereskedőhajók látják el a part-menti lakosságot, akkor a *vezérelt- vagy merev-lapátos lapátkerék* a legmegfelelőbb megoldás, az üzemanyag pedig az esőerdőből származó hulladék-fa segítségével előállított gőz.

A világ tengerein közlekedő átlagos méretű *áruszállító hajók* esetében a választás lehetősége leginkább abban van, hogy egy- vagy kétszavaros megoldást lehet-e választani. A szállított áru dönti el, milyen üzemi sebességet kell elérnie a hajónak, az pedig az ellenállás-számítások alapján már utalást adhat, melyik a kedvezőbb változat. Beleszól azonban a kiválasztásba az előző pontban vizsgált szempont is, azaz milyen működési mód lesz a legkedvezőbb.

A nagyobb hajók esetében a propulziós eszközök típusának és számának kiválasztása komoly elemzési feladat. Erre sort kell keríteni már az ajánlati terv kidolgozása során, de végső döntést csak a modellkísérleti eredmények kiértékelése alapján lehet hozni. A luxus óceánjáró személyszállító hajók gyártása és karbantartása során sokkal megvalósíthatóbb megoldás a lehető legnagyobb számú, de még kezelhető méretű hajócsavar alkalmazása, ez egyrészt az főgépek teljesítményének csökkentését is lehetővé teheti, azon kívül az üzembiztonság is sokkal jobb lehet. Ha egy 50.000 tonna

víz kiszorítású hajó csak két gigantikus hajócsavarral van meghajtva, és kedvezőtlen körülmények között az egyik propulziós eszköz vagy főgép hibája azt megbénítja, az elemeknek jobban ki van szolgáltatva a hajó, mint amikor több főgép több propulziós eszközt hajt meg.

### 2.4.2.3 A szükséges teljesítmény kiszámítása

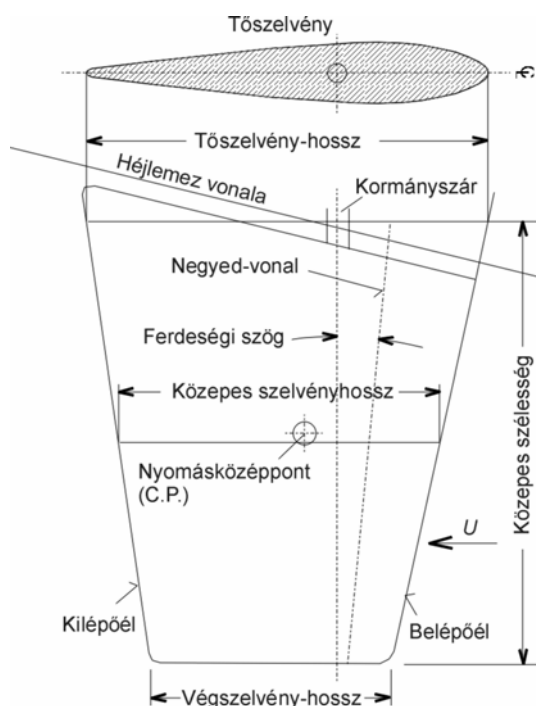
A fentiek alapján már elvégezhető az az elemzés, amelynek eredményeként az optimális összeállítású főüzemi berendezés kiválasztható.

Az elemzést érdemes táblázatosan elvégezni, ahol a feltételeket egyik oldalról a hajó méretei és alakja, a propulziós eszközök típusa, illetve a főgépek legkedvezőbb működés módja diktálja (sorok), másik oldalról a hajó feladatának teljesítése közben felmerülő természeti környezet körülményei (oszlopok) határozzák meg.

Mindegyik sor és oszlop egy megoldást jelent, ezek közül a legkedvezőbbeket kell műszaki és gazdasági oldalról tovább elemezni, és amennyiben lehetséges, a legjobbát kiválasztani.

A táblázatos elemzésnél előfordulhat, hogy az abból kapott eredmény nem fogadható el gyakorlati érvek alapján. Ilyenkor érdemes a bemenő információt finomítani, hogy a kapott eredmény valóban megvalósítható legyen.

### 2.4.3 A kormánymű tervezése



2.4.3.1.1 ábra A kormánylapát jellemzői

A hajó feladatához kétségtelenül elengedhetetlen a főüzem, biztonsága azonban talán még nagyobb mértékben függ attól, mennyire kielégítő a *kormányberendezés*, amellyel a hajó fel van szerelve.

A kormány teszi lehetővé, hogy a hajó a kívánt nyomvonalat kövesse, irányát változtatni tudja és bonyolult manővereket hajtson végre.

#### 2.4.3.1 A kormánylapát konstrukciója és a hajó kormányzása

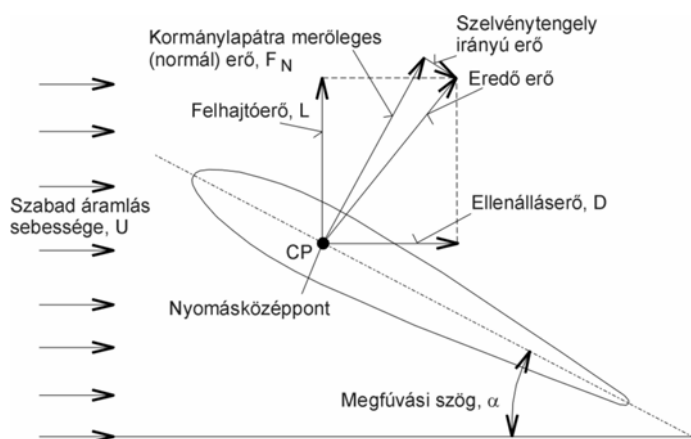
A legfontosabb és valószínűleg a legrégebbi eszköz, amellyel a hajókat irányítják, a kormányberendezés. A hajó hátsó végén

elhelyezett készüléket már történelem előtti időkben is használták. Azok a régi rajzok, amelyeken hajókat láthatunk, a hajó farán kormányként működtethető kormányvezetőket ábrázolnak.

Műszaki értelemben a *kormányservek*, mint hatékony irányítóeszközök, hatalmas fejlődésen mentek át azóta, azonban alapvető jellemzőik és használatuk terén kevés változás tapasztalható.

A kormányservek alapvető konstrukciójának változása a történelem folyamán három alkalommal következett be.

Az első ilyen változás a 13. század környékén zajlott le, amikor a hosszú és nehéz *kormányvezetőt*, amelyet a far közelében csuklósan függesztettek fel (valójában ez az eszköz annyira hatékony volt, hogy a hajósok majdnem ötezer évig szinte semmit sem változtattak rajta) a hajó hossz-szimmetriájában a fartőkére sarokpánttal felerősített lemezszerű berendezés váltotta fel. A *kormánytengelyt* a hajótesten nem vezették át a vízvonal alatt egészen a vasból épült hajók korszakáig, ami a 19. század második felében köszöntött be, és csak a legújabb időkben különült el a kormánylapát a fartőke hátsó felétől, és vált valódi különálló *vezérfelületté*. Ez alól a történelmi tendencia alól csak néhány kivétel volt. Jelenlegi alakját a *kormánylapát* csak az utóbbi évtizedekben nyerte el.



2.4.3.1.1.2 ábra Erők a kormánylapáton

Ebben a jól illeszthető formájában a kormánylapát nemcsak a nagyobb, hanem a kisebb hajókon is tulajdonképpen a konzolos far alá kinyúló uszony- vagy lapát-alakú tárgy a vízvonal alatt, általában annyira hátul elhelyezve, amennyire csak

lehetőséges. A kormánylapátot a *kormányoszár* tartja, amely tömör függőleges tengely, és amely a hajótest héjlemezén *tömítő-szelence* segítségével halad át, a függőleges és vízszintes erők felvételére *csapágycsoporthoz* szolgálnak. Előtte gyakran helyeznek el *áramvonalas* kialakítású *fix vezetőfelületet*, amely a hajó szerkezetéhez van erősítve, annak részét képezi. Különálló áramvonalas *kormányoszlop* esetén ezt *kormányoszárvnak* nevezik. A fix szerkezet esetleg része lehet az *uszonynak* is (deadwood), amely a hajó hossz-szimmetriájában az alapvonal és a hajótest között kialakított vékony függőleges szerkezet, és amelybe a hajótest vízvonalai futnak be. Mindkét esetben kettős célja van: egyrészt segít a kormánylapát súlyának és a kormányon ébredő erőnek a felvételében, másrészt a kormánylapát hidrodinamikai hatásfokát jelentősen javítja. A 2.4.3.1.1.1 ábrán egy szár vagy uszony nélküli teljesen egészében forgatható kormánylapát látható.

#### 2.4.3.1.1 A kormánylapát jellemző paraméterei

Amikor a hajóknál alkalmazott kormánylapátok és *hordszárnyak* (*profilok*) leírására

alkalmas hidrodinamikai mennyiségeket tárgyaljuk, ugyanazokat az elnevezéseket és meghatározásokat használjuk, mint az aerodinamikában a felhajtóerő létrehozására szolgáló felületeknél (repülőgép-szárnyaknál és vezérfelületeknél).

1. *A közepes szélesség (b)* a vezérfelület be- és kilépő-élének közepes hossza a 2.4.3.1.1.1 ábra szerint.
2. *A közepes profilhossz (c)* a vezérfelület profiljainak be- és kilépő-éle közötti átlagos távolság (ld. 2.4.3.1.1.1 ábra).
3. *A kormánylapát felülete ( $A_P$ )* a vezérfelület vetített felülete, amely a közepes szélesség és közepes profilhossz szorzata.
4. *A szélesség-hosszúsági arány (AR)* a közepes szélesség és a közepes profilhossz hányadosa,  $b/c$ , illetve a közepes szélesség négyzete osztva a vetített felülettel  $b^2/A_P$ .
5. *A kúposági arány* a lapát alsó és felső profilhosszának hányadosa.
6. *A ferdeségi szög* a negyed-vonal (a profilok belépő-éltől mért egynegyed hosszát összekötő egyenes) hajlásszöge a hajó középvonalára (gerincvonalára) merőleges egyeneshez mérve.
7. *A közepes vastagság (t)* a vezérfelület tövénél és csúcsánál mért maximális profilvastagságok átlaga.
8. *A karcsúsági arány* a közepes vastagság és a közepes profilhossz hányadosa.
9. *A megfúvási szög ( $\alpha$ )* a közepes hosszúságú profil középvonalának a *szabad áramlási iránnyal (U)* bezárt szöge a 2.4.3.1.1.2 ábra szerint.
10. *Felhajtóerő (L)* a vezérfelületen keletkező erőnek az az összetevője, amely merőleges a szabad áramlási irányra. Ennek számítási módja
$$L = C_L(1/2)(\rho v^2 A_P)$$
11. *Ellenállás (D)* a vezérfelületen keletkező erőnek az az összetevője, amely párhuzamos a szabad áramlási iránnyal. Ennek számítási módja
$$D = C_D(1/2)(\rho v^2 A_P)$$
12. *Normálerő (F)* a vezérfelületen keletkező erőnek az az összetevője, amely merőleges a hajó hossz tengelyére.
13. *A nyomásközéppont (C.P.)* a vezérfelületnek az a pontja, amelyben az eredő erő hat (amennyiben koncentrálnak tételezzük fel). Végtelenül hosszú vékony szimmetrikus profilok esetén a *negyed-vonalra* esik, de a valóságos profiloknál a megfúvási szöggel változik.
14. *A domborúság* egy profilnál a maximális távolságot jelenti a profil középvonala és a profil vastagságainak felezővonala között. (A domború profilú vezérfelület zéró megfúvási szögnél is képes felhajtóerőt létrehozni, mivel aszimmetrikus az áramláshoz képest.) Mivel a kormánylapátoknak azonos hatékonysággal kell működniük mind balra, mind jobbra kifordított állapotukban, szimmetrikus profillal rendelkeznek, domborúságuk zéró.
15. *A kormány-nyomaték ( $Q_R$ )* az a nyomaték, amelyet a kormányszárra vagy a kormánylapátot működtető mechanizmusra kell gyakorolni a kormánylapátra ható hidrodinamikusan erők kiegyenlítésére.

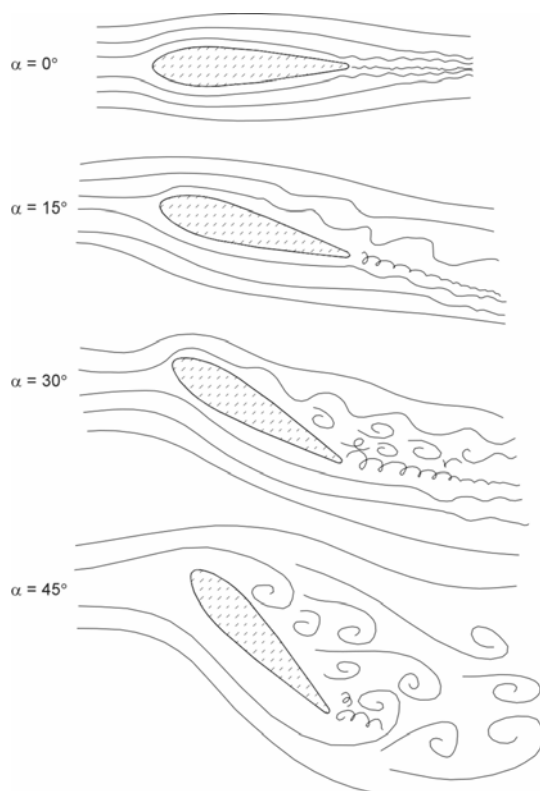
#### **2.4.3.1.2 A kormánylapát felülete és alakja**

Nincs semmilyen határozott szabály arra nézve, mekkora kormánylapátot kell alkalmazni, mivel a különböző típusú hajóknál eltérő manőverező képesség a követelmény. A gyakorlatban a kormánylapát felületét a hajó vízbemerült részének a hossz-szimmetriasíkra vett vetületéhez viszonyítják (a hossz és a merülés szorzata), de kiválasztásánál gyakran egy másik hasonló hajó kormánylapát felületére támaszkodnak, amely rendelkezik a kívánt manőverező képességgel. Kisebb hadihajók esetében ez a viszonyszám általában 2,5%, áruszállító hajóknál elegendő 1,7%.

Az osztályozó intézetek előírásai természetesen tartalmaznak ajánlásokat a kormánylapát felületéhez. Például a norvég intézet, a Det norske Veritas előírásainak 1972-es kiadásában a következő képletet adta meg olyan *kormánylapát minimális felületére*, amely közvetlenül a hajócsavar mögött van elhelyezve:

$$A_P = (LT/100)(1+25(B/L)^2)$$

ahol  $L$ ,  $B$ , és  $T$  a hajó hosszát, szélességét és merülését jelenti.



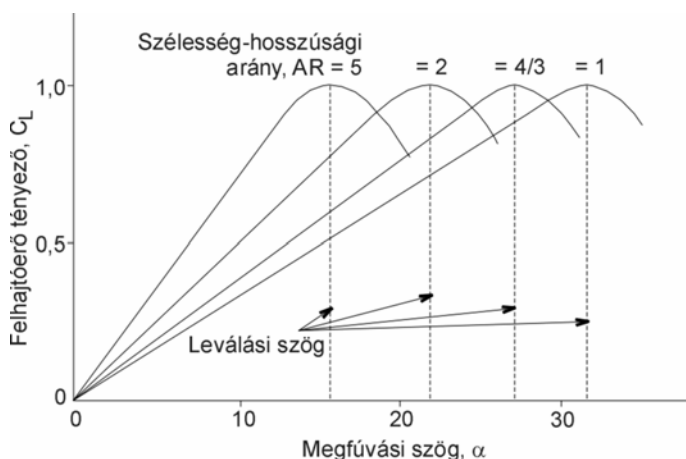
2.4.3.1.2.1 ábra Leválás

A kormánylapátok felületét modellkísérletek alapján is meg lehet határozni (ld. később). Vezérfelületek esetében a legfontosabb alakí paraméter a *szélesség-hosszúsági hányados* a kormánylapát mozgatható részének közepes szélessége (valójában magassága) és közepes hossza között. A nagyon nagy hányadosú vezérfelületek körül kialakuló áramlás majdnem kétdimenziósnak tekinthető (párhuzamos síkokban azonos) a felület legnagyobb részén. A nagy szélesség-hosszúsági arányú vezérfelületeknél a hátoldal és a toló-oldal közötti nyomáskülönbség miatt keletkező *szárnyvég-örvénylés* hatásai (hasonlóan a hajócsavarok szárnyvégénél kialakuló kavitációs jelenséghez) kizárólag a vezérlőfelület külső részére korlátozódnak, a kisebb hányadosú vezérlőfelületeknek

azonban nagyobb részét befolyásolják. A határterületen kialakuló örvény hatására a megfűvási szög látszólag csökken, ugyanakkor *indukált ellenállás* keletkezik a profilokon, amelyet a felhajtóerő okoz. Ez csökkenti a felhajtóerő és az ellenállás arányát az adott megfűvási szögnél, tehát a legjobb felhajtóerő-ellenállás viszonyszámok a nagy szélesség-hossz arányú vezérfelületeknél érhető el. (Ez az oka, hogy a siklórepülő a madarak szárnyához hasonlóan nagy szélesség-hossz hányadossal

rendelkeznek.)

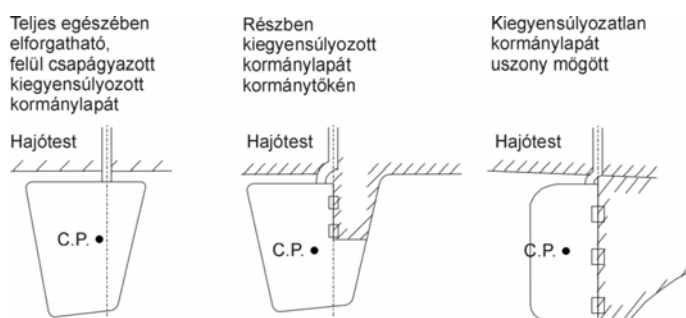
A dolognak van egy másik oldala is. Bár a nagy szélesség-hossz arányú vezérfelületek adott megfúvási szögnél (*kormánykitérítésnél*) jobb felhajtóerő-ellenállás arányt mutatnak fel, ugyanakkor a hátoldalon az *áramlás leválása* nagyobb mértékben jelentkezik náluk kisebb kitérítési szögeknél, mint a kisebb hányadosú vezérfelületeknél. Amikor a vezérfelület leválást mutat („buborékol”), a felhajtóerő hirtelen csökken, az ellenállás pedig megnő, ami csökkenti a kormánylapát hatékonyságát (ld. 2.4.3.1.2.1 és 2.4.3.1.2.2 ábra). A legtöbb hajónál a kormánylapátot  $35^\circ$ -ban ki lehet téríteni bal- és jobboldalra egyaránt, a szélesség-hossz arányuk pedig kisebb, mint 2. A hányados csak egyes vitorlás jachtoknál nagyobb ennél, mert ott a tökesúly miatt a kormány sérülése zátonyra futásnál kevésbé valószínű, azonban a hajók többségénél ez a veszély arra ösztönzi a hajótervezőt, hogy csökkentse a hányadost, hogy a kormánylapát védve legyen.



2.4.3.1.2.2 ábra A szélesség-hossz arány hatása a leválásra

A hatásos szélesség-hossz arány úgy is növelhető, ha a kormánylapátot minél közelebb helyezjük el a hajótesthez. Azoknál a hajóknál, amelyek főbordáján a fenék ferdesége kisebb, ha ez a hézag a héj és a kormánylapát között eléggé kicsi, az erős szárnyvég-örvény kialakulás kevésbé valószínű

(hasonlóan, mint a gyűrűs hajócsavaroknál). Ez tehát



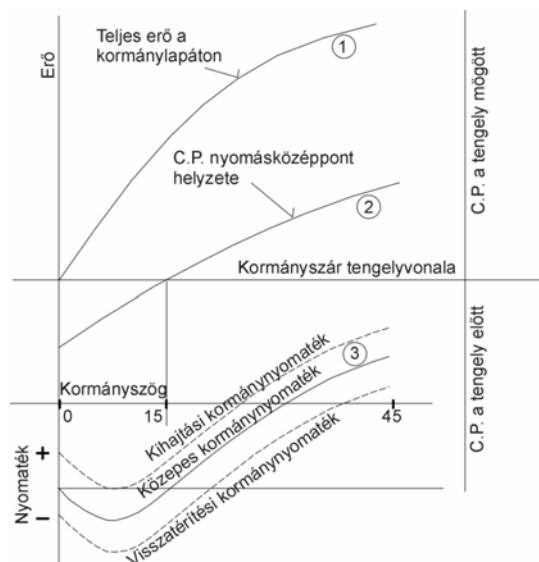
2.4.3.1.2.3 ábra Kormánylapát megoldások

növeli a látszólagos megfúvási szöget a kormánylapát-tőnél, és a felhajtóerő-ellenállás hányados jobb lesz, mintha nagyobb szélesség-hossz arányú lenne a vezérfelület. Viszont, amint

említettük, nő a leválás lehetősége kisebb kitérítési szögeknél. A kormánylapát műszakilag két részre osztható: a lapos részre vagy lapátra, amelyen a víznyomás erőket hoz létre, valamint a tengelyre vagy szárra, amely a mozgást közvetíti a kormánygéptől a lapához.

A kormánylapátok három típusra oszthatók, kiegyensúlyozatlanokra, félig kiegyensúlyozottakra és kiegyensúlyozottakra, amint a 2.4.3.1.2.3 ábra mutatja. A

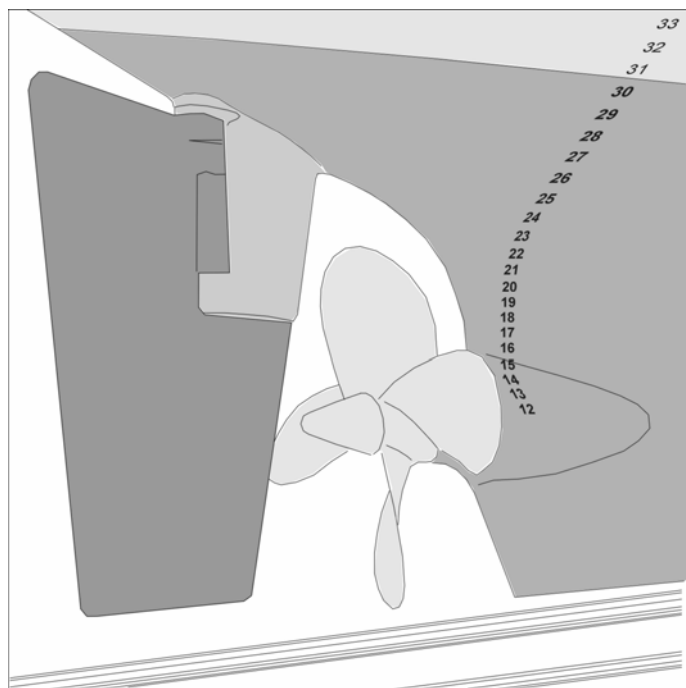
*kiegyensúlyozatlan kormánylapát* teljes felülete a szár mögé esik. A *kiegyensúlyozott lapátnál* a nyomásközpont a kormány szár tengelyvonalára esik, tehát a lapátnak a tengely előtti és mögötti részén keletkező erők ki vannak egyensúlyozva. A *félleg kiegyensúlyozott kormánylapátnál* a szár tengelyvonala előtti rész nem teljes magasságú, ezért az ilyen kormánylapát felső részét kiegyensúlyozatlanként kell kezelni, az alsót viszont kiegyensúlyozottként.



2.4.3.1.2.4 ábra Erőviszonyok a kormánylapát kitérésének függvényében

A kormánytengely előtt elhelyezkedő felületrész csökkenti a kitéréshez szükséges nyomatékokat. A nyomásközpont a kormánylapát kitéritési szögének növelésével a kilépő-él felé vándorol, így nincs lehetőség arra, hogy minden kormánykitéritési szögnél egybeessen a kormánytengely a nyomásközponttal. A kiegyensúlyozott kormánylapátok tervezésénél arra törekszenek, hogy 15°-os kitéritésnél legyenek kiegyensúlyozottak (azaz essen egybe a nyomásközpont a

kormány szár tengelyvonalával).



2.4.3.1.2.5 ábra Egycsavaros hajó kormányának elrendezése

A 2.4.3.1.2.4 ábra azt illusztrálja, hogyan alakul egy kiegyensúlyozott kormánylapátnál az erő, a nyomásközpont helye és a nyomaték. Látható, hogy a nyomásközpont helye a kormánylapát kitéritési szögének függvénye, és annak növelésével hátrafelé vándorol, a kormánylapát tengelyével esik egybe kb. 15°-os kitéritési szögnél. A 3-as görbe azt mutatja, hogy a kormánylapátra ható erő és annak a távolságnak a szorzata, amely a

nyomásközpont és a kormánytengely között van, adja ki a kormánylapát kitéritéséhez

szükséges nyomatókat. A 3-as görbe tulajdonképpen a kormánylapáton mérhető nyomatókat mutatja, és nem a kormánygéptől elvárt nyomatókat. A súrlódás miatt ugyanis a kormánygépet terhelő nyomatók nemcsak a kormánylapátot terhelő erőből adódik ki, hanem a kormánylapát mozgatásához szükséges erő is hozzáadódik illetve levonódik (kitérésnél illetve visszatérésnél). A valóságos nyomatók tehát a 3-as görbe alatt és felett húzódó görbe szerint alakul.

Amennyiben mindkét oldalán lemezelte áramvonalas kormánylapát van beépítve, azon nagyobb kormányerő ébred és kisebb az ellenállása, mint egy sima lemez kormánylapát esetében. A *kormánytőke* és a kormánylapát kellő körültekintéssel való megtervezése egyértelműen csökkenti az ellenállást (ld. 2.4.3.1.2.5 ábra). A korszerű gyors hajók két egyforma kormánylapáttal vannak felszerelve, ezeknél nem állnak fenn olyan korlátok a hely szempontjából, mint egyetlen kormánylapátnál, és így lehetővé válik az is, hogy a két lapát a két hajócsavar sodrában legyen elhelyezve. Egyetlen kormánylapát akkor hatékony, ha egycsavaros hajóról van szó.

#### ***A kormánylapát körül kialakuló áramlás***

A kormánylapáton megfigyelhető áramlás jelenségét és az ébredő erőket ugyanaz az elmélet írja le, mint az alapvető aerodinamikai jelenségeket. Vannak azonban szembeötlő különbségek és olyan szempontok, amelyek együtt összetettebb és változékonyabb szituációt teremtenek a hajó működésben levő kormánylapátja esetében. A kormánylapát bonyolult környezetben működik – a hajófar közelében, a hajócsavarok mögött és részlegesen vagy teljesen azok sodrában, emellett gyakran a leválási zónában, ahol igen erős leváló örvények keletkeznek, és ahol a hajó mozgása és a környező víz állapota rezgéseket és lengéseket hoz létre. Alapvetően három hidrodinamikai jelenség figyelhető meg a kormánylapáton, ez még akkor is így van, ha nyíltvízi kísérletet végzünk vele, a hajótesttől függetlenül: *hidrodinamikai leválás*, *kavitáció* és *levegősődés*. Ezek a jelenségek felléphetnek külön-külön vagy együtt. Ezek mindegyike gátolja, vagy esetenként megszünteti a kormány hatékonyságát.

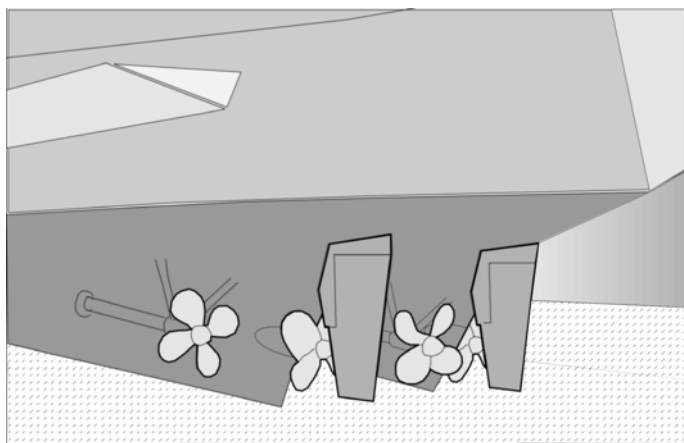
Az aero- és hidrodinamikai felületeken jelentkező leválás az a jelenség, amikor a felületen végighaladó folyadékáramlással ébredő felhajtóerőben hirtelen csökkenés áll be, a kormánylapátnál ezt az okozza, hogy a kitérés növelése során a megfúvási szög eléri a kritikus szöget, ahol leválás történik, tehát az áramlás normális nyomásviszonyai megszűnnek létezni.

A kavitáció és levegősődés a kormánylapát kilépő-éle közelében végbemenő nyomáscsökkenés függvénye. A levegősődés akkor szokott jelentkezni, amikor a kormánylapát túl közel van a vízfelszínhez vagy konstrukciós okokból, vagy a hullámozás miatt, és a kormánylapát alacsony-nyomású része levegőt szív be. A kavitáció jelensége legismertebb a hajócsavarok és hordszárnyak bizonyos üzemi viszonyai között, amely lényegében a nyomás olyan mértékű csökkenése miatt következik be, amely alacsonyabb a telített vízgőz nyomásánál. Ennek a hatásai között nem csupán a felhajtóerő megszűnése és ezzel a kormányhatás elégtelensége szerepel, hanem azokon a pontokon, ahol előfordul, a fémfelület eróziója is bekövetkezik. Rendkívül nehéz ezeket a hidrodinamikai jelenségeket elméleti úton előre jelezni, ahol a



kormánylapát valójában a hajó mögötti valóságos környezetben működik. A modellkísérletek méretarányait is nehéz meghatározni az egyes mennyiségekre azért, mert a fent leírt jelenségekre eltérő hasonlósági törvények érvényesek, azon kívül a fordulásban levő hajó áramlási viszonyai is befolyásolják őket. A modellkísérletek jók arra, hogy mennyiségileg megállapítsuk velük a kormány hatékonyságát, a nyíltvízi kormánykísérletek nagy Reynolds-számoknál szintén megbízhatóak, különösen, ha már ismerjük a hajó természetes méreteinél kialakuló áramlási viszonyokat.

#### 2.4.3.1.3 A kormányzást befolyásoló tényezők



2.4.3.1.3.1 ábra Iker-uszony egy repülőgép anyahajón

A hajótestnek az a része, amely az alapvonal (gerinc) közelében van, és a hajócsavar síkja előtt helyezkedik el, emlékeztet egy függőleges uszony alakjára (V-alakú bordametszetek).

Ez a felület nem véletlenül kapta az uszony nevet (deadwood), bár hajónként eltérő a konkrét

formája. Egyes hajóknál, amilyenek például az óceánjáró egycsavaros hajók, jellegzetes és hosszan előrenyúló lehet, más hajóknál pedig alig észrevehető. Az uszony fő célja, hogy kellő fokú iránystabilitást biztosítson. A forduláskor legyőzendő ellenállást nagyon meg tudja növelni a nagy uszonyfelület, a túlzottan kis uszonnal épített hajók viszont hajlamosak a kigyózásra hullámos vízen. Az olyan hajóknál, ahol kritikus fontossága van az iránystabilitásnak (pl. repülőgép anyahajók), az is előfordul, hogy két párhuzamos uszonyt kell kialakítani (ld. 2.4.3.1.3.1 ábra).

Azoknál a hajóknál azonban, amilyenek a vontatók, ahol igen fontos a jó manőverező képesség, az uszony szinte teljesen el is hagyható.

A bukdácsolás és kigyózás ellen nagy inerciával rendelkező hajók kevésbé érzékenyek a hullámokra, közepes hullámokban is jól kormányozhatóak.

A kormánylapát hatékonysága és a kormány működésbe hozásának időtartama fontos tényezői a kormányzási jellemzőknek. A kormányt kezelő tengerésznek ahhoz, hogy elkerülhesse a zavaró erőhatásoktól származó nagy tehetetlenséget, előre kell látnia és meg kell akadályoznia a hajó tendenciáját a kigyózásra.

Hátszélben, amikor a hullámok megelőzik a hajót, a legtöbb hajó nehezebben kormányozható, mivel a hajónak a hullámokhoz képesti relatív sebessége lecsökken, és így a hullámerő keresztirányú összetevője hosszabb időt kap arra, hogy a hajófarra kifejtsa hatását. Ugyanakkor a vízrézecskeknek a hullámban követett körpályája miatt a lapáton ébredő kormányerő a legmagasabb és legalacsonyabb értékek között ingadozik, sőt, egyetlen hullámcikluson belül akár pozitív értékűről negatívra képes átváltozni. Ez a jelenség akkor a legszembeötlőbb, amikor a hajó azonos irányban

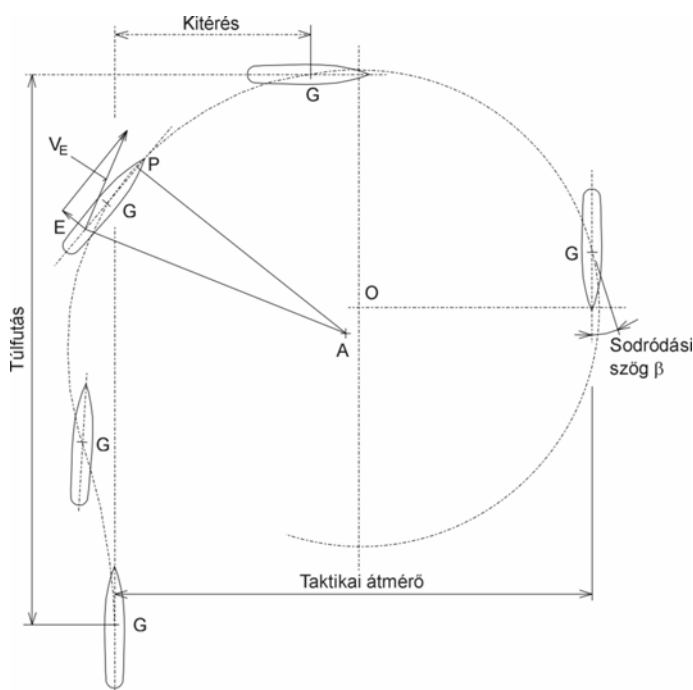
halad, mint a hullámrendszer, így a hullámrendszer sebessége csak alig nagyobb, mint a hajóé.

A hajót szögben érő szél általában eltéríti a hajót a kívánt nyomvonalról. A magas orrfelépítménnyel rendelkező hajókat nehéz szélbe kormányozni.

A kormányzást a vízmélység is befolyásolja, illetve a keskeny hajózócsatorna, a hajócsavarok száma, valamint a kormány relatív helyzete a hajócsavarokhoz képest. A túlzottan nagy hajócsavarok, amelyek legalsó pontja a gerinc alá nyúlik, nagy ellenállást jelentenek a kormányzással szemben.

### Fordulás

Amikor a hajó sima vízen egyenes irányban halad, a kormánylapát körül kialakuló áramlás általában szimmetrikus a hossz-szimmetriásíkra, mivel nincs a víz és a hajó között keresztirányú erő. Amikor a kormányt kitérítik középső helyzetéből, a szimmetria megbomlik, és a kormánylapát nyomásközpontjában ható erő ébred. Ennek hatására a hajó súlypontja egy bizonyos pályán elmozdul (ld. 2.4.3.1.3.2 ábra), illetve a hajó megdől. A súlypont áthelyeződése kezdetben egy *spirális görbén* történik, amely később *kör-alakú pályába* megy át, amikor a hajó már kb. 90°-os fordulatot megtett.



2.4.3.1.3.2 ábra A hajó fordulása

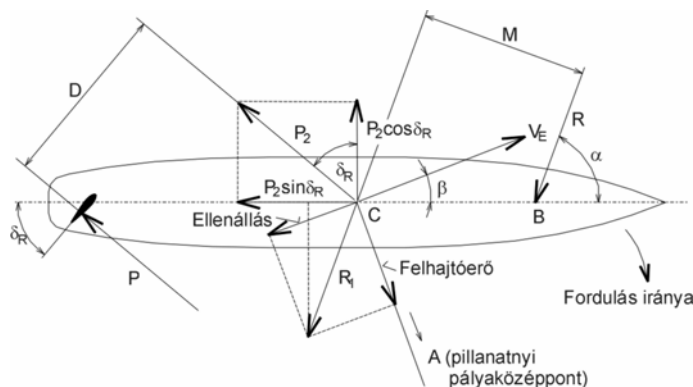
Azt a távolságot, amelyet a súlypont az eredeti haladási iránnyal párhuzamosan megtesz a kormány kitérésének pillanatától addig, hogy a hajó irányváltozása eléri a 90°-ot, *túlfutásnak* (*advance*) nevezzük, azt pedig, amelyet ezalatt arra merőlegesen megtesz, *kitérésnek* (*transfer*). Az a távolság, amelyet a súlypont az eredeti irányra merőlegesen tesz meg addig, amikor a hajó 180°-ot fordult, a *taktikai átmérő* (*tactical diameter*).

Miközben a hajó fordul, a hajóorr befelé esik a súlypont

pályájának érintőjétől, a hajófar pedig attól kifelé. A szögeltérés a pálya érintője és a hajó középvonala között a *sodródási szög* (*drift angle*,  $\beta$ ).

Amikor a hajó felveszi a sodródási szöget, van egy pont a hajó középvonalán az orr és a súlypont között, ahol az eredő sebesség (fordulás és kitérés együtt) pontosan a középvonal irányába mutat (azaz nincs a hajó középvonalára merőleges összetevője). A fedélzeten levő megfigyelő számára ez a mozgás úgy tűnik, hogy a hajó ekörül a pont körül fordul, amelyet emiatt *sarokpont* (*pivot point*) néven ismerünk. A sarokpont helye

általában az orr és a súlypont közötti távolság egyharmad-egyhatod részénél van az orrtól mérve. A kormány kitérési szöge ( $\delta_R$ ) a hajó hossz tengelye és a kormánylapát között értendő.



2.4.3.1.4.1 ábra A kormányzás következtében a hajóra ható erők

A 2.4.3.1.3.2 ábrán az A pont a fordulási pálya pillanatnyi középpontja akkor, amikor a hajót éppen mozgásában vizsgáljuk. A  $V_E$  pillanatnyi sebesség az E pontban merőleges az AE sugárra. Nyilvánvalónak kell lennie, hogy a G pont

pillanatnyi sebessége, mivel merőleges az AG sugárra (nem szerepel az ábrán), érintőleges lesz a fordulási pályára. Az is magától értetődik, hogy a P pont pillanatnyi sebessége a hajó középvonalával azonos irányú, amennyiben az AP sugár merőleges a középvonalra. A P pont a sarokpont. Amikor a hajó beáll a kör-alakú pályára, a pillanatnyi pályaközéppont a 0 pontban állandósul.

#### 2.4.3.1.4 A hajóra kormányzás közben ható erők

Amikor a kormánylapátot  $\delta_R$  szöggel kitérítik, a lapáton a nyomásközéppontban ható kormányerő ébred. Ezt az erőt felbonthatjuk két összetevőre, ezek közül egyik a kormánylapát felületére merőleges, a másik azzal párhuzamos. A kormánylapát felületével párhuzamos erő nincs hatással a fordulásra, ezért elhanyagolhatjuk.

A 2.4.3.1.4.1 ábra alapján a P kormányerő a kormánylapátra merőlegesen hat. Ezt az erőt helyettesíthetjük egy azzal azonos és vele párhuzamos  $P_2$  erővel és a C pontban ható PD erőpárral. A C pont abban a vízszintes síkban fekszik, amely átmeny a kormánylapát nyomásközéppontján, és kissé lejjebb van, mint a hajó súlypontja. A  $P_2$  erőt tovább bonthatjuk a hajó középvonalára merőleges  $P_2 \cos \delta_R$  és az azzal párhuzamos  $P_2 \sin \delta_R$  erőkre.

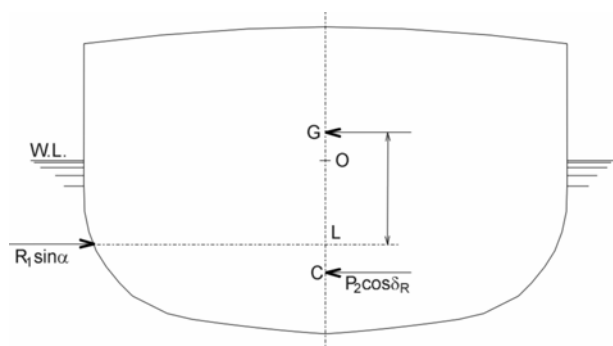
1. *Kezdeti fázis.* A fordulás kezdeti fázisa akkor indul, amikor a kormányt kitérítik. A  $P_2 \cos \delta_R$  erő hatására a hajó elkezd kifelé sodródva gyorsulni a fordulás középpontjával ellentétes irányban (balra a 2.4.3.1.3.2 ábrán). A  $P_2 \sin \delta_R$  erő a hajó haladásával ellentétes, és a hajó sebessége csökken. Ugyanakkor a PD erőpár hatására a hajó forgásba kezd a C ponton átmenő függőleges tengely körül. Ez a forgás a kívánt fordulással azonos értelmű, amint a 2.4.3.1.4.1 ábra mutatja. A kezdeti fázis akkor ér véget, amikor a kormány legyőzi a hajó forgási tehetetlenségi nyomatékát, és a hajó akkora szöggel fordult el, amely lehetővé teszi, hogy hidrodinamikai erők ébredjenek.
2. *Második fázis.* A hajó fordulása közben a  $V_E$  pillanatnyi sebesség iránya is változik,

együtt fordul a hajóval, de  $\beta$  megfúvási szöggel eltér a hajó középvonalától. A  $P_2$  erő és a  $PD$  erőpár továbbra is hat, azonban a hajótest körüli nyomáseloszlás változáson megy át. A hajó  $\beta$  megfúvási szöggel történő mozgása nyomásemelkedést teremt a hajó külső oldalán (az  $O$  fordulási középponttal ellentétes oldalon), ezzel az  $R$  erőt hozza létre, amely a  $B$  pontban hat, és  $\alpha$  szöget zár be a hajó középvonalával. Ezt az erőt helyettesíthetjük a vele azonos és párhuzamos  $R_I$  erővel és az  $RM$  erőpárral a  $C$  pontban. Az  $R_I$  erőt viszont felbonthatjuk felhajtóerőre és ellenállásra, amelyek közül az első merőleges a pillanatnyi sebesség irányára, a másik pedig párhuzamos azzal. Nem nehéz belátni, hogy a felhajtóerőt és az ellenállást abban az értelemben használjuk, ahogy a profilok esetében a hajócsavaroknál és a kormánylapátoknál, mert a hajótest is áramvonalas profil, amint a folyékony közegen keresztül mozog adott megfúvási szöggel.

A második fázis során az  $RM$  erőpár ugyanabban az értelemben hat, mint a  $PD$  erőpár, tehát segíti azt, így a fordulómozgás gyorsul (amennyiben a  $B$  a  $C$  előtt van, ami általában igaz). Amint ez megtörténik, nő a hajó megfúvási szöge, a  $B$  pont hátrafelé tolódik el, az  $RM$  erőpár fordító tendenciája csökken. Ennek köszönhető az S-alakú nyomvonal, amelyet a hajó befut az első  $90^\circ$  során. Ebben a fázisban a hajót befolyásolja az  $R_I$  erő felhajtóerő és ellenállás összetevője is. Az ellenállás tovább lassítja a hajót, és a hajóra gyorsulás hat a fordulás pillanatnyi központja irányában. Tehát a hajó, amely a kezdeti fázis során kifelé végzett gyorsuló mozgást a  $P_2 \cos \delta_R$  hatására, elkezd gyorsulva befelé mozogni, amint a felhajtóerő nagyobb lesz, mint a  $P_2 \cos \delta_R$  erő. Látható tehát, hogy a második fázis átmenet a kezdeti fázis és az állandó fordulás fázisa között.

3. *Állandó fordulás fázisa.* Amint a  $B$  hátrafelé tolódik el, és a súlypont mögé kerül, a  $PD$  kormány erőpár és az  $RM$  felhajtóerőpár között egyensúly jön létre. Ezután a hajó beáll a fordulási pálya kör-alakú szakaszára. A  $P_2$  és az  $R_I$  erő tartósan állandó értékű marad. A hajó továbbra is lassul, és gyorsulás hat rá a fordulókör középpontja felé. Az állandó fordulási körülmények között ez a centripetális gyorsulás állandó értékű, a hajó pedig tartja az állandó sugarú fordulókört.

Az eddigiekben a hajóra vízszintes síkban ható erőket vizsgáltuk. A dőlést okozó erők vizsgálatához, amelyek a hajó fordulása közben ébrednek, felhajtóerő és ellenállás



2.4.3.1.4.2 ábra A kormányzás miatt kialakuló megdőlés

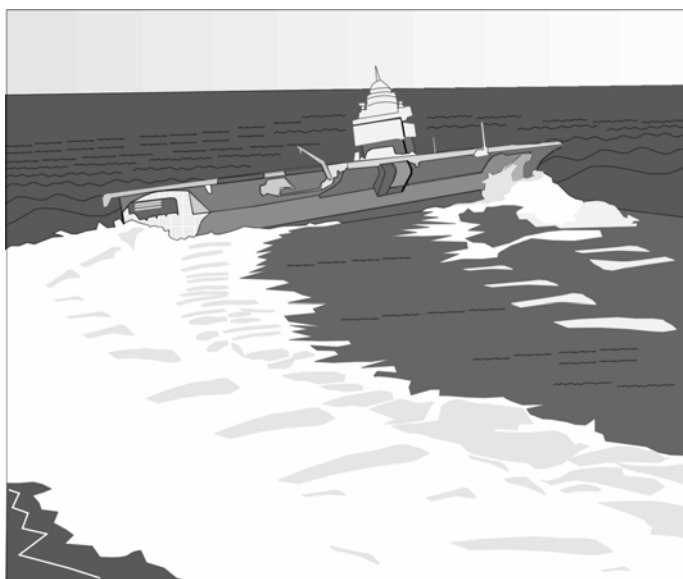
helyett az  $R_I$  összetevővel kell foglalkozni. Ez az erő  $R_I \sin \alpha$ , a hajó tengelyére merőleges összetevő. A 2.4.3.1.4.2 ábrán az  $R_I \sin \alpha$  feltételezésünk szerint az  $L$  pontban hat, amely a vízbemerült rész hossz-

szimmetriasíkban levő metszetének mértani középpontja, és befelé irányuló erőt hoz létre, amely ellentétes a  $P_2 \cos \delta_R$  által okozott kifelé sodródással. Ezek az erők függőlegesen nem esnek egybe, ezért megdölést eredményeznek.

A dőlés vizsgálatát ugyanabban a három fázisban végezzük, mint a vízszintes síkban ható erőket.

1. *Kezdeti fázis.* Azalatt a rövid időtartam alatt, amely közvetlenül a kormánykitérés után következik, a kormányerő  $P_2 \cos \delta_R$  keresztirányú összetevője, amely a kormánylapát nyomásközéppontjában hat, befelé irányuló kitérítő nyomatékot hoz létre, amelynek karjáról tételezzük fel, hogy az  $OC$ . (Ez a legtöbb hajónál nincs messze az igazságtól, mert a kis mértékű döléseknél a dőlés tengelye nagyon közel van a vízvonalhoz és nem esik messze a súlyponttól.) Ebben a fázisban a kormányerő nyomatéka, amely valójában kitérítő nyomatékként jelenik meg  $OCP_2 \cos \delta_R$  értékű.
2. *Második fázis.* A hajótestre ható erő  $R_1 \sin \alpha$  összetevője fokozatosan egyre nagyobb lesz, amíg csak meg nem haladja a  $P_2 \cos \delta_R$  értékét. Miközben növekszik, az  $OCP_2 \cos \delta_R$  nyomatékkal ellenkező értelmű kitérítő nyomaték jön létre, tehát a két ellentétes kitérítő nyomaték eredője

$$M_l = P_2 \cos \delta_R OC - R_1 \sin \alpha OL$$



2.4.3.1.4.3 ábra Nagy sebességű fordulás

Ez végül is befelé irányuló dölést okoz, mert a fordulás kezdetén az  $R_1 \sin \alpha$  zéró nagyságú. Amint azonban az  $R_1 \sin \alpha$  értéke nő, a befelé irányuló megdőlés csökken, helyette a hajó kifelé dől meg (ezt főleg a nagyobb szabadoldallal rendelkező hajóknál lehet megfigyelni, mint a gyors hadihajók).

3. *Állandó fordulás fázisa.* Ezt a fázist úgy lehet a legjobban elemezni, ha a *centrifugális*

*erőre* fordítjuk a figyelmünket, amelyet a hajó befelé ható (*centripetális*) gyorsulása okoz. Amikor a hajó az állandó fordulási pályára (körpálya) állt be, tömegének centrifugális ereje a hajó  $G$  súlypontjában hat. Ennek nagysága

$$\Delta v^2 / gr \text{ (tonnában)}$$

Az állandó fordulókört járó hajó azt jelzi, hogy egyensúly állt be a  $G$  és  $C$  pontban kifelé ható erők és az  $L$  pontban befelé ható ellenálláserő között. A 2.4.3.1.4.2 ábra

szerint a centrifugális erő az  $L$  pont körül az óra járásával ellentétesen hat, a  $P_2 \cos \delta_R$  keresztirányú összetevője viszont továbbra is az óra járásával megegyezően. Tehát ha a nyomatékokat az  $L$  pontra számítjuk ki, az eredő kitérítő nyomaték

$$M = (\Delta v^2 / gr) GL - P_2 \cos \delta_R CL$$

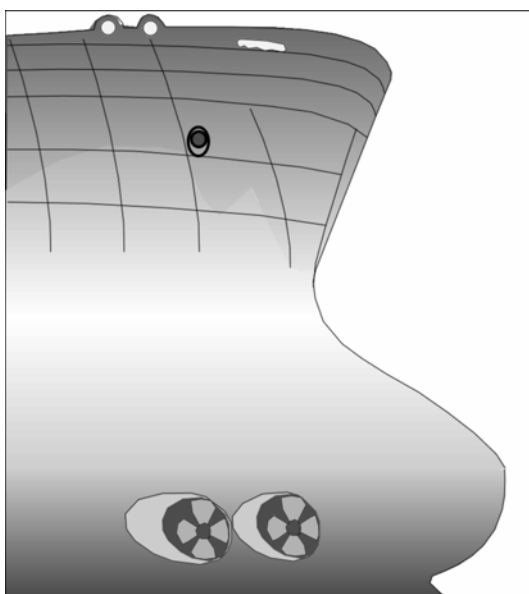
A legnagyobb mértékű megdőlés közvetlenül azután következik be, amikor a befelé irányuló dőlés átmegy kifelé irányulóba, mert a hajó tehetetlensége miatt túl fog lendülni az egyensúlyi állapoton (ld. 2.4.3.1.4.3 ábra). Ha nagysebességű forduláskor a kormányt ilyenkor visszatérítik, a befelé ható kitérítő nyomaték megszűnik, és a kifelé irányuló megdőlés veszélyesen nagy értéket vehet fel. Erre érdemes odafigyelni, mivel előfordulhat, hogy a kormányt kezelő tengerész a megdőlést észlelve arra hajlik, hogy visszatérítse a kormányt, pedig az egyetlen ésszerű intézkedés az lehetne, hogy csökkentse a sebességet.

A megdőlés egyensúlyi helyzetében a három kitérítő nyomaték algebrai összege egyezik meg a hajó visszatérítő nyomatékával. Amint már láttuk, a megdőlés szöge függ a  $C$ ,  $L$  és  $G$  pont relatív helyzetétől, valamint a kormány kitérítési szögétől, a sebességtől és a metacentrikus magasságtól.

#### **2.4.3.2 A hajó irányítása kis sebességnél**

A vezérfelületek tervezésénél, amilyenek pl. a kormánylapátok és a stabilizáló uszonyok, a hidrodinamikai áramvonalas profilokat alkalmazzák. Ezeken akkor ébred hatékony erő, ha felületükön van relatív vízsebesség. Az irányítás képességére azonban akkor is szükség van, amikor a hajó szűk helyeken kénytelen manőverezni a kikötőben kis sebességgel, vagy egyáltalán nincs semmi hely a mozgásra. A hajók méretének állandó növekedése azokat esetenekké tette a nagy tehetetlenség miatt, ezért azok szűk helyen való irányítása számos kis méretű, de nagy teljesítményű kikötői vontató igénybevételét követelte meg. Ez a módszer nemcsak kevésbé hatékony, mint a hajó saját beépített berendezéseinek használata, de nem is annyira megbízható, amennyiben a saját rendszerek képesek az ilyen helyi erők létrehozására. Ez a fő oka annak, hogy néhány évtizeddel ezelőtt kifejlesztették az *orrsugár-kormány* elnevezésű kiegészítő kormányrendszereket.

Az eredeti orrsugár-kormányok gyűrűben vagy alagútban dolgozó hajócsavarokból álltak, ahol a gyűrű vagy alagút merőleges volt a hajó hossz tengelyére, és minél közelebb helyezték el ezeket a hajó orrához, ahol a bordametszetek V-alakúak és a szélesség kicsi. Ebben a gyűrűben vagy alagútban változtatható forgásirányú hajócsavart helyeztek el, amely axiális szivattyúként funkcionált, és viszonylag nagy mennyiségű vizet nyomott át a hajótest egyik oldaláról a másikra. Lényegében a mai orrsugár-kormányok elve is ez, és ezt a berendezéstípust egyre több hajóra szerelik fel mérettől függetlenül (ld. 2.4.3.2.1 ábra).



2.4.3.2.1 ábra Kettős orrsugár-kormány bulbaorrú hajón

Az orrsugár technika jelentős fejlődését hozta az állítható emelkedésű hajócsavar alkalmazása az úgynevezett *laterális tolóerő egységekben (L-thrusters)* az 1950-es évek végén. Ezek a legnépszerűbb nagy teljesítményű kiegészítő kormányberendezések, meghajtásuk váltakozó áramú elektromotorokkal történik, és a hajó hossz tengelyére merőleges alagútba vannak beépítve. A kisebb teljesítménytartományban még mindig kedveltek a merevszárnú hajócsavarral működő L-thruster berendezések is, ezeknél

a meghajtást egyenáramú elektromotor vagy dízelmotor biztosítja, mindkettő alkalmas a fordulatszám szabályozására. A rövid járatú hajóknál, amelyek gyakran térnek be kikötőbe, mint pl. kompok és az amerikai nagy tavakon hajózó tömegáru szállítók, az L-thruster egységeket mind az orrban, mind a farban elhelyezik. Fontos, szinte standard berendezés azoknál is, amelyek pontos pozicionálást igényelnek kikötéskor, mint a nagy olajszállítók és a ro-ro hajók, amelyek az utóbbi időben a kompok helyét veszik át. Az orrsugár-kormány különleges változatai az *elfordítható sugárkormányok (Ro-thrusters)*, amelyek állványra szerelt szabad vagy gyűrűs hajócsavarból állnak, ezek helyzete 360°-ban változtatható. Ezek egyre népszerűbbek a parti olajfűrő tornyok ellátó és segédjárműveinél. A Ro-thruster berendezések közül néhányat a hajótestbe behúzhatóra terveznek, hogy nagyobb sebességnél ne növeljék a hajó ellenállását, azonban, mivel a hajótestre kívül felszerelt ilyen egységeket el lehet helyezni a hajó hossz tengelyében is, ezek normál üzemben is hozzájárulhatnak a hajó haladási sebességéhez. Ilyen esetben azonban elengedhetetlen, hogy állítható szárnyú hajócsavarok legyenek beépítve, mert normál haladási sebességnél nagyobb, kormány szervként pedig kisebb emelkedésű csavarra van szükség (olyankor a sebesség majdnem zéró, tehát az állópróbai üzemállapot valósul meg) (Norrbý and Ridley 1980).

#### 2.4.3.3 A manőverezési képesség mérése: modellkísérletek és hajókon végzett mérések

A Nemzetközi modellkísérleti konferencia (ITTC) 1975-ben azt javasolta, hogy végezzenek teljes léptékű modelleken (hajókon) manőverező képességi méréseket. Ezeket a próbákat akkor végzik el, amikor a hajóépítő cég futópróbai programja szükségessé teszi a hajó manőverező jellemzőinek meghatározását. A próbát a következő szabályok szerint kell elvégezni.

##### Általános program

1. *Fordulókörök mérése.* A fordulókör adatainak mérését mind a bal, mind a jobboldali

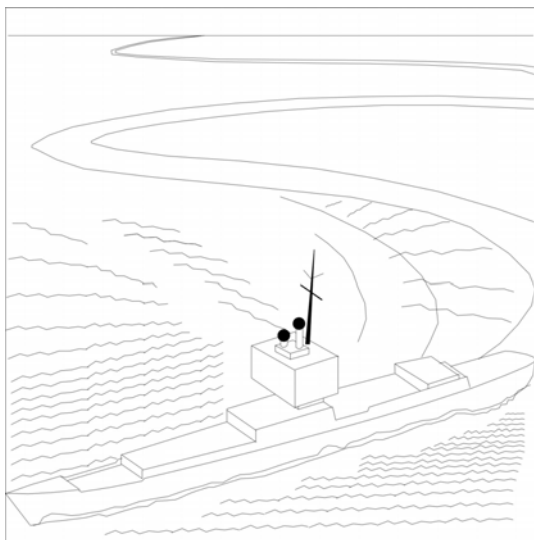
kormánykitérítéssel el kell végezni az eredeti haladási irányhoz képest  $540^\circ$  (másfél fordulat) megtételéig, a hajónak teljes sebességgel kell haladnia, a kormánylapát kitérítési szöge  $15^\circ$ .

Lehet további fordulókör méréseket végezni kis és közepes sebességnél.

2. *Megszakított fordulási manőver.* A megszakított fordulási manővernél a kormánylapátot visszatérítik középpállásba, erre normál esetben akkor kerül sor, amikor a  $15^\circ$ -os próbát befejezték. Ezt is mindkét oldalon el kell végezni. A másik lehetőség, hogy a cikk-cakk manőver végén végzik el.
3. *Fordulási próba zéró sebességről indulva.* A próbát mindkét oldalon el kell végezni úgy, hogy a hajó álló helyzetében a kormányt szélső állásába teljesen kitérítik, és fél-erő előre gépteljesítménnyel indulnak el. A próba  $180^\circ$ -os fordulatnál ér véget.
4. *Cikk-cakk manőverek* (ld. 2.4.3.3.1 ábra). A próbát teljes sebességgel előre kell elvégezni, a standard típus esetén  $10^\circ$ -os kormánykitérítésnél és a névleges haladási iránytól való  $10^\circ$ -os fordulatig, az első lépésben a kormányt jobboldalra kell kitéríteni.

Amikor lehetőség van rá, egy-két „módosított” cikk-cakk manővert is el kell végezni (pl.  $20^\circ/10^\circ$  manővert).

5. *Egyenes és fordított spirális tesztek.* Abban az esetben, ha a hajó valószínűleg labilis a dinamikai igényvételekkel szemben vagy csak alig stabil, a spirális tesztet el kell végezni, hogy meg lehessen határozni a nyugalmi kormányzási jellemzőket, ha a szél- és a hullámvizeltételek kedvezőek. A teszt menete „normál” vagy „fordított” rutint követhet, utóbbi eset a labilis hajóra vonatkozik.



2.4.3.3.1 ábra Cikk-cakk manőverpróba

6. *Nyomvonal-változtatási tesztek.* Speciális nyomvonal-változtatási tesztek lehet végezni számos sebességnél és kormányoszögnél, ezek nagyon hasznosak navigációs szempontból. Ezt az információt részben a kezdeti fordulási és cikk-cakk tesztekéből is ki lehet nyerni.
7. *Megállási tesztek.* Ezeket a próbákat a kormánylapát középhelyzeténél kell elvégezni a főgép vagy főgépek egész erő hátra állásánál, szükség szerint egy vagy több sebességnél.

A vészmegállási próbával (teljes géperővel előre való haladásból hirtelen megállás) ellentétben, amelyet a hajó átvételi feltételei között találunk gyakran, a megállási teszt kis sebességnél végzendő el.

*Speciális programbővítés a sugárkormányos hajók számára*

1. *Fordulási manőverek.* A fordulási manővereket mindkét oldalon el kell végezni, a  $90^\circ$ -os fordulatot a sugárkormányok teljes teljesítményével kell végrehajtani, miközben a fő kormány egyenesbe van állítva, a sebességtartomány zéró sebesség



és 8 csomó között van. A manőver kezdetén a hajó orrának széllel szemben kell lennie.

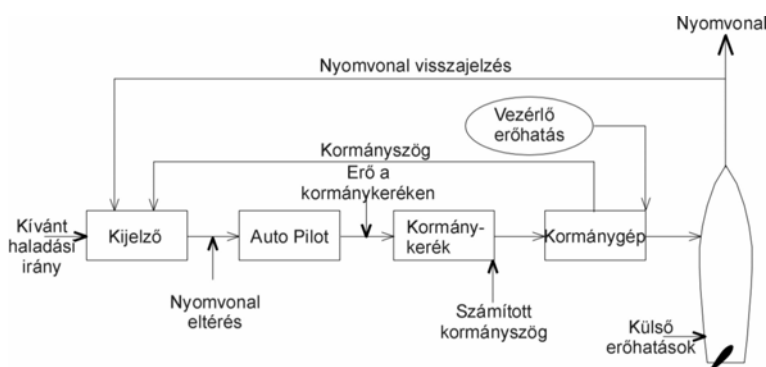
2. *Cikk-cakk manőverek.* A cikk-cakk manővert úgy kell végrehajtani, hogy a sugárkormány teljes teljesítményét az eredeti menetiránytól való  $10^\circ$  eltérésnél kell beindítani, a fő kormányának középállásban kell lennie, a hajó egyenes sebességét pedig a 3-6 csomó tartományban kell megválasztani.

További részleteket az Appendix I of the Maneuverability Committee Report to the Fourteenth ITTC (ITTC 14. ülésének jegyzőkönyvéhez csatolt manőver-képességi bizottsági jelentés I. függeléke) dokumentum tartalmaz.

A karcsú hajók esetében a modell-hajó korrelációs tanulmányok meglehetősen jó egyezést mutatnak a kormánnyal felszerelt rádióirányítású modelleken és a hajón elvégzett tesztek eredményei között. A teltebb hajóformáknál észrevehető különbségek vannak a modellen és a hajón kapott manőverképességi eredmények között, amelyet általában a leválási hatásokra vonatkozó léptékhatás tényezőnek tulajdonítanak, amelyek a fordulást végző modell körüli áramlásnál jönnek létre. A modellkísérleti medencékben úgy nevezett befogott modellteszteket is szoktak végezni, amikor a modellnek gerjesztett rezgéseket adnak át azoknak a teszteknek a során, amelyekkel a vízszintes síkban végbemenő mozgásokat vizsgálják (*horizontal planar motion, PMM*), hogy a mozgásegyenletekbe behelyettesítendő manőverképességi tényezőket mérjék. Ezeket a tényezőket más eljárásokkal is meg lehet mérni.

#### 2.4.3.4 Automatikus irányvezérlés: hatása a konstrukcióra

A 20. század elején kezdett világossá válni a hajók üzemeltetőinek, hogy a kézi kormányzás és iránytartás egyrészt költséges, másrészt nem eléggé hatékony. Az ilyen kormányzáshoz minden szolgálatban legalább két kormányos matrózra volt szükség. Amikor a hajó a tengeren halad, az emberi reakció-mechanizmus csak arra képes, hogy a kívánt nyomvonalat több-kevesebb hibával tartsa. Emiatt a problémák miatt fejlesztették ki a hajókon alkalmazott automata rendszerek közül az elsőt, amelynek neve *auto pilot*, vagy, ahogy az akkori tengerészek elnevezték, a „vas Miska”. Ez a viszonylag egyszerű kormányvezérlő rendszer alapváltozatában egy irányjelzőből és egy iránybeállító készülékből áll, amely, ha bármilyen eltérést tapasztal bármelyik

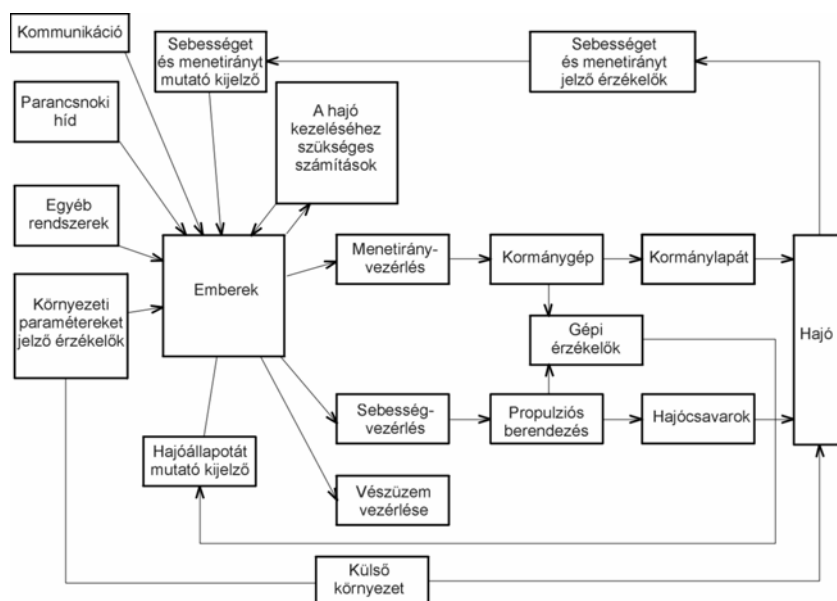


2.4.3.4.1 ábra Egyszerű automatikus kormány

irányban, jelzi egy relének. A relé beindítja a kormánygépet, amely megfelelő kormánykitéréssel reagál, és azt tartja, amíg csak az

eltérés, és azzal együtt a jelzés meg nem szűnik (ld. 2.4.3.4.1 ábra). Az auto pilot bevezetése óta eltelt évek során sokat finomítottak a rendszeren, mint pl. a visszajelzések az előírt iránytól történő eltérés változásának sebességéről. Ez lehetővé teszi a kormányserkezetnek, hogy előre megbecsülje a korrekció mértékét, és a kormánymozdulat esetleges túlzott hatását kikorrigálja azzal, hogy csökkenti a kormányzóget.

Ez a viszonylag egyszerű automatikus kormányrendszer a hiba és a reakció között azonban nem ugyanaz, mint az *automatikus hajóvezérlés*. A jelenlegi automatizálási színvonalon a hajóvezérlés sokkal szélesebb fogalom, amely magával foglalja a személyzet csökkentését is, mivel nincs szükség manuális működtetésre. A hajóvezérlés nemcsak a követendő nyomvonal tartásának rutin feladatait végzi el, hanem távvezérlő rendszert biztosít a hídról vagy a vezérlő központból a propulzió és a segédüzem irányításához is. Ez kiterjed a legtöbb hagyományosan kezelőszemélyzettel ellátott munkahely automatikus irányítására, pl. a főgép kezelésénél, a kazánoknál, a víz és üzemanyag betáplálásánál, valamint azoknak a segédüzemi berendezéseknek a kezelésénél, amelyek elengedhetetlenek a hajó sebességében és egyéb paraméterében bekövetkező változásoknál. Tartalmazza ezen kívül a rendszerek megfigyelését, sőt, egyes hajókon a dokkoló és kötélkezelő csörlők központi irányítását is.



2.4.3.4.2 ábra  
Hajóvezérlő rendszer

A központi vezérlés által érintett funkciók jobb megértését szolgálja a 2.4.3.4.2 ábrán látható rendszerséma és elemzés. Ezen az illusztráción jól látható az alapvető automatikus vezérlés. A hajótervezés megszokott területébe normális

esetben nem tartozik bele a gépek vagy az ilyen rendszerek tervezése, tehát annak részleteit nem tárgyaljuk. Nem léphetünk azonban át könnyedén azon a tényen, hogy a hajók tervezését igenis befolyásolja az automatikus hajóvezérlés.

A hajók automatizálásának két fő mozgató rugója természetesen az üzemeltetés és a karbantartás gazdaságossága. Minden típusú hajónál létfontosságú a személyzet létszámának csökkentése a hajó zavartalan üzemeltetése érdekében. Az automatizálás az egyetlen ésszerű megoldás a hagyományos feladatokat ellátó és hagyományos kialakítású hajók munkaerő problémáira. A személyzet csökkentése biztosítja a folyamatos gazdaságosságot; már ez a tényező önmagában is rendkívül fontos a

---

kereskedelmi hajózás fenntarthatósága érdekében.

A hajótervezők természetesen tökéletesen tisztában vannak annak komoly költségnövelő hatásaival, ha a hajók komplex automatizált rendszerekkel épülnek. Azt is nyilván tudják, mit várnak el tőlük egyrészt ezeknek a hajóknak a vezérlésével kapcsolatban, másrészt az ilyen költségek ésszerűsítése terén. Az ilyen hajóknak minden lehetséges előnnyel rendelkezniük kell a fejlett hidrodinamikai jellemzők és a jó manőverező képesség területén, amit csak a hatékony tervezés és az előzőekben említett berendezések alkalmazása nyújtani tud. Jobb vezérlőállásokkal kell rendelkezniük, amelyeket a jobb helykihasználás tesz lehetővé. (Ez nagyrészt azzal válik lehetővé, hogy a korábbi nagyobb legénységgel szemben kisebb lakótérre van szükség.) Alapos műszaki tervezéssel még az építés megkezdése előtt meg lehet találni a legjobb elhelyezést ezeknek a vezérlő rendszereknek a számára, különösen, ha a szekció és részszekció építési elvnek megfelelően alakítják ki a hajó szerkezetét.

Végül pedig a tervezőnek meg kell találnia a lehető leggazdaságosabb hajóépítési módot, akár új anyagok felhasználásával, akár új tervezési eljárásokkal, szerkezeti egyszerűsítésekkel vagy jobb konfigurációval.

#### **2.4.4 Fedélzeti berendezések kiválasztása és tervezése**

A *fedélzeti berendezések* leírása a 4.2.3 fejezetben található. Ezek a szerkezetek, gépek és felszerelések általában nem a hajóépítő üzemben készülnek, szakosodott cégek tervezik, gyártják és szállítják ezek teljes típus- és méretválasztékát. A hajóépítő feladata a hajóhoz legmegfelelőbb berendezés kiválasztása és annak a hajóra való felszerelése beszállítás után.

A fedélzeti berendezések tervezése tehát csak nagyon ritkán jelent valódi konstrukciós feladatot a hajótervező számára, akinek inkább az a feladata, hogy a hajó osztályozásának és hajózási útvonalainak megfelelően a berendezéseket kiválassza és a hajó menettulajdonságait annak megfelelően vizsgálja meg.

##### **2.4.4.1 Kormányozó berendezések**

A 2.4.3 fejezet a kormányzervekkel általában és a kormányzás kinematikai és dinamikai viszonyaival foglalkozik. Az ott leírtak értelmében lehet a hajóra és a kormányra ható erőket kiszámítani, és ezeket az adatokat kiinduló információként lehet a *kormánygép kiválasztásakor* felhasználni.

A *hajó kormányképességére* vonatkozó követelményeket a hajó építésének felügyeletével megbízott osztályozó intézet előírásai tartalmazzák. Ezen kívül azonban lehet a hajó üzemeltetőjének olyan különleges kívánsága, amely magasabb mércét állít még az osztályozó intézetnél is. Ezeket a követelményeket figyelembe véve kell elvégeztetni a modellkísérleti próbákat, és az ott kapott eredményeket kell a *kormánygép teljesítményének meghatározásához* felhasználni.

##### **2.4.4.1.1 Erők és nyomatékok a kormányon**

A legtöbb hajó kormányzása kormánylapáttal történik, a többiekénél vagy forgatható gyűrűt (pl. Kort) használnak a hajó irányítására vagy egyéb egyedi berendezést. A forgatható gyűrűkön ébredő erők és nyomatékok számítására még nem dolgoztak ki megbízható eljárásokat, azoknál a modellkísérletnél kapott eredményeket kell figyelembe venni. Ugyanez a helyzet az egyedi kormányberendezésekkel is. A következők során a kormánylapátokkal foglalkozunk.

##### ***Kormányerő***

A kormánylapát olyan szerkezet, amelynek metszetei vízszintes síkban áramvonalas profilok, tehát a felületére merőleges (felhajtó) erő és a felülettel párhuzamos ellenálláserő ébred rajta olyankor, amikor a kormánylapát a víz áramlási irányához képest valamilyen megfűvási szögbe van beállítva. A kormány tervezésénél az a cél, hogy minimális ellenállás mellett maximális felhajtóerőt hozzon létre, feltéve, hogy a felhajtóerő következetes viselkedést tanúsít minden elképzelhető megfűvási szögnél. A létrehozott felhajtóerő a következőktől függ:

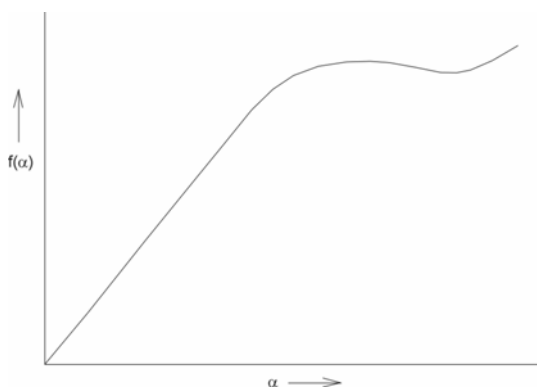
- (a) a keresztmetszet alakja,
- (b) a kormánylapát felülete,  $A_R$ ,

- (c) a kormánylapát alakja, ezen belül különösen fontos a szélesség-hosszúsági arány, azaz a közepes szélesség és a közepes profilhossz hányadosa, illetve a közepes szélesség négyzete osztva a kormánylapát felületével,
- (d) a kormány mellett áramló víz sebességének négyzete,
- (e) a víz sűrűsége,  $\rho$ ,
- (f) a megfúvási szög,  $\alpha$ .

Az  $F_R$  kormányerőt ennek alapján a következőképpen fejezhetjük ki

$$F_R = \text{konstans} \times \rho A_R V^2 f(\alpha)$$

ahol a konstans értéke a kormánylapát keresztmetszetének és alakjának függvénye. Az  $f(\alpha)$  függvény tipikus alakját mutatja a 2.4.4.1.1.1 ábra.



2.4.4.1.1.1 ábra Az  $f(\alpha)$  változása a megfúvási szög szerint

Az  $f(\alpha)$  értékei eleinte közel lineárisan változnak a megfúvási szöggel, később azonban a növekedési ütem csökken, majd az  $\alpha$  további növelése az  $f(\alpha)$  függvény értékének csökkenését eredményezi. Ezt a jelenséget *leválás* néven ismerjük.

Tipikus hajó-kormánylapátoknál a leválás 35 és 45 fok között jelentkezik. A legtöbb kormánylapát kitérése a leválás és az azzal járó jelenségek, mint a sebesség elvesztése és a fordulásnál keletkező nagy megdőlés elkerülése érdekében 35 fokban van korlátozva. A leválás a kormánylapát melletti vízáramlással függ össze; fordulás közben a vízáramlás iránya már nem egyezik meg a hajó hossz tengelyével, hanem azzal szöget zár be a farnál, tehát nagyobb kormány szöveget enged meg, mielőtt a leválás létrejönne, mint akkor, amikor a kormányt a fordulás megkezdése előtt kitérítik. Ez a keresztáramlás a sodortényezőt és azzal a hajócsavar teljesítményét is érinti.

A kormánylapáton keletkező erők számításához számos formulát dolgoztak ki, ezek egyike az alábbi.

$$\text{Kormányerő} = 577 A_R V^2 \sin(\delta_R) [\text{N}]$$

Ahol az  $A_R$  mértékegysége  $\text{m}^2$ , a  $V$  sebessége  $\text{m/s}$ , a  $V$  jelentése a kormánylapát mellett áramló víz sebessége, tehát figyelembe kell venni a hajócsavar gyorsító hatását az alábbiak szerint:

$$\begin{array}{ll} \text{hajócsavar mögött elhelyezett kormánylapát} & V = 1,3 \times \text{hajósebesség} \\ \text{középen elhelyezett kormánylapát két hajócsavarnál} & V = 1,2 \times \text{hajósebesség} \end{array}$$

A  $\delta_R$  kormánykitérítési szög mértékegysége fok.

Az angol Haslar intézet a következő képleteket használta két hajócsavar esetén mögöttük elhelyezett kormánylapátokhoz:

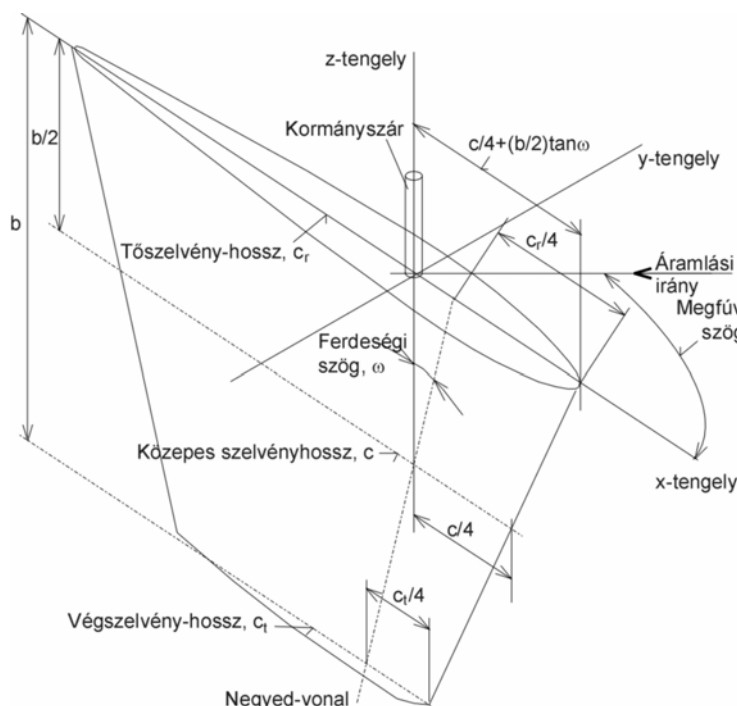
$$\begin{aligned} \text{kormányerő} &= 21,1 A_R V^2 \delta_R \text{ [N] előremenetben,} \\ \text{kormányerő} &= 19,1 A_R V^2 \delta_R \text{ [N] hátramenetben.} \end{aligned}$$

Azonos kiindulásnál egyetlen hajócsavar mögött levő középső kormánylapát esetében Baker és Bottomley a következőt javasolja:

$$\text{kormányerő} = 18,0 A_R V^2 \delta_R \text{ [N]}$$

Ezekben a képletekben a  $V$  a hajó valódi sebességeként jelenik meg, amennyiben a hajócsavar hatását figyelembe vettük a szorzótényezőkkel.

A szakirodalomban több más bonyolult képletet lehet találni, amelyeket széleskörű tapasztalati vagy elméleti kutatásra alapoztak. A hajók kormánylapátjainál ajánlatos a felület be- és kilépő-élét lehetőleg egyenesre választani. Ami a lapát metszeteinek profilját illeti, a gyakorlatban a legelfogadottabb a NACA 0015 szelvény. A 2.4.4.1.1.2 ábra szokásos vezérfelületet mutat, mellette a táblázat a NACA 0015 szelvény mérettáblázatát tartalmazza, ahol a szelvényhossz  $c$ , a távolság a belépő-éltől pedig  $x$ .



2.4.4.1.1.2 ábra

NACA 0015	
$x/c$	$\pm y/c$
0	0
0,0125	0,02367
0,0250	0,03267
0,0500	0,04442
0,0750	0,05249
0,1000	0,05852
0,1500	0,06680
0,2000	0,07170
0,2500	0,07424
0,3000	0,07500
0,4000	0,07252
0,5000	0,06615
0,6000	0,05703
0,7000	0,04579
0,8000	0,03278
0,9000	0,01809
0,9500	0,01008
1,0000	0,00158

Az erők számításához javasolt képletek:

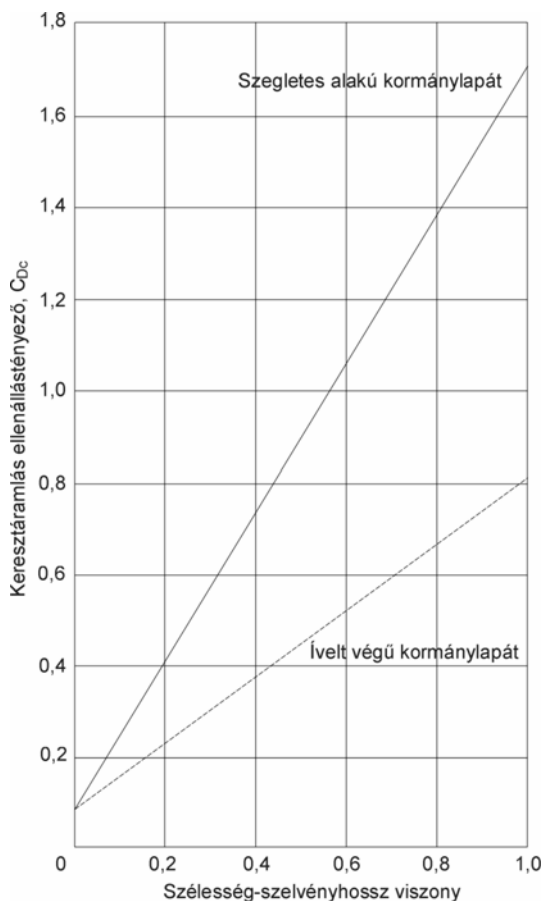
$$C_L = \text{felhajtóerő} / ((1/2)\rho A V^2) = \\ = a_0 a_e / (\cos \omega ((a_e^2 / \cos^4 \omega) + 4))^{1/2} + (57,3 a_0 / \pi) \alpha + (C_{Dc} / a_e) (\alpha / 57,3)^2$$

ahol  $a_e$  = tényleges szélesség-hosszúsági arány = (szélesség)<sup>2</sup>/(lapátfelület)  
 $a_0$  = a szelvény felhajtóerő görbéjének meredeksége  $\alpha = 0$  értéknél  
 =  $0,9(2\pi/57,3)$  per fok a NACA 0015 profilnál  
 $C_{Dc}$  = keresztáramlás ellenállási tényező (2.4.4.1.1.3 ábra)  
 = 0,80 egyenes be- és kilépő-élnél illetve 0,45 kúposági aránynál

és

$$C_D = \text{ellenállás} / ((1/2)\rho A V^2) = C_{d0} + C_L^2 / (0,9\pi a_e)$$

ahol  $C_{d0}$  = szelvény minimális ellenállás-tényezője =  
 = 0,0065 a NACA 0015 esetén



2.4.4.1.1.3 ábra Keresztáramlás ellenállás-tényező

#### Nyomásközpont helye

Láttuk, hogy a hajó fordulásának előidézésében a kormányerő a legfontosabb tényező, mivel a kormányerőnek sarokponttól való távolságát nem befolyásolja lényegesen, hogy hol van a nyomásközpont magán a kormánylapáton. Arra azonban nem árt odafigyelni, hogy mekkora az a nyomaték, amely a kormánylapátra hat, hiszen azt biztosítani kell, hogy a kormánymozgató berendezés, amely a hajóra fel van szerelve, képes legyen a kormányt kifordítani a hajó bármilyen sebességénél.

Sík lemez esetén egy 19. századi hajótervező, a francia *Joessel* javasolt egy tapasztalati formulát, amely a nyomásközpont belépő-éltől mért távolságának és a lemez hosszúságának (profilhossz) hányadosát adja meg:

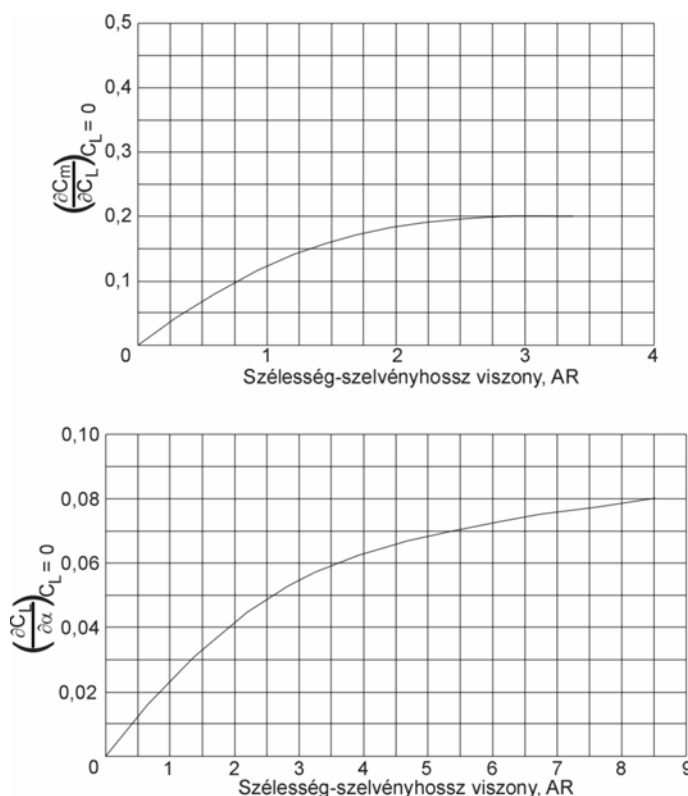
$$0,195 + 0,305 \sin(\alpha)$$

A szokásos kormánylapátoknál a szelvény alakja hatással van a nyomásközpont helyzetére. Az amerikai hajócsavar fejlesztő *Gawn* úgy vélte, hogy derékszögű kormánylapát-felület esetén, amely a hajótest hossz-szimmetriasíkjában levő uszony mögött helyezkedik el, a nyomásközpont helye a belépő-éltől mérve a szelvényhossz 0,35-szöröse. Nyíltvízben elhelyezett kormány esetén ezt az értéket 0,31-re csökkentette. Abból kiindulva, hogy a kormány mögött szinte mindig nyíltvízi viszonyok vannak, mindkét esetben a 0,31 érték használható.

A kormány nyomatékának meghatározásához a következő tényezőt javasolja egy szaktekintély:

$$C_T = \text{nyomaték} / ((1/2)\rho A V^2 c_m) = (0,25 - (\partial C_m / \partial C_L)_{C_L=0})(\partial C_L / \partial \alpha)_{C_L=0} \alpha - (1/2)(C_{Dc}/a_e)(\alpha/57,3)^2$$

ahol  $c_m$  = közepes szelvényhossz =  $(c_t + c_r)/2$   
a  $(\partial C_m / \partial C_L)_{C_L=0}$  és  $(\partial C_L / \partial \alpha)_{C_L=0}$  kifejezés pedig a 2.4.4.1.1.4 ábra szerint.



2.4.4.1.1.4 ábra

A nyomatékot a közepes szelvényhossz egynegyedénél levő negyed-vonalra vonatkoztatjuk.

A nyomásközpont helye meghatározható a szelvények mentén (vízszintesen) és a kormánylapát tengelye mentén (függőlegesen) az alábbiak szerint.

*Szelvények mentén* a közepes szelvényhossz belépő-élétől (a közepes szelvényhossz százalékában):

$$= 0,25 - C_T / (C_L \cos \alpha + C_D \sin \alpha)$$

*Kormánytengely mentén* a tőszelvény (kormánylapát felső

síkja) síkjától mérve (a közepes szélességhez viszonyítva):

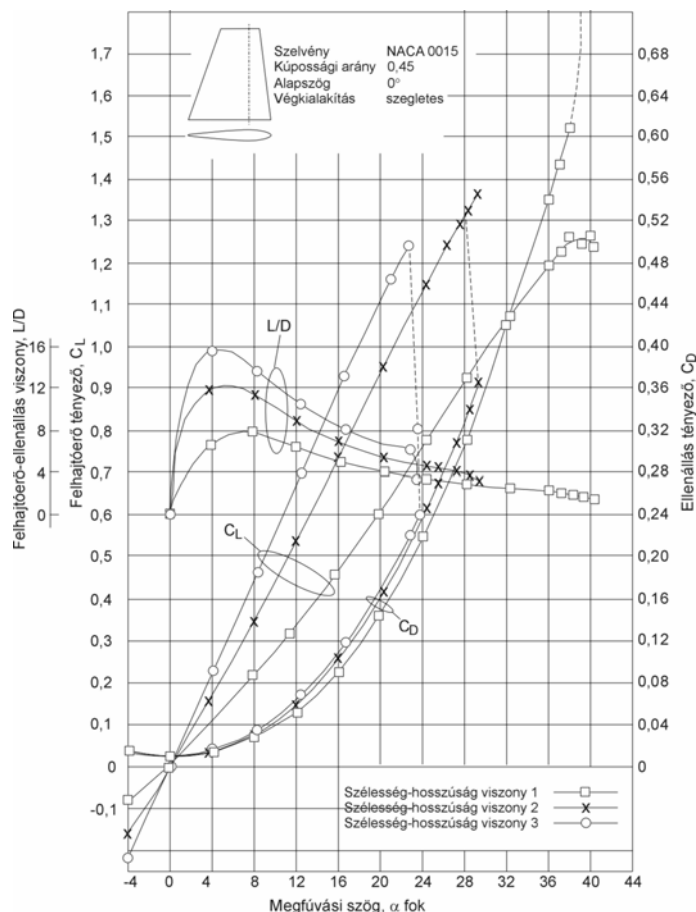
$$= (C_L(4/(3\pi)(b/2))\cos \alpha + C_D(b/2)\sin \alpha) / ((b/2)(C_L \cos \alpha + C_D \sin \alpha))$$

A NACA 0015 szelvényű vezérfelületekhez tartozó tipikus görbéket (az illusztráció



szerinti lapátalaknál) a 2.4.4.1.1.5 ábra mutatja.

Amennyiben nincs jobb forrás (pl. modellkísérlet), a fenti képletek használhatóak a kormányon keletkező erők és nyomatékok becslésére. Mivel azonban nemcsak a kormányerő, hanem a nyomásközpont helye is függ a kormánylapát felületének alakjától, érdemes hasonló kormányok tényleges adatait felhasználni olyankor, ha vannak ilyenek.



2.4.4.1.1.5 ábra

Amikor a kormánylapát standard áramvonalas profilokból van kialakítva, az ezekhez publikált szakirodalmat kell használni, és figyelembe kell venni a hajócsavar hatását és a hajótest befolyását a kormánylapát mellett kialakuló áramlás meghatározásánál.

A gyakorlatban a helyzetet az is bonyolítja, hogy a vízáramlás a hajófarnál nem párhuzamos áramvonalakból épül fel, és az áramvonalak a kormánylapáttal szöveget zárnak be, amikor a kormány középpállásban van. Emiatt is gyakori eset, hogy modellkísérleteket folytatnak a kormányon keletkező erők és nyomatékok mérésére. Az ilyen kísérletek eredményei szerint nem szokatlan, hogy amikor a kormány „középpállásban” van, a

két kormánylapáttal épített hajóknál a lapátok szöveget zárnak be a hajó hossz-szimmetriasíkjával.

*Az erők és nyomatékok számítása bonyolultabb alakú kormánylapátok esetében.*

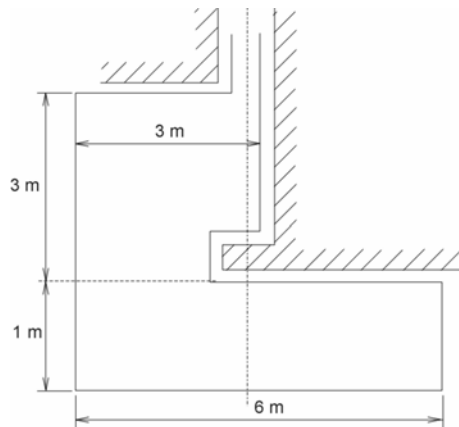
Nagyon ritka eset, hogy a hajó kormánylapátját egyszerű négyszög alakúra lehessen kialakítani. A bonyolultabb alakokat megfelelően több felülrészre kell osztani. Ezek mindegyikéhez meg kell határozni az erőt és a nyomásközpontot, az eredő erőket és nyomatékokat pedig összegzéssel kapjuk meg.

Lássuk erre a következő példát.

*Példa* – Számítsuk ki a kormányerőt és a nyomatékot a kormánytengelyre a 2.4.4.1.1.6 ábra szerinti összetett alakú kormánylapátnál 35-fokos kitérítés és 20 csomós

hajósebesség esetén. A hajó két hajócsavarral van felszerelve.

*Kidolgozás:* A kormánylapátot feloszthatjuk két derékszögű négyszög alakú részterületre, nevezzük ezeket  $A_1$  és  $A_2$  területnek, ahol az  $A_1$  a kisebbik. Alkalmazzuk a régebbi képletet az erő kiszámításához és Gawn képleteit a nyomásközpont (c.p.) helyzetének koordinátáihoz.



2.4.4.1.1.6 ábra

Az  $A_1$  terület uszony mögött helyezkedik el.

Kormányerő az  $A_1$  felületrészen:

$$F_{RA1} = 557 \times 9 \times (1,2 \times 20 \times 0,51477)^2 \sin 35 = 0,4 \text{ MN}$$

$$\text{c.p. helyzete a tengely mögött} = 0,35 \times 3 = 1,05 \text{ m}$$

Nyomaték az  $A_1$  felületrészen:

$$M_{RA1} = 1,05 \times 0,4 = 0,42 \text{ MNm}$$

Kormányerő az  $A_2$  felületrészen:

$$F_{RA2} = 557 \times 10,8 \times (1,2 \times 20 \times 0,51477)^2 \times \sin 35 = 0,48 \text{ MN}$$

$$\text{c.p. helyzete a tengely mögött} = 0,31 \times 6,3 = -1,14 \text{ m}$$

Nyomaték az  $A_2$  felületrészen:

$$M_{RA2} = -1,14 \times 0,48 = -0,547 \text{ MN}$$

Ebből az eredő kormányerő és nyomaték:

$$F_{RA} = 0,88 \text{ MN}$$

$$M_{RA} = -0,127 \text{ MNm}$$

ahol a negatív előjel arra mutat, hogy a c.p. a tengely előtt van.

#### 2.4.4.2 Kikötő-, horgony- és vontató-berendezés, valamint csónakcsörlők és daruk

A hajóosztályozó intézetek előírásai alapján az adott osztályú és nagyságú hajókhoz ki lehet választani (bizonyos biztonsági intervallumon belül) a megfelelő számú és méretű felszereléseket a kikötéshez, horgonyzáshoz és többi funkcióhoz. A hajótervező feladata ezeket a berendezéseket a hajóhoz illeszteni és az ottani körülmények között működésüket modellezni, illetve a rajtuk keletkező erőket és egyéb terheléseket kiszámítani. Ezek a keletkező terhelések nemcsak azt igazolják, valóban megfelel-e a kiválasztott berendezés az előírt feladathoz, hanem azt is megmutatják, milyen

---

megerősítéseket kell eszközölni a hajó acélszerkezetében, hogy el tudja viselni a fedélzeti berendezéseken keletkező erőkből adódó terheléseket.

#### 2.4.4.2.1 Kikötőberendezés

Az *Osztályozó Intézetek Nemzetközi Szövetsége* (International Association of Classification Societies, *IACS*) az alábbiak szerint szabályozza a *kikötés* műveletét és berendezéseit (A2.2 Mooring).

##### **Szilárdság**

A hajón alkalmazott szerelvényeknek és szerkezeteknek, amelyeket kikötési műveleteknél használnak, illetve az azokkal kapcsolatban levő vasszerkezeti elemeknek ki kell elégíteniük ennek az *Egységesített Követelményeknek (UR)* az előírásait.

##### **Elrendezés**

A kikötéshez szükséges szerkezeteket a hajó fedélzetén azokra a hosszmerevítőkre, gerendákra és/vagy egyéb merevítőkre kell telepíteni, amelyek részét képezik a fedélzet szerkezetének, hogy a kikötéskor keletkező terheléseket megfelelően el lehessen osztani.

Más megoldás is elfogadható (öntött átvezetők, azaz Panama chocks, stb.), ha azok szilárdsága az illető célra bizonylattal igazolható.

##### **Terhelések**

1. Amennyiben a kérelmező nem tudja igazolni, hogy a hajón alkalmazott szerelvények névleges terhelése (SWL) nagyobb, mint a *kikötőkötél szakítószilárdsága*, a hajón alkalmazott szerelvények és azokat alátámasztó vasszerkezeti elemek méretezésénél a névleges terhelésnek a kikötőkötél szakítószilárdság 1,25-szörösének kell lennie, így rendelkezik az IACS 10-es sz. „Berendezések” Ajánlása (Recommendation No. 10 „Equipment”, Id. Megjegyzések).

##### Megjegyzések

1. A keresztirányú szélerők számításánál az előforduló legnagyobb fedélzeti rakománnyal együtt kell figyelembe venni a hajó oldalfelületét, amikor a vontatók és vontatókötelek kiválasztása történik.
2. Az UR A2 előírások alkalmazásakor az IACS 10-es sz. Ajánlásában specifikált kikötőkötél szakítószilárdságok kötelező érvényűek annak érdekében, hogy a szerelvények és az azokat tartó vasszerkezeti elemek névleges terhelését meg lehessen határozni.
3. Az IACS 10-es sz. Ajánlásában levő 5. táblázat lábjegyzete értelmében az egyes kikötőköteleknél, amelyek szakítószilárdsága meghaladja a 490 kN értéket, ezt a szakítószilárdságot csökkenteni lehet a kötelek számának megfelelő növelésével, amennyiben a hajón levő összes kikötőkötél teljes szakítószilárdsága nem kisebb a specifikált teljes terhelésnél. A

kikötőkötelek száma legalább 6 kell, hogy legyen, és egyetlen kötélnak a szakítószilárdsága sem lehet kevesebb, mint 490 kN.

4. Az IACS 10-es ajánlásának egyéb pontjai irányelveként vehetők figyelembe.
2. A csörlők, stb. alapozásaként szolgáló vasszerkezeti elemek névleges terhelésének tervezésnél 1,25-ször akkorának kell lennie, mint amekkora a fék maximális megtartó ereje, függőleges tengelyű kötődoboknál pedig a maximális behúzó erő 1,25-szörösének.
3. A névleges terhelést a kikötőkötélen keresztül kell figyelembe venni a vontató- és kikötő-berendezés elrendezési rajza szerint.
4. A névleges terhelésnek a szerelvényekre és a hajó vasszerkezetére való átadásánál azt kell feltételezni, hogy a teljes terhelés az 1. pontban specifikált névleges terhelésnek legfeljebb kétszerese lehet, azaz a kötélből csak egy menetet tekernek fel a dobra.
5. Olyan esetben, amikor a hajó üzemeltetője egyedileg kiválasztott névleges terheléssel kíván egy fedélzeti szerelvényt megterhelni, amitől a tervezésnél figyelembe veendő terhelés nagyobb lenne a fentiek szerinti minimális értéknél, az adott szerelvényt ennek a terhelésnek megfelelően kell méretezni.

#### ***Fedélzeti szerelvények és szerkezetek***

A fedélzeti felszereléseket és szerkezeteket a hajóépítőnek az osztályozó társaság által elfogadott hajóipari szabványnak (pl. ISO3913 Shipbuilding Welded Steel Bollards, Hegesztett szerkezetű hajóépítő acél kikötőbakok) megfelelően kell kiválasztani.

Amikor egy szerelvény kiválasztása nem így történik, tervezésnél a névleges terhelést és annak a hajóra való átadását a Terhelések pont szerint kell megválasztani.

#### ***A fedélzeti berendezések alapozása a hajótesten***

(1) *A vasszerkezet megerősítése.* A kikötő-berendezések alapozásának megtervezésénél a kikötésnél ébredő vízszintes és függőleges erők minden lehetséges változatát figyelembe kell venni (ezek nem lehetnek kisebbek, mint a tervezési névleges terhelés), amelyek a fedélzeti szerelvényekre és szerkezetekre hathatnak.

(2) *A kikötési erő támadáspontja.* A kikötési erő támadáspontjaként a szerelvényen annak a kikötőkötéllal való érintkezési pontját kell tekinteni (befogás vagy iránytörés).

(3) *Megengedhető feszültségek.* A megengedhető feszültségek a Terhelések pontban meghatározott feltételek esetén az alábbiak lehetnek:

húzó-nyomó feszültség: az anyag minimális folyáshatárának 100%-a,

nyírófeszültség: az anyag minimális folyáshatárának 60%-a.

A fentieknél feszültség-koncentrációs pontok nincsenek figyelembe véve. A húzó-nyomó feszültség a hajlításból és a húzó-nyomó igénybevételekből eredő feszültség összege, ahol jelen van a terhelési forma szerinti nyírófeszültség, amely merőleges a húzó-nyomó feszültség irányára.

#### ***Névleges terhelés (Safe Working Load, SWL)***

---

1. A névleges terhelésnek nem szabad nagyobbak lennie, mint a Terhelések pont szerinti tervezési névleges terhelés 80%-a.
2. A kikötésnél használt valamennyi fedélzeti szerelvényen fel kell tüntetni (hegesztéssel vagy más módon) a névleges terhelést.
3. A fenti névleges terhelések esetében a kikötőkötélből egy menet van a dobon átvetve.
4. A vontató- és kikötő-berendezések már említett elrendezése tünteti fel a kikötőkötelek használati módját.

#### ***A vontató- és kikötő-berendezések elrendezése***

1. A vontató- és kikötő-berendezések elrendezésén minden egyes szerelvény vagy szerkezet névleges terhelését fel kell tüntetni a hajó üzemeltetőjének tájékoztatására.
2. Az elrendezési terven foglalt információknak tartalmaznia kell minden egyes szerelvény esetében a következőket:
  - a) elhelyezése a hajón,
  - b) szerelvény típusa,
  - c) névleges terhelés (SWL),
  - d) célja (kikötés, kikötői vontatás, távolsági vontatás) és
  - e) a vontató- vagy kikötőkötél csatlakoztatási módja, beleértve a körülfogási szöveget.
3. Amikor a fedélzeti szerelvények és szerkezetek tervezése a fentiekben szabályozott módon történt az elrendezésnek megfelelően, az elrendezési terven a következőket jelezni kell:
  - a) a kikötőkötelek elrendezése, megadva a kötelek számát (N), valamint
  - b) minden egyes kikötőkötél szakítószilárdsága (breaking strength, BS).
 Ennek az információnak a kalauz-könyvben is szerepelnie kell, hogy a kalauz a kikötői vagy távolsági vontatási műveletek esetén kellően tájékozott legyen.

#### **2.4.4.2.2 Horgonyberendezés**

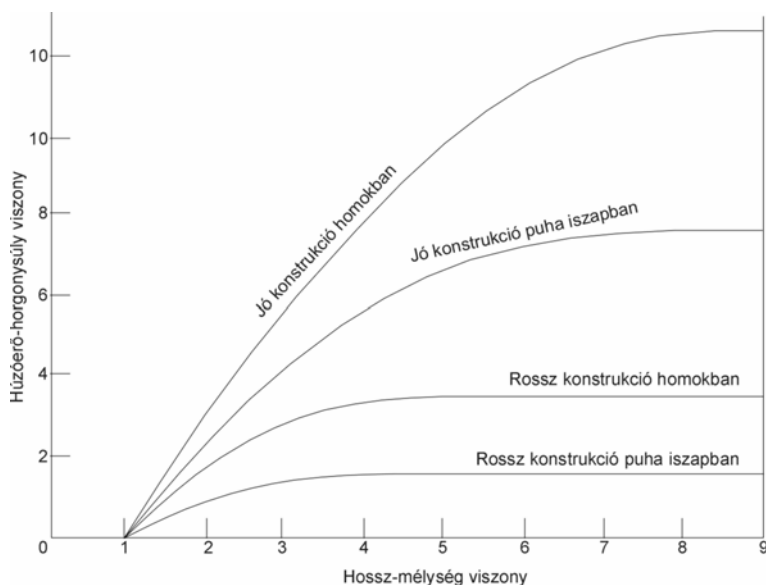
A hajó biztonsága, a hajó és a rakomány értéke és a legénység élete gyakran egyedül a horgonytól függ, amely tehát olyan biztonsági berendezés, amely amelynek tökéletes állapotban kell lennie. A hajó orrán levő horgonyok a szél és az áramlatok, valamint az árapály ellen tartják a hajót a helyén. A hajótervezőnek azokra az erőkre számítva kell a horgonyberendezést kiválasztania, amelyeket a szél és az áramlatok a hajóra gyakorolnak, beleértve a horgony és horgonylánc vagy drótkötél méretét. Az osztályozó intézetek előírásai a hajó osztályához, méretéhez és hajózási útvonalaihoz megadják a kiválasztáshoz szükséges követelményeket.

A jó horgony gyorsan belekap a fenékbe, és jól megtartja a hajót minden típusú talajnál. Stablnak kell lennie (azaz nem szabad kifordulnia), eléggé erősnek, ugyanakkor könnyen felhúzhatónak.

#### ***A horgonyzás karakterisztikája***

A horgony hatását azzal az aránnyal fejezik ki, amely a húzóerő, amelynek ellen tud

állni, és a horgony súlya között van, ami ma már túllépheti a 10-es értéket a legtöbb tengerfenék típusnál. A horgonyzás hatásfoka azonban függ a kiadott kötél- vagy láncosszótól és a vízmélységtől is, ezek hányadosa a *hossz-mélység viszony (scope)*. Ennek a viszonzárnak elégségesnek kell lennie a jó tartáshoz, ld. 2.4.4.2.2.1 ábra.



2.4.4.2.2.1 ábra A horgonyzás karakterisztikája

Ideális esetben a horgony megtartó ereje kevésse alatta maradhat a próbán mért értéknek, és kicsit többnek kell lennie a szélnek a hajóra gyakorolt teljes nyomóerejénél, a kötél vagy lánc névleges szakítószilárdsága pedig mindkettőt meg kell, hogy haladja valamennyivel. Ezek a követelmények

azokra a horgonyokra vonatkoznak, amelyeknek a hajók vízszintes sodródását kell megakadályozniuk megállásánál. A horgonyok másik típusát a járművek adott helyen való állandó tartózkodásánál alkalmazzák, ezek modern típusa mélyen a tengerfenékre beágyazva, amihez lehet mechanikus segédeszközöket is alkalmazni – pl. vízugarat vagy vibrációt, esetleg robbantást.

### ***Osztályozó intézetek előírásai a horgonyberendezésekre***

Az Osztályozó Intézetek Nemzetközi Szövetsége (International Association of Classification Societies, IACS) az alábbiak szerint szabályozza a horgonyzás műveletét és berendezéseit (A1 Equipment).

*A horgonyberendezés tervezése.* Az itt tárgyalt horgonyberendezés a hajók ideiglenes horgonyzására szolgálnak kikötőben vagy védett helyen rakodóhelyre vagy árapályra várakozva.

Ezek a horgonyok tehát nem szolgálnak arra, hogy a hajót kedvezőtlen időjárásban a part közelében a helyén tartsák, vagy erős sodródásban levő hajót megállítsanak. Ilyen esetben ugyanis a horgonyberendezésre áradódó terhelések olyan mértékben megnőnek, hogy alkatrészei károsodhatnak vagy elveszhetnek az ébredő nagy igénybevételek miatt, különösen nagyobb hajóknál.

A horgonyberendezések, amelyeket az itt található követelmények alapján terveznek, megtartják a hajót a kívánt helyen jó fenékviszonyok mellett, és megakadályozzák a sodródást. Gyenge fenék esetében a horgonyok megtartó képessége jelentősen csökken.

A *Berendezési Jelzőszám (Equipment Numeral, EN)* meghatározására szolgáló képlet megalkotásánál 2,5 m/sec vízáramlási sebességet vettek figyelembe, illetve 25 m/sec szélességet, a hossz-mélység viszony pedig a láncra illetve kötélre 6 és 10 érték között van.

Az a feltételezés érvényes, hogy normál körülmények között a hajó egyidejűleg csak egy *orrhorgonyt* illetve láncot vagy kötelet használ.

A horgonyok és *horgonyláncok ill. kötelek* gyártásánál az UR W29 és UR W18 egységesített követelményeket kell figyelembe venni.

*Berendezési Jelzőszám (EN) és horgonyberendezés táblázat (korlátlan hajózási körzetű hajókhoz)*. A horgonyok és láncok illetve kötelek választéka az 1. táblázatban szerepel, a kiválasztás alapja az alábbi EN képlet:

$$EN = A^{2/3} + 2,0hB + A/10$$

ahol  $A$  = a hajó sablon szerinti vízkiszorítása a teljes rakományhoz tartozó nyári merülés-vonalig, tonna  
 $B$  = sablon szerinti szélesség, méter  
 $h$  = teljes magasság a nyári merülés-vonaltól a legmagasabb fedélzeti ház legfelső pontjáig, méter; a legalsó fedélközben a „ $h$ ” értéket a hajó hossz-szimmetriasíkjában kell mérni a felső fedélzettől vagy egy megegyezés szerinti fedélzettől, ahol a felső fedélzet nem folyamatos.

$$h = a + \sum h_i$$

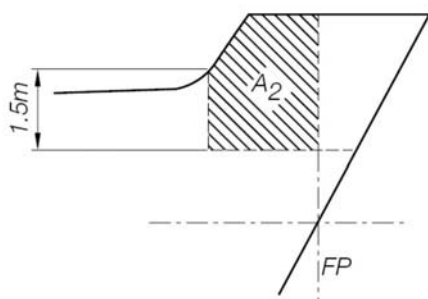
ahol  $a$  = a nyári merülés-vonal távolsága a felső fedélzettől, méter  
 $h_i$  = a fedélzeti ház egyes szintjeinek magassága, amelyeknél a fedélzeti ház szélessége nagyobb, mint  $B/4$ , méter  
 $A$  = a hajó oldalfelülete (hajótest, felépítmények és olyan fedélzeti házak, amelyek a horgonyberendezés jelzőszámának számításánál figyelembe vett hajóhosszon belül vannak, és szélességük nagyobb, mint  $B/4$ ) a nyári merülés-vonal felett,  $m^2$ .

## MEGJEGYZÉS

1. A  $h$  értékének számításánál figyelmen kívül hagyható a fedélzet felhajlása és a trim, azaz a  $h$  valójában a hajóközépen mérhető szabadoldal és az összes olyan fedélzeti ház a hajó hossz-szimmetriasíkjában mérhető magasságának az összege, amelyek szélessége az egyes szinteken nagyobb a  $B/4$  értékénél.
2. Ha a fedélzeti ház valamelyik szintje, amely szélesebb, mint  $B/4$ , olyan szint felett van, amelynek szélessége  $B/4$  értékű vagy kisebb, a szélesebb szintet be kell számítani, a keskenyebbet azonban el lehet hanyagolni.
3. Az olyan szélnek kitett felületeket vagy *habvédeket*, amelyek magassága 1,5 m vagy nagyobb, a fedélzeti házak részének kell tekinteni a  $h$  és  $A$  meghatározásánál. A

rakodónyílás fedelek és a fedélzeti rakomány magasságát figyelmen kívül lehet hagyni a  $h$  és  $A$  kiszámítása során.

Az  $A$  értékének meghatározásánál, amikor a habvéd egy része magasabb, mint 1,5 m, az alábbi ábra  $A_2$  felületelemét hozzá kell adni  $A$  értékéhez.



4. A horgonyberendezés jelzőszámának számításánál figyelembe vett hajóhossz a jármű függélyek közötti hossza, de nem lehet kisebb, mint 96%-a illetve nagyobb, mint 97%-a a nyári merülés-vonalon mért teljes hosszúnak (a vízvonál mellső végétől mérve).
5. Az 1. táblázat 4. oszlopában megadott teljes horgonylánc-hossz felosztandó a két orrhorgony között egyenlő részekre.

1. táblázat Horgonyberendezés

E.N.	Orrban elhelyezett Hall típusú horgonyok		Merevített szemű (peckes) horgonylánc orr-horgonyhoz			
	Darab-szám	Egy horgony tömege (kg)	Teljes hossz (m)	Minimális átmérő		
				Lágyacél Gr.1 (mm)	Különleges minőség Gr.2 (mm)	Extra különleges minőség Gr.3 (mm)
1	2	3	4	5	6	7
205-240	3	660	302,5	26	22	20,5
240-280	3	780	330	28	24	22
280-320	3	900	357,5	30	26	24
320-360	3	1020	357,5	32	28	24
360-400	3	1140	385	34	30	26
400-450	3	1290	385	36	32	28
450-500	3	1440	412,5	38	34	30
500-550	3	1590	412,5	40	34	30
550-600	3	1740	440	42	36	32
600-660	3	1920	440	44	38	34
660-720	3	2100	440	46	40	36
720-780	3	2280	467,5	48	42	36
780-840	3	2460	467,5	50	44	38
840-910	3	2640	467,5	52	46	40
910-980	3	2850	495	54	48	42
980-1060	3	3060	495	56	50	44
1060-1140	3	3300	495	58	50	46
1140-1220	3	3540	522,5	60	52	46
1220-1300	3	3780	522,5	62	54	48
1300-1390	3	4050	522,5	64	56	50
1390-1480	3	4320	550	66	58	50



1480-1570	3	4590	550	68	60	52
1570-1670	3	4890	550	70	62	54
1670-1790	3	5250	577,5	73	64	56
1790-1930	3	5610	577,5	76	66	58
1930-2080	3	6000	577,5	78	68	60
2080-2230	3	6450	605	81	70	62
2230-2380	3	6900	605	84	73	64
2380-2530	3	7350	605	87	76	66
2530-2700	3	7800	632,5	90	78	68
2700-2870	3	8300	632,5	92	81	70
2870-3040	3	8700	632,5	95	84	73
3040-3210	3	9300	660	97	84	76
3210-3400	3	9900	660	100	87	78
3400-3600	3	10500	660	102	90	78
3600-3800	3	11100	687,5	105	92	81
3800-4000	3	11700	687,5	107	95	84
4000-4200	3	12300	687,5	111	97	87
4200-4400	3	12900	715	114	100	87
4400-4600	3	13500	715	117	102	90
4600-4800	3	14100	715	120	105	92
4800-5000	3	14700	742,5	122	107	95
5000-5200	3	15400	742,5	124	111	97
5200-5500	3	16100	742,5	127	111	97
5500-5800	3	16900	742,5	130	114	100
5800-6100	3	17800	742,5	132	117	102
6100-6500	3	18800	742,5		120	107
6500-6900	3	20000	770		124	111
6900-7400	3	21500	770		127	114
7400-7900	3	23000	770		132	117
7900-8400	3	24500	770		137	122
8400-8900	3	26000	770		142	127
8900-9400	3	27500	770		147	132
9400-10000	3	29000	770		152	132
10000-10700	3	31000	770			137
10700-11500	3	33000	770			142
11500-12400	3	35500	770			147
12400-13400	3	38500	770			152
13400-14600	3	42000	770			157
14600-16000	3	46000	770			162

*Horgonyberendezés különleges hajókhoz (vontatókhoz és kotrókhoz)*

#### HORGONYBERENDEZÉS VONTATÓKHOZ

Korlátlan hajózási körzetű vontatókhoz a horgonyberendezést ezeknek az előírásoknak megfelelően kell kiválasztani.

A Berendezési Jelzőszám (EN) kiszámításához azonban a korábbiakban közölt képletben a  $2,0hB$  kifejezés helyett

$$2,0(aB + \sum h_i b_i)$$

alkalmazandó, ahol  $a$ ,  $B$  és  $h_i$  értelme azonos,  $b_i$  pedig a  $B/4$  szélességű vagy annál szélesebb fedélzeti házak mindegyik szintjén a legszélesebb rész szélessége.

A korlátozott hajózási körzetű vontatóknál az illetékes osztályozó intézet egyedi elbírálása szükséges a horgonyberendezés kiválasztásánál.

### HORGONYBERENDEZÉS KOTRÓKHOZ

Korlátlan hajózási körzetű kotrókhoz, amelyeknél az úszótest vízbemerült része normál hajóformájú, a horgonyberendezést ezeknek az előírásoknak megfelelően kell kiválasztani.

A Berendezési Jelzőszám (EN) kiszámításánál a gémet nem kell beszámítani. Ha azonban a kotró úszótestének vízbemerült része szokatlan alakú, az illetékes osztályozó intézet egyedi elbírálása szükséges a horgonyberendezés kiválasztásánál.

Ugyanez a helyzet a korlátozott hajózási körzetű kotróknál.

*Horgonyok.*

### HORGONYTÍPUSOK

#### 1. Szokásos horgonyok

- (a) A szokásos *Hall típusú horgonyokat* általában el kell fogadtatni az illetékes osztályozó intézettel, és a konstrukciónak az intézet szabályaival összhangban kell lennie.
- (b) A Hall típusú horgonyoknál a fej súlya a csapszeggel és a szerelvényekkel együtt nem lehet kisebb, mint a horgony teljes súlyának 60%-a.
- (c) Az orrhorgonyok 1. táblázatban megadott egységtömegének az összes horgonynál egyenlőnek kell lennie. Az egyes horgonyok tömege a táblázatban előírt értéktől 7%-kal térhet el úgy, hogy az előírt darabszámú horgonyok összes tömege nem kisebb az előírt egységtömeg és darabszám szorzatánál.

#### 2. Nagy megtartóerővel rendelkező (high holding power, HHP) horgonyok

- (a) A *nagy megtartóerővel rendelkező horgonynak* alkalmasnak kell lennie hajón való használatra, és nem igényelhet előzetesen beállítást vagy különleges elhelyezési módot a fenéken.
- (b) Amikor orrhorgonyként különleges típusú horgonyokat használnak, amelyek a gyakorlatban bizonyított nagy megtartóerejük miatt nagy megtartóerővel rendelkező horgonynak vannak nyilvánítva, az egyes horgonyok tömege a szokásos Hall típusú orrhorgonyok 1. táblázatban foglalt tömegének 75%-a lehet.
- (c) Ahhoz, hogy egy horgonyt HHP horgonynak lehessen elfogadni és nyilvánítani, kielégítő eredményű tesztekkel kell végezni különféle fenéktípusoknál, amikor a horgonynak legalább kétszeres megtartó erőt kell teljesítenie, mint amire egy azonos súlyú szokásos Hall típusú horgony képes. A természetes nagyságú horgonyokkal elvégzett tesztek természetes környezetben különböző fenéktípusoknál kell elvégezni, és a horgonyoknak olyanoknak kell lenniük, amelyek súlya a lehető legjobban képviseli a kérdéses tartományba tartozó összes méretet; a tartomány adott csoportjában a teszthez kiválasztott két horgony

---

(szokásos Hall típusú és HHP) súlyának megközelítően azonosnak kell lennie, és a teszt során a horgonylánc méretének meg kell felelnie a horgonysúlynak.

Az egyes horgonyok esetében a lánc hosszának olyannak kell lennie, hogy a száron a húzóerő gyakorlatilag vízszintes maradjon, ennek érdekében ajánlatos 10-es hossz-mélység viszonyt biztosítani, azonban, ha ez nem lehetséges, elfogadható, ha a viszonzszám 6-nál nem kisebb.

Három tesztet kell elvégezni mindegyik horgonyra minden fenéktípusnál. A megtartóerőt dinamométerrel kell mérni. Ahol lehetőség van rá, fel kell jegyezni, hogy a horgony mennyire stabil és a felszakítás mennyire könnyű. A teszteket normál esetben vontatóról kell elvégezni, de a partról elvégzett tesztek is elfogadhatóak.

A dinamométeres leolvasás helyett elfogadható, ha a *vontató állópróbai görbéjét* (fordulatszám/tolóerő) használják.

Jóváhagyáshoz elfogadhatóak azok a tesztek is, amelyeket korábban már elfogadott HHP horgonnyal való összehasonlításban végeznek.

Amennyiben HHP horgonyok teljes súlytartományára kéri a jóváhagyást vagy elfogadást, a teszteket legalább két horgonyméretre el kell végezni, a jóváhagyandó tartomány maximális horgonysúlya pedig a tesztelt nagyobbik horgonysúly legfeljebb 10-szerese lehet.

### 3. Szuper nagy megtartóerővel rendelkező (SHHP) horgonyok

#### (a) Meghatározás

A *szuper nagy megtartóerővel rendelkező horgony* olyan horgonytípus, amelynek megtartóereje legalább négyszerese annak, amelyre egy ugyanolyan súlyú szokásos Hall típusú horgony képes. A szuper nagy megtartóerővel rendelkező horgony alkalmas a korlátozott hajózási körzetű járműveken való használatra, és nem igényel előzetesen beállítást vagy különleges elhelyezési módot a fenéken.

#### (b) A használat korlátozása

Az SHHP horgonyok használata a korlátozott hajózási körzetű járművekre van korlátozva, ahogy az egyes osztályozó intézetek meghatározzák.

Az SHHP horgony tömege nem lehet nagyobb 1500 kg-nál.

#### (c) Alkalmazás

Ez az egységesített követelmény azoknak az SHHP horgonyoknak a konstrukcióját szabályozza, amelyekre az  $EN \geq 205$ . Az  $EN < 205$  esetekben az SHHP horgonyok tervezési kritériumai arra a horgony-tömegekre érvényesek, amelyet a 10-es ajánlás ad meg a szokásos Hall típusú horgonyokhoz, amelyet viszont csökkenteni lehet az ajánlás 1.1 (b) pontja szerint.

#### (d) A horgony tervezése

##### i) A horgony használata

A szuper nagy megtartóerővel rendelkező horgony alkalmas a korlátozott hajózási körzetű járműveken való használatra, és nem igényel előzetesen beállítást vagy különleges elhelyezési módot a fenéken.

##### ii) A horgony tömege

Amikor orrhorgonyként használnak igazolt megtartóerővel bíró SHHP horgonyokat, amelyeket az alábbi e) pont tárgyal, az egyes horgonyok tömege

csökkenthető olyan mértékben, hogy az ne legyen kisebb, mint 50%-a a szokásos Hall típusú horgony szükséges tömegének, amelyet az 1. táblázat tartalmaz.

(e) A horgony megtartóereje

Ahhoz, hogy egy horgonyt SHHP horgonynak lehessen elfogadni és/vagy nyilvánítani, természetes nagyságú horgonyokkal kielégítő eredményű tesztek kell végezni, amelyek megerősítik, hogy a horgony legalább négyszeres megtartó erőre képes, mint egy azonos tömegű szokásos Hall típusú horgony, vagy legalább kétszeresre ahhoz képest, mint egy korábban már jóváhagyott azonos tömegű HHP horgony.

A teszteknek azt is igazolniuk kell, hogy a horgony a tesztek maradandó alakváltozás nélkül állja ki.

(f) Horgony megtartóerő tesztek

i) Az e) pontban előírt teljes léptékű tesztek természetes környezetben a tengeren három különböző típusú fenéknél kell elvégezni; normál esetben ez a három: lágy iszap, homok vagy kavics és kemény agyag illetve hasonló szerkezetű fenék. A tesztet olyan horgonyokkal kell elvégezni, amelyek tömege a lehető legjobban képviseli a kérdéses tartományba tartozó összes méretet. A tartomány adott csoportjában a teszthez kiválasztott két horgony (szokásos Hall típusú és SHHP) tömegének megközelítően azonosnak kell lennie, és a teszt során a horgonylánc méretének meg kell felelnie a horgony tömegének és típusának. Ahol nem áll rendelkezésre szokásos Hall típusú horgony, ahelyett használható egy korábban már jóváhagyott HHP horgony. Az egyes horgonyok esetében a lánc hosszának olyannak kell lennie, hogy a száron a húzóerő gyakorlatilag vízszintes maradjon. Ebből a célból a 10-es lánchossz-mélyég viszony normálnak tekinthető.

Három tesztet kell elvégezni mindegyik horgonyra minden fenéktípusnál. A megtartóerőt dinamométerrel kell mérni. Ahol lehetőség van rá, fel kell jegyezni, hogy a horgony mennyire stabil és a felszakítás mennyire könnyű. A tesztek normál esetben vontatóról kell elvégezni, de a partról elvégzett tesztek is elfogadhatóak.

A dinamométeres leolvasás helyett elfogadható, ha a vontató állópróbai görbéjét (fordulatszám/tolóerő) használják.

Jóváhagyáshoz elfogadhatóak azok a tesztek is, amelyeket korábban már elfogadott SHHP horgonnyal való összehasonlításban végeznek.

Amennyiben horgonyok teljes mérettartományára kéri a jóváhagyást, a tesztek legalább három horgonyméretre el kell végezni, amelyek tömegtartomány alsó, középső és felső értékeit képviselik.

ii) A megtartóerő teszt terhelése nem lépheti túl a horgony próbaterhelését.

## **A HORGONYOK FELSZERELÉSE A HAJÓRA**

Az 1. táblázat 2. oszlopában meghatározott három orrhorgonyból kettőt a hozzájuk tartozó láncra fel kell szerelni és használatra készen kell tartani, a harmadik orrhorgony pedig tartalékként szolgál.

A tartalék orrhorgony felszerelése a hajón nem kötelező. Mindegyik osztályozó intézet szabadon dönti el, milyen engedményeket tesz, illetve megköveteli-e a tartalék orrhorgonyt a jóváhagyás feltételeként.

## A HORGONYOK PRÓBATESZTELÉSE

### 1. A szokásos horgonyok tesztelése

- (i) A 2. táblázat szerinti próbaterhelést a száron vagy a kapán kell ráadni azon a ponton, amely a csőr legvégétől mérve a csőr vége és a kapa középpontja ill. forgáspontja közötti távolság egyharmadánál van.

A Hall típusú horgonyok esetében egyidejűleg mind a két kapát tesztelni kell, mégpedig először egyik oldalra kitérítve, utána a másik oldalon.

- (ii) Az összes különböző méretű horgonyt próba-tesztelésnek kell alávetni a 2. táblázatban felsorolt tesztterhelésekkel.

- (iii) A próbateszt során a terhelés alkalmazása előtt a horgonyokat meg kell vizsgálni, hogy meg lehessen győződni arról, hogy az öntvény mentes a káros felszíni hibáktól.

A horgonyokat a próbatesztet követően meg kell vizsgálni repedések és egyéb hibák szempontjából.

A próbateszt befejezése után a több darabból összeszerelt horgonyokat meg kell vizsgálni, hogy a kapa szabadon el tud-e forogni a teljes véghelyzetig.

Mindegyik teszt során követelmény, hogy a próbaterhelés egytized értékének elérésekor mérhető etalon méretek (amint az ábra mutatja) amelyeket a terhelés növelése illetve a teljes terhelésről való csökkentése során mérnek, nem térhetnek el egymástól több, mint egy százalékkal (1%).

### 2. HHP horgonyok tesztelése

A HHP horgonyokat olyan próbaterheléssel kell tesztelni, amelyet a 2. táblázat 1,33-szor nagyobb tömegű horgonyhoz ír elő, mint a HHP horgony valóságos tömege. A próbaterhelés eljárása és a vizsgálati eljárás a HHP horgonyok esetében a szokásos horgonyokéval egyezik meg.

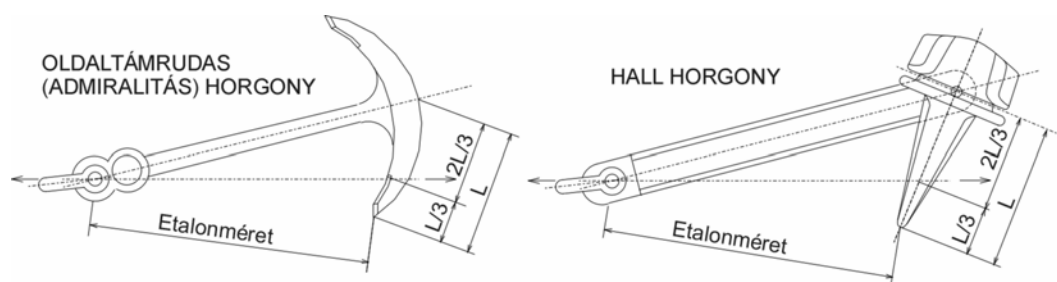
2. táblázat Horgonyok próbaterhelési tesztjei

Hor-gony tömege kg	Próba-teszt terh. kN	Hor-gony tömege kg	Próba-teszt terh. kN	Hor-gony tömege kg	Próba-teszt terh. kN	Hor-gony tömege kg	Próba-teszt terh. kN	Hor-gony tömege kg	Próba-teszt terh. kN
50	23.2	850	175	3400	517	6600	773	16500	1330
55	25.2	900	182	3500	528	6700	779	17000	1360
60	27.1	950	191	3600	537	6800	786	17500	1390
65	28.9	1000	199	3700	547	6900	794	18000	1410
70	30.7	1050	208	3800	557	7000	804	18500	1440
75	32.4	1100	216	3900	567	7200	818	19000	1470
80	33.9	1150	224	4000	577	7400	832	19500	1490
90	36.3	1200	231	4100	586	7600	845	20000	1520
100	39.1	1250	239	4200	595	7800	861	21000	1570

## BBBZ-kódex

120	44.3	1300	247	4300	604	8000	877	22000	1620
140	49.0	1350	255	4400	613	8200	892	23000	1670
160	53.3	1400	262	4500	622	8400	908	24000	1720
180	57.4	1450	270	4600	631	8600	922	25000	1770
200	61.3	1500	278	4700	638	8800	936	26000	1800
225	65.8	1600	292	4800	645	9000	949	27000	1850
250	70.4	1700	307	4900	653	9200	961	28000	1900
275	74.9	1800	321	5000	661	9400	975	29000	1940
300	79.5	1900	335	5100	669	9600	987	30000	1990
325	84.1	2000	349	5200	677	9800	998	31000	2030
350	88.8	2100	362	5300	685	10000	1010	32000	2070
375	93.4	2200	376	5400	691	10500	1040	34000	2160
400	97.9	2300	388	5500	699	11000	1070	36000	2250
425	103	2400	401	5600	706	11500	1090	38000	2330
450	107	2500	414	5700	713	12000	1110	40000	2410
475	112	2600	427	5800	721	12500	1130	42000	2490
500	116	2700	438	5900	728	13000	1160	44000	2570
550	124	2800	450	6000	735	13500	1180	46000	2650
600	132	2900	462	6100	740	14000	1210	48000	2730
650	140	3000	474	6200	747	14500	1230		
700	149	3100	484	6300	754	15000	1260		
750	158	3200	495	6400	760	15500	1270		
800	166	3300	506	6500	767	16000	1300		

A közbeeső tömegértékekhez tartozó próbaterheléseket lineáris interpolációval kell meghatározni.



### 3. SHHP horgonyok tesztelése

#### (a) A horgony próbatesztelése

Az SHHP horgonyokat olyan próbaterheléssel kell tesztelni, amelyet a 2. táblázat kétszerakkora tömegű horgonyhoz ír elő, mint az SHHP horgony valóságos tömege. A próbaterhelés eljárása és a vizsgálati eljárás az SHHP horgonyok esetében a szokásos horgonyokéval egyezik meg.

#### (b) A horgony ellenőrzése és további tesztek

A próbaterhelési tesztet követően valamennyi SHHP horgonyt felületi vizsgálatnak kell alávetni festéssel vagy mágneses repedésvizsgálattal. Az acélöntéssel készülő horgonyok összes felületét meg kell vizsgálni. A felületi vizsgálatoknak a hajótest és gépészeti berendezések öntött acél elemeinek gyártásánál érvényes roncsolás-mentes vizsgálatok (non-destructive evaluation, NDE) irányvonalait követniük. Az öntött acél horgonyoknak azokat a részeit, ahol

a felöntések voltak elhelyezve, minden esetben meg kell vizsgálni ultrahangos teszt (UT) segítségével, illetve ahol hegesztéssel végeztek javításokat. Az UT vizsgálatoknak is a hajótest és gépészeti berendezések öntött acél elemeinek gyártásánál érvényes roncsolás-mentes vizsgálatok (non-destructive evaluation, NDE) irányvonalait követniük. A hegesztéssel készült acél horgonyokat a hegesztéseknél meg kell vizsgálni. A különlegesen nagy terhelésű helyeket vagy gyanús területeket az osztályozó intézet megvizsgáltathatja roncsolás-mentes vizsgálattal, azaz ultrahangos vagy rádiógrafikus ellenőrzéssel.

Az osztályozó intézet joga, hogy további tesztekkel írjon elő a horgonyra. Ezek közé tartozhat a kalapáccsteszt és az ejtő-teszt, amelyeket általában öntött acél horgonyoknál követelnek meg.

4. *A horgony anyagának kiválasztása és annak szívóssága*

Az összes SHHP horgonyt olyan anyagokból kell gyártani, amelyek kielégítik az IACS UR követelményeket az alábbiak szerint:

<i>Gyártmány</i>	<i>Követelmény</i>	<i>Tárgy</i>
Hegesztett acél horgonyok:	UR W11	Normal and Higher Strength Hull Structural Steel (normál és nagy-szilárdságú hajótest szerkezeti acél)
	UR W17	Approval of consumables for welding normal and higher strength hull structural steel (normál és nagy-szilárdságú hajótest szerkezeti acél hegesztésénél használt hegesztőpálcák jóváhagyása)
Öntött acél horgonyok:	UR W8	Hull and machinery steel castings (hajótest és gépészeti berendezések öntött acél elemei)
Horgony-végaszemek: forgings	UR W7	Hull and machinery steel  (hajótest és gépészeti berendezések öntött acél elemei)
	UR W8	Hull and machinery steel castings (hajótest és gépészeti berendezések öntött acél elemei)

A hegesztett SHHP horgonyokhoz felhasznált acél minőségi alapfokozatainak kiválasztásánál a Material Grade Requirements for Class II of S6.1 in UR S-6 "Use of steel grades for various hull members" (S6.1 II. osztály anyagminőségi előírásai az UR S-6 „Különböző hajótest szerkezeti elemekhez való acélminőségek alkalmazása” követelmények szerint) követelmények az irányadóak. A hegesztőpálcák meg kell, hogy feleljenek a hegesztendő acél minőségi fokozatához

tartozó ütőmunkának az UR W17 “Approval of consumables for welding normal and higher strength hull structural steel” (normál és nagy-szilárdságú hajótest szerkezeti acél hegesztésénél használt hegesztőpálcák jóváhagyása) követelmények értelmében. Az SHHP horgonyokhoz használt végszemek ütőmunkája meg kell, hogy feleljen a Grade 3 minőségű horgonyláncnak az UR W18 “Anchor chain cables and accessories” (horgonyláncok és tartozékok) követelmény szerint. Az SHHP horgonyok acélöntvényeinek ütőmunkája nem lehet kisebb, mint a Charpy V munkadarab 27 J átlagos energiája 0°C-nál.

#### 5. Hegesztett horgonyok

A hegesztett horgonyok gyártásánál a jóváhagyott hegesztési eljárásokat kell alkalmazni, ahol a hegesztőpálcáknak jóváhagyott minőségűeknek kell lenniük, a munkát pedig kvalifikált hegesztőknek kell végezniük.

#### *Horgonyláncok orrhorgonyokhoz*

#### A HORGONYLÁNC KONSTRUKCIÓJA

1. A horgonyláncnak olyannak kell lennie, amelyet az 1. táblázat ír elő a hajóhoz kiszámított berendezési jelzőszám függvényében. A horgonylánc tesztelésénél az 5. táblázatot kell figyelembe venni, amely a kívánt horgonyláncához előírja a tesztterheléseket.
2. Amikor előfordulhat, hogy a hajó olyan területeken fog horgonyozni, ahol az áramlás sebessége túllépi a 2,5 m/s értéket, az osztályozó intézet dönti el, hogy kéri-e nehezebb lánc alkalmazását adott hosszon a horgony közvetlen közelében annak érdekében, hogy jobb legyen a horgony beágyazódása.
3. Bizonyos korlátozott hajózási útvonalakon vagy szolgálati körülmények között az osztályozó intézet dönti el, hogy engedélyezi-e a sodronykötél alkalmazását lánc helyett.

#### A HORGONYLÁNCOK MINŐSÉGI FOKOZATAI

Az orrhorgonyokat merevített szemű (peckes) horgonyláncra kell felszerelni, amelyek minőségi fokozatait a 3. táblázat tartalmazza.

3. táblázat Horgonyláncok minőségi fokozatai

Anyag	Minőség	Szakítószilárdság tartománya (N/mm <sup>2</sup> )
Lágyacél	Gr.1	300-490 (31-50 kg/mm <sup>2</sup> )
Különleges minőségű acél	Gr.2	490-690 (50-70 kg/mm <sup>2</sup> )
Extra minőségű acél	Gr.3	> 690 (>70 kg/mm <sup>2</sup> )

#### MEGJEGYZÉS

A „Grade 1” minőség az illetékes osztályozó intézet felelősségére helyettesíthető „Grade 1a” minőséggel, ahol a szakítószilárdság nagyobb, mint 300, de nem lépi túl a



400 N/mm<sup>2</sup> értéket, illetve „Grade 1b” minőséggel, ahol a szakítószilárdság nagyobb, mint 400, de nem lépi túl a 490 N/mm<sup>2</sup> értéket.

#### MEREVÍTETT SZEMŰ HORGONYLÁNCOK PRÓBA- ÉS SZAKÍTÓTERHELÉSEI

- (a) A merevített szemű horgonylancok tervezési és/vagy standard szakítóterhelései (breaking loads BL) és próbaterhelése (proof load PL) (kN mértékegységben) a 4. táblázatban megadott képletekkel számíthatók ki, ahol d a láncszem anyagának átmérője (mm).

4. táblázat

Minőség	BL	PL
Gr.1	$BL_1 = 9,80665 \times 10^{-3} [d^2(44 - 0,08d)]$	$PL_1 = 0,7BL_1$
Gr.2	$BL_2 = 1,4 BL_1$	$PL_2 = BL_1$
Gr.3	$BL_3 = 2 BL_1$	$PL_3 = 1,4 BL_1$

- (b) A teszterhelés értékei, amelyek az (a) pontban kiszámított terhelésekből kerekített értékek, és amelyeket a horgonylancok tesztelésénél és elfogadásánál használnak, az 5. táblázatban vannak megadva.

6. táblázat Teszterhelés értékei merevített szemű horgonylancokhoz

Láncszem anyagának átmérője mm	Grade 1		Grade 2		Grade 3	
	Próba- terhelés kN	Szakító- terhelés kN	Próba- terhelés kN	Szakító- terhelés kN	Próba- terhelés kN	Szakító- terhelés kN
1	2	3	4	5	6	7
20,5	123	175	175	244	244	349
22	140	200	200	280	280	401
24	167	237	237	332	332	476
26	194	278	278	389	389	556
28	225	321	321	449	449	642
30	257	368	368	514	514	735
32	291	417	417	583	583	833
34	328	468	468	655	655	937
36	366	523	523	732	732	1050
38	406	581	581	812	812	1160
40	448	640	640	896	896	1280
42	492	703	703	981	981	1400
44	583	769	769	1080	1080	1540
46	585	837	837	1170	1170	1680
48	635	908	908	1270	1270	1810
50	686	981	981	1370	1370	1960
52	739	1060	1060	1480	1480	2110
54	794	1140	1140	1590	1590	2270
56	851	1220	1220	1710	1710	2430
58	909	1290	1290	1810	1810	2600

## BBBZ-kódex

60	969	1380	1380	1940	1940	2770
62	1030	1470	1470	2060	2060	2940
64	1100	1560	1560	2190	2190	3130
66	1160	1660	1660	2310	2310	3300
68	1230	1750	1750	2450	2450	3500
70	1290	1840	1840	2580	2580	3690
73	1390	1990	1990	2790	2790	3990
76	1500	2150	2150	3010	3010	4300
78	1580	2260	2260	3160	3160	4500
81	1690	2410	2410	3380	3380	4820
84	1800	2580	2580	3610	3610	5160
87	1920	2750	2750	3850	3850	5500
90	2050	2920	2920	4090	4090	5840
92	2130	3040	3040	4260	4260	6080
95	2260	3230	3230	4510	4510	6440
97	2340	3340	3340	4680	4680	6690
100	2470	3530	3530	4940	4940	7060
102	2560	3660	3660	5120	5120	7320
105	2700	3850	3850	5390	5390	7700
107	2790	3980	3980	5570	5570	7960
111	2970	4250	4250	5940	5940	8480
114	3110	4440	4440	6230	6230	8890
117	3260	4650	4650	6510	6510	9300
120	3400	4850	4850	6810	6810	9720
122	3500	5000	5000	7000	7000	9990
124	3600	5140	5140	7200	7200	10280
127	3750	5350	5350	7490	7490	10710
130	3900	5570	5570	7800	7800	11140
132	4000	5720	5720	8000	8000	11420
137	4260	6080	6080	8510	8510	12160
142	4520	6450	6450	9030	9030	12910
147	4790	6840	6840	9560	9560	13660
152	5050	7220	7220	10100	10100	14430
157	5320	7600	7600	10640	10640	15200
162	5590	7990	7990	11170	11170	15970

*Megengedhető kopás az orrhorgonyokhoz használható merevített szemű horgonyláncoknál*

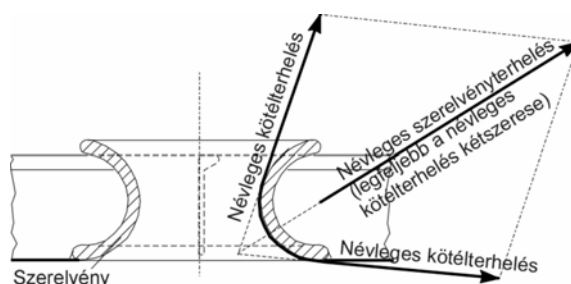
Amikor a horgonylánc annyira elkopott, hogy a láncszem gyártásához használt anyag közepes átmérője a legkopottabb részen 12%-kal vagy még többel csökkent a szükséges névleges átmérőhöz képest, ki kell cserélni.

A közepes átmérő a láncszem adott keresztmetszeténél mért legkisebb átmérő és ugyanabban a keresztmetszetben arra merőlegesen mért átmérő összegének fele.

### 2.4.4.2.3 Vontató-berendezés

A *vontató-berendezés* elemeinek (csörlő, kötel, fedélzeti szerelvények) kiválasztásánál ugyanaz az Egységes Követelmények (UR) az irányadó, amelyet az IACS adott ki, és amelyekről a kikötő- és a horgonyberendezésnél szó volt.

A vontató-berendezésnél a szilárdság, elrendezés és terhelések, valamint az alapozások és a csatlakozó vasszerkezeti elemek területén azonos követelményeket kell kielégíteni, mint a kikötő-berendezésnél, ami eltérő ahhoz képest, azt az alábbiakban foglaljuk össze.



2.4.4.2.3.1 ábra

Amikor egy fedélzeti szerelvényt egy adott névleges terhelés (safe working load, SWL) terhel a hajó üzemeltetőjének kívánsága szerint, amelynek esetében a tervezett üzemi terhelés nagyobb, mint az engedélyezett minimális érték, az illető

szerelvényt a szóban forgó terhelésre kell tervezni.

A tervezett üzemi terhelésnek a szerelvényre és annak bekötésére szolgáló hajótest szerkezeti elemekre történő ráadásakor figyelembe kell venni, hogy a teljes terhelés nem haladhatja meg a tervezett üzemi terhelés kétszeresét, azaz a kötel csak egyszer vethető át a dobon (ld. ábra).

A hajók vontató-berendezéseinek kiválasztása során további segítséget adnak az *Oil Companies International Marine Forum (OCIMF)* szervezet által kiadott kézikönyvek.

#### 2.4.4.2.4 Csónakcsörlők és daruk

A hajók fedélzetén tárolt csónakok két teljesen eltérő csoportba sorolhatóak: *szolgálati járművek* és *mentőcsónakok*. Az első csoportba azokat soroljuk, amelyek a hajó üzeme során rendszeres használatban vannak, tehát munkaeszközök. A második csoport kizárólag akkor szükséges, ha a hajót baj éri, és a személyzetnek és utasoknak el kell hagyniuk. Ezeket a járműveket a *Nemzetközi Konvenció az Élet Biztonságáért a Tengeren* (International Convention for the Safety of Life at Sea, SOLAS), 1974 szabályozza azon kívül, hogy az illetékes osztályozó intézetek előírásaiban is vannak követelmények a mentőcsónakok és az azok kezelésére szolgáló faruk mennyiségére és minőségére.

A mentőcsónakokat azon túl, hogy rendszeresen kell *mentési gyakorlatokat* tartani, és üzemképes állapotukat biztosítani kell, nem szabad szolgálati célokra felhasználni. A szolgálati csónakok ugyanakkor a mentőeszközök számának kibővítését jelentik.

Az áruszállító hajóknak ma már megfelelő számú teljesen zárt, motorral meghajtott mentőcsónakot kell állandóan magával hordaniuk. Ezekből a hajó egyik oldalán levőknek külön-külön elegendő helyet kell biztosítaniuk a teljes személyzet számára. Ezen felül annyi *felfűjhető mentőtutajjal* kell rendelkezniük, amennyi a teljes legénység számára elegendő. Ha a mentőcsónakok a szabadeső típusba tartoznak, ezeket a hajó

farán kell elhelyezni, számuknak elegendőnek kell lenni az egész legénység számára, emellett a hajó mindkét oldalán a teljes legénység számára elegendő számú felfújható mentőtutajt kell hordozniuk. Az olajszállító hajókon, vegyszerszállítókon és gázszállító hajókon ezen felül előírás, hogy kell lenni mentőszolgálati járműveknek ill. egyéb különleges előírásokat kell teljesíteniük.

A hosszú- vagy rövidjáratú nemzetközi személyhajóknak *részlegesen zárt motoros mentőcsónakokat* kell hordaniuk, amelyek közül a hajó egyik oldalára esők elegendő helyet adnak a fedélzeten tartózkodók 50%-ának számára. Ezen felül kell lenni a hajón annyi felfújható mentőtutajnak, amelyek a fedélzeten levők 25%-ának adnak helyet.

Alternativaként a hajó mindegyik oldalán annyi mentőcsónaknak kell lennie a fedélzeten, amelyek a fedélzeten tartózkodók 37,5%-ának elegendőek, plusz annyi mentőtutajnak, amelyekben a fedélzeten levők 12,5%-át lehet elhelyezni. Ezen kívül 25% számára elegendő felfújható mentőtutajt is hordozniuk kell. Ezek a számok a két elárasztható térrel rendelkező (kétterű) hajók és a kisebb járművek esetében változhatnak.

A legfontosabb fejlődési irány a mentőberendezések terén az, hogy egyes személyhajókon, leginkább nagy kompokon, *komplett tengeri mentőrendszert* építenek ki. Ezek emlékeztetnek a repülőgépek menekülő rendszereire, hosszú csúszdák vezetnek le a tengerszintig, ahol azokat nagy mentőtutajokra kapcsolják. Ezek azonban nemcsak a telepítésnél jelentenek nagy költséget, hanem az is sokba kerül és kellemetlenséggel jár, hogy rendszeresen kell rajtuk gyakorlatot tartani.

A hajó építészeti megoldásainál az evakuálási követelmények nagyon szigorúak, és ezt komplett rendszerként kell kezelni az egész hajó biztonságán belül. A csónakok és csónakdaruk csak egy részét jelentik az evakuálási rendszernek, amely ezen kívül kiterjed kommunikációra, riasztásra, mentési gyakorlatokra, szemlékre, a pánikba eső emberek szabad mozgásának biztosítására, a várható környezetre a hajón belül és kívül.

A SOLAS III. fejezete azokat a követelményeket tartalmazza, amelyek az életmentéshez szükséges felszereléseket és intézkedéseket szabályozzák, pl. a mentőcsónakokra, mentőszolgálatok járműveire és mentőmellényekre vonatkozó előírások valamennyi hajótípusnál.

A konvenció többi fejezetéhez hasonlóan a III. fejezetet, amelynek címe Életmentő felszerelések és intézkedések (Chapter III - Life-saving appliances and arrangements) számos esetben látták el kiegészítéssel, és külön előíráscsomagban foglalták össze, amelynek címe Nemzetközi Életmentő Felszerelés (LSA) Kód (The International Life-Saving Appliance – LSA – Code), és amely specifikus műszaki követelményeket fogalmaz meg az LSA felszerelésekre vonatkozóan. Ezek a követelmények kötelező érvényűek a SOLAS Regulation 34 (34. rendelkezés) értelmében, amely előírja, hogy az összes életmentő felszerelésnek és intézkedésnek összhangban kell lenni az LSA Kód vonatkozó követelményeivel.

A csónakok és csónakcsörlők a többi fedélzeti berendezéshez hasonlóan arra szakosodott nemzetközi tekintélyű gyártók üremeiben készülnek. Az osztályozó intézeteknél jóváhagyott berendezéseket a világ minden tájára szállítják, a hajóépítő

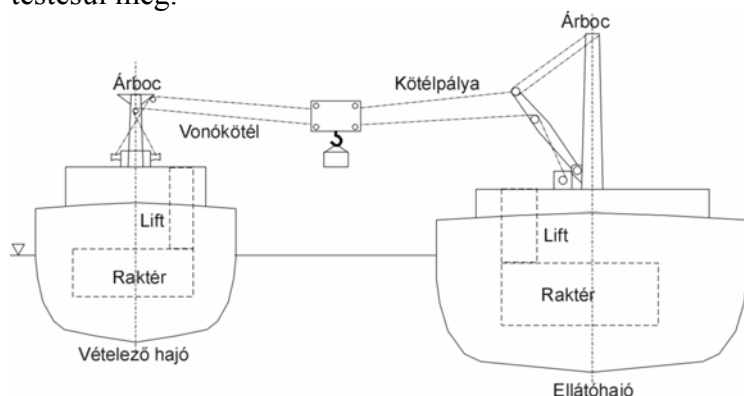
ezeket készen vásárolja meg. A csónakdarukat a legtöbb esetben hasonlóan külső gyártótól szerzi be, de nem ritka, hogy azokat a hajótervező iroda tervezi meg, amennyiben a helyi adottságok megkövetelik.

#### 2.4.4.3 Rakodó-berendezések

A fedélzeti berendezések közül ez az a csoport, amelyek tervezése hagyományosan hozzátartozott a hajótervező csapat munkájához. A hajó egyedi objektum akkor is, ha sorozatban készül, a sorozat általában néhány darabot jelent, de az egyes példányok még így is lehetnek eltérőek, amennyiben nem ugyanaz a tulajdonos üzemelteti mindegyiket.

Napjainkra a hajók *rakodó-berendezései* hatalmas fejlődésen mentek át, amely egyrészt azt eredményezte, hogy az árukezelés, ki- és berakodás folyamatában jelentkező különbségek a rakodó-berendezések specializálódását vonták magukkal, másrészt azonban a hasonló feladatok megoldására szolgáló berendezések egységesebbek lettek. Nagyobb tehát a választéka a különböző feladatra rendelt berendezéseknek, ugyanakkor az azonos vagy hasonló feladathoz illő berendezések választéka szűkült, legfeljebb vertikális tagozódás van a kezelt rakomány mérete, súlya szerint.

Az is ennek a fejlődésnek az eredménye, hogy a rakodó-berendezések is arra szakosodott gyártók termékeivé váltak, a gyártók saját termékeikre beszerzik az osztályozó intézetek jóváhagyását. A hajótervező feladata már inkább a megfelelő berendezés kiválasztása, nem pedig annak megtervezése. Természetesen, amennyiben a megrendelő nem rögzíti tervkiírásában azt, milyen rendszerű rakodó-berendezéssel akarja megoldani a feladatot, azt a hajótervezőnek kell az összes feltétel figyelembe vételével eldöntenie. Tervezési munkája azonban ezek után a vásárolt készüléknek a hajóra illesztésében és a hajó és a berendezés együttes viselkedésének vizsgálatában testesül meg.



2.4.4.3.1 ábra Nyílt tengeren végzett ellátmány-átrakás

Ezek közül a vizsgálatok közül egyik legfontosabb a *nyíltvízi átrakódás* két hajó között. A személyhajók vagy hadihajók gyakran 2000 embert is szállítanak, ami azt jelenti, hogy kb.

napi húsz tonna ellátmányt kell magukkal vinniük. Ideális esetben a tervező gondol arra, hogy blokkokban alakítja ki a száraz, hűtött és fagyasztott élelmiszer raktár-egységeit, amelyeket lift vagy más szállítórendszer juttat a legfelső fedélzetre annak a pontnak a közelében, ahol a kikötőben az ellátmányt a fedélzetre rakják. A rakomány vízszintes mozgását további berendezésekkel lehet megoldani.

A nyílt tengeren történő átrakás az ellátó hajóról a vételező hajóra a 2.4.4.3.1 ábrán

látható módon végezhető el. Mindkét hajónak rendelkeznie kell egy megfelelő magasságban kialakított és kellő szilárdságú fix ponttal, amelyek között egy szállító drótkötelet feszítenek ki, ezt egy erre szolgáló csörlő állandóan feszített állapotban tartja. A szállítást magát a görgőre akasztott kocsi végzi, ezt a két hajón elhelyezett csörlőkkel mozgatják oda-vissza. A teher fedélzetre helyezésekor meglazítják a drótkötélpályát. Kedvező időjárásnál ilyen módon 40 t terhelést át lehet vinni (2 t egy alkalommal) a kb. 30 m-re álló hajók között. Amikor az időjárás kedvezőtlen, a hajók távolsága 45 m, óránként 25 t rakható át. Ugyanezt a módszert alkalmazzák folyadékok esetében is, de azokat csővezetéken rakják át. A mennyiséget a tömlő mérete és a két hajó szivattyúrendszere korlátozza, reálisan 450 t/h vihető át egy 50 mm-es tömlőn. Ma már hozzáférhető a piacon szabadalmaztatott berendezés, amely elfogadható költség szinten automatizált elemeket is tartalmaz. A vízszintes mozgás mellett a szállító kocsi alkalmas az oszlop mentén függőlegesen is mozogni, tehát a beérkező terhet a fedélzetre vagy egy villás targoncára helyezi. Ezekkel természetesen sokkal kényesebb rakományokat is át lehet rakni.

#### **2.4.4.4 Rakománykezelő és hozzáférést biztosító berendezések**

Ezeket a berendezéseket részletesen ismerteti a 4.2.3.4 fejezet. A far-, orr- és oldalkapuk, rámpák, mozgatató fedélzetek, rakományrögzítők és hasonló felszerelések a hajó részét képezik, és bár előfordul, hogy standard elemekből lehet őket összeépíteni, a legtöbb esetben a hajón rendelkezésre álló környezethez kell megtervezni az egyes egységeket. A tervezést csak ritkán végzi el maga a hajótervező. Mivel szállító-, emelő- és egyéb speciális berendezésekről van szó, a hajóépítő rendszerint olyan szakosodott cégekkel tervezteti meg és gyártatja le az ilyen szerkezeteket, amelyek gyakorlata ezen a területen kellően nagy. Az osztályozó intézetekkel való jóváhagyást azonban rendszerint a hajóépítőnek kell elintéznie.

A Nemzetközi Konvenció az Élet Biztonságáért a Tengeren (International Convention for the Safety of Life at Sea, SOLAS), 1974 II-1 (Chapter II-1 - Construction - Subdivision and stability, machinery and electrical installations) Konstruktív - térbeosztás és stabilitás, gépészeti és elektromos berendezések c. fejezete az időközben kiadott módosításokkal szabályozza ezek közül a szerkezetek közül azokat, amelyek a hajó vízmentességének biztosításában szerepet kapnak.

