

BUDAPESTI MŰSZAKI EGYETEM
KÖZLEKEDÉSMÉRNÖKI KAR

Dr. Benedek Zoltán

HAJÓK I.

KÉZIRAT

Változatlan kiadás
javításának változatlan kiadása

TANKÖNYVKIADÓ, BUDAPEST, 1991

Lektorálta:

Varga Imre

1. HAJÓTÍPUSOK	7
1.1 Úszóművek	7
1.2 Víziutak	9
1.3 A hajók felosztása	12
1.4 Személyhajók	15
1.4.1 Belvízi személyhajók	15
1.4.2 Tengeri személyhajók	25
1.5 Belvízi áruszállító hajók	28
1.6 Tengeri áruszállító hajók	37
1.6.1 Darabárut szállító hajók	39
1.6.2 Ömlesztett árut szállító hajók	56
1.6.3 Folyékony rakományt szállító hajók	57
1.7 Folyam-tengeri hajók	62
1.8 Halászhajók	62
1.9 Jégtörők	65
1.10 A hajózást kiszolgáló hajók	68
1.11 Úszó munkagépek	68
2. A HAJÓTEST JELLEMZŐI	75
2.1 A hajó méretei	75
2.1.1 Elnevezések	75
2.1.2 Főméretek	76
2.1.3 Mértékegységek	78
2.1.4 Méretviszonyok, teltségek	78
2.2 A hajó vonalrajza	82
2.2.1 A bordametszetek	83
2.2.2 A vízvonalmetszetek	84
2.2.3 A függőleges és átlós metszetek	85
2.2.4 A síkmetszetek elrendezése a vonalrajzon	85
2.3 A hajótest mérettáblázata	86
2.4 A hajó geometriai jellemzői	93
2.4.1 Számítási módszerek	93
2.4.1.1 A trapéz szabály	93
2.4.1.2 A Simpson szabály	95

2.4.1.3	Egyéb közelítő integrálási módszerek	98
2.4.1.4	Terület mérése planiméterrel	98
2.4.2	A bordaterületek	101
2.4.2.1	A bordaterület meghatározása	101
2.4.2.2	A bordaterület-eloszlás görbék és a Bonjean görbék	104
2.4.3	A vízvonalterület jellemzői	106
2.4.4	A vízkiszorítás jellemzői	113
2.4.5	A jellemző görbék és használatuk	118
3.	A HAJÓ ÚSZÁSA	123
3.1	A felhajtóerő	123
3.2	A hajó súlyának és súlyponthelyzetének számítása	127
3.3	A hajó úszási (trimm) helyzete	128
3.3.1	Az úszási helyzet meghatározása a jellemző görbék segítségével	139
3.3.2	A trimm-görbék és használatuk	140
3.3.3	Nomogramok a hajó trimmjének meghatározására ..	145
3.3.4	A hajó trimm-helyzetének módosítása	149
3.3.5	Egyik végén feltámaszkodó hajó úszási helyzete	150
3.4	A hajó oldalirányú megdőlése	156
3.5	A rakomány elmozdulásának és a szabad felülettel rendel- kező folyadékoknak a hatása a hajó úszási helyzetére	161
3.6	A hajó súlyponthelyzetének kísérleti meghatározása	167
3.6.1	A súlypont x irányú koordinátájának meghatáro- zása a merülések értékéből	167
3.6.2	A súlypont z irányú koordinátájának kísérleti meghatározása dőléspróbával	169
3.7	Lékesedett hajó úszási jellemzőinek meghatározása	175
3.8	Példák a 3. fejezetben	178
4.	A HAJÓK STABILITÁSA	203
4.1	A stabilizáló nyomaték, stabilitás fogalma	203
4.2	A kezdeti stabilitás	205
4.3	A függőleges oldalfalú hajók stabilitása	208
4.4	Általános alakú hajók stabilitása nagy dőléseknél	213
4.4.1	A stabilizáló nyomaték karjának változása	213
4.4.2	A vízvonalterület másodrendű nyomatékának meg- határozása különféle dőlésszögeknél	216
4.4.3	A stabilizáló nyomaték karjának meghatározása A Reed diagram	222
4.4.4	A súlyponthelyzet változásának figyelembevétele. Az általános Reed diagram és a pantokarénák	224

4.4.5	A szabad felszíni folyadékrakomány hatása a stabi- litásra, nagy dőlésnél	227
4.5	A stabilitás különleges esetei	230
4.5.1	A lékesedett hajó stabilitása	230
4.5.2	Zátonyra futott hajó stabilitása	230
4.6	A megdőlés folyamata. Dinamikai stabilitás	233
4.6.1	A nyomaték hatására bekövetkező legnagyobb ki- billenés meghatározása	233
4.6.2	Billentő nyomatékok hatásának vizsgálata különféle jellegzetes esetekben	237
4.6.3	A dinamikai stabilitási görbe	243
4.7	Üzem közben várható billentőnyomatékok	244
4.8	A kielégítő stabilitás biztosítása	250
4.9	Lengések	253
4.9.1	Lengés-fajták	253
4.9.2	Oldalirányú lengések	254
4.9.3	A hullámvás gerjesztő hatása az oldalirányú len- gésekre	257
4.9.4	A lengésidő növelése	258
4.9.5	A lengés amplitudójának csökkentése (Lengécsillapítás)	259
5.	A KAPITÁNYI TÁJÉKOZTATÓK	263

1. HAJÓTÍPUSOK

1.1 Úszóművek

A világon a termelés és így a szállítandó anyagok, áruk mennyisége évről-évre növekedik (1.1 táblázat). Az ipari vállalatok, sőt az egyes országok iparának szakosodása következtében a szállítások távolsága is egyre nagyobb lesz. Így a közlekedési vállalatoknak fokozottan növekvő szállítási feladatokat kell ellátniuk.

1.1 táblázat

A tengeren, nemzetközi forgalomban szállított árumennyiségek alakulása

év	szárazáru millió tonna	folyékony áru millió tonna	összesen millió tonna
1960	569	520	1089
1966	720	880	1600
1972	1350	1650	3000
1979	1885	1765	3650

Az egyes közlekedési ágak, a közúti-, a vasúti közlekedés, a repülés és a hajózás egymáshoz viszonyítva, különféle előnyös és hátrányos tulajdonságokkal rendelkeznek. A beruházási és az üzemi költségek szempontjából a legolcsóbb a hajózás.

Az üzemanyag fogyasztásának az összehasonlítására nézzük meg, hogy 1 kg üzemanyag felhasználásával, a különféle közlekedési eszközökkel, 1000 kg rakományt milyen távolságra szállíthatunk:

tengeri hajóval	1000-2000 km;
folyami hajóval	400- 600 km;
vonattal	130- 160 km;
gépkocsival	80- 100 km;
repülővel	8- 12 km.

Az üzemanyag árának növekedése és az energiával való takarékoskodás miatt várhatóan növekedni fog a közlekedésben, a fajlagosan lényegesen kevesebb üzemanyagot igénylő hajózás szerepe.

A vízi közlekedés eszköze az úszómű. Ez az elnevezés a szárazföldi (vasúti és közúti) közlekedés eszközének, a jármű elnevezésének felel meg. Úszóműnek nevezzük mindazokat a mesterségesen előállított szerkezeteket, melyek a víz felszínén úszva vagy a vízben lebegve személyek vagy tárgyak hordására, továbbá meghatározott egyéb feladatoknak a vízben való végrehajtására szolgálnak.

Az úszóműveket öt főcsoportba sorolhatjuk:

- I. Hajók
- II. Pontonok
- III. Úszó munkagépek
- IV. Szállak
- V. Úszók.

A hajó olyan úszómű, amely rendeltetését főleg helyváltoztatással teljesíti. A hajókat különféle szempontok szerint csoportosíthatjuk. A fontosabb szempontok szerinti csoportosításokkal az 1.3 fejezetben foglalkozunk. A kisméretű, fedélzet nélküli hajót csónaknak nevezzük.

A ponton általában állandó jelleggel a parthoz kötött, vagy lehorogonyzott úszómű, mely különböző tárgyak és létesítmények vízben tartására, vagy hajók kikötésére szolgál. Ilyenek a hidponton, úszó csónakház, vízi uszoda, lakóhajó, úszó raktár, kikötőponton stb.

Az úszó munkagépeket szokás a hajók közé is sorolni, mert munkavégzésük során helyüket is változtatják. Helyváltoztatásukat saját hajtóberendezéssel vagy vontatással végzik. Ilyenek az úszódaru, úszó elevátor, úszókotró, emelőhajó, úszó fúrógép, úszó cölöpverő, úszó szivattyútelep, úszódokk stb.

A szállak egyszerű módon összeállított, alacsony úszóművek, melyek mozgatása vontatással, tolással, víz folyásának segítségével lehetséges. Ilyenek pl. a tutajok, talpak.

Az úszók kisméretű úszóművek, melyeket általában jelzésekre vagy kisebb tömegű tárgyaknak a víz felszínén tartására használnak. Ilyenek a bója (a hajózóút jelzésére, kikötésre, stb.), a cölömp (jelzési célokat szolgáló úszó gerenda), a mentőgyűrű, mentőmellény, mentőpad stb.

1.2 Víziutak

A természetes víziutak, a folyók, a tavak és a tengerek. A mesterséges víziutak a csatornák. Hajózási szempontból való használhatóságukat a szélesség és mélység, továbbá folyóknál a vízfelszín lejtése, a kanyarok sugara, hidak nyílásának mérete határozza meg.

A nyílt tengereken és az óceánokon elvileg tetszőleges nagyságú hajók közlekedhetnek. Azonban a kikötők megközelítése a legtöbb esetben tengerszorosokon, öblökön, folyótorkolatok környezetében való hajózást tesz szükségessé. Ezeken a helyeken a víz mélysége korlátozza a hajók merülését.

A belvizeken a vízmélység a hajó merülését, a kanyarulatok sugara a hajó hosszát, a hidak és egyéb műtárgyak méretei a hajók magasságát korlátozza. A hajózóút szélessége nemcsak a hajók szélességét, hanem a fordulási lehetőségek biztosítása miatt a hajó hosszát is befolyásolja.

Különösen a folyótorkolatokban épült tengeri kikötőket rendszeresen kotorják a megfelelő vízmélység biztosítására. Ezek a munkálatok a kikötő fenntartási költségeit terhelik.

A folyók vízfolyásának szabályozását (kanyarulatok rendezését, mederfenék kotrását) általában minden országban állami szervek tervezik és irányítják. Hazánkban ez az Országos Vízügyi Hivatal feladata. A munkálatokat elsősorban az árvízvédelem és a vízgazdálkodás érdekében végzik. Így a folyókon a hajózás számára nem jelent külön költséget a víziutak fenntartása. Csupán a hajózóút bójákkal, parti jelzőkkel való kitűzése válik szükségessé. Sok esetben a folyók medrének mélyítése során a kitermelt sóder eladása a szabályozás költségeit lényegesen csökkenti, sőt nyereséget is biztosít.

A folyók gyors folyású szakaszain épülő vízlépcsők is elsősorban az árvízvédelmet és a vízgazdálkodást szolgálják. A villamos energia termelés is csak másodlagos célja a vízlépcsőknek.

A vízlépcsőket az egyes folyókon olyan sűrűn építik, hogy a víz duzzasztása az előző, feljebb lévő vízlépcsőig hat vissza. Így jelentősen lelassul a víz áramlási sebessége, azaz a vízfelszín lejtése jóval kisebb. A vízmélység is lényegesen megnő. Ezáltal a vízlépcsők lehetővé teszik nagyobb méretű hajók gazdaságosabb és biztonságosabb közlekedését.

A víziutak közül a csatornák egy része szintén elsősorban árvízvédelmi, illetve vízgazdálkodási szempontok miatt épül. A hajózás számára épülő csatornák építési költsége kisebb, mint az azonos szállítási teljesítményt biztosító vasútvonal, vagy autópálya építési költsége.

A vízi közlekedés rendjét nemzetközi egyezmények szabályozzák. A több országon áthaladó természetes víziutak nemzetköziek, azon a szabad, térítésmentes áthaladást minden ország köteles biztosítani.

A régi, meglévő csatornák is nemzetközi. Az újonnan épülő csatornákon néhány országban ujabban feltételekhez kívánják kötni más országok hajói számára a hajózás lehetőségét. Ez a kezdeményezés azonban nem általános jellegű. Mindezeket összefoglalva, a víziutak használata a hajózás számára költségmentes, a szabad használatukat nemzetközi egyezmények biztosítják.

A magyarországi víziut hálózatnak a nagyobb hajók által is használható szakaszai az alábbiak:

A jegesedés kivételével állandóan használhatók:

Duna (az országhatárok között)	417 km
Mosoni dunaág Győrtől a torkolatig	14 km
Szentendrei dunaág	32 km
Soroksári dunaág	58 km
Tisza (Dombrádtól az országhatárig)	443 km
Bodrog (határtól a torkolatig)	50 km
Kettős és Hármas-Kőrös (Békéstől a torkolatig)	114 km
Sebes-Kőrös (Kőrösladánytól a torkolatig)	10 km
Hortobágy-Berettyó főcsatorna (Mezőtúrtól a torkolatig)	7 km

Összesen: 1145 km

Időszakosan használhatók:

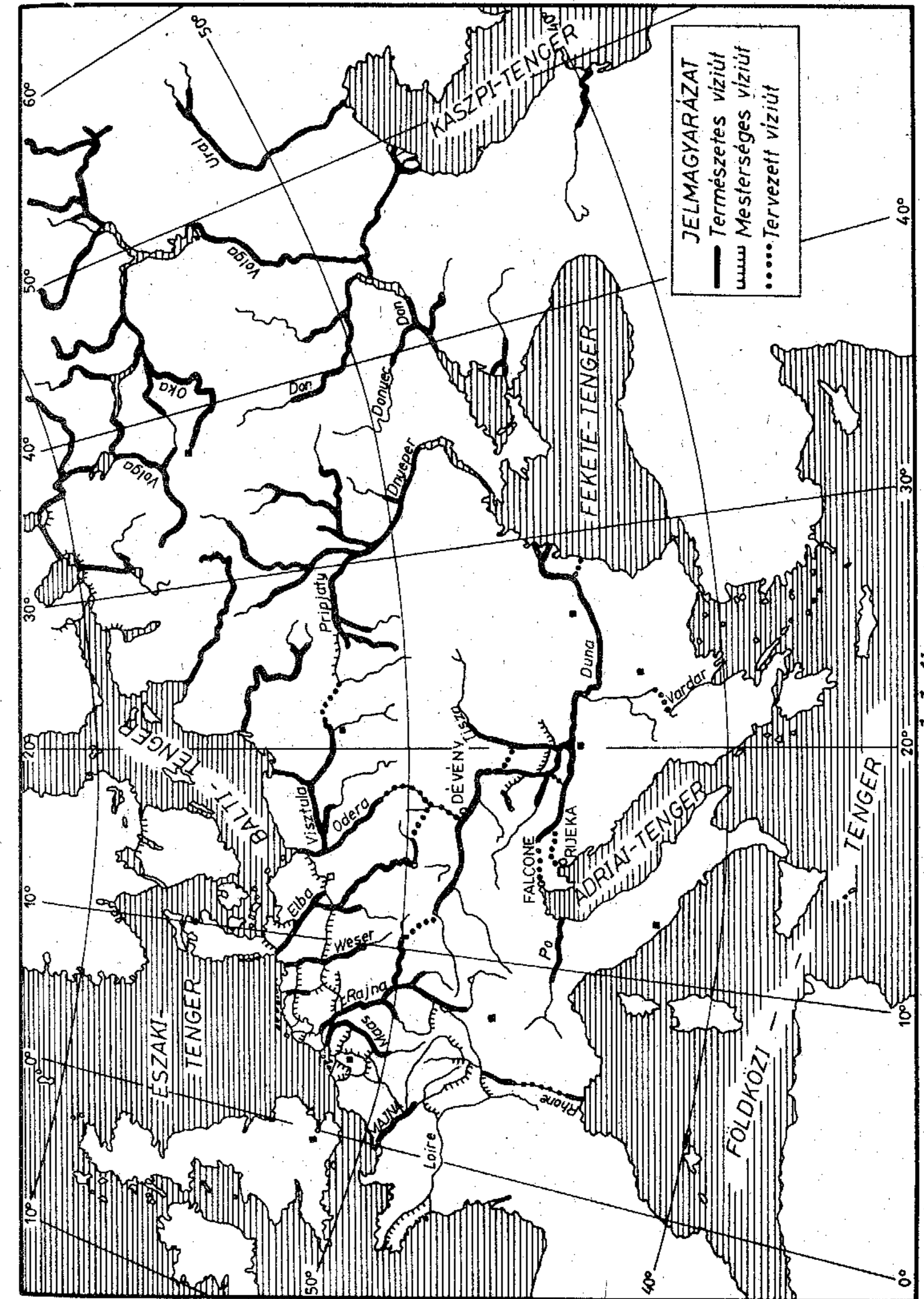
Sió-csatorna	123 km
Ferenc csatorna (Bajától-Hercegszántóig)	37 km
Dráva (Barcstól-Drávaszabolcsig)	87 km
Tisza (Vásárosnaménytől-Dombrádig)	95 km
Keleti főcsatorna (Tiszalöktől-Balmazújvárosig)	45 km
Maros (Maktótól a torkolatig)	24 km

Összesen: 411 km

A vasútvonalak és a közutak telítődése miatt, a jelenleg csak nagyon kis mértékben kihasznált víziutjaink igénybevételére még akkor is szükség van, ha a hajózás nem is lenne a legolcsóbb.

A víziutakat, elsősorban vízgazdálkodási és árvízvédelmi célokból, világszerte folyamatosan fejlesztik. A közelmúltban felépült tiszalöki, kiskörei és ujbecsei vízlépcső, továbbá az 1980-ra ígért csongrádi vízlépcső, a Tisza teljes hazai szakaszán lehetővé teszi majd a hajózást. Az évszázadunkban elkészülő Duna-Tisza csatorna pedig nagy mértékben megnöveli a nagy víziutjaink használatának lehetőségét.

Az 1.1 ábrán láthatjuk az Európában építés, vagy tervezés alatt álló új csatornákat. A Duna-Majna-Rajna csatornát már néhány éven belül



I.1 ábra
Európa víziútjai

üzembe helyezik. Ezzel a magyar hajózás közvetlenül bekapcsolódik a fejlett nyugateurópai víziúthálózatba és több tengeri kikötővel közvetlen víziúti kapcsolatba kerülünk.

A Duna-Elba-Odera csatorna újabb tengeri kikötők (Hamburg, Szczezin) elérését teszi lehetővé belvízi hajózásunk számára, s a lengyel és német belvízi víziút-rendszer használatát biztosítja.

A Duna-Száva csatorna megrövidíti a Szávára vezető hajóutat. A Szávát Rijekával összekötő, vagy a Száva és a Trieszt melletti Monfalcone közötti víziúton az adriai-tengeri kikötőket érhetjük el. A jugoszláviai Morava és Vardar folyókat összekötő csatorna pedig az Égei-tengerre biztosít kijáratot, s ezzel a Földközi-tenger keleti medencéjét lényegesen rövidebb úton érhetjük el, mint jelenleg, a Dunán és a Fekete tengeren áthaladva.

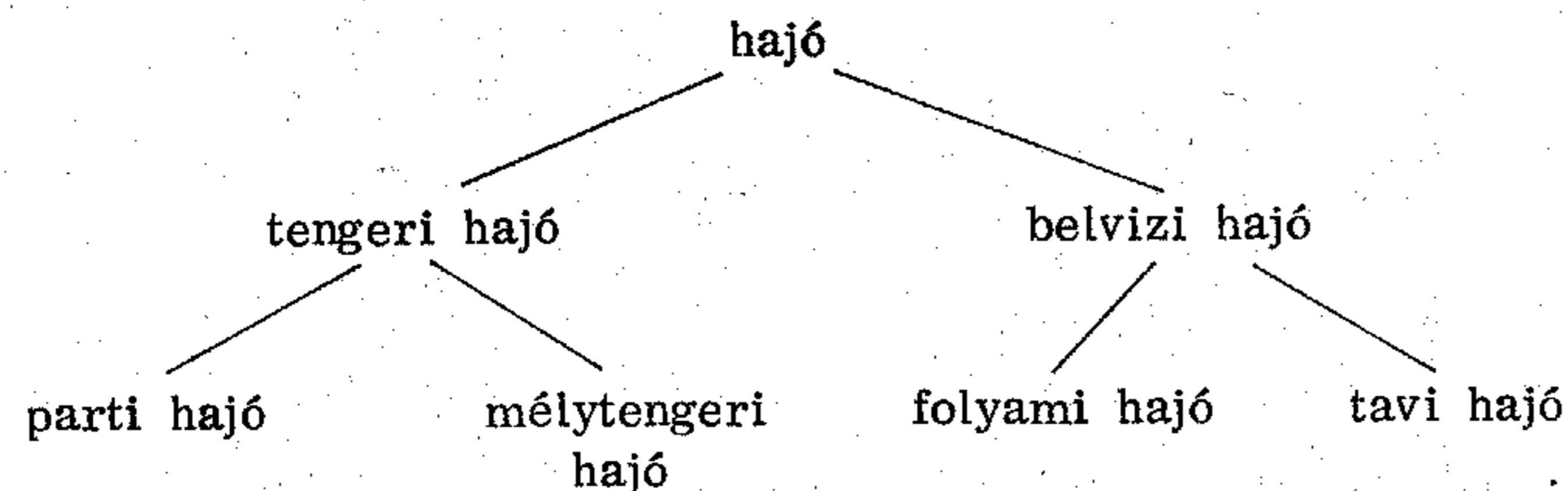
A belvizeken a hajózó utak távolságát kilométerben mérik. A folyókon a távolságokat kilométer táblák jelzik. A táblákon általában a folyó torkolatától mért távolságokat tüntetik fel.

A tengeri hajózásnál a távolságokat tengeri mérföldben mérik. $1 \text{ tmf} = 1853,2 \text{ m}$, a föld legnagyobb főkörén, az egyenlítőn egy perc középponti szöghöz tartozó ívhosszúság. A tengeri mérföld használata a hajózásban és a repülésben azért indokolt, mert a pontos, egyértelmű földrajzi helymeghatározás csak szögekkel lehetséges. Mivel a föld felülete síkba ki nem fejthető, közelítően gömbfelület, a térképek nem készülhetnek úgy, hogy a távolságok léptéke azonos legyen a térkép valamennyi részén. A nagy területeket ábrázoló hajózási térképeken így távolságokat nem lehet lemérni, leolvasni.

A távolságok mértékegységének megfelelően a tengeri hajók sebességét csomóban adják meg. $1 \text{ csomó} = 1 \text{ tmf/h}$, azaz $1,853 \text{ km/h}$.

1.3 A hajók felosztása

A hajókat a hajózási terület szerint az alábbi módon osztályozzák:



A hajókat a hajtóberendezésük szerint a gépes hajók és a gép nélküli hajók csoportjába oszthatjuk. A gépes hajók: az önjáró-, toló- és vontató hajók. A gép nélküliek az uszályok, bárkák, vitorláshajók.

A gépes hajóknak további csoportosítási lehetősége van a hajtógép típusa szerint is: gőzgépes hajók, gőzturbinás hajók, gázturbinás hajók, Diesel-motoros hajók. A gőzüzemű hajókat tovább csoportosíthatjuk aszerint, hogy széntüzelésű kazánnal, olajtüzelésű kazánnal, vagy reaktorttal fejlesztett gőzzel működnek.

A hajtószerkezet (propeller) szerint csavaros, gyűrűs - csavaros, lapátkerekes, cikloidai propelleres, sugárhajtású, vitorlás és evezős hajókról beszélhetünk.

A következő fejezetekben a hajókat elsősorban a rendeltetésük szerint osztályozzuk. A rendeltetésük szerint a hajókat két főcsoportra, polgári és hadihajókra oszthatjuk.

Polgári hajók:

- A) Kereskedelmi hajók
 - a) Személyhajók: Üdülőhajó, kirándulóhajó, átkelő és parti hajók
 - b) Áruszállító hajók:
 - Szárazáru szállítók: Általános áruszállító, hűtőhajó, konténerszállító, Ro-Ro hajó, bárkaszállító, járműszállító, ömlesztett rakományt szállító. Folyékony rakományt szállítók: Tankhajók, tartályhajók.
- B) Halászhajók: Kutterek, loggerek, trawlerek, halveszállító (halfeldolgozó) hajók.
- C) Szolgálati hajók: Kalauzhajó, jégtörő, kikötői vontató, világítóhajó, ellátóhajó stb.
- D) Különleges rendeltetésű hajók:
 - Kitűző hajó, felmérő és kutatóhajó, kábelrakó hajó, műhelyhajó, iskolahajó stb.

Hadihajók: Csatahajók, rakétacirkálók, rakétarombolók, fregattok (partvédelmi hajók), gyorsnaszádok, aknarakó és aknaszedő hajók, repülőgépanyahajók, partraszállító hajók, tengeralattjárók.

A további fejezetekben csak a polgári rendeltetésű hajókkal foglalkozunk.

A tengeri hajók típus szerinti megoszlása az 1.2 táblázatban látható. Az 1.3 táblázat a hajtógép típusa szerinti megoszlást mutatja. A tengeri kereskedelmi hajók darabszámának és nagyságának fejlődését az 1.4 táblázat érzékelteti.

1.2 táblázat

A tengeri hajók típusának megoszlása

Hajótípus	db	ezer BRT	millió m ³
Általános áruszállító	21353	70399	199,35
Ömlesztettáru-szállító	3308	61832	175,09
OBO-hajó	403	23716	67,16
Konténerszállító	419	6244	17,68
LASH-hajó	28	796	2,25
Járműszállító	142	542	1,53
Egyéb szárazáru szállító	257	536	1,52
Olajszállító	7024	150057	424,91
Egyéb folyadék- és gázzállító	858	4080	11,55
Utasszállító (vonalhajó)	137	2790	7,90
Komphajó és parti személyhajó	2573	4630	13,11
Halászhajó	18217	7830	22,17
Halgyár és halszállító	723	3508	9,93
Vontató	4611	1191	3,37
Jégtörő	72	289	0,82
Egyéb	3599	3722	10,54
Összesen:	63724	342162	968,895

(Az adatokat a "Lloyd's Register of Shipping Statistical Tables 1975"-ből vettük.)

1.3 táblázat

A tengeri hajók főüzemének megoszlása

Hajógép típusa	db	ezer BRT	millió m ³
Gőzgép	2569	4005	11,34
Gőzgép és turbina	192	737	2,09
Gőzturbina	2985	118717	336,17
Gőzturbina-elektromos	211	2725	7,72
Gőzüzem összesen:	5957	126184	357,32
Dieselmotor	56844	213746	605,26
Diesel-elektromos	923	2232	6,32
Dieselüzem összesen:	57767	215978	611,58
ÖSSZESEN:	63724	342162	968,895

1.4 táblázat

A világ kereskedelmi hajóparkjának fejlődése

év	darab	térfogat millió m ³	<u>Térfogat</u> darab <u>m³</u> darab
1908	21550	101,2	4694
1925	29205	176,5	6044
1950	30852	239,5	7764
1962	38661	396,4	10253
1975	63724	968,9	15205

1.4 Személyhajók

1.4.1 Belvízi személyszállító hajók

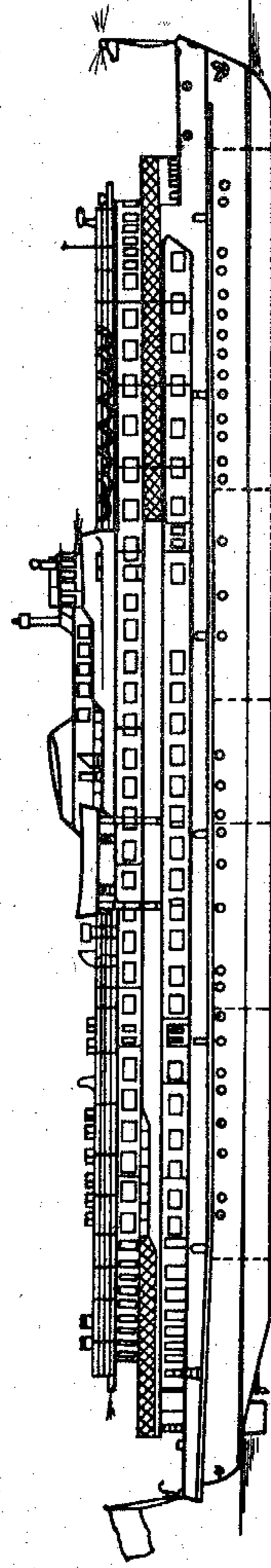
A belvízi személyszállító hajókat három csoportba sorolhatjuk:

- Üdülőhajók
- Kirándulóhajók
- Átkelőhajók

A dunai üdülőhajók két-három hetes utakat tesznek meg. Az üdülő utasok számára szálloda-szerű elhelyezést biztosítanak. Általában olyan menetrend szerint közlekednek, hogy az egyes útszakaszokat éjjel teszi meg a hajó. Igen nagy érdeklődés nyilvánul meg ezen üdülési mód iránt. Fő vonzóereje az, hogy az üdülő vendég nem érzi, hogy utazik: Ugyanabban a "szobában" lakik, nem kell 1-2 naponként csomagolni, mégis két-három hét alatt több ország szép tájait, városait tekintheti meg. A nagy érdeklődés jeleként tavasztól őszig napról-napra 5-8 külföldi üdülőhajót láthatunk állni a budapesti dunapartnál.

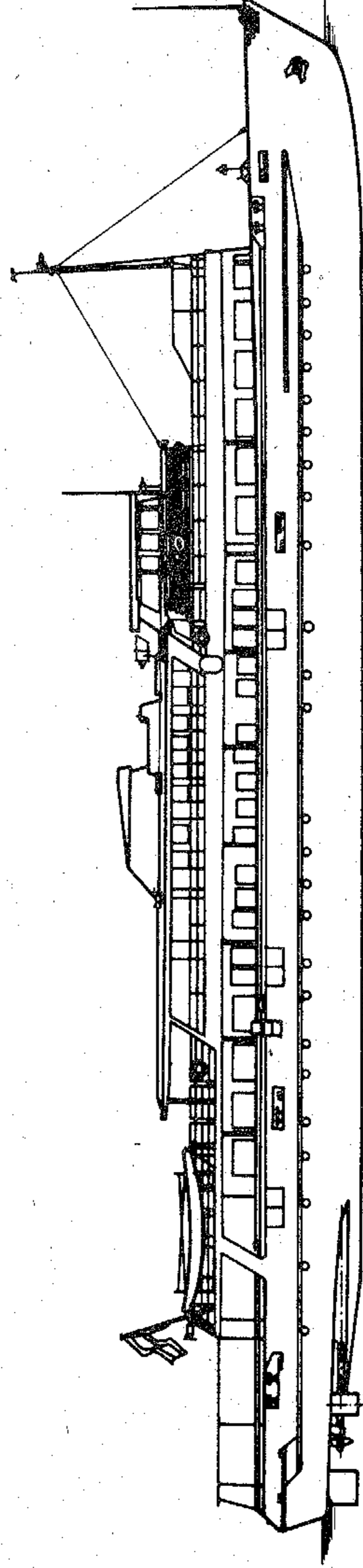
Az üdülőhajók általában háromszintes hajók. A felső fedélzeten strandolási lehetőséget is biztosítanak az utasok számára (1.2 ábra).

A kirándulóhajók nagy tömegek rövid távolságra szállítását végzik, mint például a Budapest-Visegrád, vagy a Siófok-Badacsony között közlekedő hajók. Az utasok számára csak közös helyiségek állnak rendelkezésre. 1.3 ábra.



1.2 ábra

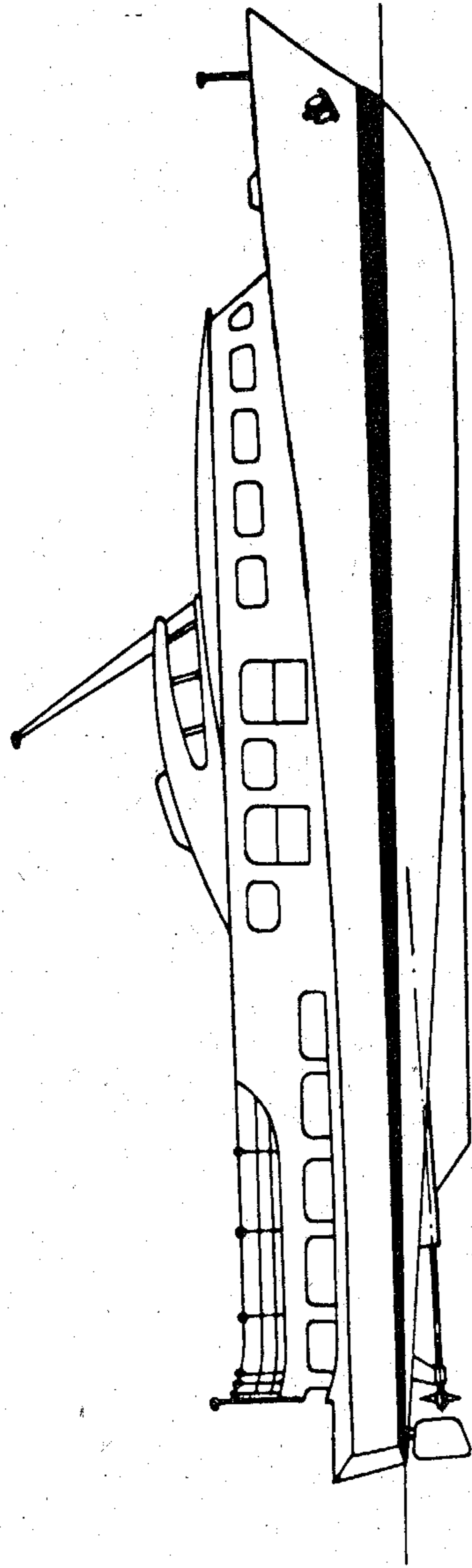
Folyami üdülőhajó ("Szoc. forradalom", "Druzsba"). $L_T = 78,12$ m, $L_{pp} = 74,6$ m, $B = 11,2$ m, $D = 3,4$ m, $T = 1,37$ m. Vízkiszorítása 800 m³. Utas hálólhelyek száma 206 db, hajós személyzet 9 fő, utasellátó személyzet 37 fő. Két db 294 kW teljesítményű főgéppel kb 20 km/h sebességgel halad. A tífusból 49 db épült $1960-65$ között a MHD Óbudai Hajógyárában



1.3 ábra

Folyami kirándulóhajó ("Hunyadi")

$L_{pp} = 55$ m, $B = 11,45$ m $D = 3$ m, $T = 1,4$ m. Utasok száma 608 fő. Hajós személyzet 9 fő, utasellátó személyzet 8 fő. Két db 294 kW teljesítményű főgéppel kb. 20 km/h sebességgel halad. Épült 1966 -ban a Mahart újpesti műhelyében



1.4 ábra

Vizibusz

$L_T = 31$ m, $B = 6,3$ m, $T = 1,4$ m. Utasok száma 220 fő, személyzet 7 fő. Két db 110 kW teljesítményű főgéppel 16-18 km/h sebességgel halad. A hajótípust 1960-64 között építették a MHD Váci Gyáregységében

1.5 táblázat

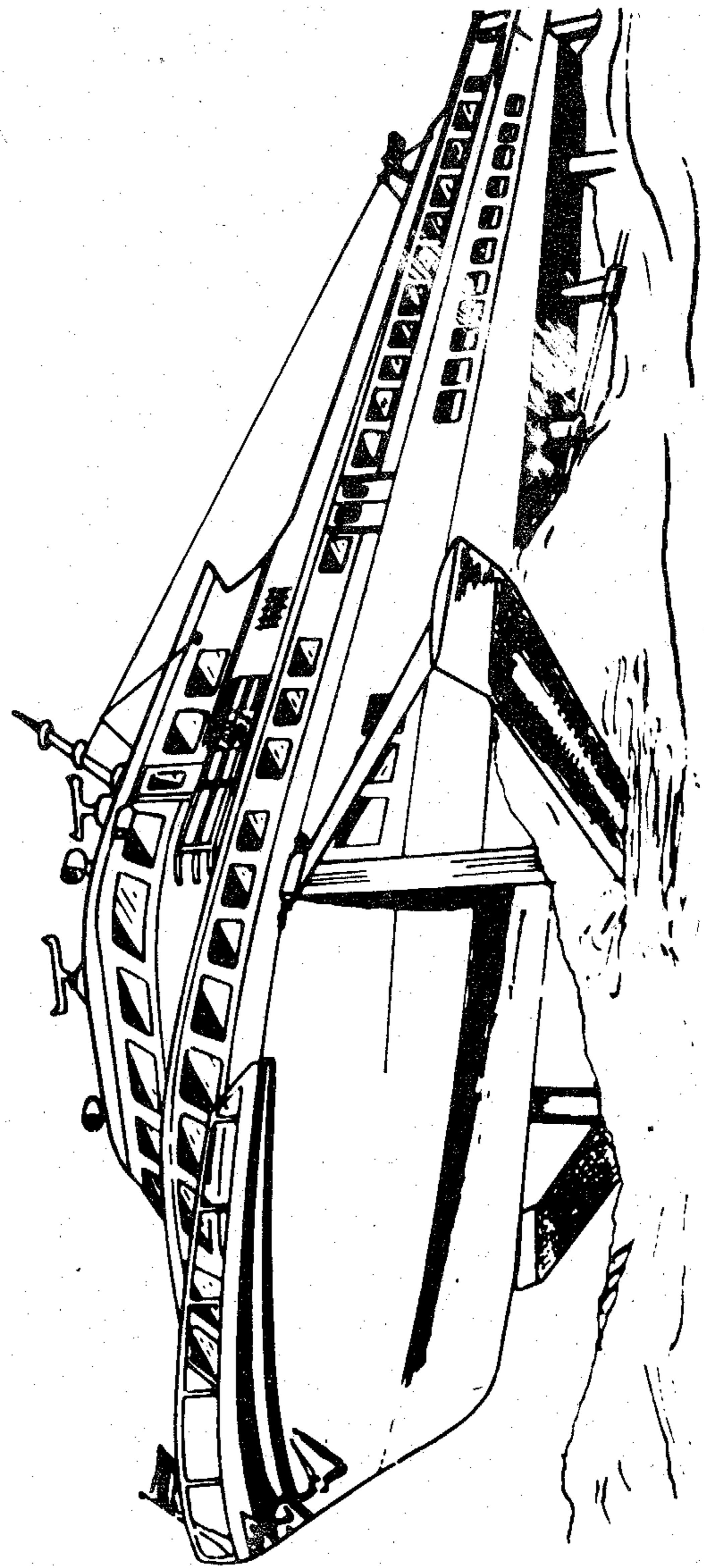
Balatoni kiránduló és átkelő hajók főbb jellemzői

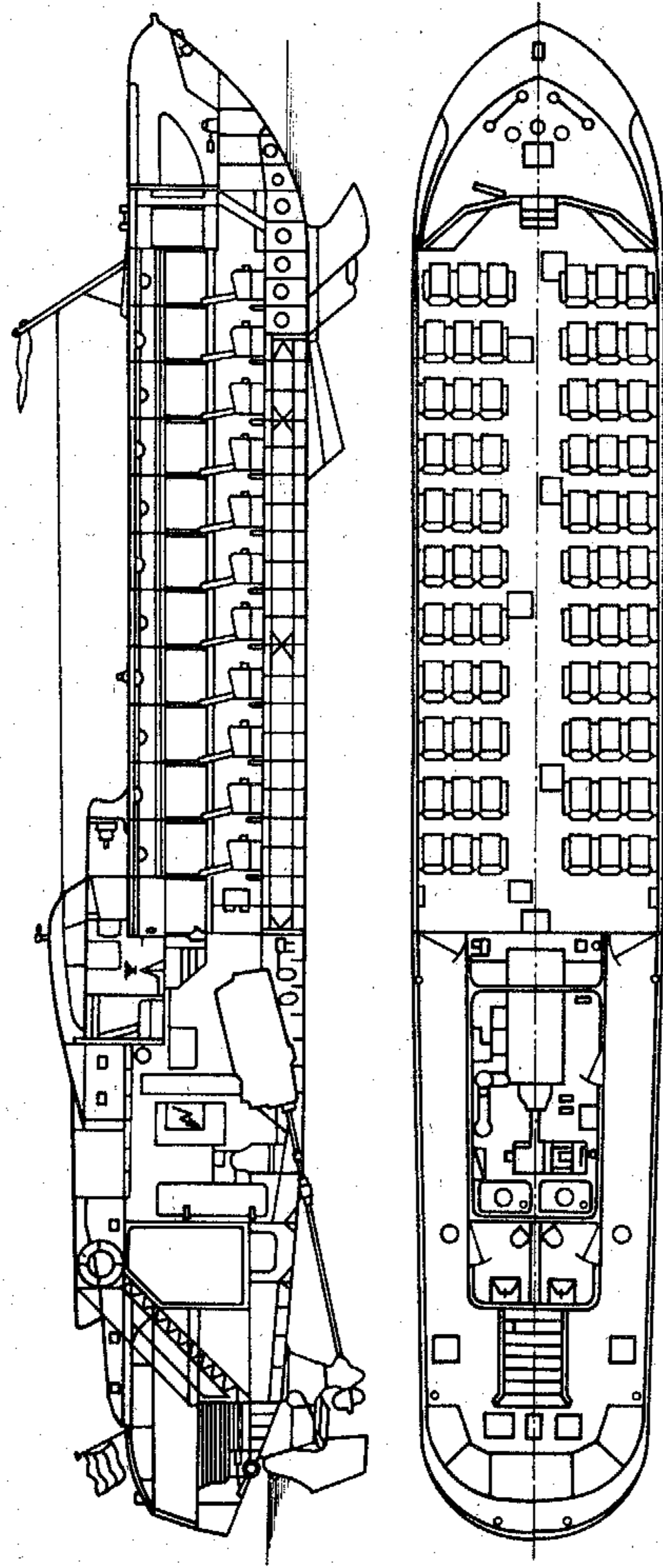
Hajó neve	hossza m	szélessége m	merülése m	vízki- szorítás m^3	hordképessége Mg	utas- létszám fő	fűtő- teljesí- ménye kW	sebessé- ge km/h
1 Beloiannisz	44,13	7,28	1,39	278	67,2	650	300	20
2 Ercsi	37,33	6,67	1,17	245	56,1	400	300	21
3 Hévíz	30,82	6,47	1,16	70	23	220	2x110	20
4 Keszthely	30,83	6,35	1,42	73	24	220	2x110	20
5 Lelle	33,5	5,3	1,60	100		200	2x220	22
6 Jókai	31,89	5,55	1,23	158	23,8	200	220	18
7 Csobánc	28,32	5,78	1,55	100	16,9	170	140	18
8 Szigliget	25,31	5,80	1,45	150	15,2	170	140	18
9 Kelén	35,17	5,36	1,28	105	14,8	160	220	18
10 Helka	35,22	5,28	1,32	176	30,9	160	220	18
11 Almádi	26,64	5,64	0,94	50	18,0	150	2x52	18
12 Csopak	26,60	5,59	0,96	43	16,4	150	2x52	18
13 Győrök	26,74	5,56	0,94	45	18	150	2x52	18
14 Szárszó	26,9	5,40	0,93	43	17,3	150	2x52	18
15 Csongor	22,58	4,97	1,47	110	10,1	120	100	18
16 Tünde	23,06	4,81	1,54	76	21,6	100	100	18
17 Sió	18,40	4,27	0,82	50	9,4	100	52	14
18 Boglár	17,97	3,91	0,94	30	10,3	80	52	16

1.6 táblázat

Önjáró kompok adatai

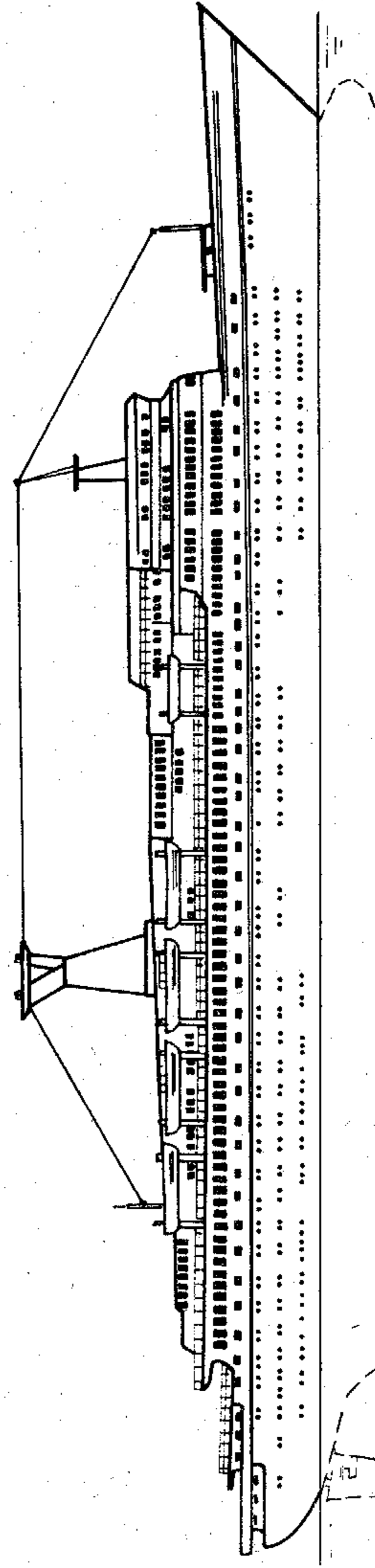
	hossza m	széles- sége m	merü- lése m	vízki- szorítá- sa m ³	hordké- pessége Mg	utas- létszám fő	főüzem- teljesít- ménye kW	propeller tipu- sa
1. Kisfaludy, Kossuth, Széchenyi	35,5	10,7	0,98	304	86,5	375	2x150	Voith-Schneider
2. Baross Gábor	41,2	10,7	0,98	385	120	500	2x170	- " -
3. Toldi Miklós	35,66	11,0	1,20	286	60	600	4x60	Z-hajtómű
4. Csata	32,0	11,3	1,10	250	60	338	4x60	- " -

1.5 ábra
Szárnyashajó vázlatja



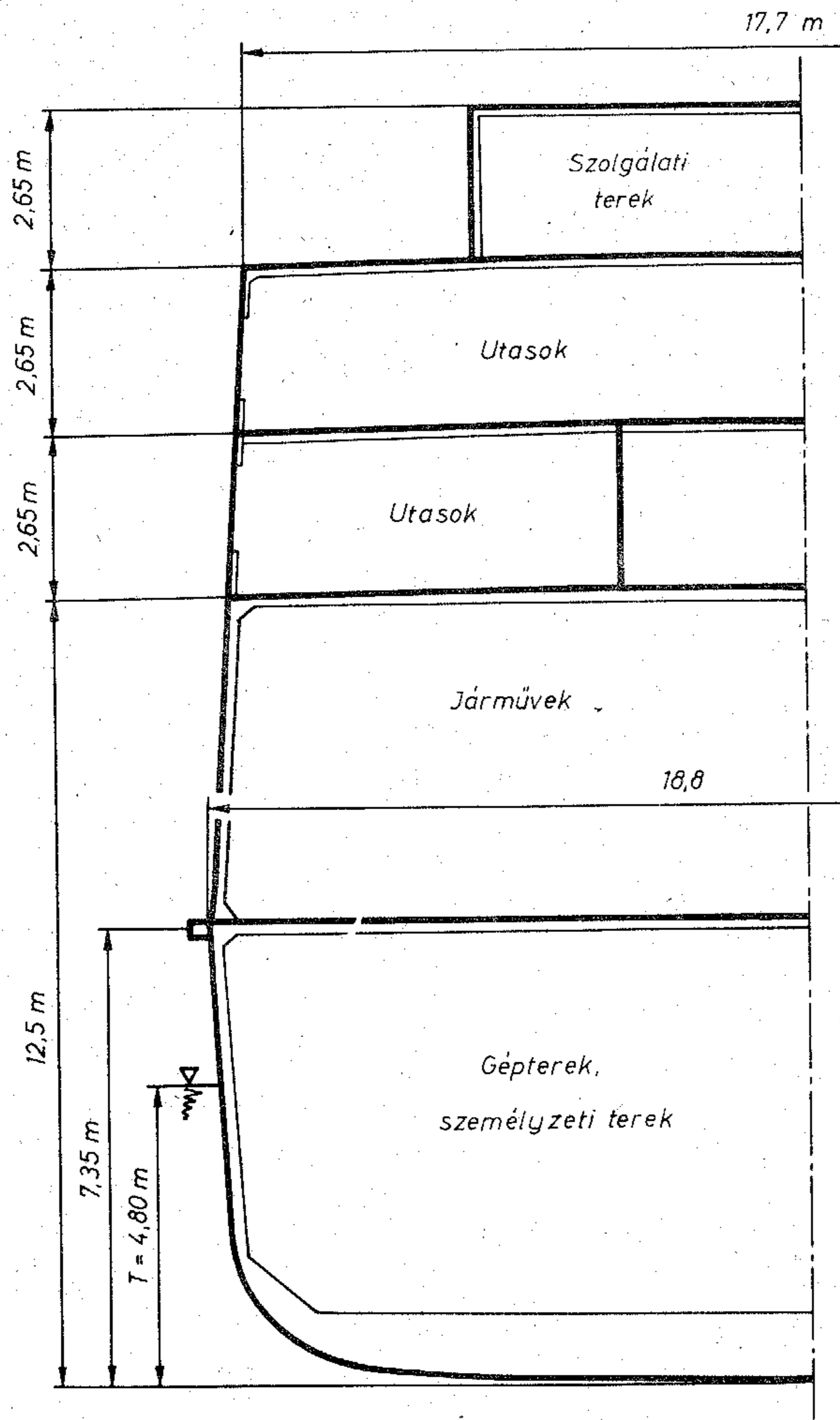
1.6 ábra

Folyami szárnyashajó ("Rakéta") $L_T = 27$ m, $B_T = 5$ m, Merülése úszva 1,8 m, szárnyra emelkedve 1,1 m. Vízkiszorítása 25 m^3 . Utaslétszám 64 fő. Személyzet 4 fő. 880 kW teljesítményű főgéppével 60 km/h sebességgel halad



1.7 ábra

Tengeri személyszállító hajó. $L_T = 194,7$ m, $L_{pp} = 170$ m, $B = 26,6$ m, $D = 18,9$ m, $T = 8,25$ m. Ürtartalma 25000 GRT. Két darab 7300 kW teljesítményű főgéppével, két hajócsavarral 22 csomó sebességgel halad. Utas hálóhelyek száma 790 db. Maximális utaslétszám 1390 fő. Személyzet 397 fő. Segédüzemi teljesítménye 3×1650 kW + 360 kW.



1.8 ábra

Tengeri komphajó keresztmetszete (Warnemünde). $L_T = 136,44$ m, $B = 17,7/18,8$ m. Az üres hajó tömege 5040 Mg, hordképessége 1564 Mg. Utas ülőhelyek száma 700 db, utaskabinokban összesen 32 hálóhely. A járműtérben három vágányon 31 db 10 m hosszú teherkocsi, vagy 11 db 25 m hosszú személykocsi fér el. Vasúti járművek helyett 150 db személygépkocsit ill. ezzel azonos alapterületet foglaló tehergépkocsit szállíthat

Az átkelőhajók biztosítják a személyforgalmat a folyók, tavak két partja között, ahol nincs híd. Ezek általában kis hajók. Az utasok számára csak olyan elhelyezést biztosítanak, mint a vasúti kocsikon vagy az autóbuszokon. Az 1.4 ábrán egy átkelő hajót, úgynevezett vizibuszt láthatunk. A balatoni kiránduló és átkelő személyhajók főbb jellemzőit az 1.5 táblázat tartalmazza.

A közúti járműveket folyókon, tavakon kompek szállítják át. Az egyes kompek teherbírása, méretei eltérőek. Vannak önjáró kompek (melyek saját erőgéppel és propellerrel haladnak), vontatóval vontatott vagy tolt kompek, s a folyó áramlásának segítségével haladó kompek. Néhány hazai önjáró komp fontosabb adatait az 1.6 táblázatban foglaltuk össze.

A távolsági személyforgalmat szárnyas hajók látják el. 1.5 ábra. A KGST országokban forgalomban lévő egyik típus elrendezési rajzát az 1.6 ábrán láthatjuk.

1.4.2 Tengeri személyhajók

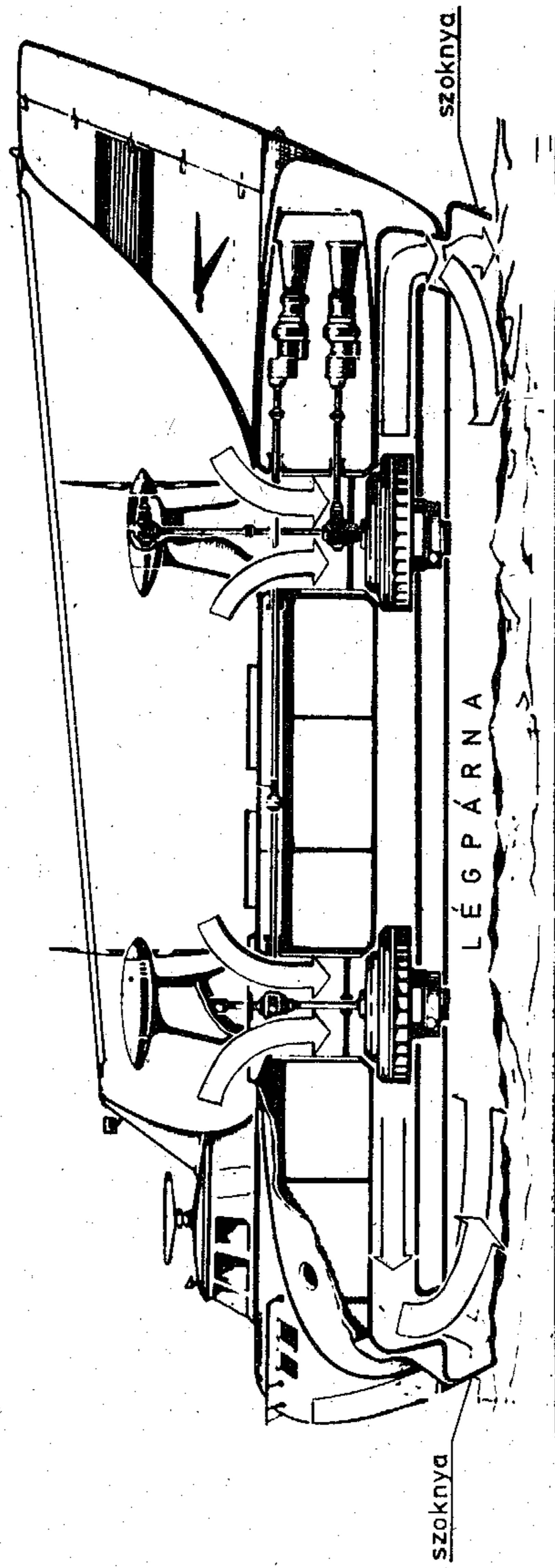
Bár az óceánokon áthaladó személyforgalmat csaknem teljesen a repülőgépek látják el, a nagy személyszállító hajók (vonalhajók) darabszáma nem csökkent a régebbi állapotokhoz képest. Ma üdülési célokra építenek nagy kényelmet, szórakozási lehetőségeket biztosító 5-10 fedélzetű 100-200 m hosszú személyhajókat (1.7 ábra).

A mindennapi értelemben közlekedési célokat szolgáló kisméretű személyszállító hajók darab szerint 4,5 %-át, térfogatra 1,5 %-át teszik ki az összes hajóknak. A személyszállítás igénye felmerül az öblökkel, félszigetekkel erősen tagolt tengerpartok mentén, ahol az egyes helységeket összekötő szárazföldi utak nagyon hosszúak. Ezt az igényt kielégítő parti személyhajók kisméretű hajók, melyek utasokon kívül darabárút, s járműveket is szállítanak. Az útvonaltól függően az utasok kisebb-nagyobb hányada számára alvási lehetőséget is biztosítanak, kb. olyan arányban, mint az éjszakai személyszállító vonatokon.

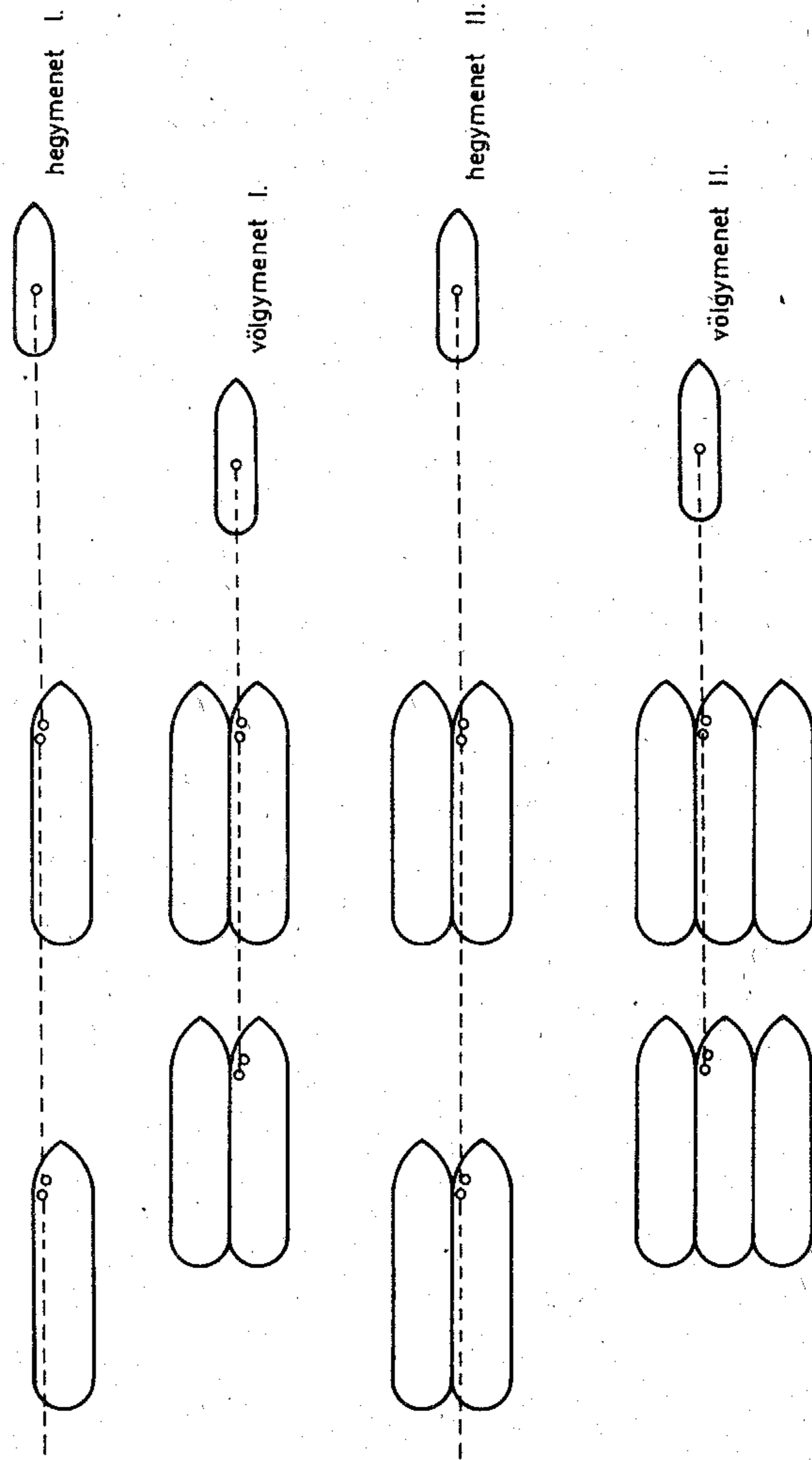
A szigetekre jutást, öblökön való átkelést biztosító tengeri komphajók a rövid útvonal miatt az utasok számára hasonló kényelmet biztosítanak, mint a folyami vagy balatoni kirándulóhajóink. Általában járműveket is szállítanak. A nagyobbaknál külön fedélzeten helyezik el a vasúti járműveket, egymás mellett 2-4 vágányon a hajó teljes hossza mentén, s külön fedélzeten a közúti járműveket. Ezek felett további 1-2 fedélzeten nyernek elhelyezést az utasterek, éttermek. Így a komphajókat a rendkívül nagy oldalmagasság jellemzi (1.8 ábra).

Rövid távon pl. az Adrián Olaszország és Jugoszlávia között átkelőhajóként alkalmaznak ún. szárnyas hajókat. Ezek általában 50-150 személyt szállítanak 60-80 km/h sebességgel, s 500-700 kW gépteljesítménnyel. Hasonló kialakításúak a Dunán is használt típusokhoz.

Légpárnás hajókat elsősorban katonai célokra építenek, de kísérleteznek a polgári kompforgalomban való alkalmazásával is a francia és angol partok között. Az 1.9 ábrán légpárnás hajó metszetét láthatjuk.



1.9 ábra
Légpárnás hajó



1.10 ábra
Vonta alakzatok

1.5 Belvízi áruszállító hajók

A folyókon és a csatornákon a nagy tömegű áruszállítást vontatóhajózással, tolóhajózással vagy önjáró áruszállító hajókkal végzik. A vontatóhajózásnál a hajtógépberendezéssel nem rendelkező uszályokat a vontatóhajó kötélen vontatja. A vontató mögé csatolt uszályok mennyiségét és elrendezését (a vonta nagyságát és alakzatát) a vontató teljesítménye, a víziút jellege, a víz áramlási sebessége, a hajózható út szélessége, mélysége határozza meg.

A Dunán közlekedő vontatóhajók többségének hajtógép teljesítménye 800-1600 kW. Egy vontóban 5-12 uszályal 8-15000 Mg tömegű rakományt szállítanak 12-14 km/h sebességgel. Néhány szokásos vonta-alakzatot az 1.10 ábrán láthatunk.

Az uszályok csatolása a folyón felfelé hajózáskor ("hegymenetben") és lefelé hajózáskor ("völgyemenetben") eltérő. A vontatóhajón és az uszályokon is a horgonyberendezés a hajó orrán van elhelyezve. Így a vontatmány leállása csak úgy lehetséges, ha a hajók az áramlással szemben állanak. Ez azt jelenti, hogy a lefelé haladó vontának meg kell fordulnia a lehorgonyzáshoz. Ezért a vonta nem lehet hosszú, s így 2-4 uszályt szorosan egymás mellé kötnek.

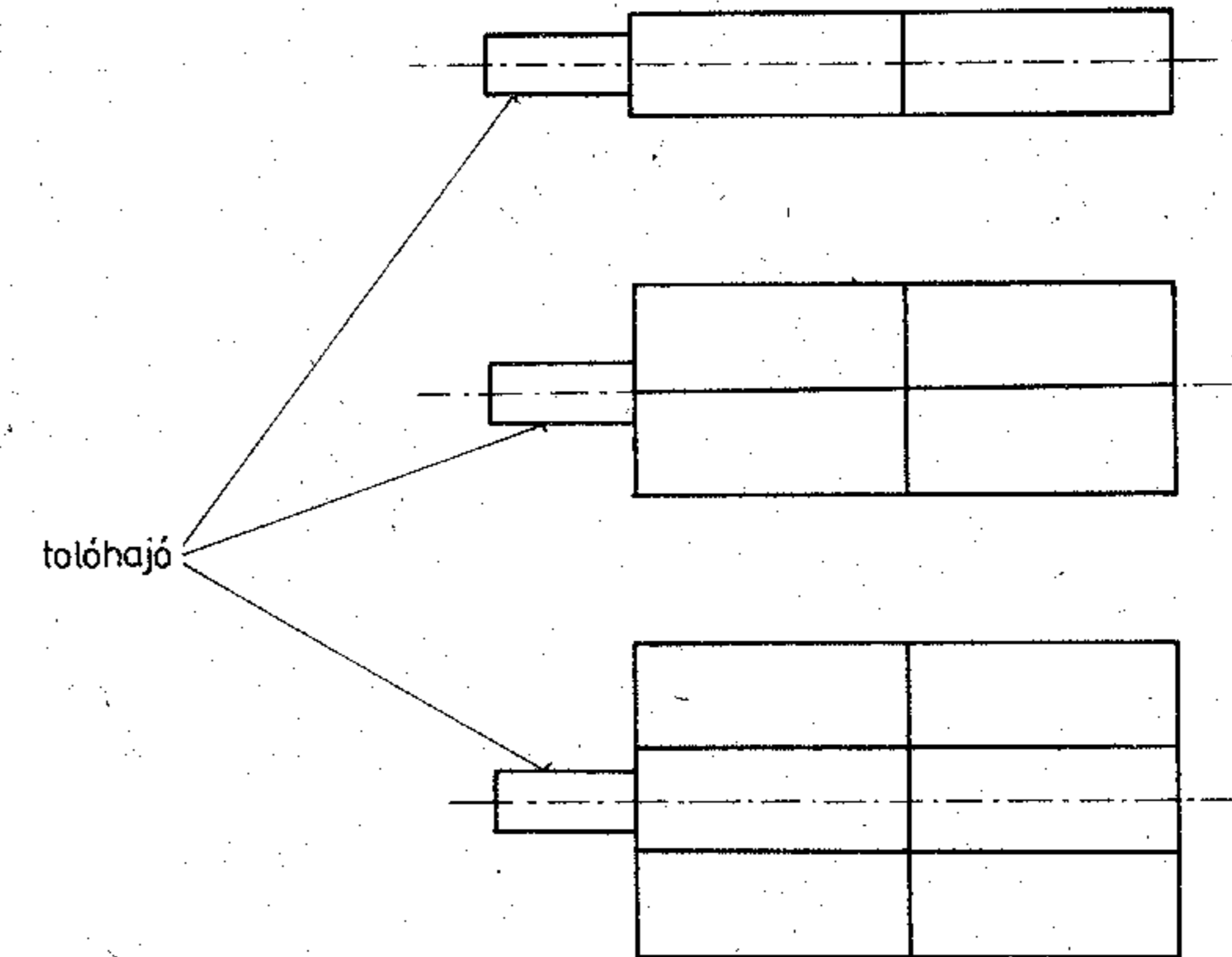
Felfelé haladáskor az uszályok vonóerő igénye a 6.6.4 pontban leírtak szerint nagyobb, mint azonos holtvízi sebességgel lefelé haladáskor. Két vagy három egymás mellé kötött uszály együttes ellenállása több, mint egy egyedül haladó uszály ellenállásának két vagy háromszorosa. Ugyanakkor két, három stb. egymás mögé kötött uszály ellenállása nem lesz az egy uszály ellenállásának és az uszályok darabszámának szorzata, hanem annál kisebb. Például a szorosan egymás mögé kötött három uszály összellenállása mérések szerint csak $3 \cdot 0,7 = 2,1$ szerese volt egy uszály ellenállásának. Így felfelé haladáskor az uszályokat lehetőleg egyesével, vagy sok uszály esetén legfeljebb kettesével csatolják egymás mögé.

A vontató hajózás alkalmazási területe folyamatosan csökken, helyette a tolóhajózás kerül előtérbe. A tolóhajózás bevezetésének alapvető feltétele a víziutak rendezése. Ma már a Dunán a nagy esésű s emiatt nagy áramlási sebességű szakaszokon vízlépcsők épültek. Ez lehetővé teszi a tolóhajózás alkalmazását.

A tolóhajózásnál a tolóhajó elé csatolják a szögletes kiképzésű uszályokat (1.11 ábra). Az egész tolatmány így egy hajóként halad. A dunai tolóhajók hajtógépeinek teljesítménye 600-1600 kW. Egy tolatmányban 8000-16000 Mg rakomány szállítható, 10-14 km/h sebességgel.

A tolóhajózás legjelentősebb előnye az, hogy lényegesen kisebb személyzetet igényel. A vontatóhajózásnál minden vontatott uszályon 2-3 fő személyzetet kell alkalmazni a kormányzás, horgonyzás és kötélkezelés ellátására. A személyzet számára az uszályokon étkezési és tisztálkodá-

si lehetőséget is biztosító lakóteret kell kialakítani. A tolt uszályokon (bárkákon) nincs személyzet. A tolóhajók személyzetének létszáma közel azonos a vontatóhajókéval. 6-10 uszályos vontatást figyelembevéve, ez 10-20 főnyi személyzet megtakarítást jelent. Az uszályokon a kormányberendezés és a lakóterek kialakítása elmaradhat, ami 15-20 százalékos csökkenést jelent a beruházási költségekben. Ezen kívül még számos, gazdaságilag kevésbé jelentős, de az üzem biztonságát növelő előnye van a tolóhajózásnak a vontatással szemben.

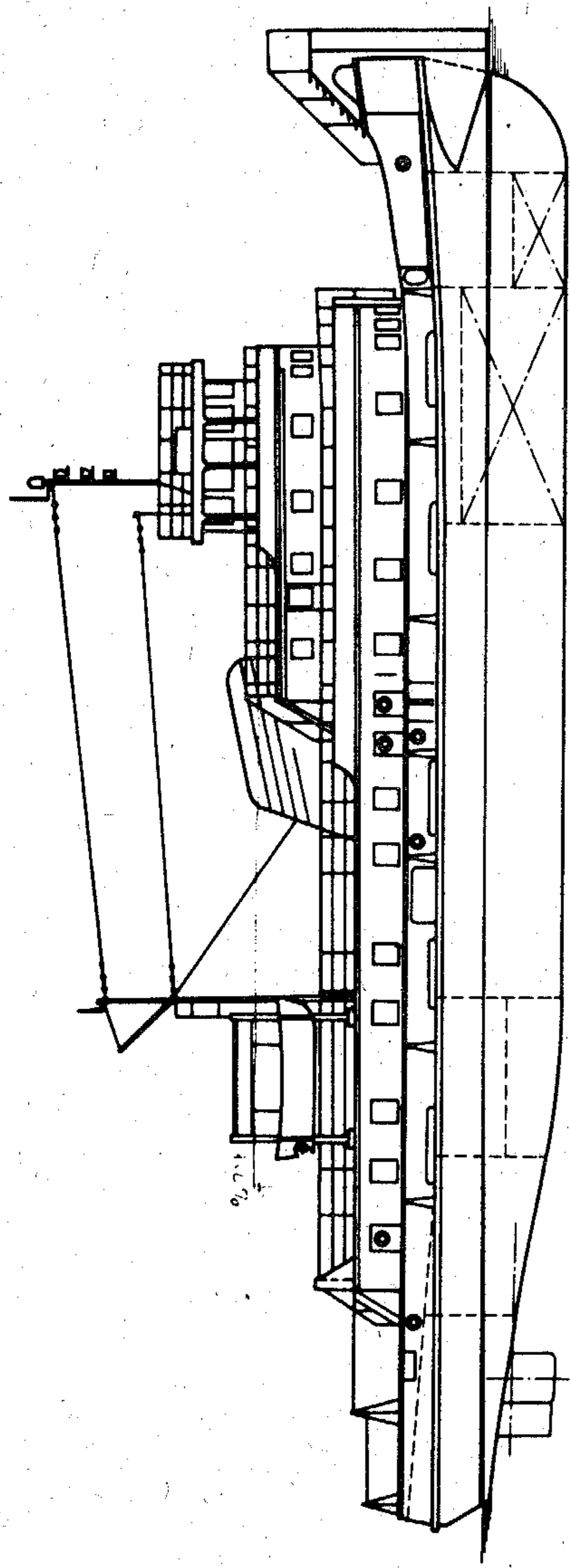


1.11 ábra
Tolatmányok

Az 1.12 ábra egy folyami tolóhajót ábrázol. A tolóhajók orrán mindkét oldalon egy-egy 2-3 m magas, 0,6-1,0 m széles tolótámasz van kialakítva, amely a tolt bárkák tolótámaszához csatlakozik. A nagy magasság azért szükséges, mert az uszályok merülése a rakomány mennyiségétől függően változó. Az üres és teljesen rakott állapot esetében a merülés eltérése 1-2 m.

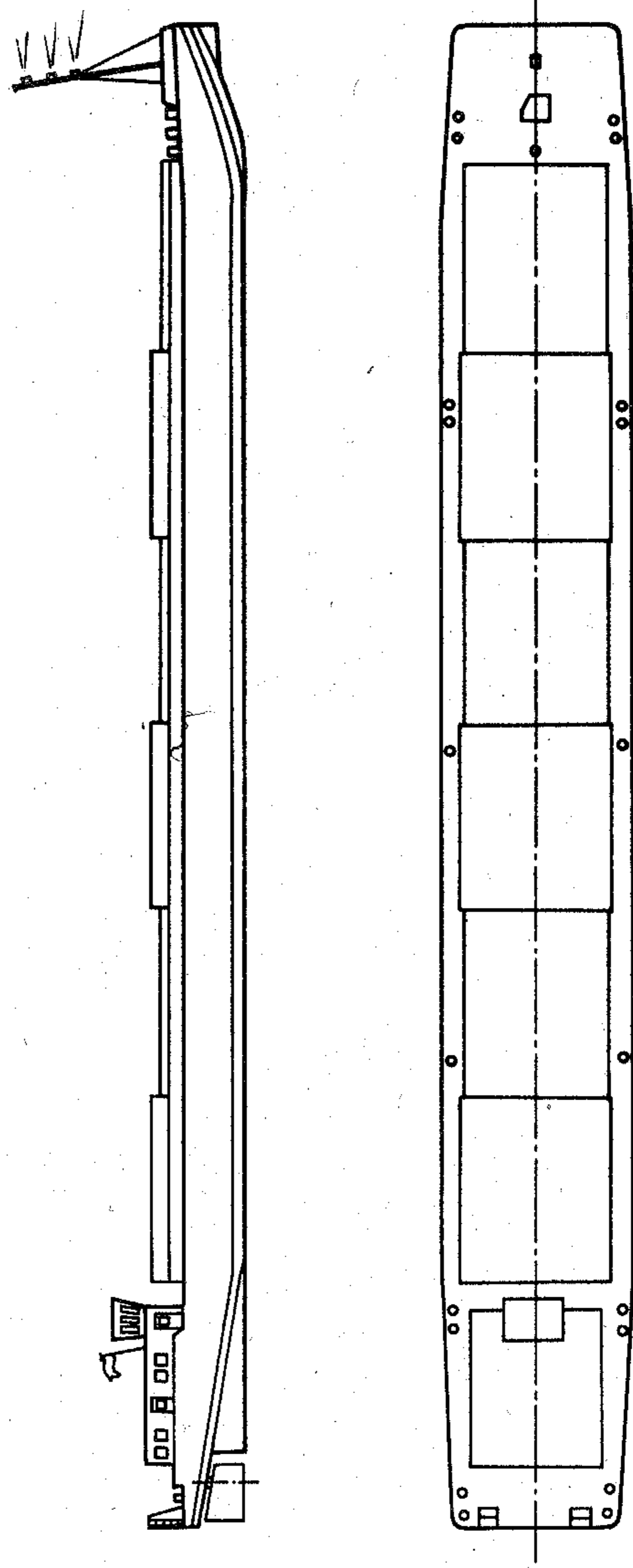
A tolt uszályok szokásos kialakítása az 1.13 ábrán látható. Vannak olyan bárkák is, melyeknek egyik vége fartükrrel készül (1.14 ábra). A fartükrös végükkel csatolják a tolóhajó elé. Két uszályt a fartükrös végükkel szorosan összezsárolva, egy egységként kezelhetnek.

Az uszályok hordképessége 400 - 3000 Mg. A régebbi uszályokat elsősorban darabáru, építési anyagok, mezőgazdasági termékek szállítására alkalmasan építették. A hajótestet 3-5 vízmentes válaszfalal 4-6 raktártérre osztották. Az egyes raktárat aránylag kis raktárnyílással látták el, hogy nagy szabad fedélzet álljon rendelkezésre a fedélzeti rakomány számára.



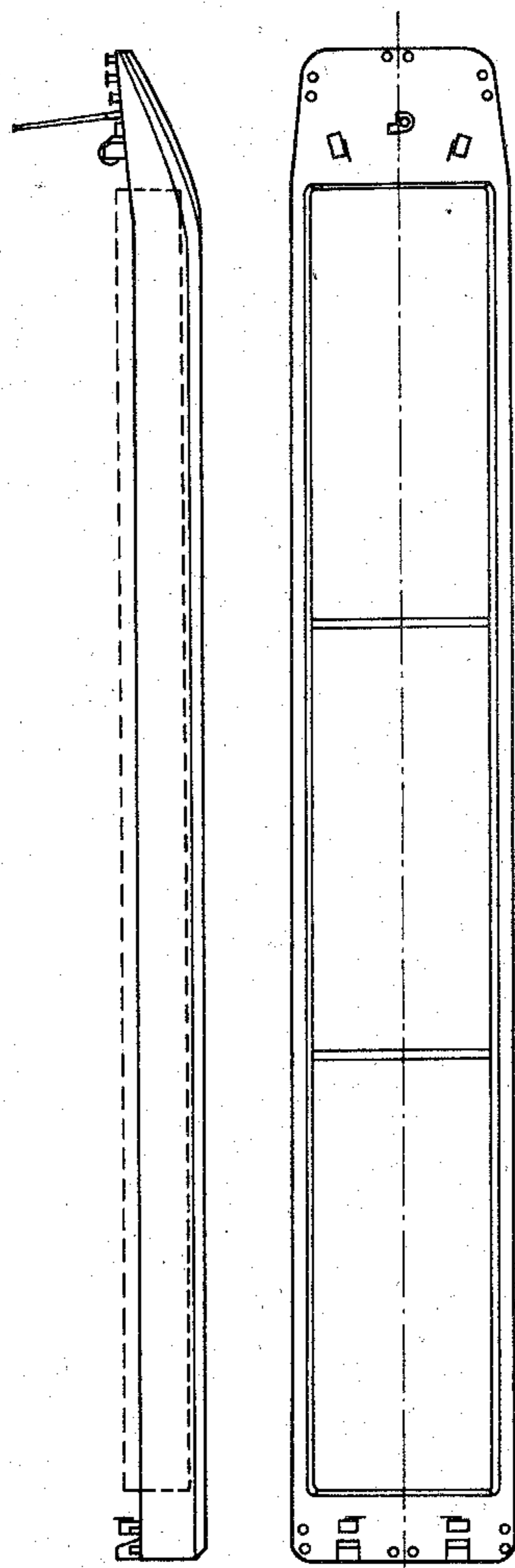
1.12 ábra

1000 kW-os folyami toló-vontató hajó. $L_T = 41,05$ m, $L_{pp} = 39$ m, $B = 9$ m, $D = 3,5$ m, $T = 2,29$ m. Vízkiszorítása 516 m³, személyzet 23 fő, 2 darab 500 kW teljesítményű, 6 s⁻¹ fordulatszámú főgéppel két darab $1,71$ m átmérőjű, kormánygyűrűben elhelyezett hajócsavart hajt közvetlen hajtással. Legnagyobb tolóereje álló helyzetben kb 200 kN. Épült a MHD Óbudai Gyárgységében 1960-67 között 67 darab.



1.13 ábra

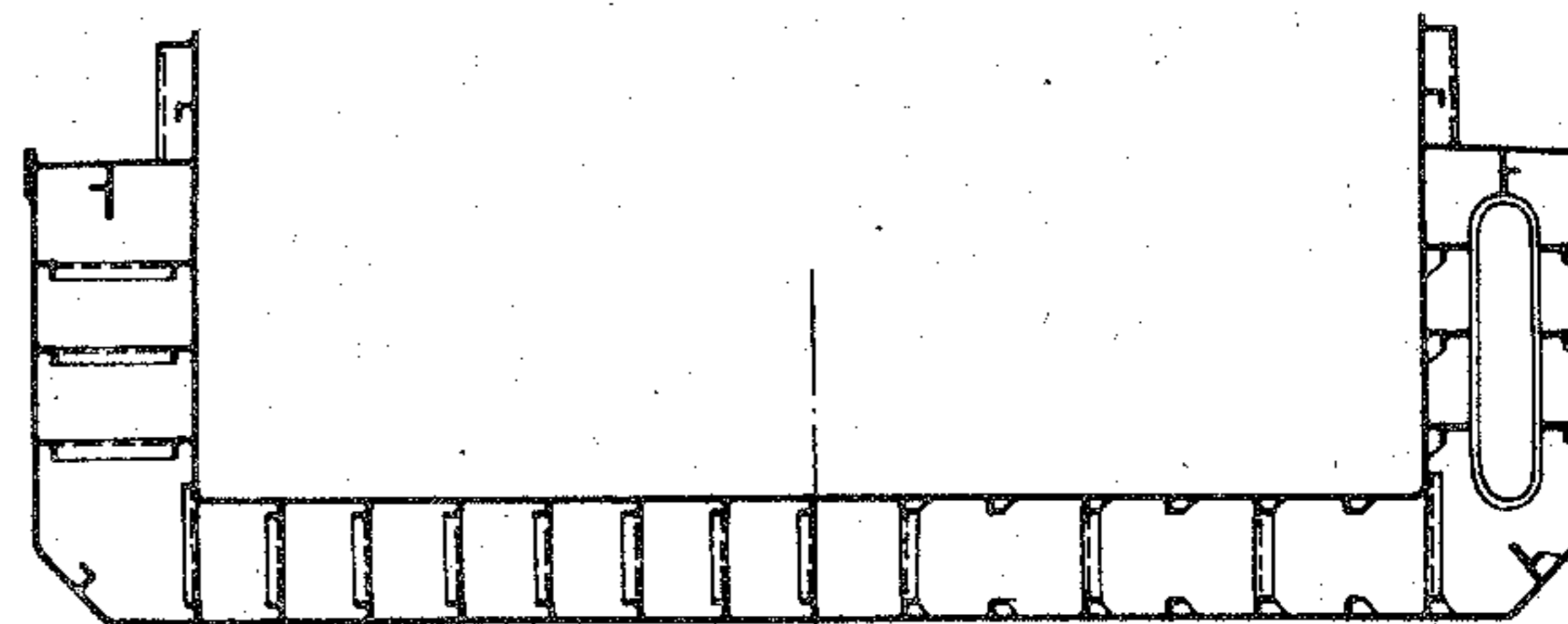
Vontatható, tólható uszály. $L_T = 80,4$ m, $B = 10$ m, $D = 2,9$ m, $T = 2,5$ m. Hordképessége 1490 Mg, raktártérfogata 1440 m³. Épült a Mahart újpesti műhelyében



1.14 ábra

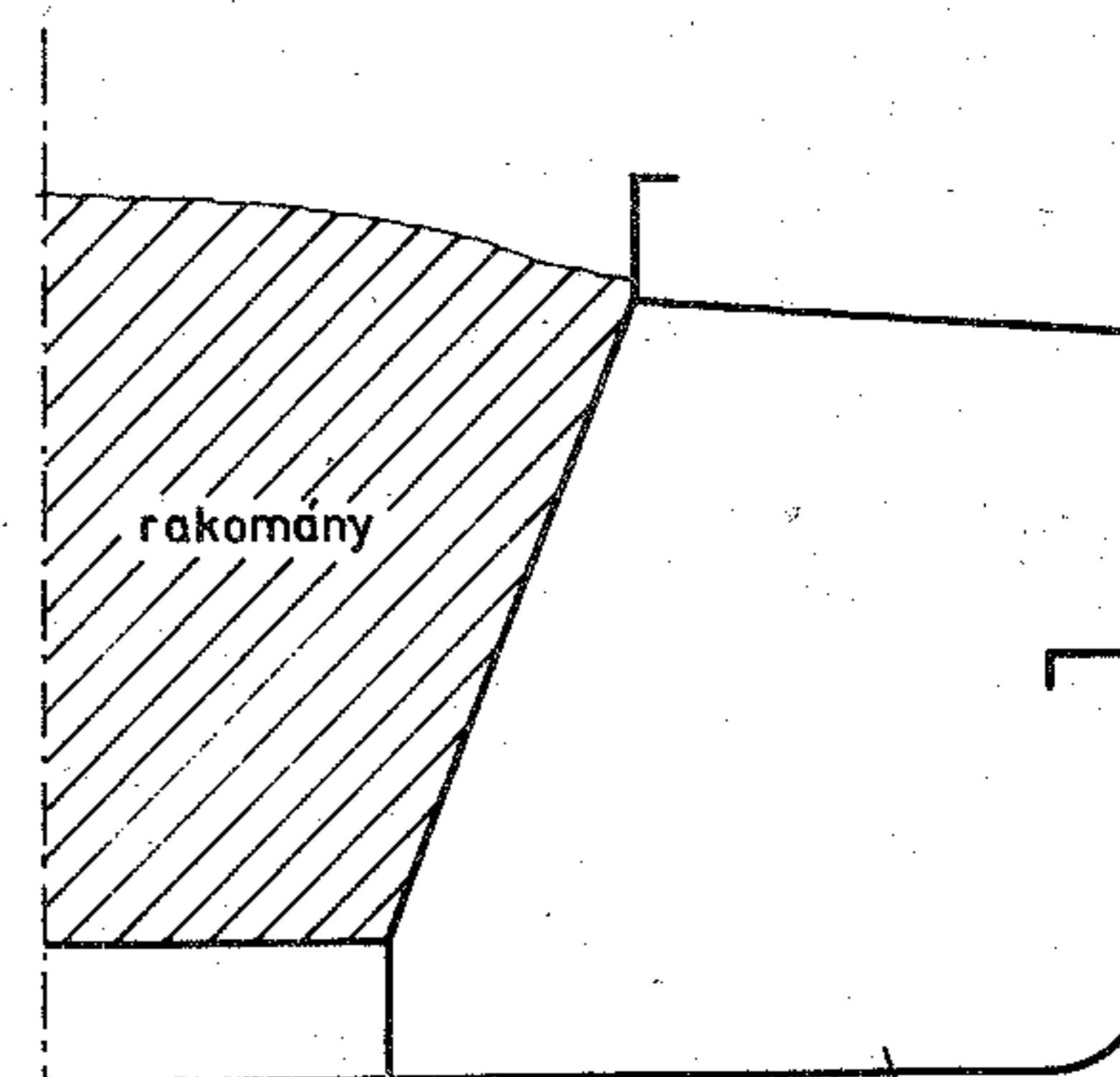
Duna-Európa típusú tolt uszály. $L_T = 76,5$ m, $B = 10,96$ m $D = 3,2$ m, $T = 2,8$ m. Hordképessége 1800 Mg, raktártérfogata 1880 m³. Épült a Mahart újpesti műhelyében.

Az elmúlt 2-3 évtizedben a szállítandó áru összetételének változása s a folyami kikötők nagyobb teljesítményű rakodóberendezésekkel való felszerelése miatt újabban az uszályokat nagy fedélzeti nyílásokkal építik. Egyes típusoknál, nehéz ömlesztett rakományt (ércet), konténert szállító uszályoknál a raktárak teljes hosszukban s szélességükben nyithatók. Az ilyen hajótest keresztmetszetét az 1.15 ábrán láthatjuk.



1.15 ábra
Uszály keresztmetszete

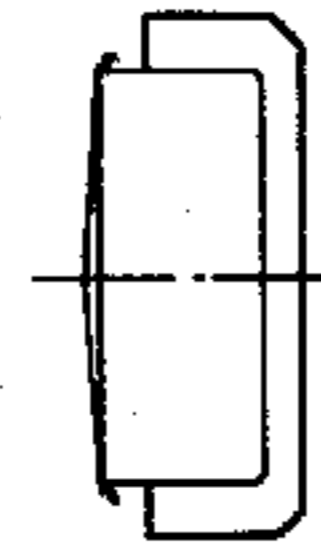
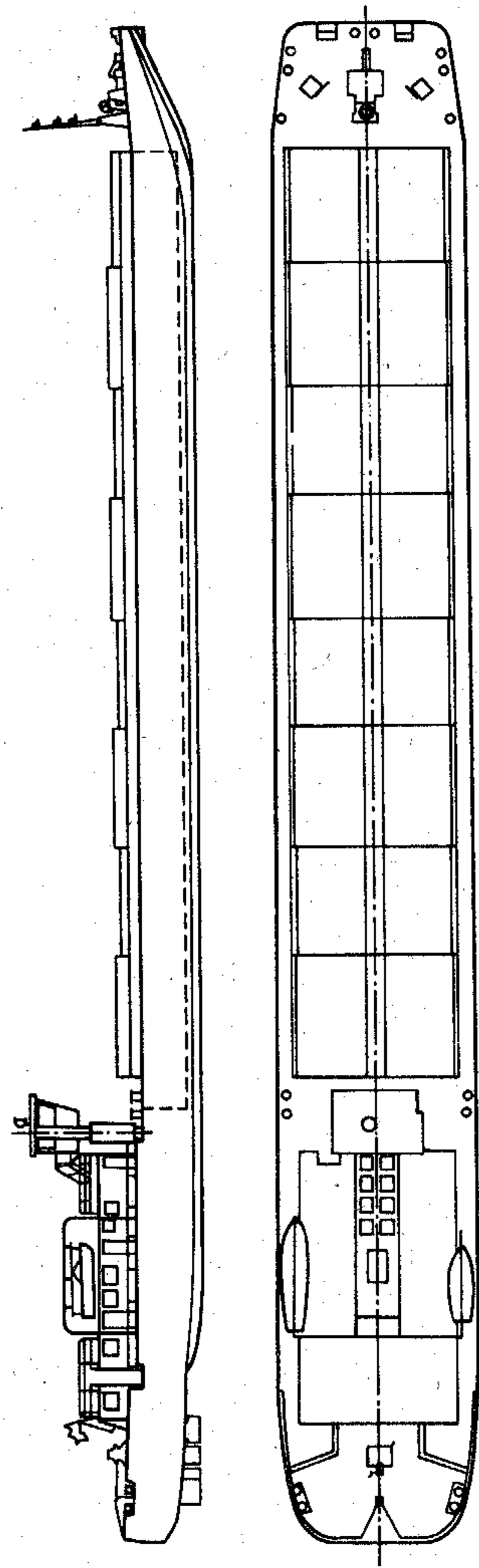
Az uszályok fedélzeti nyílásai felett a hajó hosszirányában sineken gördülő tolótetők vannak. Egymás mellett egy alacsony s egy magas raktárfedél van elhelyezve. Ezek olyan szerkezetűek, hogy az alacsony a magas alá toltató, vagy a magas az alacsony fölé. Ilyen raktárfedeleket láthatók az 1.17 ábrán látható hajón is. Épületek olyan hajók is, melyeken három különböző magasságú raktárfedél van egymás mellett. Így ezek egymás fölé húzásával a raktárnyílás kétharmad része tehető szabaddá egyidejűleg.



1.16 ábra
Kavics-szállító uszály keresztmetszete

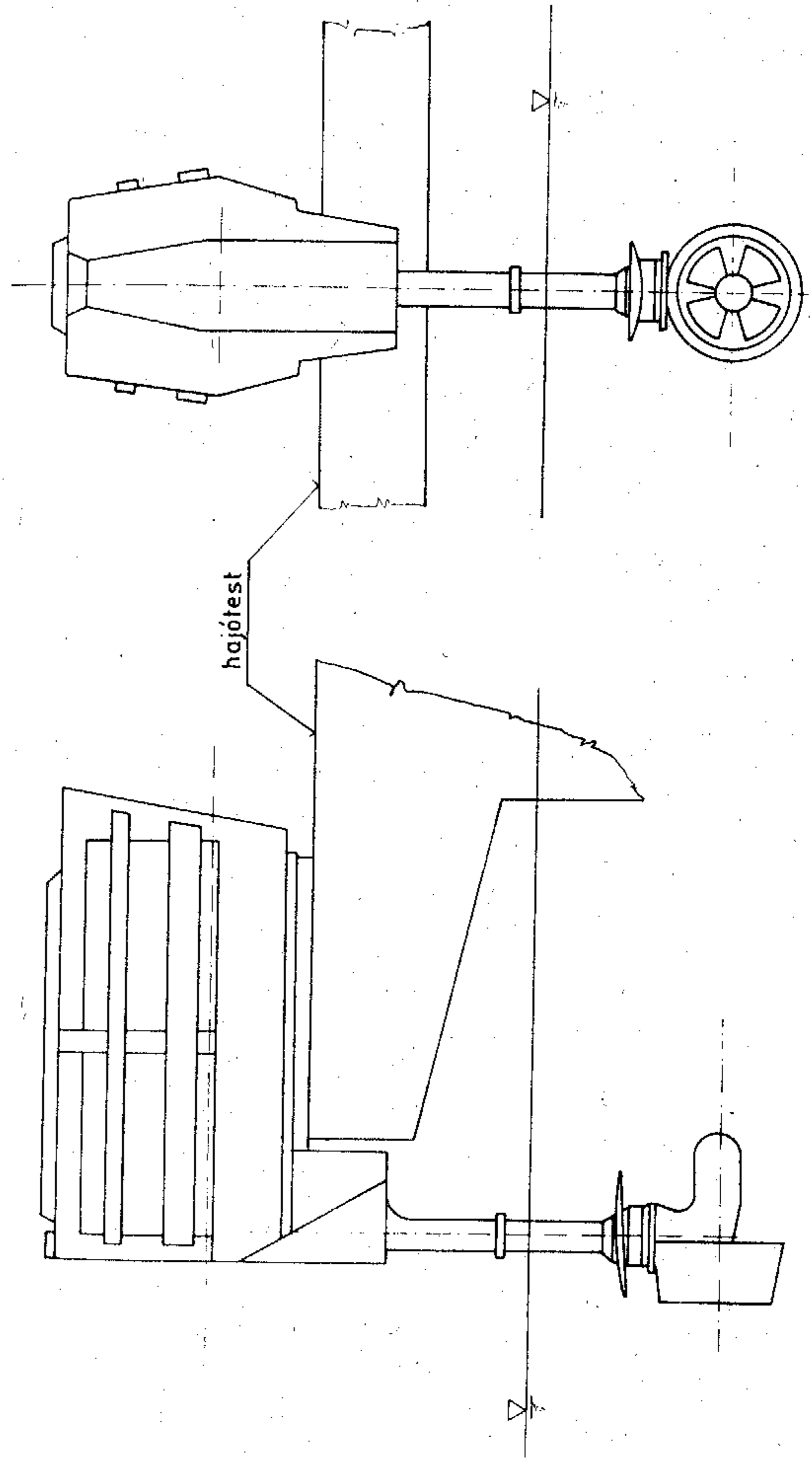
A folyók kotrása igen nagymennyiségű kavics és iszap szállítását teszi szükségessé. E célra különleges uszálytípusokat alakítottak ki. Az 1.16 ábrán látható keresztmetszetű kavicsuszályok hordképessége 200-500 Mg. Az uszály teljes hosszán kialakított egyetlen, vályúalakú raktár lehetővé teszi a kavicsrakomány gyors kirakását, vedersoros elevátorral.

Hasonló keresztmetszetű az ún. önürítő uszály. Az eltérés csupán az, hogy a vályú alja nyitható. A folyó-szabályozási munkákhoz használják. Követ, kavicsot vagy iszapot szállítanak vele olyan helyekre, ahol a meder feltöltése szükséges.

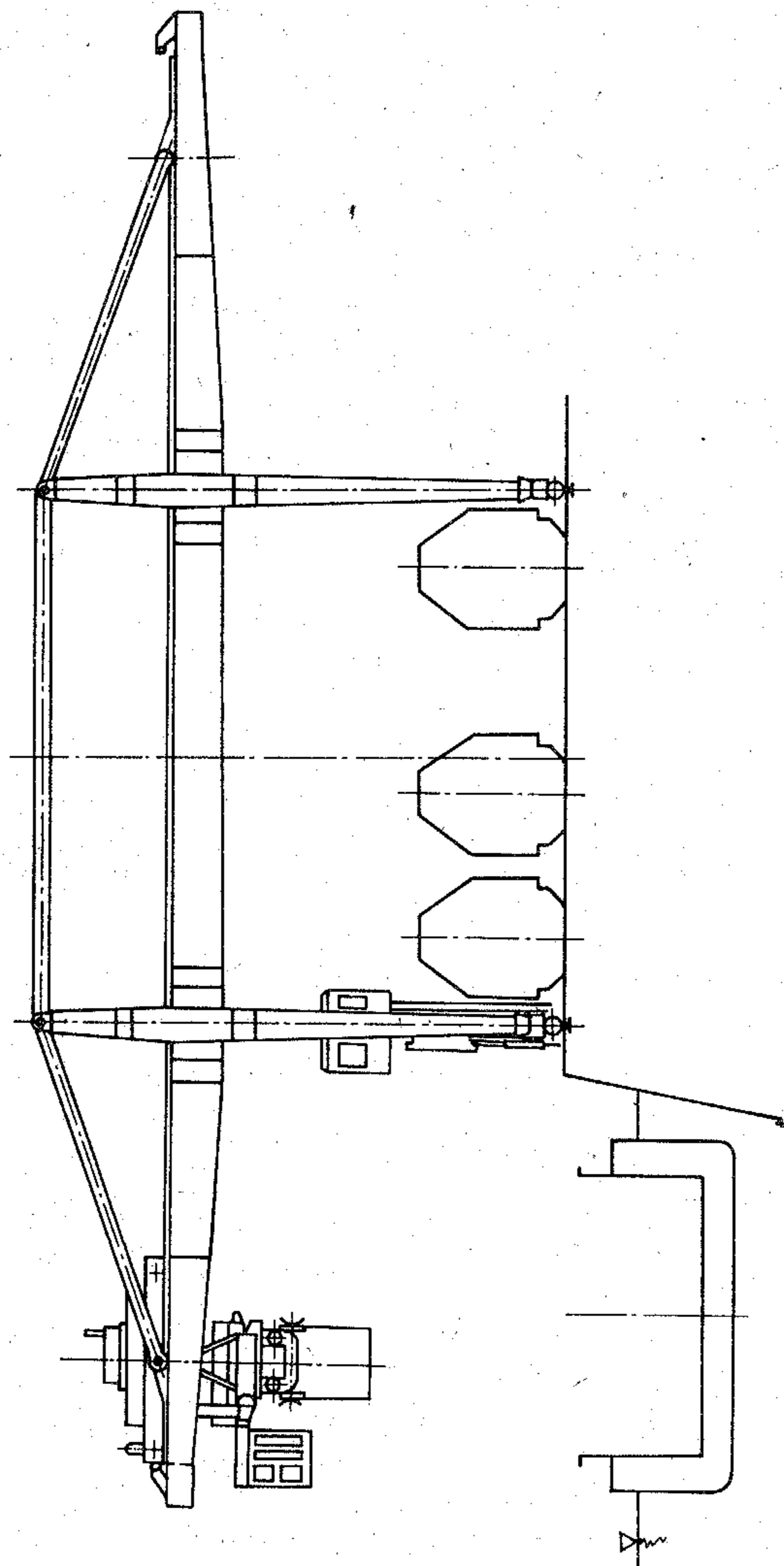


1.17 ábra

Duna-Európa típusu toló-önjáró hajó. $L_T = 85$ m, $B = 11$ m, $D = 3,2$ m, $T = 2,8$ m. Hordképessége 1725 Mg, raktár térfogata 1500 m³. Főgépnak teljesítménye 1000 kW. Épült a Mahart ujbpesti műhelyében.



1.18 ábra
Önjáró uszály Z hajtóműve. Mahart ujbpesti műhelyének gyártmánya



1.19 ábra

Konténer rakodó (Csepel). Maximálisan 40 lábás konténert emelhet. Emelőképesége 32 Mg.
(Horogüzemben 35 Mg).

Folyadékok, általában ásványolaj és olajtermékek szállítását tank-
uszályok végzik. A tank maga a hajótest, mely hosszirányú és kereszt-
irányú válaszfalakkal 12-16 részre van osztva. Hordképességük 700-1500
Mg. A könnyű olajszármazékokat (28°C -nál alacsonyabb lobbanási pontú
anyagokat) szállító uszályok különleges jelzéssel is el vannak látva: A
hajótestet szürkére kell festeni, s a fedélzet alatt 150 mm magas kör-
befutó kék csíkkal kell ellátni.

Kisebb mennyiségű rakomány szállítására általában önjáró áruszáll-
ító hajókat alkalmaznak. Ezeknek hordképessége 600-2000 Mg. Személy-
zeti létszámuk 4-8 fő, ami lényegesen kisebb a nagyteljesítményű vontató
és tolóhajók 16-26 főnyi személyzeténél. Az önjáró áruszállító hajókba
épített hajtógép teljesítménye általában olyan, hogy a hajó szükség esetén
1-2 uszályt vontathat vagy tolhat.

Az 1.17 ábrán önjáró áruszállító hajót láthatunk. A hajók orrán to-
lótámasz van, melynek segítségével egy- vagy egymás mellett két toló-
bárkát tolhat maga előtt.

A fejezet elején említettek szerint a vontatóhajózásnál használt uszá-
lyok lakótérrel és kormányberendezéssel is rendelkeznek. Így önállóan
is közlekedhetnek. A hajótest farán, a fedélzeten 50-120 kW teljesítmé-
nyű belsőégésű motort helyeznek el. A motorhoz ugynevezett Z hajtómű
csatlakozik, amely a hajó mögött a víz alá nyúlik, s ott egy vízszintes
tengelyű hajócsavart hajt. A motor és a hajtómű közös gépalapra van
szerelve, amely a hajóról levehető, s másik uszályra áthelyezhető (1.18
ábra).

Ezek az úgynevezett önjáró uszályok. A magyar belvizeken 400-
-1500 Mg rakománnyal 80-150 kW motorteljesítmény felhasználásával
10-14 km/h sebességgel közlekednek.

A belvízi áruszállító hajóknak nincs saját rakodóberendezésük. A
hajókat a kikötőben felszerelt darukkal, s egyéb rakodóberendezésekkel
rakják. Az 1.19 ábrán egy konténer rakodó berendezés vázlatát látjuk.

1.6 Tengeri áruszállító hajók

A tengeri áruszállító hajókat sokféle szempont szerint osztályoz-
hatjuk, csoportosíthatjuk. Ebben a fejezetben csupán a rakománnyal
kapcsolatos szempontokat vesszük figyelembe.

Évszázadok során a fuvaroztatók igényének megfelelően kétféle ha-
józási mód alakult ki. A szállítatók egyik csoportja olyan kis mennyisé-
gű rakományokat kíván fuvaroztatni, amelyek nem töltenek meg egy hajót.
Általában rendszeresen fuvaroztatnak bizonyos időközönként, bizonyos
irányokban. Az ilyen szállítatók igényeit a vonalhajózás elégíti ki.

A vonalhajók meghatározott útvonalon közlekednek, s útközben meghatározott kikötőkben állnak meg ki és berakodás céljából. A kikötői ügynökségek gondoskodnak arról, hogy egy kikötőben a kirakott áru helyére mást hajózhassanak be. Így általában különböző fajtájú rakományokat szállít a hajó. Ha az egyes útvonalakon sok azonos jellegű áru várható, akkor ennek megfelelően alakítják ki a hajó raktereit, a raktárnyílásokat, rakodó berendezéseket. Nagy raktárnyílások és sok fedélzeti rakodóberendezés jellemzi a vonalhajókat. Sebességük általában nagy, így alakjuk karcsú a kedvezőbb ellenállás érdekében.

A fuvaroztatók másik csoportja nagymennyiségű, egynemű rakományokat (pl. szenet, ércet, gabonát, olajat stb.) kíván szállíttatni. Ezekből általában egy hajót teljesen meg lehet tölteni. A rakomány nem igényel csomagolást, a hajótestben különös gond nélkül helyezhető el, nem szükséges a többféle rakomány miatt elválasztás.

Ezeket az igényeket elégíti ki a tramphajózás ("szabad" hajózás). A tramp hajó nem közlekedik állandóan azonos útvonalon, menetrend szerint. Egy rakomány kirakása után ugyanabban a kikötőben vagy egy közeli másikban új rakományt keres. Természetesen a kikötői ügynökségek útján ezt előre szervezik. Az ilyen jellegű szállításokat általában egy, vagy kétféle áru fuvarozására kialakított hajótípussal végzik.

A kis költséggel termelhető anyagok forgalmi értékének nagy részét a szállítási költség teszi ki. Így lényeges, hogy a hajófuvarozás költsége minél kisebb legyen.

Az olcsóbb szállítás érdekében a tramp hajók kis sebességgel haladnak. Így a hajótest telt alakú lehet, ami a gyors rakodást elősegíti, s a hajó önsúlya kisebb az azonos hordképességű karcsúbb hajóénál. A tramp hajók kevesebb fedélzeti rakodóberendezéssel vannak ellátva, sőt egyes típusainak (pl. ömlesztett rakományt szállító hajóknak) nincs saját fedélzeti rakodóberendezése.

Az áruszállító hajókat a szállított áru szerint is csoportosíthatjuk. E szerint négy főcsoportba szokás sorolni a hajókat:

darabárut szállító,
ömlesztett árut szállító,
tankhajó (általában olajszállító),
tartályhajó (folyékony gázt, egyéb vegyi anyagokat szállító hajó).

Ezen főcsoportokon belül, a tankhajók kivételével a szállítandó rakomány fizikai jellemzői tág határok között változnak. A hajó raktere kialakításának szempontjából a legfontosabb jellemző a rakomány térfogatsúlya, darabárunál az egyes darabok átlagos súlya, illetve mérete. A szállítás gazdaságosabbá tétele érdekében a hajók többségét csak bizonyos rakományok szállítására alkalmas módon alakítják ki. Így a fenti főcsoportokon belül további csoportosítások lehetségesek.

A szállítási feladatok nagy részénél a hajók különféle rakományt kénytelen felvenni az oda- s a visszautazás során. Ilyen esetekben kétféle feladatra alkalmas, kombinált hajótípusok is kialakultak. Ezen kombinált típusok gyakran olyan két rakomány-típus szállítására készülnek, melyek alapján a hajótípus a fenti négy közül két csoportba is tartozhat.

1.6.1 Darabárut szállító hajók

Az általános darabáruszállító hajó (general cargo ship) általában tágas rakterekkel rendelkezik. A raktárak térfogata a rakomány tömegéhez viszonyítva $1,6-2,5 \text{ m}^3/\text{Mg}$. A rakomány elhelyezésére szolgáló terek a hajó fedélzete alatt vannak. Ritka kivételtől eltekintve a hajók saját rakodó berendezésekkel, általában árbócdarukkal vannak felszerelve. A szárazáruszállító hajóknak darabszám szerint 30 százaléka, térfogat szerint 18 százaléka általános darabáruszállító (1975. évi adat). Az 1.20-1.23 ábrákon általános darabáruszállító hajókat láthatunk.

A húst, gyümölcsöt szállító hajók valamennyi raktere, vagy egyes rakterei hűtöttek. Az ilyen hűtőhajók egy része speciálisan, csak egyféle rakományt szállít (pl. déligyümölcs szállító hajók). Hűtőhajót ábrázol az 1.24 ábra.

Azokon a gyümölcsszállító hajókon, melyek rövid távolságra szállítanak, csupán erős szellőzést, a szokásosnál többszörösen nagyobb légcserét biztosítanak.

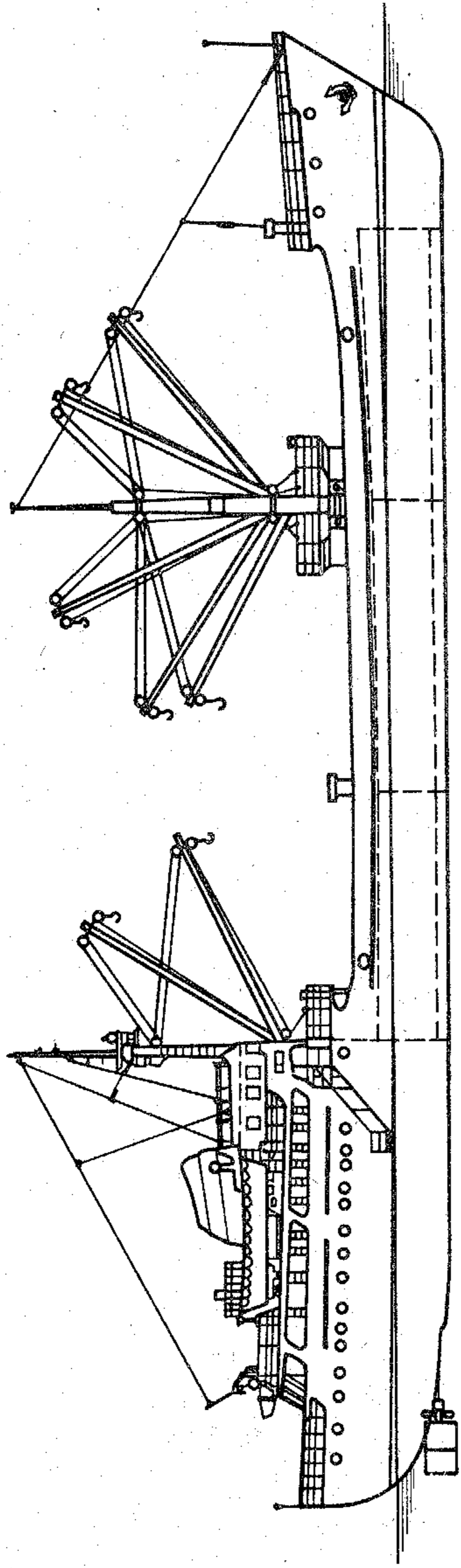
A hűtőhajók több fedélzetesek, mivel a hűtőterek magassága csak 2-2,4 m lehet.

A faáru szállító hajók teljes hordképességének kihasználása esetén a farakomány 30-50 %-át a fedélzeten helyezik el. A fedélzeti farakományt szállító hajók szabad oldalmagassága kisebb lehet a hasonló nagyságú, más típusú hajókénál.

A farakomány idényjellegűen adódik, ezért a fát szállító hajókat úgy építik, hogy egyéb áru szállítására is alkalmasak legyenek. Elsősorban szén vagy gabona szállításra szokták alkalmassá tenni. A fedélzeti farakomány miatt a fedélzet merevítői a szokásosnál erősebbek s a hajót erősebb, végígfutó habvéddel látják el.

A konténerek szállítására az általános áruszállító hajók is alkalmasak. Részben a rakterekbe helyezik el a konténereket, részben a fedélzeten.

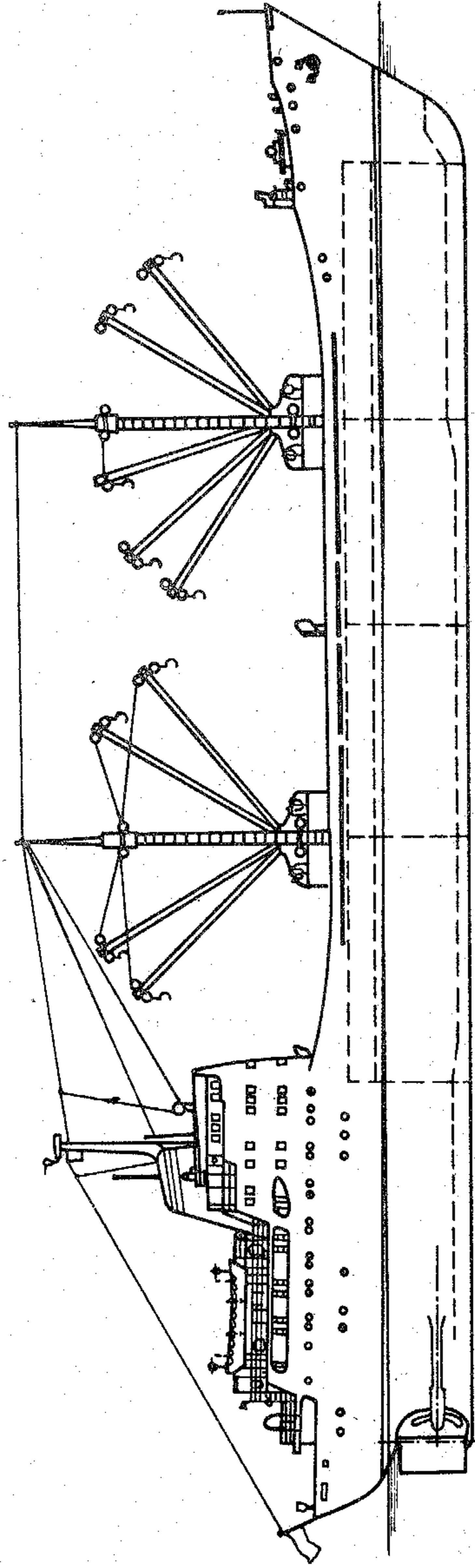
A konténerszállító hajót főleg a vonalhajózásban használják. Kétféle típusa van: A cellás hajó rakterei felülről teljes hosszukban és szélességükben nyithatók. A raktérben függőleges, oszlopszerű vezetősíneket építenek. Ezek közé, mintegy "cellákba" a konténerek felülről becsúsztathatók. Egymás felett, a hajó méreteitől függően, 3-5 konténer is elhelyezhető egy cellában. A szerkezet megakadályozza a konténerek oldalirányú csúszását és részterhelésnél is lehetővé teszi, hogy a rakomány



1.20 ábra

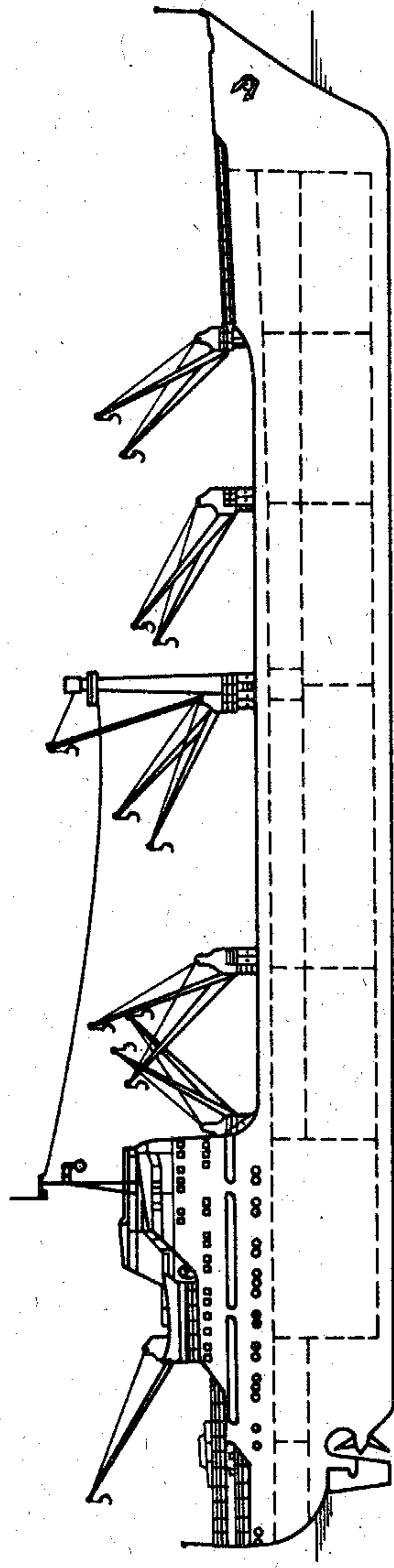
1694 Mg deadweight hordképességű (1198 GRT, 567 NRT) általános áruszállító hajó. $L_T = 74,46$ m,
 $L_{pp} = 67$ m, $B = 11,32$ m, $D = 5,3$ m, $T = 4,67$ m. Raktárak térfogata: Bale 2087 m³, grain 2194 m³.

730 kW teljesítményű főgéppel, 2,8 m átmérőjű hajócsavarjával 10,5 csomó sebességgel halad.
 1958 - 68 között 88 db épült az MHD Angyalföldi Gyáregységében.



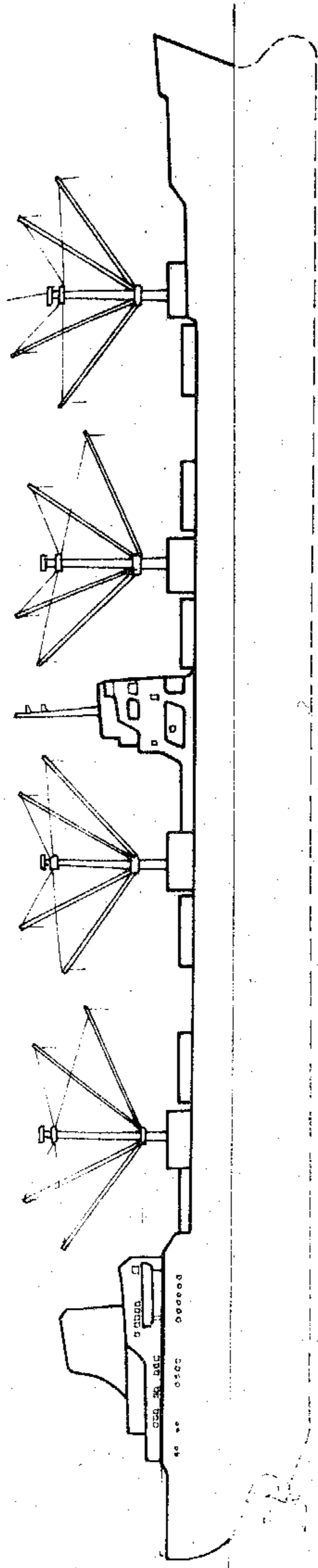
1.21 ábra

6211 Mg deadweight hordképességű (4451 GRT, 2365 NRT) általános áruszállító hajó. $L_T = 114,25$ m,
 $L_{pp} = 106,6$ m, $B = 15$ m, $D = 9,35$ m, $T = 7,56$ m. Raktárak térfogata: Bale 7507 m³, grain 8217 m³.
 2380 kW teljesítményű főgéppel, 3,43 m átmérőjű hajócsavarjával 13,5 csomó sebességgel halad



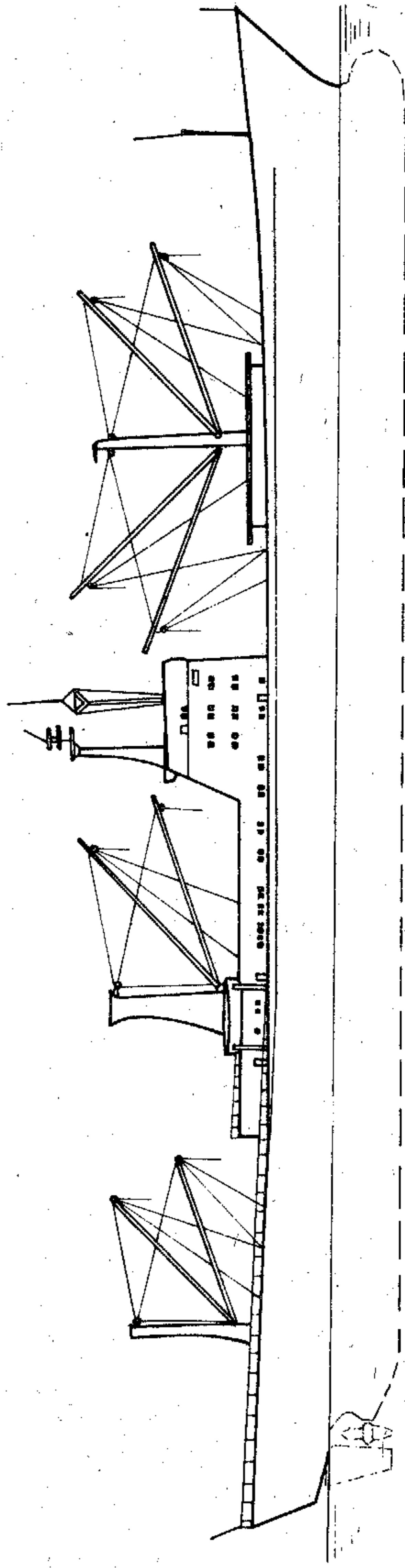
1.22 ábra

13635 Mg deadweight hordképességű (9858 GRT, 4957 NRT) általános áruszállító hajó. $L_T = 155,7$ m, $L_{pp} = 140$ m, $B = 20,6$ m, $D = 12,3$ m, $T = 9,52$ m. Raktárak térfogata: Bale 16595 m³, grain 18430 m³. 6600 kW teljesítményű főgéppel, $5,7$ m átmérőjű hajócsavarjával $16,5$ csomó sebességgel halad



1.23 ábra

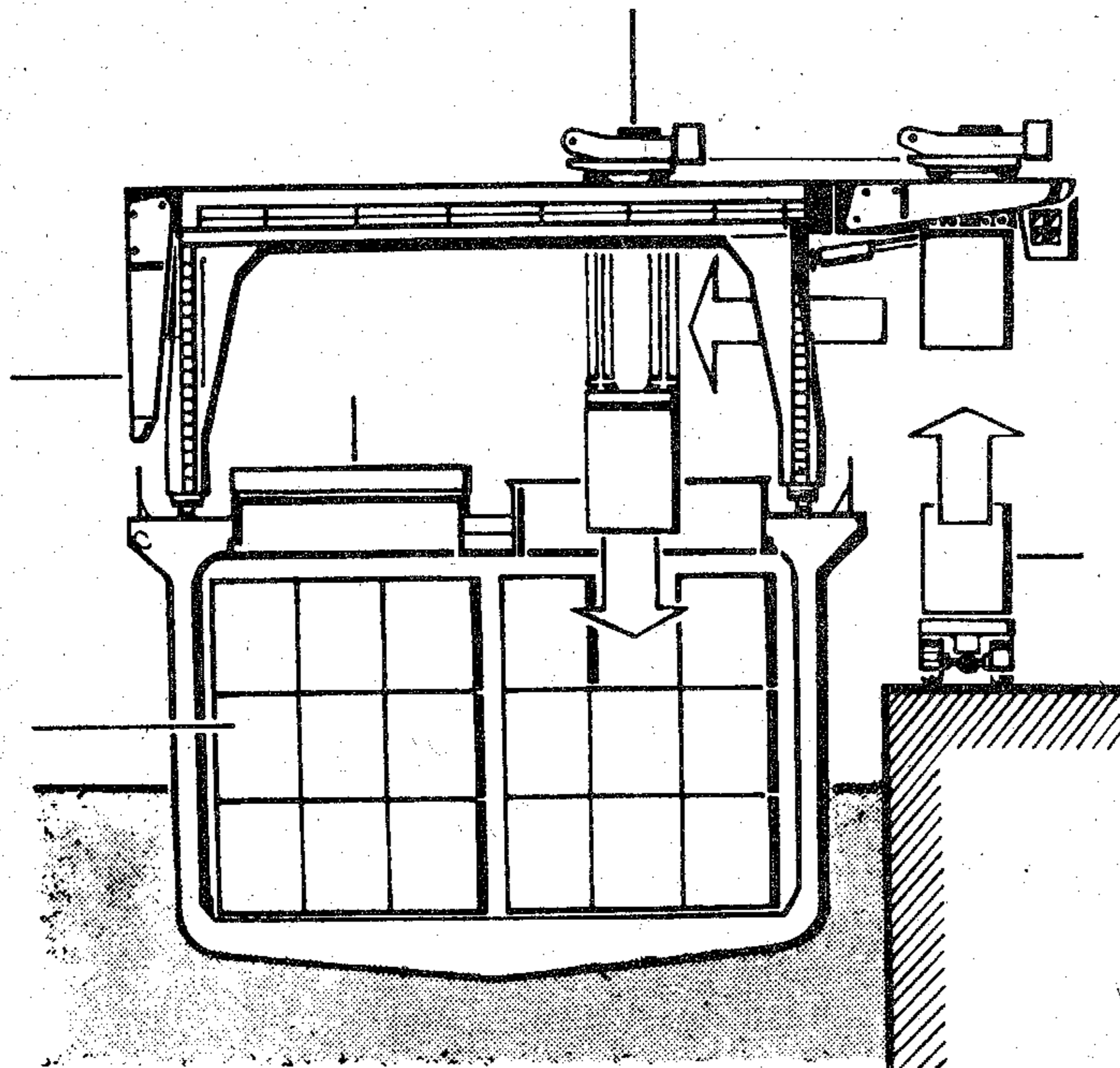
38500 Mg deadweight hordképességű (23067 GRT) általános áruszállító hajó. $L_T = 204,9$ m, $L_{pp} = 195,2$ m, $B = 27,2$ m, $D = 16$ m, $T = 11$ m. 13800 kW főgépteljesítménnyel $15,8$ csomó sebességgel halad.



1.24 ábra

7896 Mg deadweight hordképességű (5637 GRT) hűtőhajó. $L_T = 147,9$ m, $L_{pp} = 133$ m, $B = 19,6$ m, $D = 12,15$ m, $T = 8,22$ m. 5470 kW főgépteljesítménnyel $23,5$ csomó sebességgel halad. Segédüzemi teljesítménye 2850 kVA tengelygenerátor és 4700 kVA segédgép

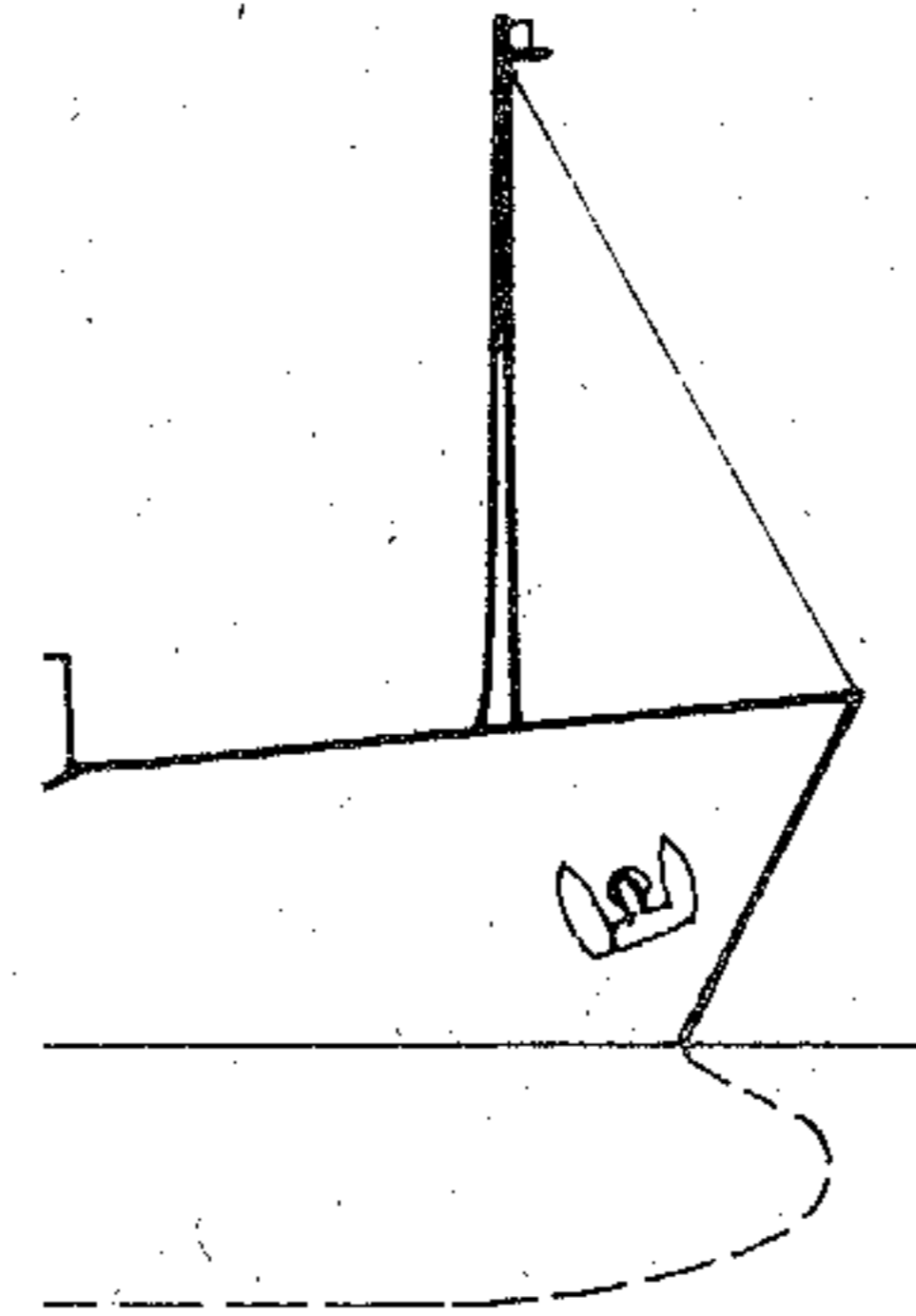
magasságirányú súlypontja a megfelelő magasságban legyen. Az 1.25 ábrán egy cellás hajó keresztmetszetét láthatjuk rakodás közben. Az 1.26 és 1.27 ábra konténerszállító hajókat ábrázol. A konténerszállító hajók egy része olyan daruberendezéssel van ellátva, mely parti rakodóberendezés hiánya esetén a rakodást elláthatja (1.28 ábra).

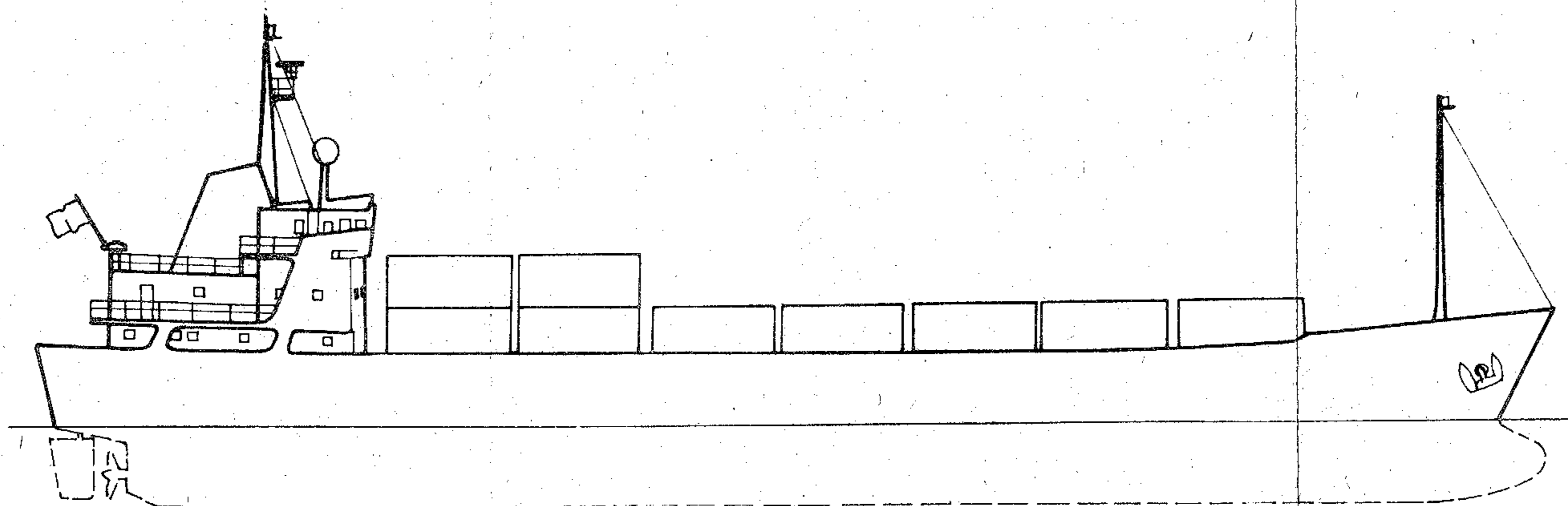


1.25 ábra
Konténerszállító cellás hajó keresztmetszete

A konténerszállító hajók másik típusa a fel- és legördülő rakományszállító, úgynevezett Ro-Ro hajó (Roll on, roll off). A hajó farán kialakított bejáróhídon a konténert szállító közúti járművek behajtanak a hajóra, és a hajón kapcsolják le a konténert. Egy Ro-Ro hajó fara az 1.29 ábrán látható.

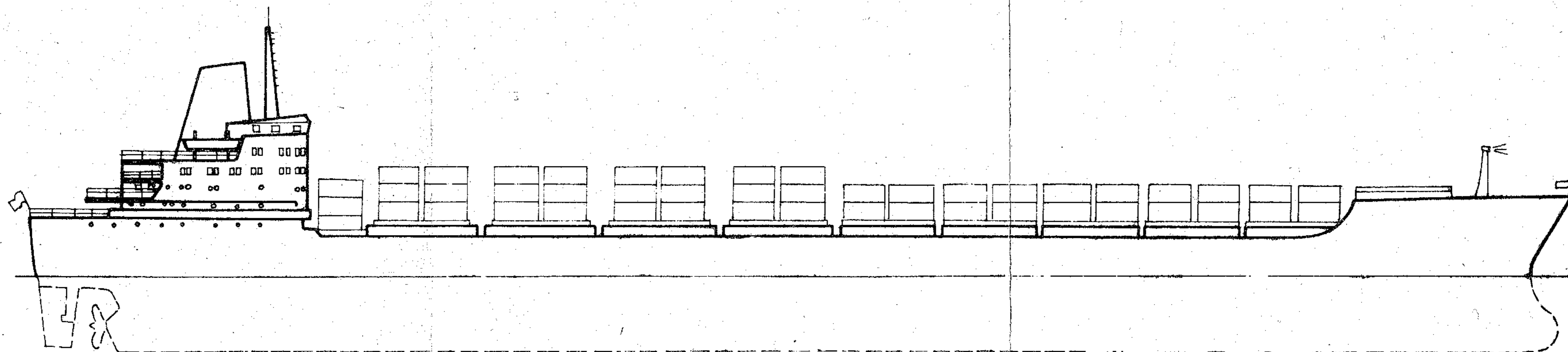
A "Lash" bárkahordozó hajó 100-500 Mg tömegű úszóképest konténerek, kisméretű pontonszerű bárkák szállítására alkalmasan épített hajó. A LASH szó az angol Lighter Aboard Ship elnevezés rövidítése.





1.26 abra

1200 Mg deadweight terdkéességű (499 GRT) konténerszállító hajó.
 $L_T = 73,1$ m, $L_{pp} = 68$ m, $B = 12,8$ m, $D = 6,15$ m, $T = 3,77$ m. A
hajótestben 42 db, a fedélzetén 34 db konténert szállíthat. 1450 kW fő-
gépteljesítményével 14 csomó sebességgel halad. Személyzete 10 fő.



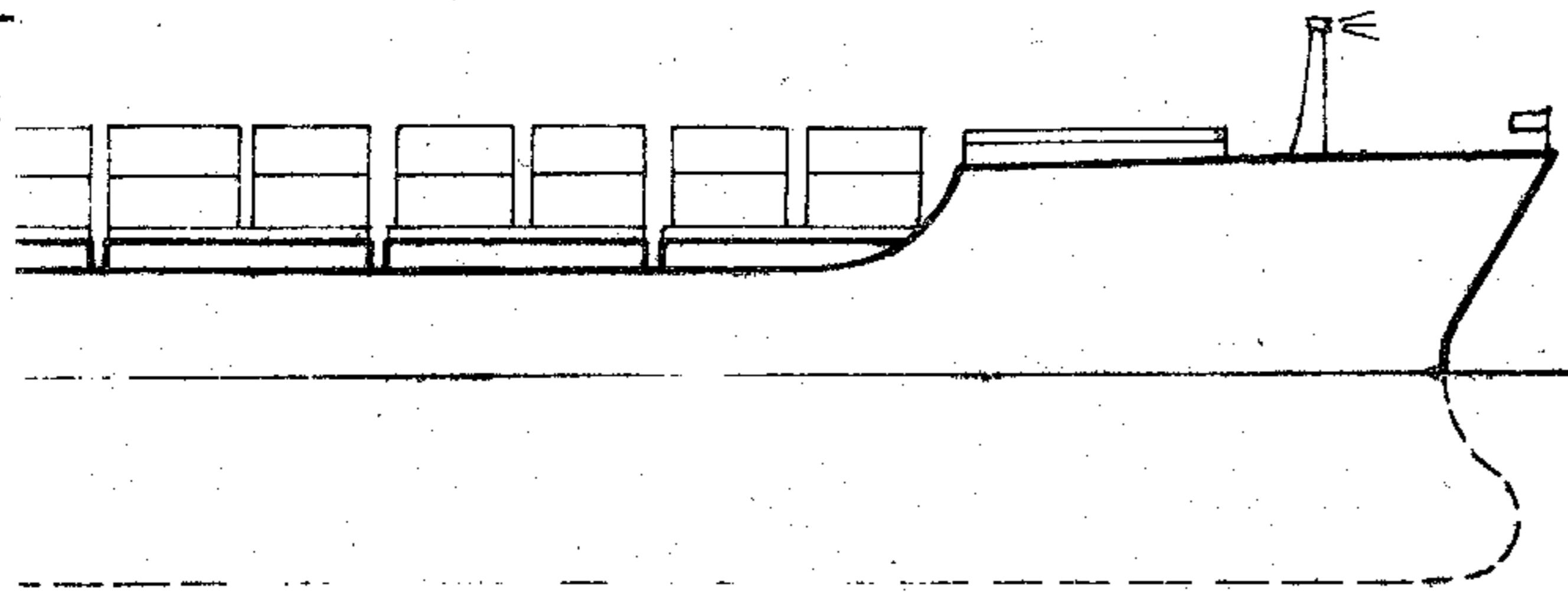
... aora

26400 Mg deadweight hordképességű (14600 GRT) konténer szállító hajó.

$L_T = 217$ m, $L_{pp} = 205,7$ m, $B = 29$ m, $D = 15,9$ m, $T = 10,5$ m.

20.8.8 lábas konténerből a fedélzeten 455 darabot, a hajótestben 768 db-ot szállíthat. A hajótestben elhelyezettek közül 326 konténer hűtött konténer lehet. Sebessége 22 csomó.

mag
rán
és 1
egy
deze

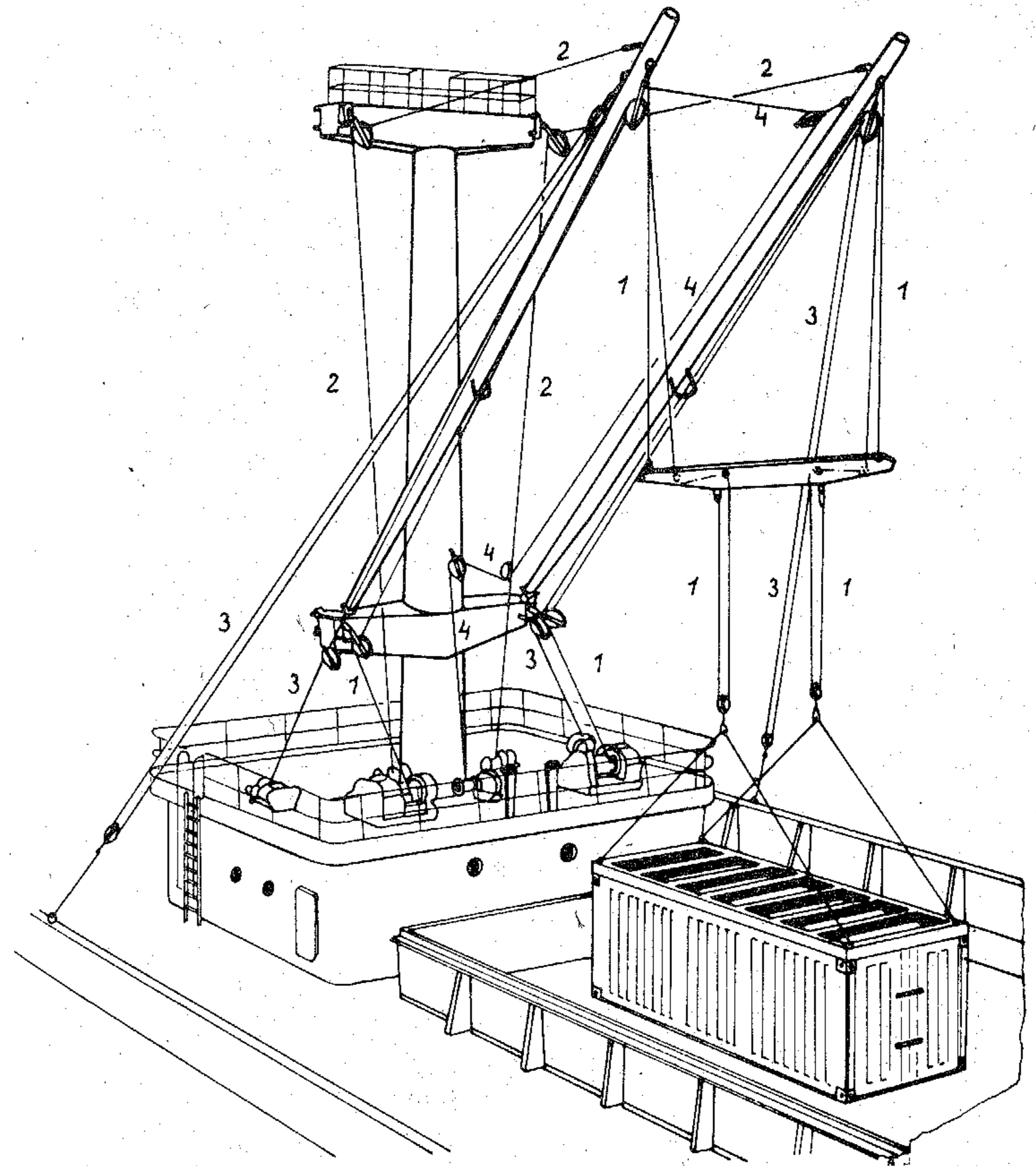


állító hajó.
10,5 m.

tben 768 db-
hűtött kon-

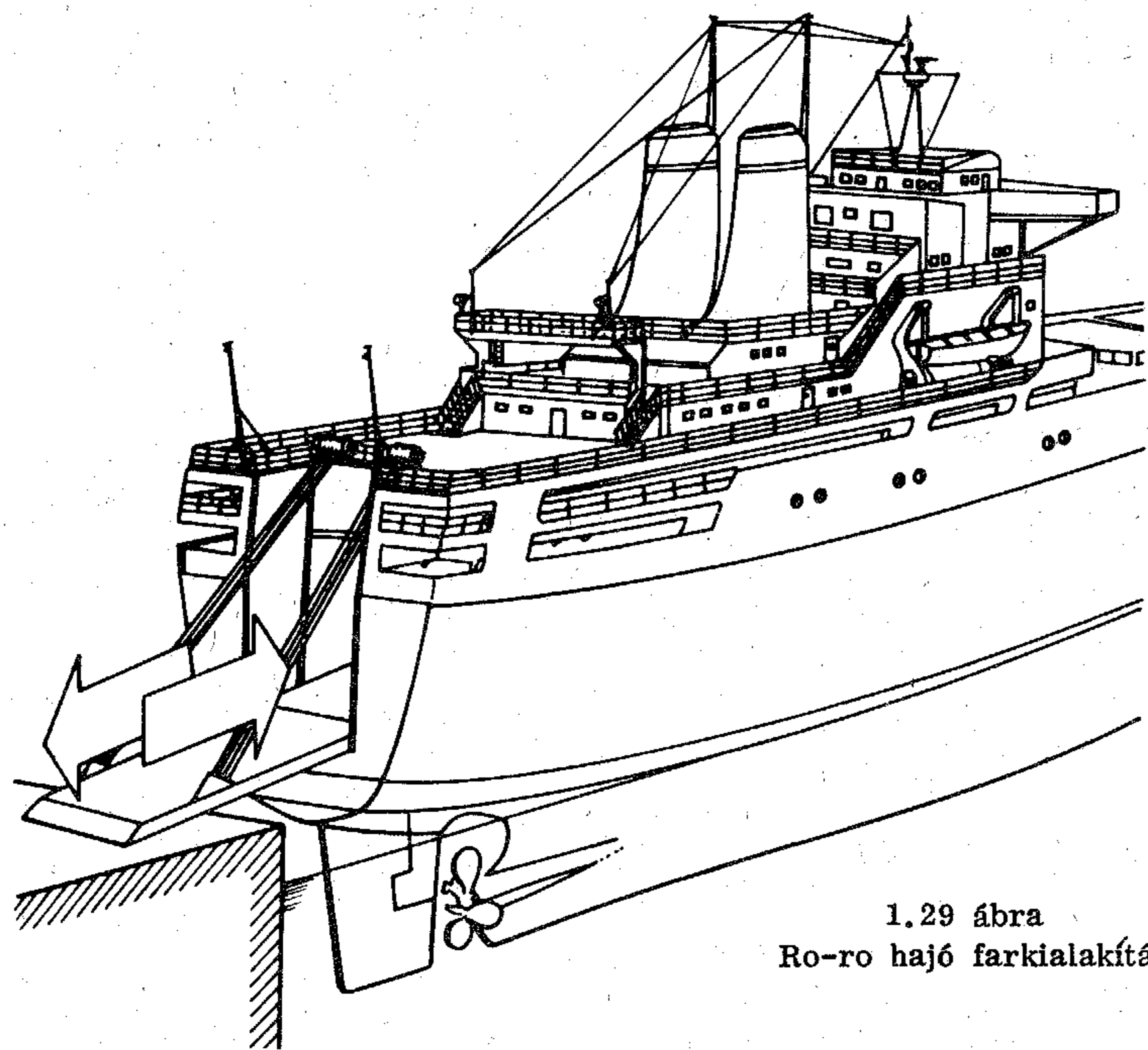
szál
tott
és
rán

ner
A I



1.28 ábra

Konténer rakodása árbócdaruval. 1. emelő kötélet, 2. Gémet
billentő kötélet, 3. Gémet forgató kötélet, 4. Gémet egy-
máshoz közelítő kötélet

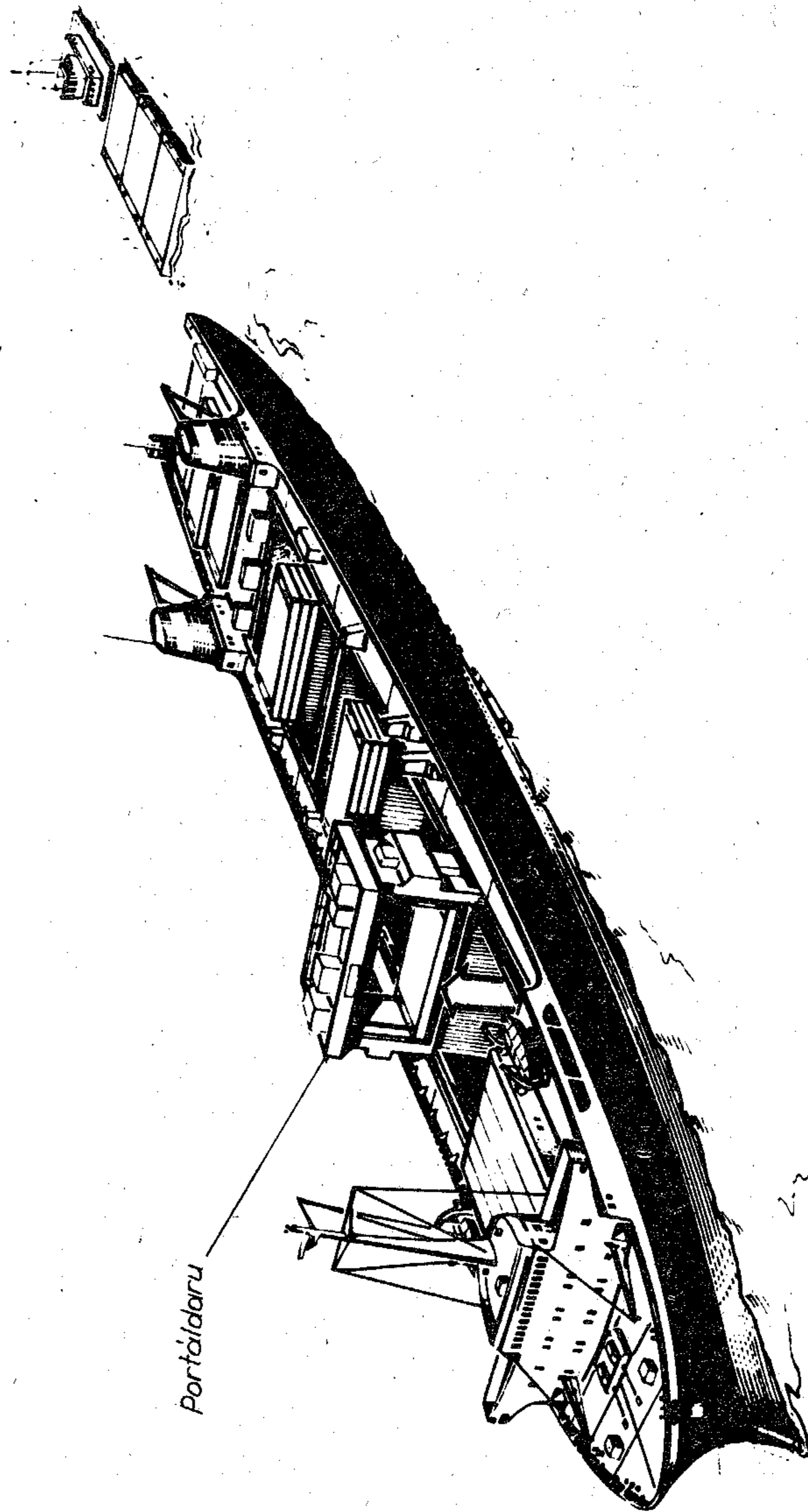


1.29 ábra
Ro-ro hajó farkialakítása

Az 1.30 ábrán látható módon a hajó kéttörzsű farához tolják a bárkákat. Ezeket a hajó teljes hosszán végigfutó portáldaru egyenként felemeli. A fedélzet felett a megfelelő raktárnyílás fölé szállítja és a hajótérbe süllyeszti. A hajótér megtöltése után a fedélzetre is helyeznek bárkákat. A hajótípus előnye, hogy a bárkákat a kikötő más részén, pl. a korszerű, nagymerülésű hajók számára használhatatlan régi kikötőkben rakhatják meg. A folyón, tolatmányban érkező bárkákat pedig ki- és berakás nélkül közvetlenül a Lash hajóba emelhetik.

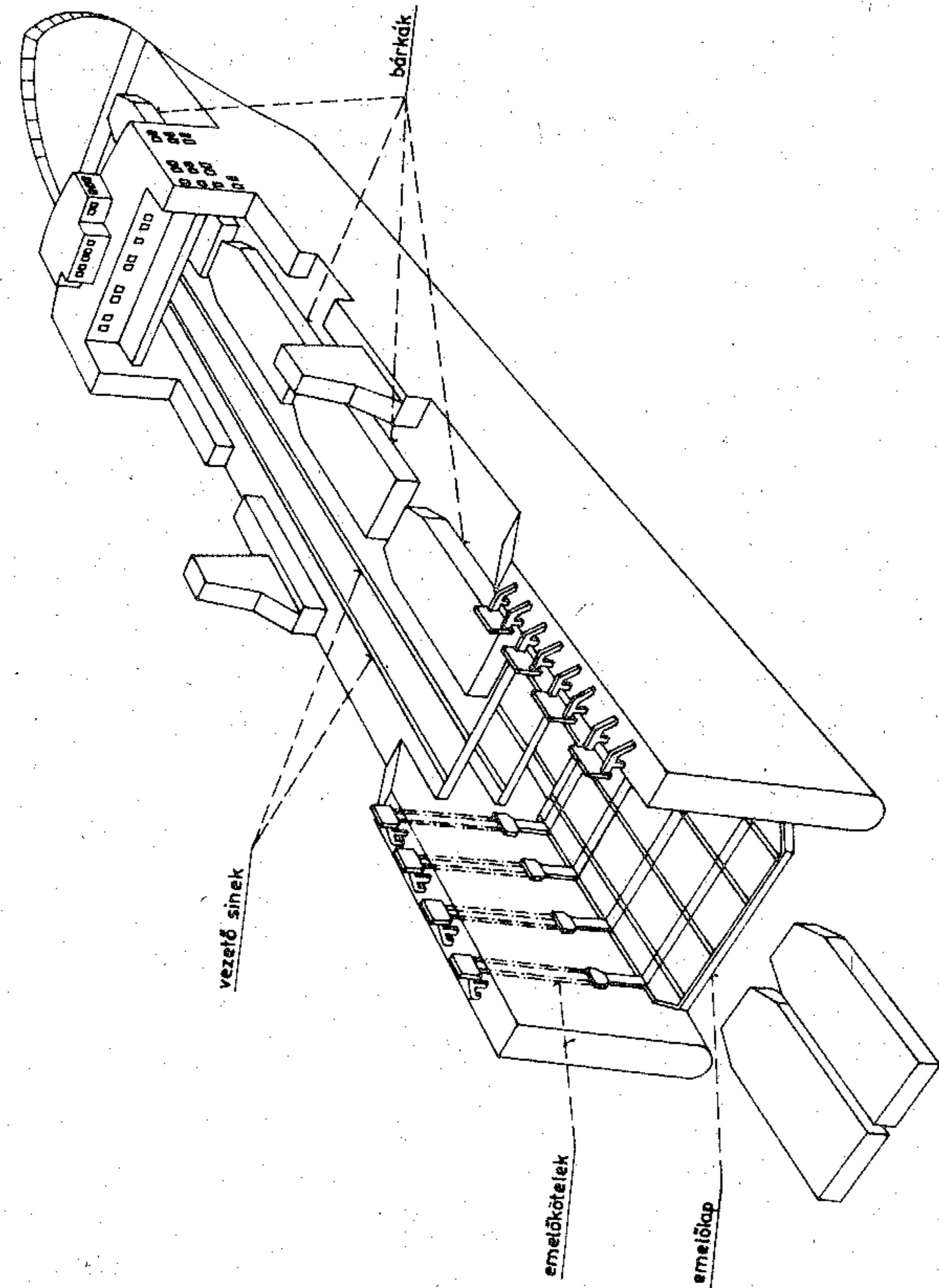
A bárkahordozó hajók másik típusa az úgynevezett Seabee hajó (1.31 ábra), mely 600-1500 Mg hordképességű bárkák, uszályok szállítására alkalmas. A Lash hajókhoz hasonlóan kéttörzsű far-résszel építik. A többfedélzetű hajótest a két far között nyitható.

A két faron elhelyezett kötélcsörlőkkel egy nagyméretű emelőlapot lehet fel-le mozgatni. Az emelőlapot a víz felszine alá is le lehet ereszteni. A leeresztett emelőlap fölé egyesével vagy egymás mellett párosával beúsztatják a berakásra váró uszályokat.



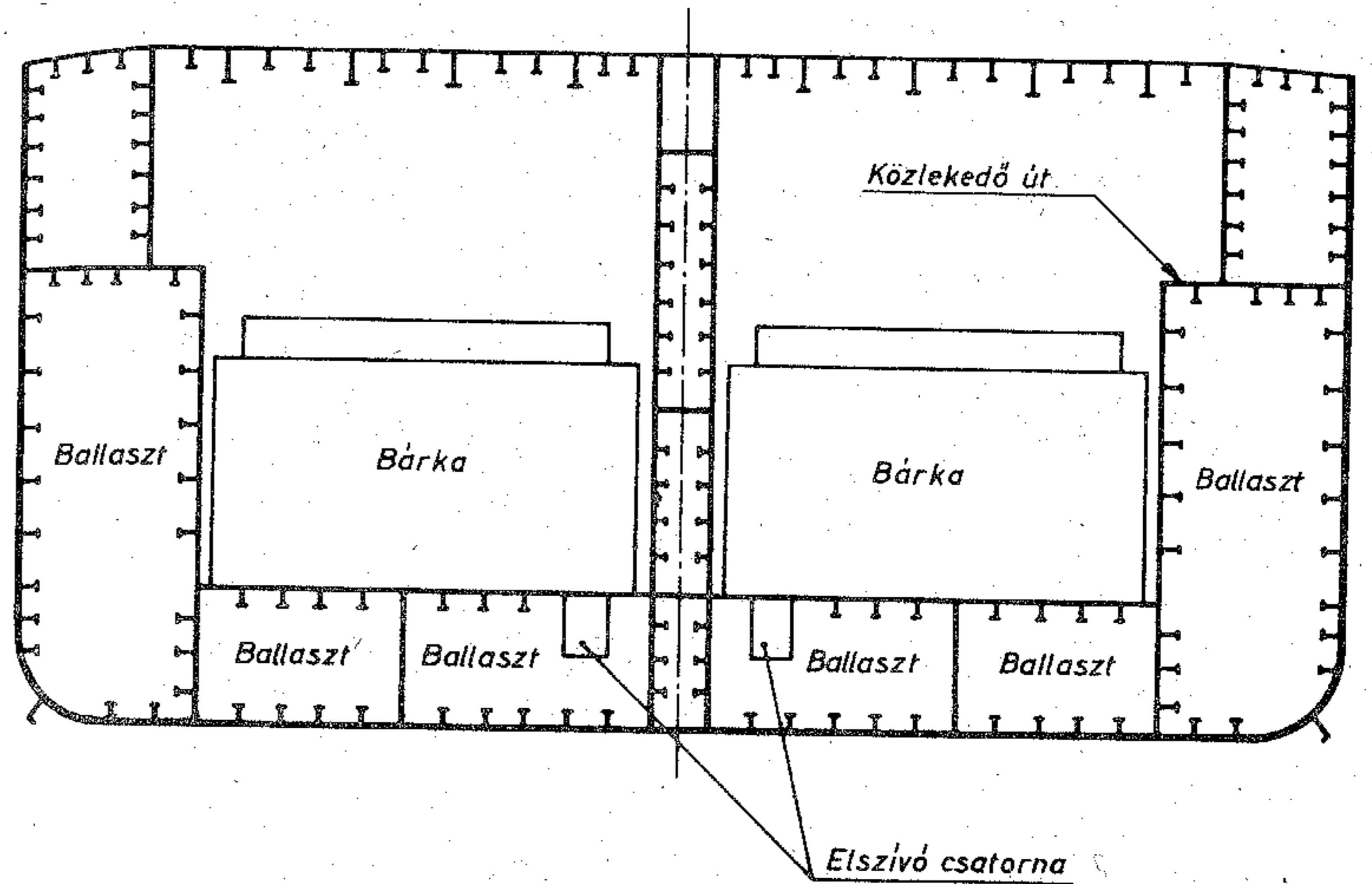
1.30 ábra

"Acadia Forest" LASH hajó. $L_T = 261,4$ m, $B = 32,5$ m, $T = 12,1$ m. 19100 kW teljesítményű diesel főgépével 19 csomó sebességgel halad. Deadweight hordképessége 48303 Mg. Emelőberendezésének teherbírása 510 Mg. 83 darab bárkát szállíthat. A bárkák főméretei: $L_T = 18,75$ m, $B = 9,5$ m, $D = 3,96$ m, $T = 2,66$ m. Hordképességek 370 Mg, üres bárka tömege 93 Mg. Rakterének térfogata 550 m^3 . Épült kb. 20 darab.



1.31 ábra

36600 Mg deadweight hordképességű Seabee hajó ("Szamuely Tibor"). $L_T = 267$ m, $B = 35$ m, $D = 22,7$ m, $T = 11$ m. 26470 kW teljesítménnyel 22 csomó sebességgel halad. A fedélzetén 10 db, a hajótérben 16 db, 1100 Mg hordképességű, 1300 m^3 raktártérfogatú bárkát szállíthat. A bárkák méretei: $L_T = 38,25$ m, $B = 11$ m, $D = 3,9$ m, $T = 3,3$ m, vízkiszorítása 1300 m^3 .



1.32 ábra

21100 Mg deadweight hordképességű bárkaszállító dokkhajó keresztmetszete. Az ábrázolt hajó adatai: $L_T = 204$ m, $L_{pp} = 195$ m, $B = 28,5$ m, $D = 14,15$ m, $T = 6,65$ m. Rakodásnál a legnagyobb merülése 7,7 m. 7880 kW teljesítményű főgéppel 15 csomó sebességgel halad. A hajó 12 darab $L_T = 24$ m, $B = 9,5$ m, $D = 5,1$ m, $T = 4,06$ m főméretű, 800 Mg hordképességű bárkát, vagy 4 darab 1880 Mg hordképességű Europa típusú bárkát szállíthat.

Az emelőlappal az uszályokat valamely fedélzet szintjéig emelik s görgős pályán a hajó fedélzetére húzzák. Szintenként 6-12 db uszályt helyeznek el.

Az 1.31 ábra a KGST keretében alakult magyar "Interlighter" hajózási vállalat "Szamuely Tibor" hajójának vázlatát mutatja. A hajó által szállított uszályok főbb adatai:

$L = 38,25$ m, $B = 11,00$ m, $D = 4,00$ m, $T = 3,33$ m.

Épült kéttörzsű bárkaszállító hajó is (BACAT = Barge Aboard CATamaran). A két törzs közé beúsztatott kisebb bárkákat emelőlapon felemelik a hajó nyitott fedélzetéig. Ott görgősoros csörlőkkel vízszintes irányban a fedélzetre húzzák. A nagyobb bárkákat a hajó két törzse között a fedélzet alatt rögzítik. Az eddig megépült típus a fedélzetén 10 db 140 tonna hordképességű bárkát, s a két törzs közötti alagutban 3 db 376 tonna hordképességű bárkát szállíthat. A hajó főméretei: $L = 93,2$ m $B = 20,7$ m, $D = 10,5$ m $T = 5,4$ m. 2 db 1500kW teljesítményű főgéppével 13 csomó sebességgel halad. Személyzetének létszáma 18 fő.

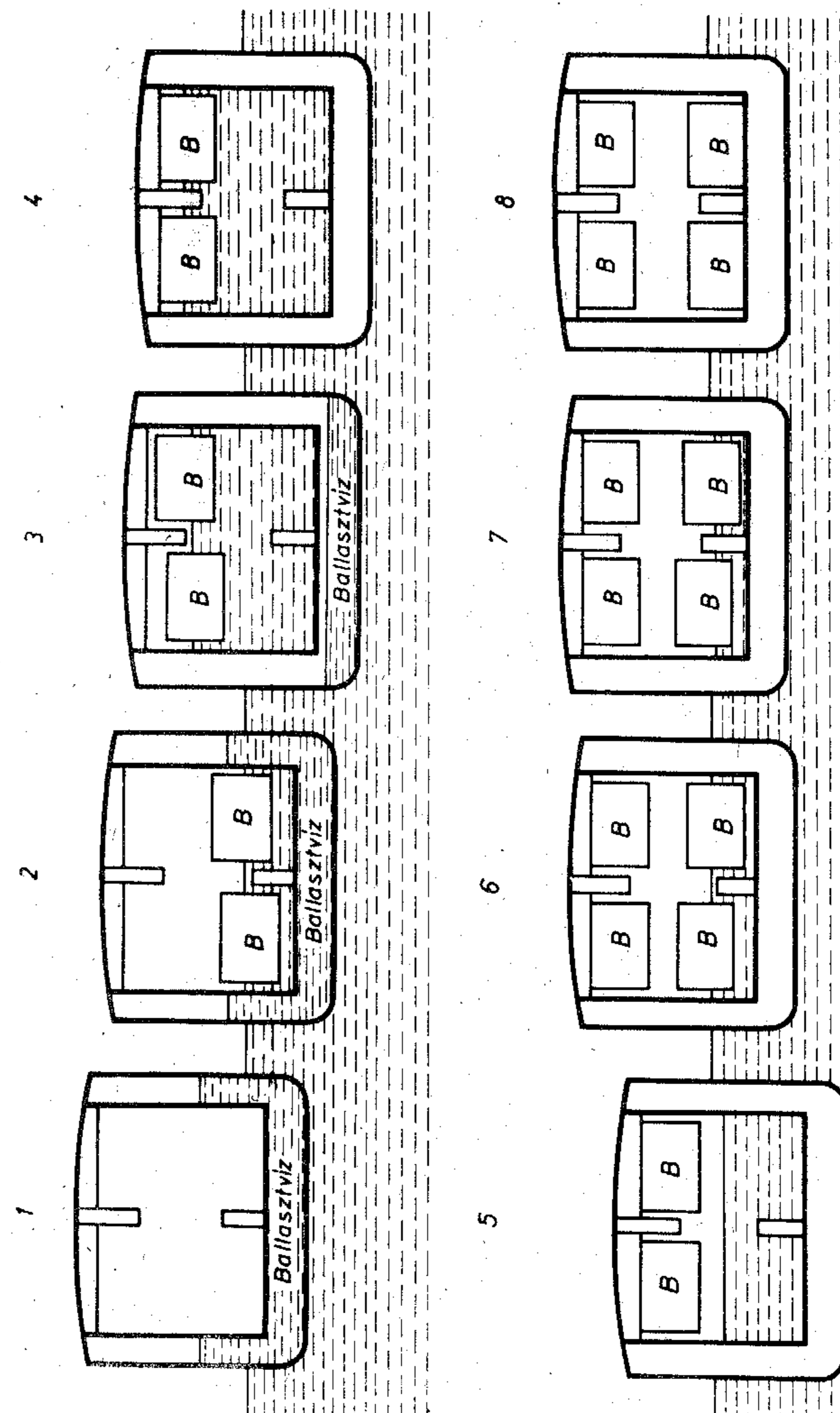
A bárka-szállító hajók újabb típusába a bárkákat nem emelőszerkezettel rakják be, hanem a bárkákat a hajóba úsztatják. Ilyen hajó keresztmetszetét látjuk a 1.32 ábrán.

A bárkaszállító hajó orr-része kinyitható. A rakodáskor a hajó ballaszt tankjaiba annyi vizet bocsátanak, hogy a kinyitott orr-részen a hajó rakterébe a külső víz beáramolhasson. A ballasztolás során a hajó merülését addig növelik, míg a rakterek padlószintje a felveendő bárkák merülésénél nagyobb mélységbe kerül. Ezután a bárkákat beúsztatják a hajó belső terébe. Az orr-részt lezárják s a vizet a hajó belső teréből és a ballaszt tankokból kiszivattyúzzák. Így a bárkák az alsó fedélzeten maradnak, ahol rögzítik azokat, nehogy a hajón elmozduljanak.

A bárkaszállító dokkhajók további típusánál egymás fölött több rétegben helyezhetők el bárkák a hajó rakterében. Az előzőekben ismertetett tipushoz hasonlóan a hajó orr-része kinyitható. A rakodás előtt a hajó ballaszt tereibe vizet szivattyúznak (1.33 ábra 1. képe). Ha a raktereket a kellő magasságban elárasztotta a víz, a nyitott orron át beúsztatják a legfelső rétegbe szánt bárkákat (2. kép). A hajó orr-részét bezárják, majd a ballaszt tankokat ürítik, s a rakterbe vizet szivattyúznak (3. kép). A hajóba annyi vizet juttatnak, hogy a bárkák felütköznek a rakter felső részén kialakított ütközőkbe (4. kép). Ebben a helyzetükben a bárkák alá gerendákat helyeznek, vagy a hajó falából és a középső oszlopai közül kifordítható konzolos tartókat a bárkák feneké alá fordítják.

Így a víz kiszivattyúzása után a bárkák fennmaradnak a rögzített helyzetükben (5. kép). A vizet addig szivattyúzzák, míg a belső térben a víz szintje azonos magasságban van a külső vízszinttel. Ekkor a kapukat ismét kinyitják, s beúsztatják a következő rétegbe szánt bárkákat. Így egymás után több rétegben rögzíthetők a berakott bárkák.

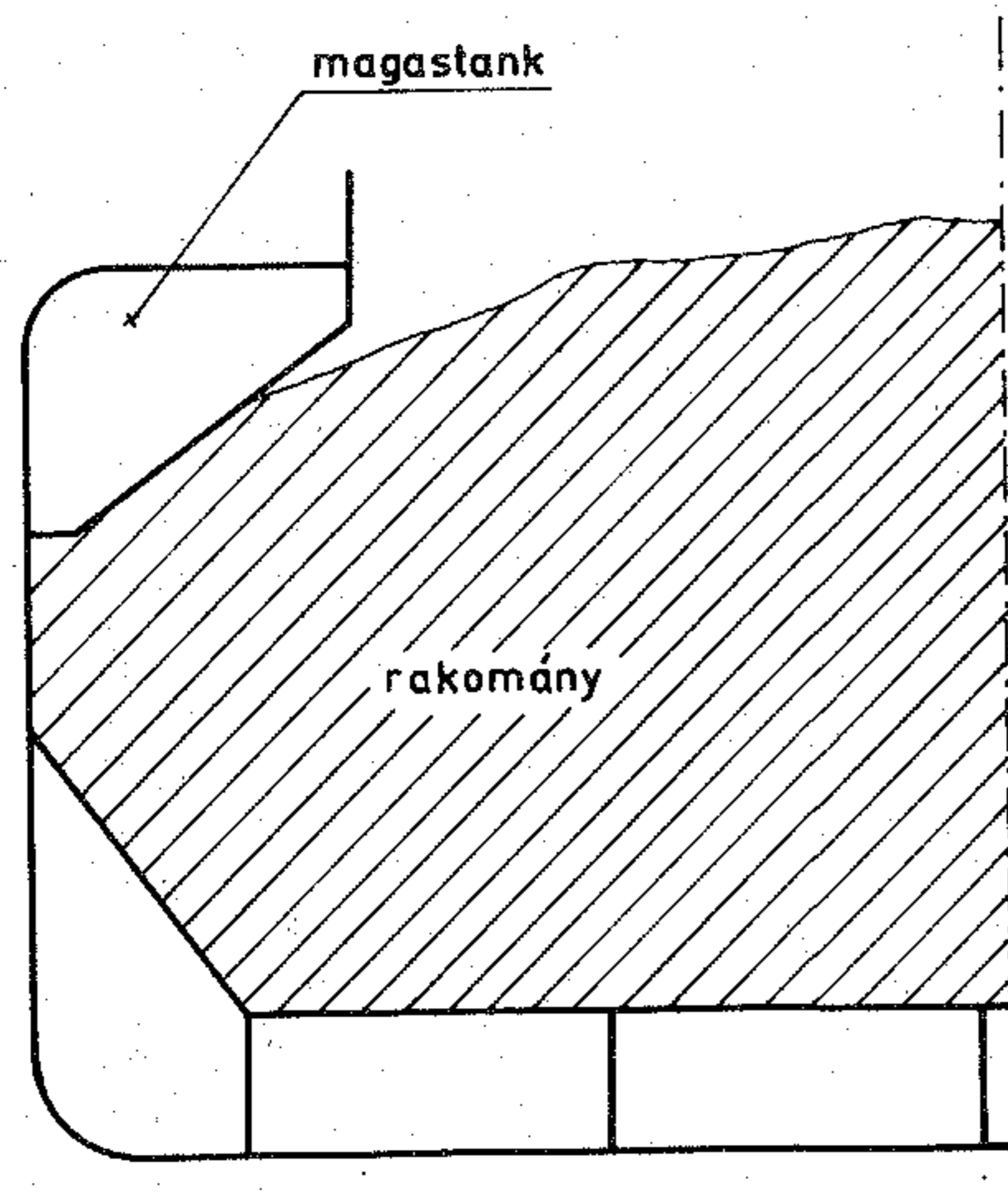
A legalsó rétegbe helyezendő bárkák beúsztatása után a kapukat bezárják és a vizet kiszivattyúzzák (7. kép). A vizet teljesen eltávolítva a bárkák a raktár padlózatára ülnek. Megfelelő rögzítésük után a bárkaszállító elindulhat.



1.33 ábra
Bárkaszállító dokkhajó rakodása

1.6.2 Ömlesztett árut szállító hajók

Ömlesztett rakományt szállító hajónak (bulk carrier-nek) általában csak a könnyű, kis térfogatsúlyú rakományok (pl. gabona) szállítására alkalmas hajókat nevezik. Az ömlesztett rakomány be- és kihajózását a kikötői rakodóberendezések végzik. Így a hajón rakodóberendezés nincs felszerelve. Az ömlesztett áruszállító hajó rakterének keresztmetszetét az 1.34 ábra mutatja. (Szerkezeti kialakítása a 9.23 ábrán látható).



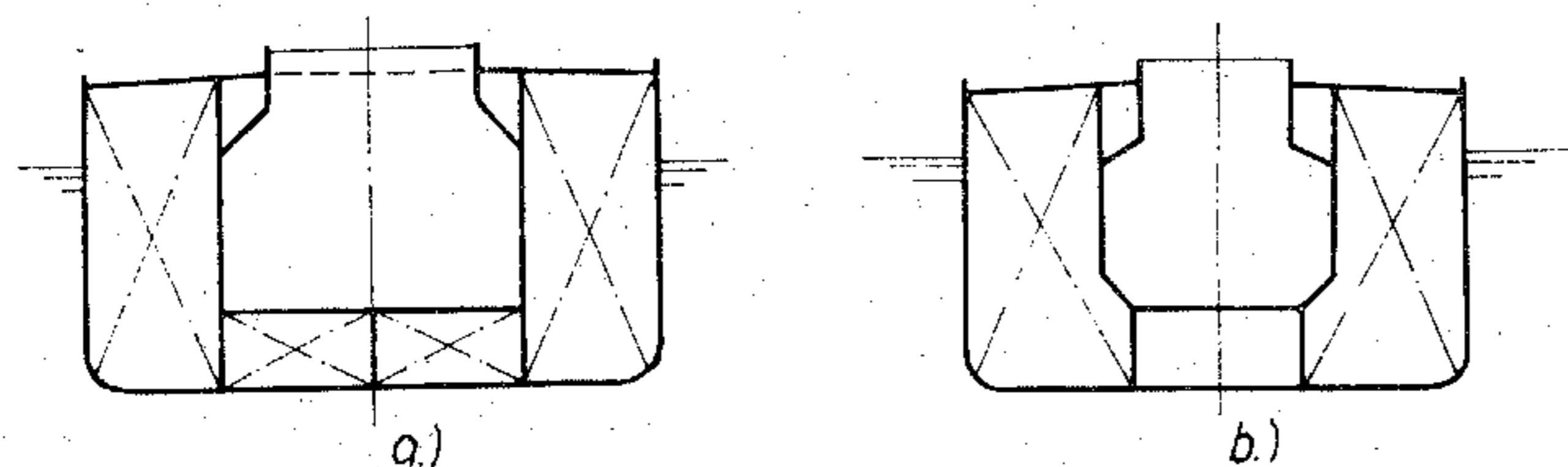
1.34 ábra

Ömlesztett rakományt szállító hajó keresztmetszete

dő magasan helyezkedik el. Keresztmetszete az 1.16 ábrán látható kavicsuszály keresztmetszetéhez hasonló kialakítású.

Ha a raktárakba nehéz, nagy térfogatsúlyú rakományt helyeznek, a hajó hordképességének teljes kihasználása esetén is csak a raktárak alján helyezkedne el a rakomány. A túlságosan alacsony rendszer súlypont miatt kellemetlen lengések léphetnek fel a hajó haladása során. Ennek elkerülésére az 1.34 ábrán bejelölt magastankot vízzel felöltik, s ezzel a rendszer súlypont magasabbra kerül.

Az ércszállító hajó (ore carrier) nagy térfogatsúlyú ömlesztett rakomány szállítására épített hajó. Az ömlesztett árut szállító hajóhoz hasonló kialakítású. A rakomány számára kialakított tér keskenyebb. Így a kisebb térfogatú nehéz rakomány is teljes magasságban kitölti a rakteret, s a súlypontja elegendően



1.35 ábra

OBO hajók keresztmetszete

a - nagy fajtérfogatú, b - kisebb fajtérfogatú rakomány számára

Az ugynevezett OBO hajó (ore-bulk-oil) ömlesztett rakomány és olaj szállítására alkalmas. Egyik irányban ömlesztett rakományt, másik irányban olajat szállít. Kétféle kialakítása szokásos:

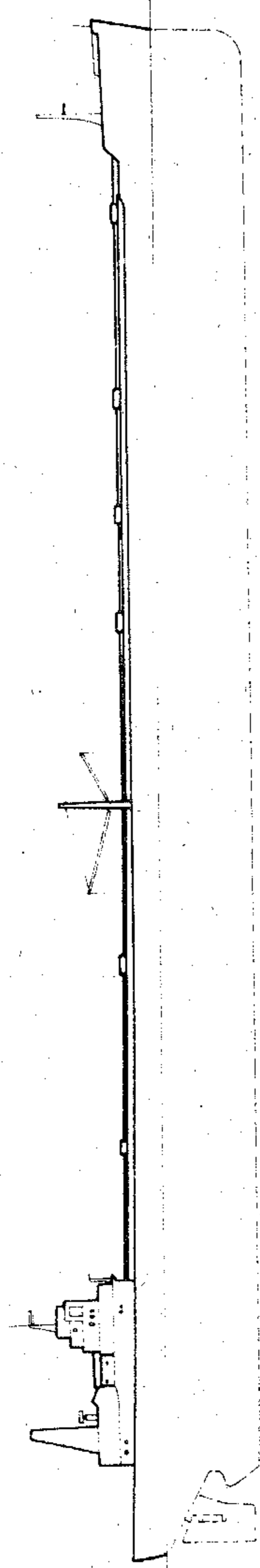
1. Az ércszállító hajónak a középrésze szolgál az ömlesztett rakomány elhelyezésére, s az oldaltérben szállítja az olajat. Az 1.35 ábrán ilyen típusu hajók keresztmetszete látható.

2. A hajó harántirányú válaszfalakkal sok rövid raktérre van osztva. Ezeket a tereket váltakozva ömlesztett rakomány és olaj szállítására alkalmasan alakítják ki.

1.6.3 Folyékony rakományt szállító hajók

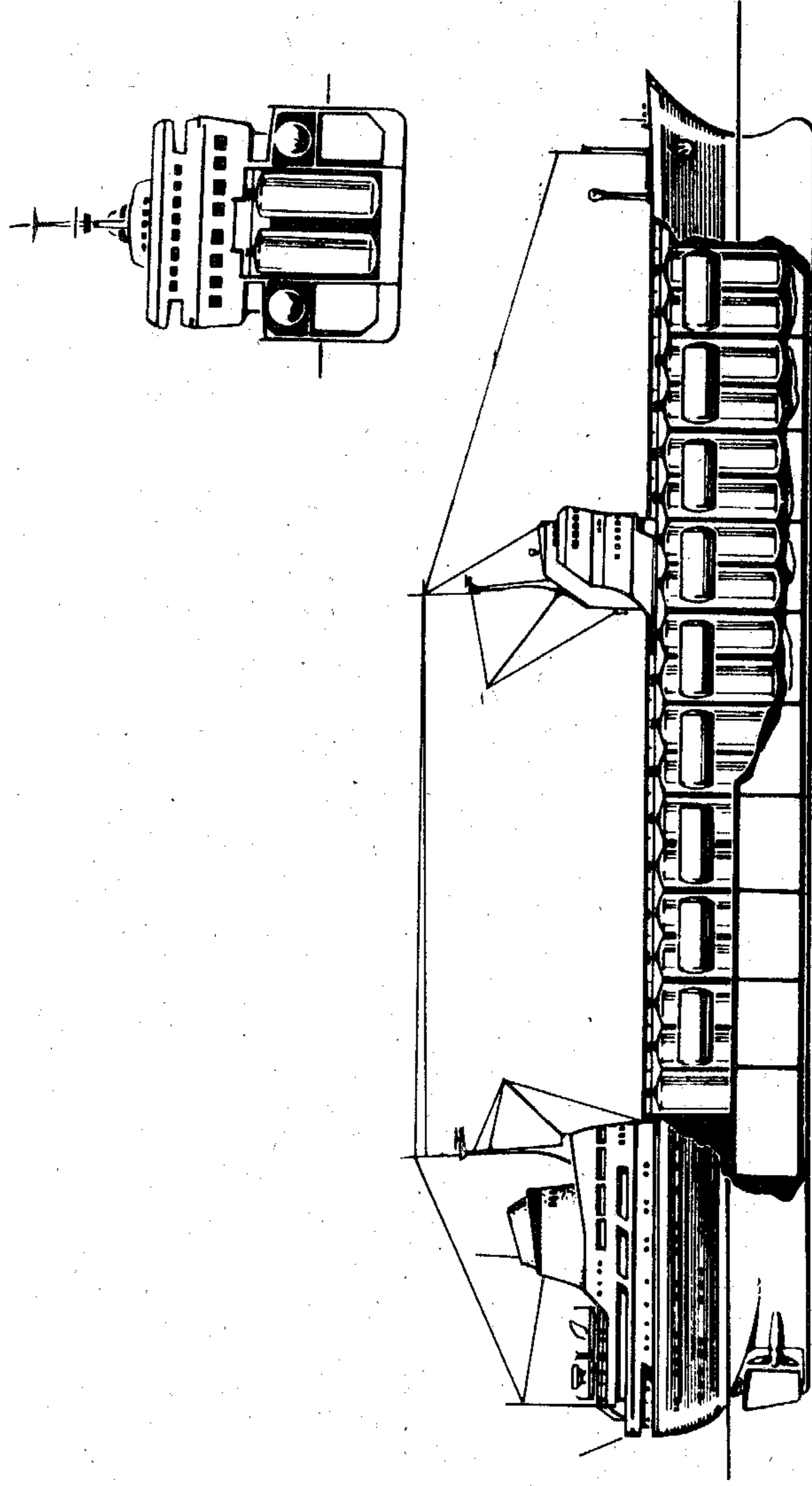
Tankhajóknak nevezik azokat a folyékony rakomány, általában olaj szállítására szolgáló hajókat, amelyeknél a tartályt maga a hajótest alkotja. Azaz a hajó oldallemmezével, fenéklemezével kívül a tengervízzel, belül a szállított folyadékkal érintkezik. Ezen hajóknál a külső és belső nyomás közel azonos értékű, így aránylag könnyű szerkezetűek s részben emiatt válik lehetővé, hogy hatalmas méretűeket is építhetnek (1.36 ábra). Így lehetséges, hogy bár darabszám szerint a tankhajók csak 11 %-át teszik ki, térfogat szerint 44 %-át képviselik a világ összes tengeri hajóinak.

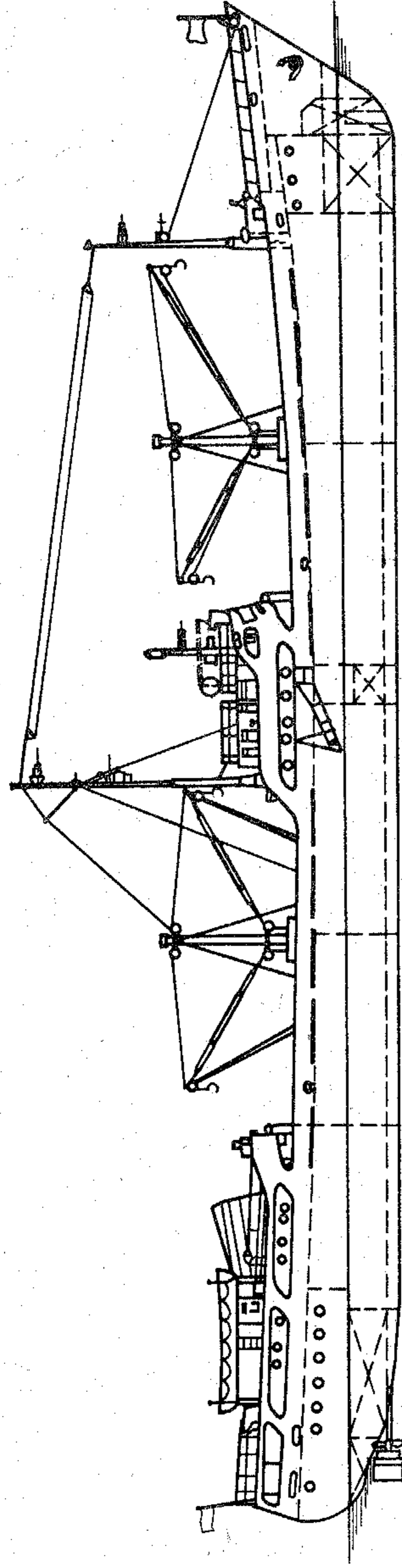
A folyadék lengésének (stabilitást rontó hatásának) csökkentésére a hajó hossz tengelyével párhuzamos válaszfalai is vannak. A 9.25 és 9.26 ábrákon láthatjuk a tankhajók szokásos szerkezeti kialakítását. A tankhajók jellegzetessége a többi hajóénál kisebb szabad oldalmagassága. Ezért a hajó farán elhelyezett gépteret és lakóteret magában foglaló felépítmény és az orr felépítmény között a fedélzet felett néhány méter magasan járdát építenek ki. Ez lehetővé teszi a személyzet közlekedését viharos tengeren is, amikor kis szabad oldalmagasság miatt a hullámok a hajó fedélzetére juthatnak.



1.36 ábra

212000 Mg deadweight hordképességű tankhajó. $L_T = 316,08$ m, $L_{pp} = 304,76$ m, $B = 48,77$ m, $D = 24,5$ m, $T = 19,02$ m. Tanktérfogata 259267 m³. 22000 kW teljesítményű főgéppel 16 csomó sebességgel halad

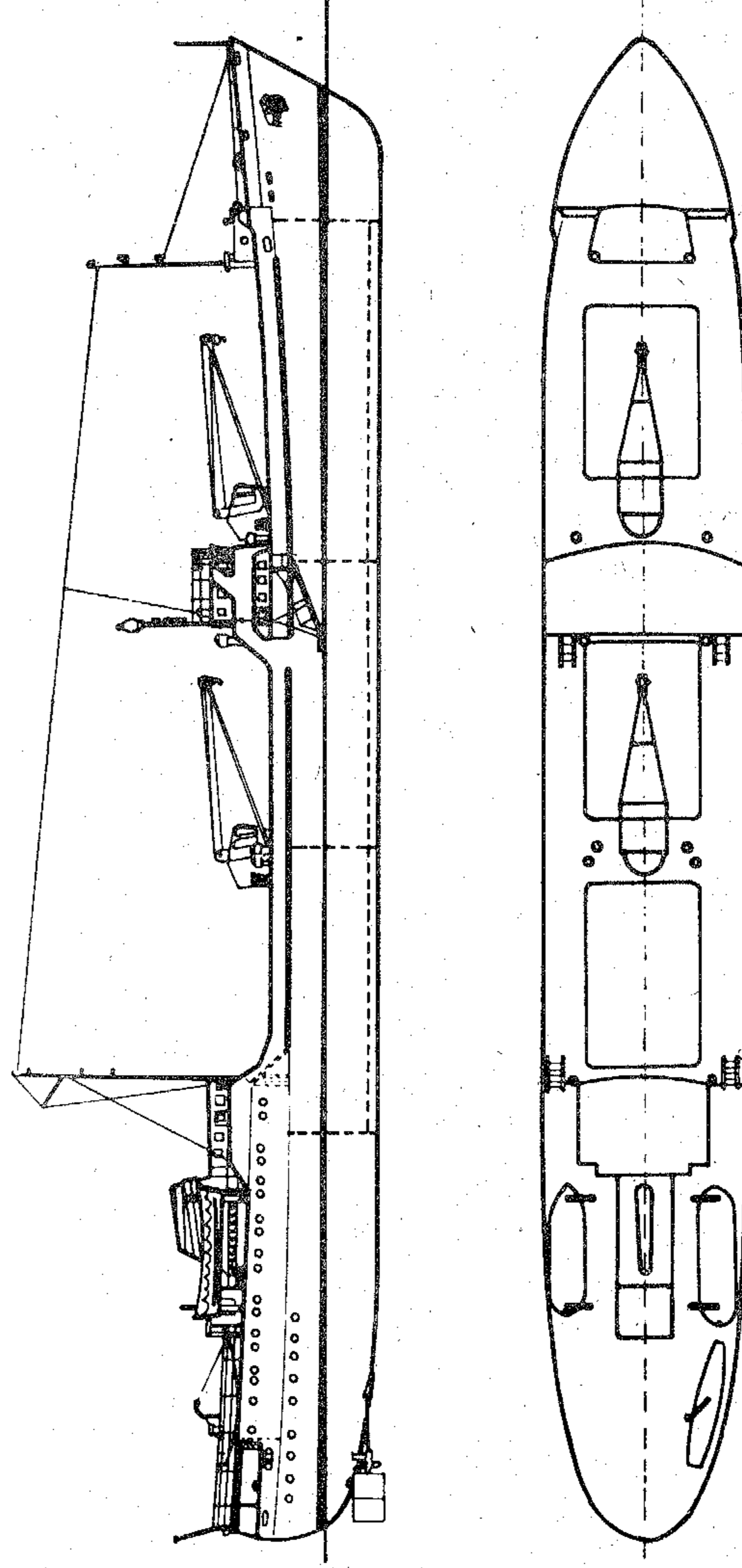
1.37 ábra
Tartályhajó



1.38 ábra

"Hazám" típusú duna-tengeri hajó. Deadweight hordképessége a tengeren 1087 Mg. Dunai hordképessége 308 Mg. $L_T = 81,5$ m, $L_{pp} = 75,4$ m, $B = 10,6$ m, $D = 4,7$ m, $T = 3,1$ m. Raktárak térfogata 1983 m³.

Két darab 594 kW teljesítményű főgéppel, két darab 1,7 m átmérőjű hajócsavarjával 12 csomó sebességgel halad. A típusból 8 db épült a MHD Angyalföldi Gyáregységében



1.39 ábra

"Ujpest" típusú duna-tengeri hajó. Deadweight hordképessége 1274 Mg. $L_T = 81,3$ m, $L_{pp} = 75,4$ m, $B = 11,42$ m, $D = 4,92$ m, $T = 3,1$ m. Raktárak térfogata: Bale 2230 m³, grain 2403 m³. Két darab 594 kW teljesítményű főgéppel, két darab 1,85 m átmérőjű hajócsavarjával 10,8 csomó sebességgel halad. A típusból 5 db épült a MHD Angyalföldi Gyáregységében

Tartályhajónak nevezik azokat a folyékony rakomány (kémiai termékek, folyékony gázok stb.) szállító hajókat, melyeknél a rakomány elhelyezésére a hajótestbe épített külön tartályok szolgálnak. Ilyen hajót láthatunk az 1.37 ábrán.

1.7 Folyam-tengeri hajók

A hajózás kezdete óta a tengeri hajók a folyókon is közlekednek, a folyónak azon a szakaszán, ahol a mederviszonyok, hidak ezt lehetővé teszik. Az 1930-as években a Ganz-hajógyár (ma a Magyar Hajó- és Darugyár Angyalföldi Gyáregysége) világviszonylatban úttörőként olyan hajótípus kifejlesztését kezdte meg, mely a Földközi-tengeri igényeknek megfelelően a Dunán is közlekedhet Budapestig.

Az első Duna-tengerjáró hajó, a Budapest 1934-ban készült el, s ezt követte a II. világháborúig 5 további hajó. Hordképességük az alábbi volt.

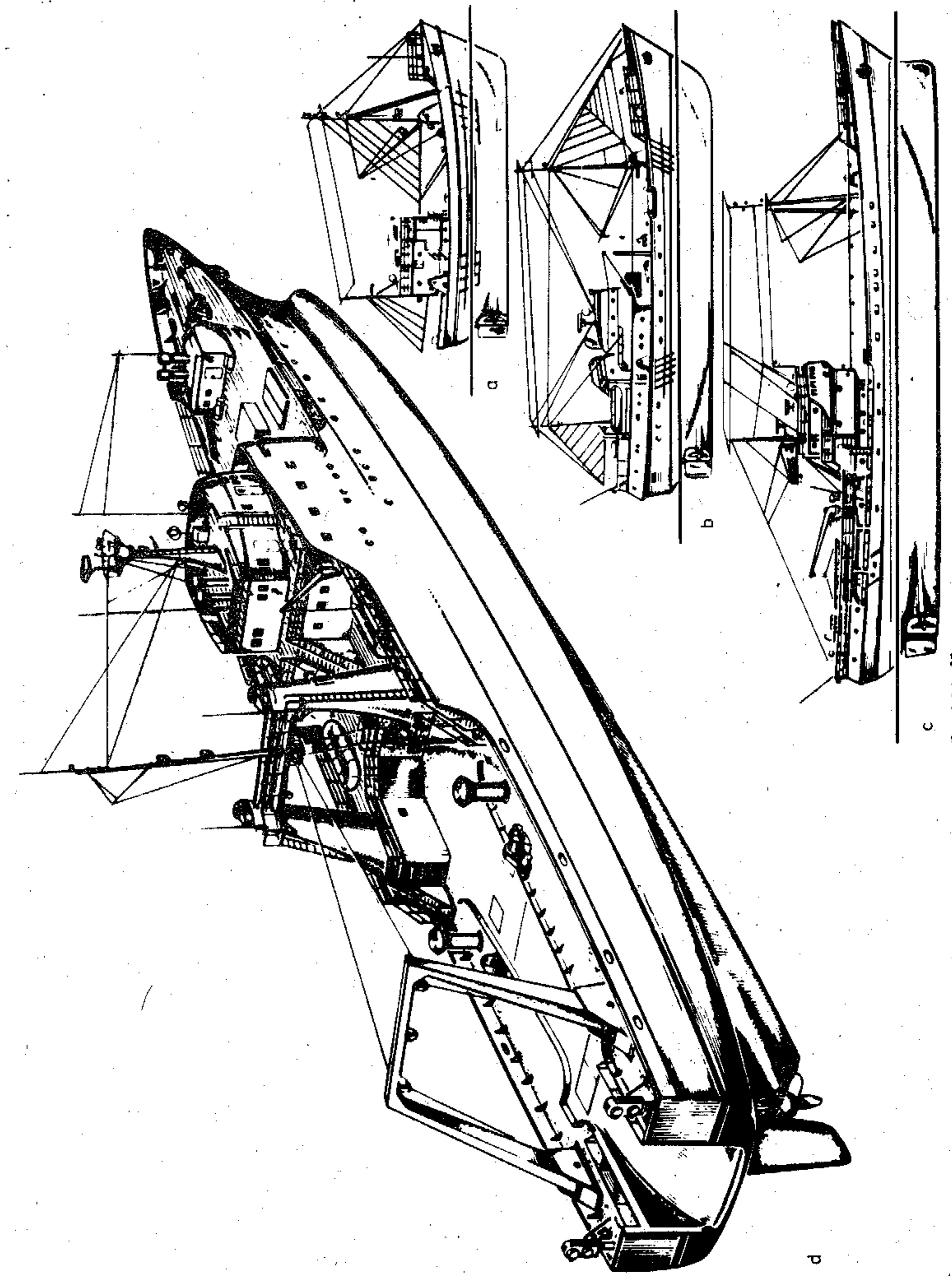
1. Budapest	480 Mg
2. Szeged	585 Mg
3. Tisza	1190 Mg
4. Kassa	1260 Mg
5. Kolozsvár	1200 Mg
6. Ungvár	1200 Mg

Azóta két újabb típus született, 1958-ban a "Hazám" típus (1.38 ábra), 1974-ben az Ujpest típus (1.39 ábra).

Ezek a hajók az év jelentős részében átrakás nélkül, kis vízállásoknál pedig rakományuk egy részét a mellékük csatolt uszályba átrakva hajóztak a csepeli szabadkikötőig. Az uszályba a Duna alsó szakaszán sokszor menet közben rakták át az árut.

1.8 Halászhajók

A világ tengeri hajóparkjának darabszám szerint 30 %-át teszik ki a halászhajók. Nagyságra nézve természetesen más az arány. A halászhajók összes (bruttó) térfogata mindössze 3 %-a az összes tengeri hajók térfogatának az 1975. évi adatok szerint. Számuk az elmúlt évtizedekben nagy mértékben emelkedik. A hal közvetlenül fogyasztva és állati takar-



1.40 ábra
Halászhajók

mányként (disznó-, baromfi-tápszerek) felhasználva egyre nagyobb százalékat teszi ki az emberiség táplálékának.

A halászándó hajfajta, a halászat helye (partközelen, nyílt tengeren) és a halászás módszere határozza meg a halászhajó kialakítását és felszerelését. Így sokféle típus alakult ki. A különböző típusok az alábbi főcsoportokba sorolhatók:

A legkisebbek a kutterek (1.40 ábra a. képe). Hosszuk legfeljebb 20-25 m, vízkiszorításuk legfeljebb 60-100 m³. Különböző típusai vannak attól függően, hogy egyedül, vagy csoportosan halásznak. Általában zsákszerű ún. húzóhálót vontatnak. Vitorlával is fel vannak szerelve. Partközelen használják.

Az 1.40 ábra b. képen látható loggerek hossza 20-40 m. Időszakosan egyedül is használják (pl. heringhalászatra). Általában a loggereknek is van vitorlázat is a gépi hajtás mellett. Kerítőhálók vontatására használják a nyílt tengeri halászatokon.

Vitorlázat nélküli típus a 40-60 m hosszú trawler. Általában nyílt tengeren használják. Kétféle típusa van: Az 1.40 ábra c. jelű képen látható típus, mely a hálóját a hajó oldala mellől daruval emeli a fedélzetre. A d. jelű képen látható trawler a hálóját a hajó farán kialakított lejtőn csörlőkkel húzza a fedélzetre.

A kutter, logger, trawler elnevezések helyett, egyes országokban az alábbi osztályozás is szokásos:

Inshore trawler (kb 50 GRT-ig, kb 200 kW főgépteljesítményig);
near water trawler (200 GRT-ig, 400 kW-ig);
middle water trawler (450 GRT-ig, 900 kW-ig)
long distance trawler (800 GRT-ig; 1400 kW-ig);

A partközelen halászó hajók a fogás után maguk szállítják kikötőbe a zsákmányt. A nyílt tengeren halászó hajók zsákmányát halszállító hajó veszi át. Ha a halászat helye távolabb van a halászó ország kikötőitől, a hal szállítását hűtő-halszállító hajók végzik. Ha a távolság igen nagy (pl. a Szovjetunió trópusi vizeken halászó hajói esetében), halfeldolgozó hajók veszik át a halászhajók zsákmányát. Ezek a zsákmányt útközben feldolgozzák (többségét hallisztté, kis százalékát konvervekké).

1.9 Jégtörők

1.9.1 Belvizi jégtörők

A folyókon veszélyes jégtorlaszok alakulhatnak ki, amelyek már sok esetben vezettek pusztító árvízhez. A torlaszok keletkezése elkerülhető, ha a folyó torkolatától felfelé haladva folyamatosan feltörik a jéget. E célra a dunai államok megfelelő mennyiségű jégtörő hajót építenek s tartanak üzemben.

A hajók nyáron vontató hajókként működnek. Télen a jegesedés előtt levonulnak a Dunán s a szomszéd országok hajóival együttműködve biztosítják alulról felfelé haladva a jégtáblák leuszását.

A belvizi jégtörő hajóknak kétféle típusa használatos:

1. Hagyományos jégtörő. Ennek fenékvonala az 1.42 ábrán látható tengeri jégtörőéhez hasonlóan az orr felé lejtősen emelkedik, az orrnál a víz fölé nyúlik. Így a hajó orra felcsúszik a jégtáblára, mely a hajó súlya alatt összetörik.
2. Döngölő jégtörő. A hajón excentrikus tömegeloszlású, nagytömegű tárcsát forgatnak. Ennek hatására a hajó többirányú lengőmozgást végez. Így a jégre felcsúszott hajó statikusan ható súlyerején kívül egy dinamikus erőhatás is segíti a jég törését.

Az 1.41 ábrán látható hajón elöl és hátul van elhelyezve egy-egy 2,76 m átmérőjű tárcsa. Ezeket egymáshoz képest 180°-os eltéréssel 6 Mg tömeg van excentrikusan felszerelve. A tárcsákat a hajó gépterében elhelyezett s a hajó segédüzemét is ellátó Diesel-motor hajtja. Dörzskapcsolós hajóművel csatlakozik a motorhoz a tárcsák közlőmű tengelye, mely 3 soros, 1 3/4"-es görgőslánccal hajtja a tárcsákat.

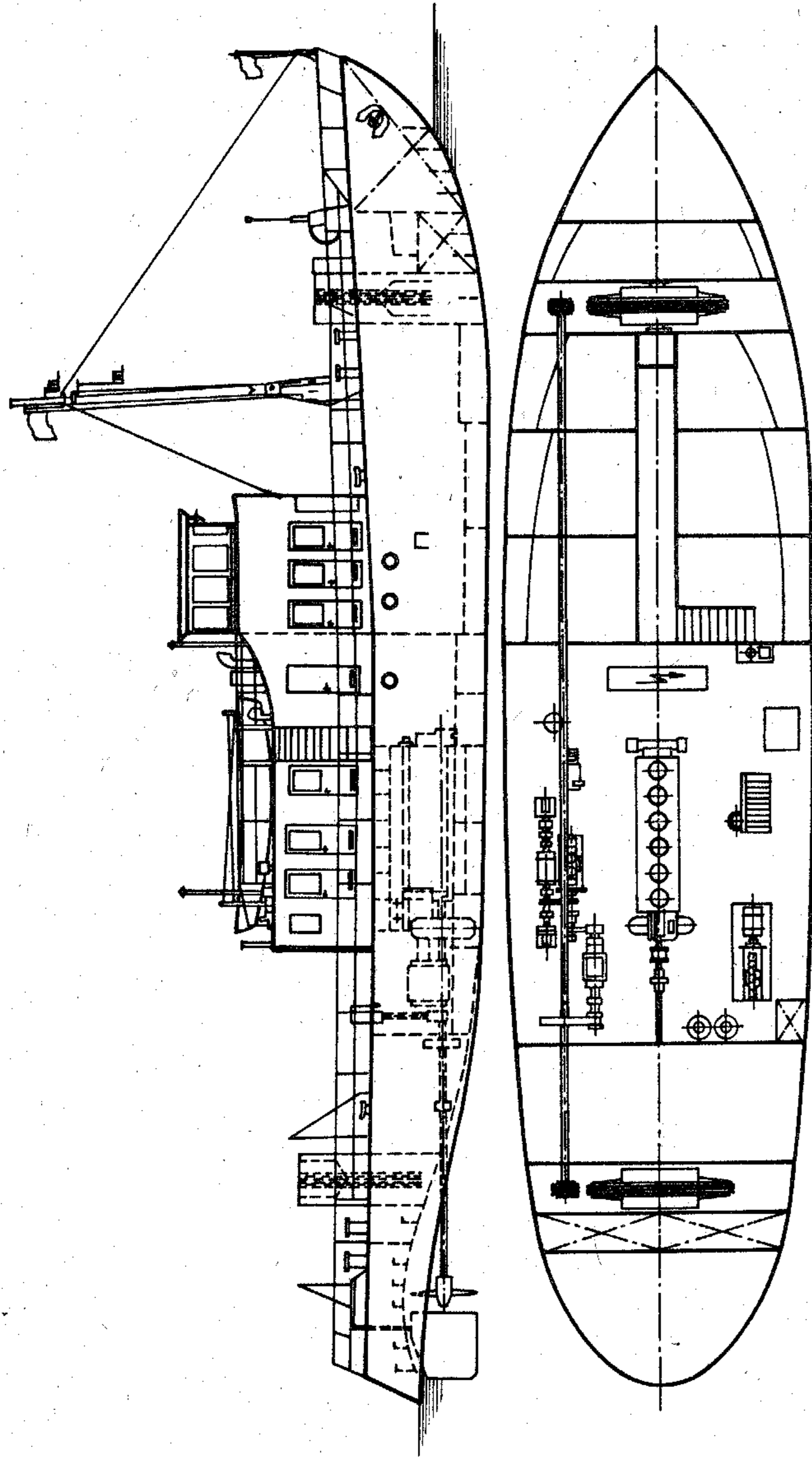
A tárcsák forgatásának hatására az orr és farrész a hajó hossz-tengelye körül közel körpályán mozognak. A mozgás függőleges összetevőjét a víz és jég jobban csillapítja, mint az oldalirányút. Így az orr és far ellipszis alakú pályán mozog.

A mozgás következtében a döngölő jégtörő vastagabb jeget tud törni, mint az azonos tömegű hagyományos jégtörő.

A nagy tömegű tárcsákat a hajó nyári (vontató) üzemében kiszereplik.

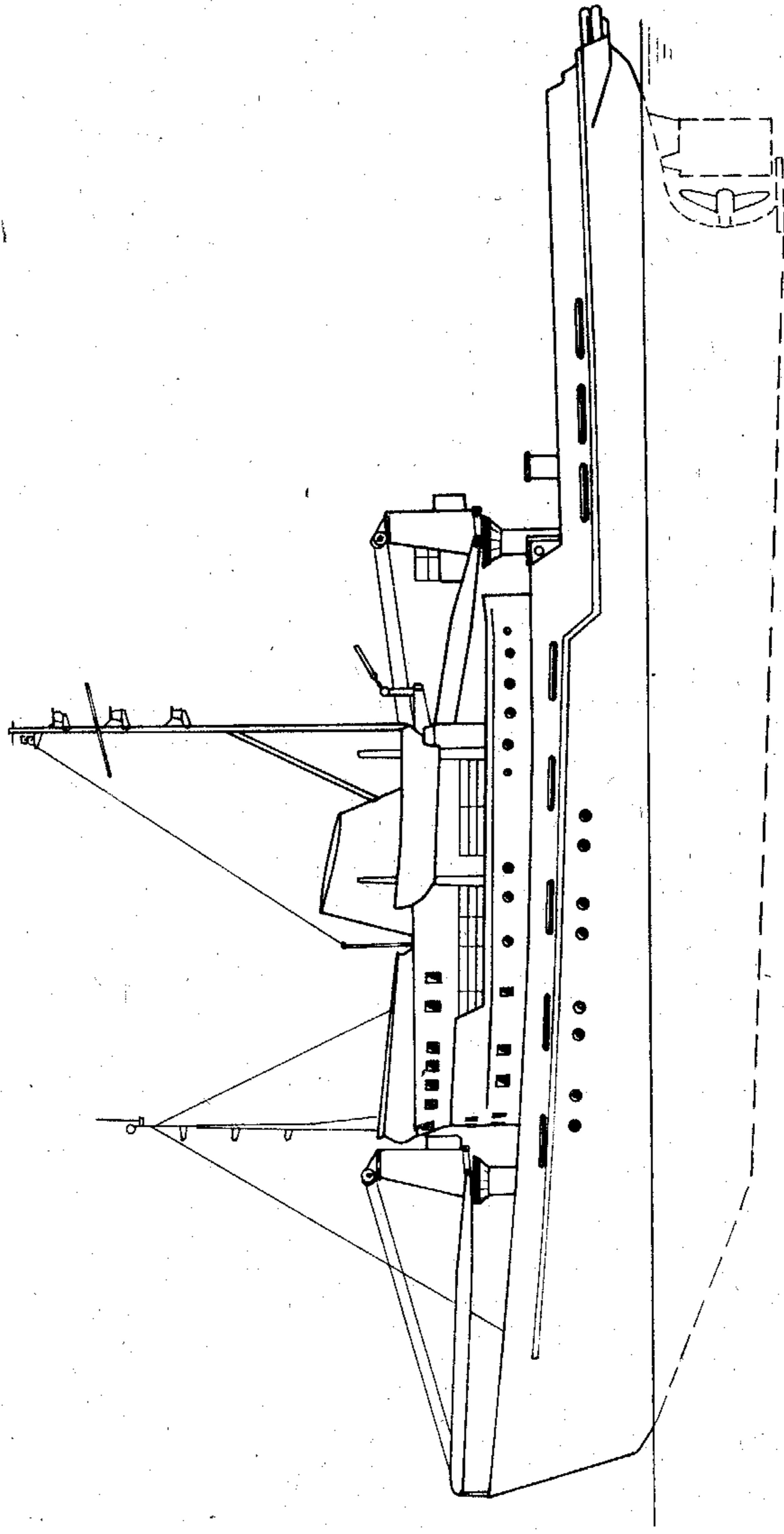
1.9.2 Tengeri jégtörő hajók

A tengeri jégtörő hajók kizárólag a hajózás számára végzik a jég törését. Kikötőkben, a hajók befagyásának elkerülésére, s a sarkvidéke-



1.41 ábra

Folyami, döngölő jégtörő hajó. $L_T = 32,4$ m, $L_{pp} = 30,4$ m, $B = 7,4$ m, $D = 2,6$ m, $T = 1,65$ m. Vízkiszorítása 184 m^3 . Főgépteljesítménye 440 kW . Hajócsavarjának az átmérője $1,68$ m. Személyzete 9 fő. A két darab $2,76$ m átmérőjű tárcsán egy-egy 6 Mg tömegű acéltömb van excentrikusan felszerelve. A tárcsák fordulatszáma $0,3 - 1 \text{ s}^{-1}$. A MHD Balatonfűredi gyáregységében épült.



1.42 ábra

Tengeri jégtörő hajó. $L_T = 50,9$ m, $L_{pp} = 42,8$ m, $B = 11,9$ m, $D = 6,85$ m, $T = 3,95$ m. 2600 kW főgépteljesítménnyel 14 csomó sebességgel haladhat. Személyzete 26 fő.

ken a hajózót biztosítására használják. Az 1.42 ábrán látható jégtörő hajónál lényegesen nagyobbak is vannak (pl. a Lenin jégtörő), melyek több méter vastag jégtáblákat is fel tudnak törni.

1.10 A hajózást kiszolgáló hajók

A pilot- vagy kalauz hajó (motorcsónak) a révkalauznak a hajóra szállítására vagy a hajó előtt haladva, annak vezetésére szolgál. Kisméretű, s igen jó tengerálló képességű hajó.

A belvizi kitűző hajókat a meder felmérése, mederrendezési munkák vezetése, hajózási jelek, bóják stb. elhelyezése során használják.

A hajózás üzemében jelentős feladatot látnak el a tengeri hajóparknak darabszám szerint 7,2 %-át kitevő vontatók.

A hajók a kikötőben mérsékelt vagy igen kis sebességgel kénytelenek haladni. Így kormányzásuk nem biztonságos. A veszélyt növeli, hogy a legtöbb kikötő folyótorkolatban van, ahol a víz-áramlás is eltérítheti a hajót az útjából. Ezért a kikötőkben a nagyobb hajókat vontatóhajók mozgatják (1.43 és 1.44 ábra).

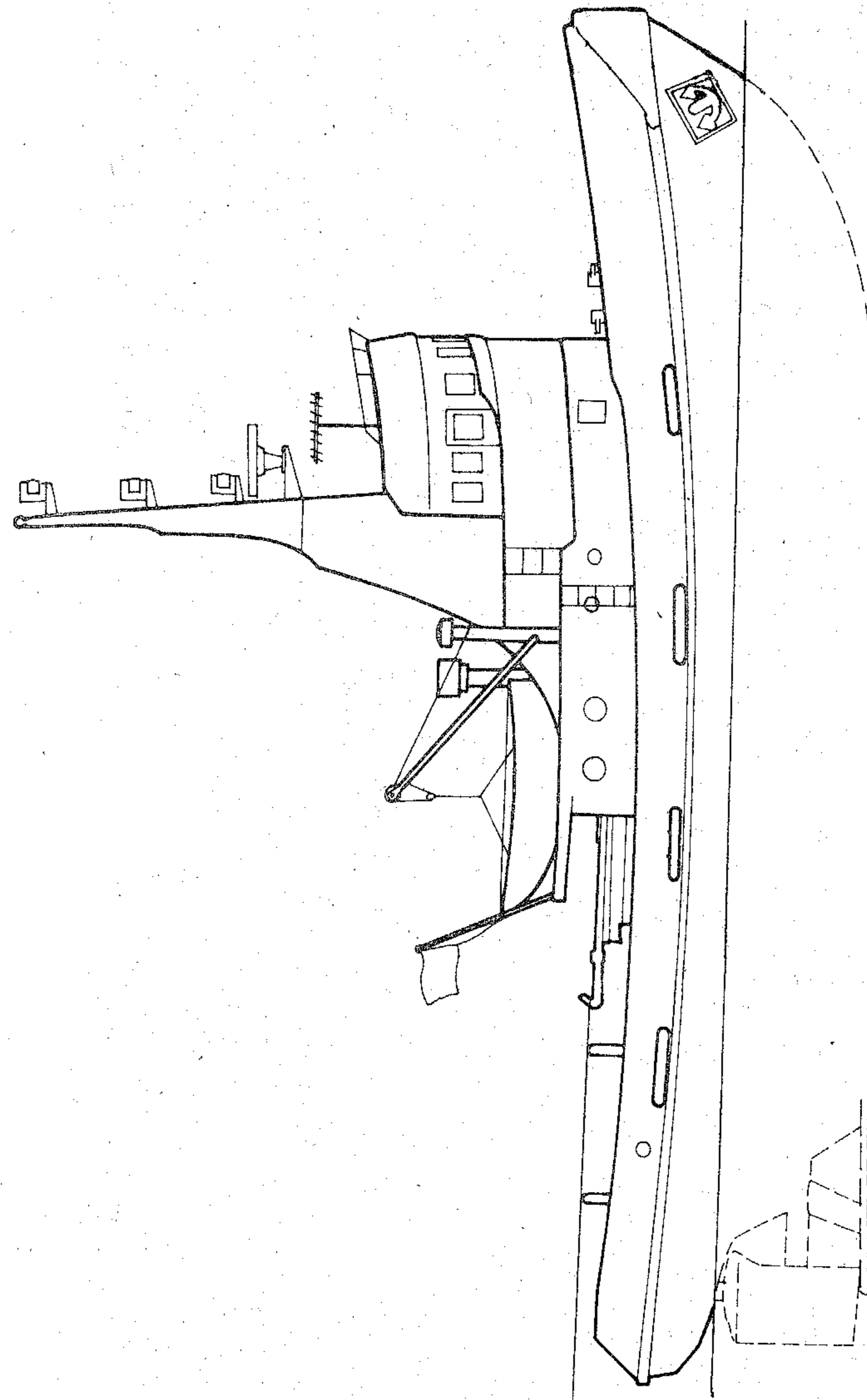
A 300-3000 kW gépteljesítményű vontatók főméretei kicsinyek, mivel csak a gépi berendezést, az üzemanyagot, s néhány főnyi személyzetet kell a hajóban elhelyezni. A vontató kötélén húzza, vagy rugalmas burkolatú orrával tolja a kikötőben a hajókat.

A kikötői vontatókat felszerelik nagyteljesítményű szivattyúkkal is. Ezekkel működtetett vízgyűtővel a kikötői berendezések vagy a hajók tüzeit olthatja vagy sérült hajókból a víz eltávolításában segíthet.

Lényegesen kisebb az ugynevezett nyílt-tengeri vontatók száma. Ezeket sérült hajók vagy propeller nélküli úszóművek vontatására használják. Kialakítása és felszerelése hosszabb utak biztonságos megtételére teszi alkalmassá. Kikötői vontatóként is használhatók (1.45 ábra).

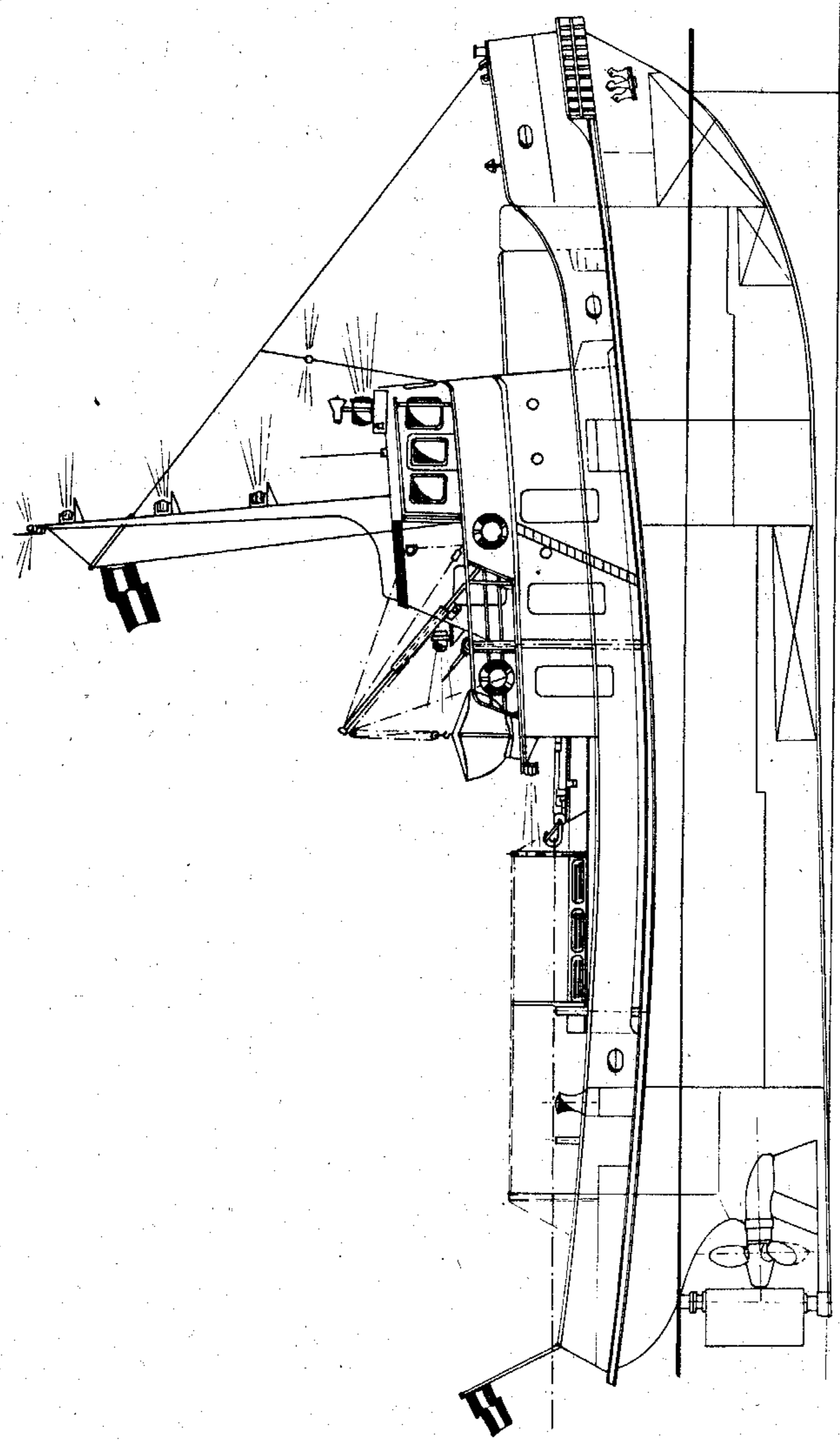
1.11 Úszó munkagépek

A folyók lassú áramlású helyein, továbbá a torkolata környezetében a víz által görgetett hordalék megáll, s összetorlódik, a lebegő hordalék pedig lesüllyed a fenékre. Így ezeken a szakaszokon folyamatosan kotorni kell a folyómedret. Ellenkező esetben árvízveszély keletkezne. Ezek a kotrások egyben a megfelelő mélységű hajózó utat is biztosítják. A kitermelt anyag (kavics, sóder) igen keresett, jó áron értékesíthető.



1.43 ábra

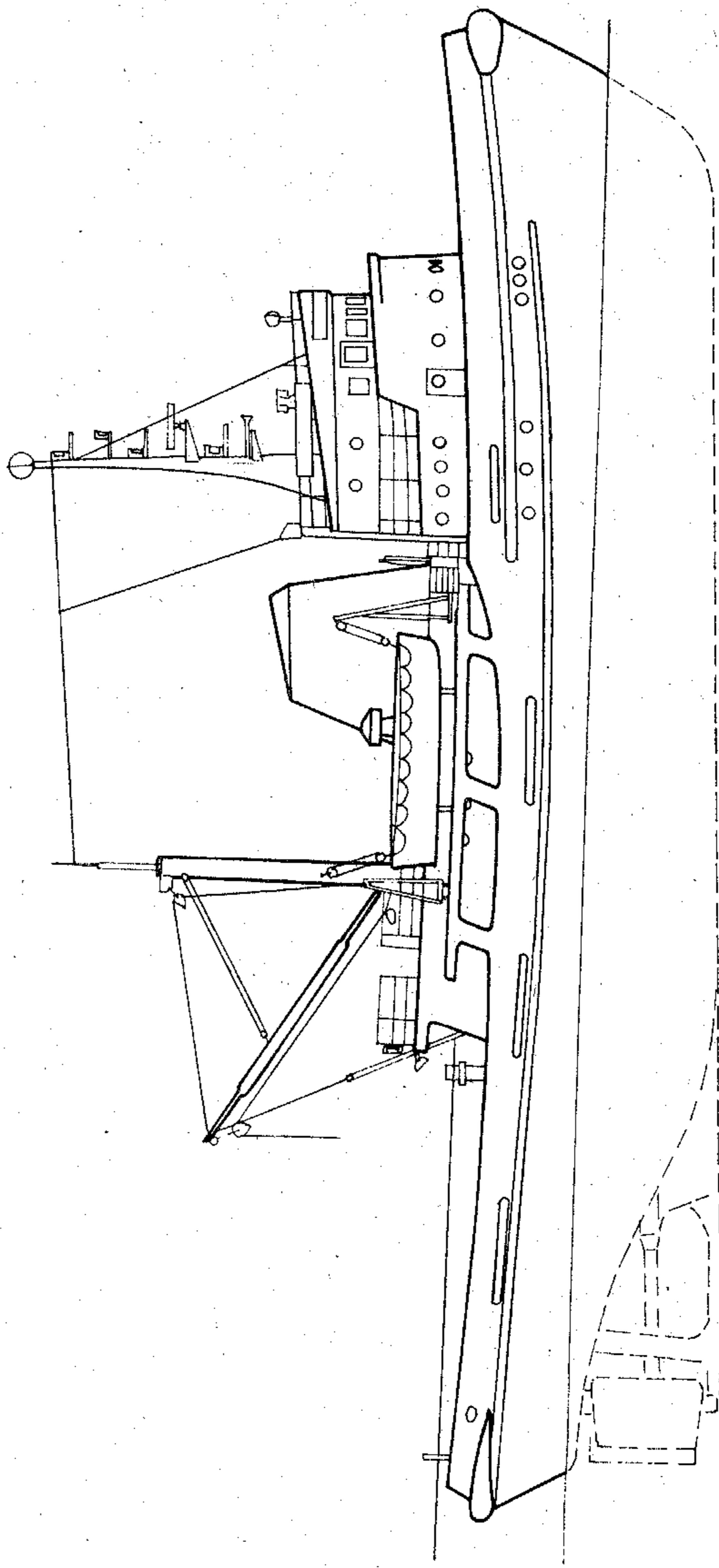
Kikötői vontatóhajó. $L_T = 23,02$ m, $L_{pp} = 20,5$ m, $B = 6,55$ m, $D = 2,9$ m, $T_M = 2,35$ m, $T_A = 2,8$ m, 550 kW főgépteljesítménnyel 11 csomó sebességgel halad.



1.44 ábra

Kikötői vontatóhajó. $L_T = 28,1$ m; $L_{pp} = 25,0$ m; $B = 7$ m; $D = 3,5$; $T_M = 2,60$ m; $T_A = 3,0$ m. 730 kW teljesítményű főgéppel 100 kN vonóerőt fejt ki. Szabadmeneti sebessége 11 csomó.

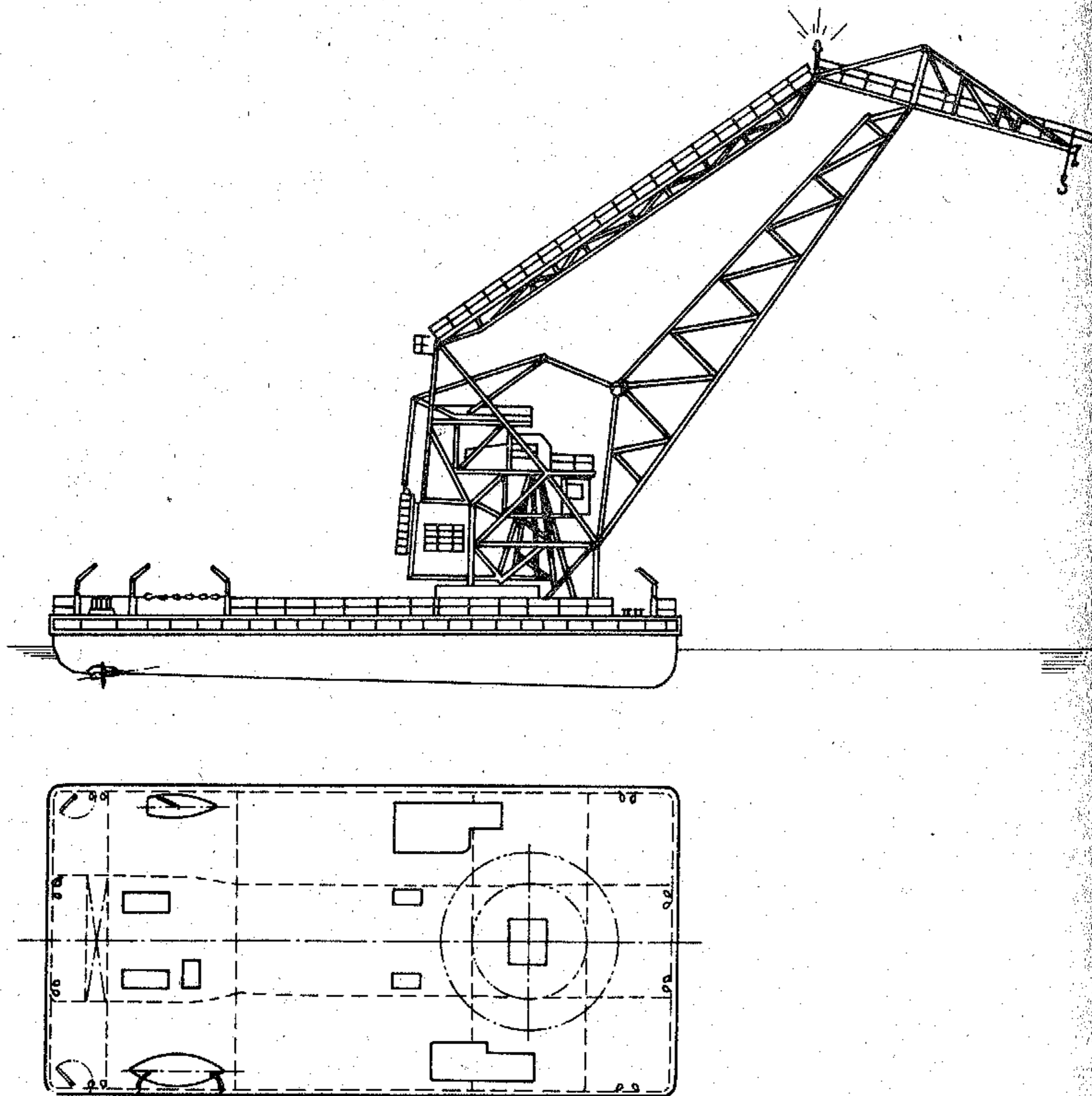
A MHD Óbudai gyáregységének terméke



1.45 ábra

Nyílt tengeri vontatóhajó. $L_T = 39,2$ m, $L_{pp} = 35$ m, $B = 8,9$ m, $D = 4,7$ m, $T_M = 3,4$ m. 1660 kW főgépteljesítménnyel $12,5$ csomó sebességgel haladhat. Személyzete 24 fő. Legnagyobb vonóereje kb 300 kN.

A kotrás jövedelmezősége miatt is igen sok kotróhajót láthatunk a folyókon és a folyótorkolatokban épült tengeri kikötőkben.



1.46 ábra

Úszódaru. $L = 40$ m; $B = 19$ m; $D_A = 2,5$ m; $D_F = 3,22$ m.

$T = 1,8$ m. Emelőképesége 100 Mg, a hajótest szélétől 10 m távolsáig; 25 Mg, a hajótest szélétől 25 m távolsáig.

A kotróhajók általában kéttörzsű hajók. A kotróberendezésük a két törzs között van felszerelve. Leggyakoribb típusai a vedersoros kotró és a szivófejes kotró. Utóbbi erős vízszugárral vagy forgó marófejjel fellazítja a talajt, s a fellazított anyagot vízzel keverten csővezetéken keresztül juttatja a partra vagy uszályokba.

A kotróhajó a kitermelt anyagot uszályokba rakják. Az uszályokból ismét úszó munkagép, az úszó elevátor rakja ki a partra.

Ez egy vagy kéttörzsű hajó. Egy törzsűnél oldalt kinyúló, kéttörzsűnél a törzsek közötti szerkezeten egy vedersor van, amely az alá úsztatott uszályokból a kavicsot felszállítja egy surrantóhoz, melyen közvetlenül vagy szállító szalagok továbbításával jut partra a kavics.

A hídépítésnél, vízépítési feladatoknál, roncsemeléskor, hajójavításnál, nagyobb gépeknek a hajóból kiemelésénél ma már nélkülözhetetlen az úszódaru. Hajózási szempontból kétféle típusa van: Önjáró (propellerrel felszerelt) és vontatott úszódaru. Daruszerkezet szempontjából sokféle típus szokásos (merev gémes, billenő gémes, forgódaru stb.). Általában legfeljebb 100-150 Mg teherbírásúak (1.46 ábra).

2. A HAJÓTEST JELLEMZŐI

2.1 A hajó méretei

2.1.1 Elnevezések

A hajó főméreteinek értelmezéséhez néhány fogalom pontos meghatározása szükséges:

Vízvonal (WL). A hajótestnek és a víz felszínének metszésvonala.

Tervezési vízvonal (konstrukciós vízvonal) (CWL). A hajó tervezésénél figyelembe vett legnagyobb mértékadó vizkiszorításhoz tartozó úszásvonal. Belvizi hajóknál a legnagyobb megengedett merüléshez, tengeri hajóknál a legnagyobb megengedett nyári merüléshez tartozó vízvonal.

Hátsó függély (AP). A fartőke hátsó élének vonala. Ha a fartőke hátsó éle nem függőleges, akkor a hátsó él vonalának és a tervezési vízvonalnak a metszéspontján át húzható függőleges. Ha a hajónak nincs fartőkéje, akkor a leghátsó kormánylapát tengelyének vonala határozza meg a hátsó függélyt.

Mellső függély (VP). A hajó orrtőkéjének elülső éle és a tervezési vízvonal metszéspontján áthaladó függőleges vonal.

Főborda (A_M). A függélyek közötti távolság felezőjében a hajó keresztmetszete. A \propto jellel a főbordát vagy a hajó hossz tengelyén a főborda helyét jelöljük.

Középsík (hajóközép), a hajó hosszirányú függőleges szimmetriasíkja.

Alapvonal. A hajó középsíkjában lévő vízszintes (a tervezési vízvonallal párhuzamos) egyenes, amely a főborda síkjában a hajó gerincének vagy vízszintes gerinclemezének felső élén halad át.

Tetőpont, fix pont a hajó legmagasabb, le nem szerelhető részének legfelső pontja.

Válaszfalfedélzet (szabadoldal-fedélzet) (freeboard-deck), az a folytonos fedélzet, mely alatt a hajótest vízmentes válaszfalakkal, vízmentes terekre van osztva. A válaszfalfedélzet nyílását viharállóan le lehet zárni.

2.1.2 Főméretek

Függélyek közötti hossz, (L_{pp}). A hátsó és mellső függély közötti távolság. A leggyakrabban használt hosszmeret.

Vízvonal hossz, (L_{WL}) a hajó víz felszínével érintkező hátsó és mellső pontja közötti távolság. Általában a tervezési vízvonal hosszúságát (L_{CWL}) adják meg a hajó főméretei között.

Teljes hossz (L_{OA}). A hajótest leghátsó és legelülső pontja közötti távolság. A hajótesthez tartozónak tekintjük a hajótesthez rögzített berendezési vagy felszerelési tárgyakat is (pl. orrárbóc, horgonyberendezés előre nyuló "kigyófeje").

Középrész hossza (L_p). A hajó azon részének hosszúsága, mely részen a hajótest vízbe merült része azonos keresztmetszetű azaz a hajó hengeres középrészének a hossza.

Orr-rész hossza (L_F). A hajó középrésze előtti (a víz alatt változó keresztmetszetű részének) hossza a mellső függélyig.

Far-rész hossza (L_A). A hajó középrésze mögötti (a víz alatt változó keresztmetszetű részének) hossza, a hátsó függélyig.

Szélesség (B) a hajó víz alatti részének legnagyobb szélessége.

Vízvonal szélesség (B_{WL}) a vízvonal legnagyobb szélessége.

Tervezési vízvonal szélessége (B_{CWL}).

Teljes szélesség (legnagyobb szélesség) a hajótest kiugró részeit is figyelembe vevő szélesség (pl. a dörzs-peremek közötti szélesség).

Oldalmagasság (D). A hajó főbordájánál, a fedélzet szélén, a fedélzeti lemez alsó élének magassága az alapvonaltól.

Tetőpont (fix-pont) magasság. A tetőpont magasságát egyes esetekben az alapvonaltól, más esetekben a tervezési vízvonalától adják meg.

Merülés (T). A főméretek között megadott merülés, a tervezési vízvonal és az alapvonal közötti magasságkülönbség. Általában a hajó úszási vízvonala és a hajó legalsó pontja közötti magasságkülönbség, a főborda síkjában.

Far-merülés (T_A). A gerinc (vízszintes gerinclemez) alsó élének vonala és a vízvonal közötti magasságkülönbség a hátsó függélynél.

Orr-merülés (T_F). A gerinc (vízszintes gerinclemez) alsó élének meghosszabbítása és a vízvonal közötti magasságkülönbség a mellső függélynél.

Merülés közepén (T). A gerinc alsó éle és a vízvonal közötti magasságkülönbség a főbordánál.

Közepes merülés (T_K). Ferdén (trimmel) úszó hajó vízkişorításával azonos vízkişorítást adó vízszintes úszásnál a hajó merülése.

Trimm-nek (össz-trimmnek) nevezzük az orr és farmerülés különbségét:

$$t = T_F - T_A$$

Orr-trimmnek nevezzük az orr-merülés és a közepes merülés különbségét:

$$t_F = T_F - T_K$$

Far-trimmnek nevezzük a farmerülés és a közepes merülés különbségét:

$$t_A = T_A - T_K$$

Az orr- és a far-trimm abszolút értékének összege az össz-trimmet adja:

$$t = |t_F| + |t_A|$$

Szabadoldal (F). A főborda síkjában, a válaszfalfedélzet szélén, a fedélzeti lemez felső élének magassága a tervezési vízvonal felett.

Fedélzet felhajlás hátul és elöl (h_A , h_F). A fedélzet leghátsó, illetve legelső pontjának magassága a fedélzet szélének legalacsonyabban lévő pontjától.

Fedélzet-domborulat (b). A fedélzet szélének és közepének magasságkülönbsége a fedélzet legszélesebb helyén.

Főborda terület (A_M). A főbordánál a hajó víz alatti keresztmetszetének területe.

Vízvonal terület (A_W). A hajótestből a víz felszine által kimetszett síkidom területe.

Vízkişorítás (V). A hajó víz alatti részének térfogata.

Vízkişorítási tömeg (D) a hajó összes tömege (a kişorított víz tömege).

Hordképesség. Belvízi hajóknál a hajóba rakható rakomány tömege. Tengeri hajóknál az ún. deadweight hordképességet adják meg. Ez a rakomány, az üzemanyagok és készletek, továbbá az üzemhez szükséges egyéb anyagok együttes tömege.

Bruttó űrtartalom vagy vegyes űrtartalom (bruttó tonnage vagy gross tonnage). A hajó valamennyi zárt terének összes térfogata, a kormányház, konyha, WC-k, mosdók, lépcsőjárók, világító és szellőzőaknák térfogatának kivételével. Ha a raktárnyílás keretek közötti tér a teljes bruttó űrtartalom 0,5 százalékánál nagyobb, akkor azt a többlet űrtartalmat is leszámítják a bruttó űrtartalom megállapításánál.

A nettó űrtartalom (netto tonnage) a rakomány vagy az utasok elhelyezésére szolgáló terek űrtartalma.

A bruttó és nettó űrtartalmak, továbbá a deadweight hordképesség pontos megállapításának módját nemzetközi előírások részletesen szabályozzák.

Bála térfogat (bale capacity) a raktárak burkolatának belső szélétől mért, a fedélzeti gerendák alsó éle alatti raktártérfogatok összege, azaz a bálák, zsákok, darabárúk elhelyezésére rendelkezésre álló tér.

Ömlesztett rakomány befogadóképesség (grain capacity) a raktárak teljes térfogata, amely ömlesztett rakomány elhelyezésére rendelkezésre áll.

2.1.3 Mértékegységek

A hajó hosszméreteinek megadásánál az SI mértékrendszer nemzetközi bevezetése előtt általában világszerte a lábat és a hüvelyket használták. 1 láb (foot-ft) = 0,3048 m; 1 hüvelyk (inch) = 1/12 láb. Jelölésére gyakran vonásokat is használtak: Pl. 5 láb 7 hüvelyk = 5'7". Az angol yardot (3 láb) és az ölet (1 fathom = 2 yard) a hajó főméreteinél nem használták, de egyéb esetekben igen (pl. vízmélységet ölben adták meg).

A tömeg mértékegysége az angol tonna volt. 1 angol tonna vagy más néven long-tonna = 1016 kg. (A "long" jelzõt használták, mert az amerikai tonnát nevezték short tonnának, ami 907 kg-nak felel meg.)

A hajó bruttó és nettó térfogatának egysége a regiszter tonna volt. 1 RT = 100 köbláb = 2,831 m³. Innen származik a bruttó térfogat, GRT vagy BRT "Bruttóregisztertonna" és a nettó térfogat NRT "nettóregisztertonna" elnevezése.

2.1.4 Méretviszonyok, teltségek

A hajók alakjának összehasonlítására, különféle jellemző adatok közelítő meghatározására gyakran használjuk a hajó főméreteiből alkotott méretarányokat:

$$\frac{L}{B} = \frac{L_{pp}}{B}; \quad \frac{L}{D} = \frac{L_{pp}}{D}; \quad \frac{B}{T}; \quad \frac{D}{T}; \quad \text{stb.}$$

Hasonlóan mértékegység nélküli arányszámok a különféle teltségek (2.1 ábra):

Hasábos teltség, a vízkiszorítás térfogatának és ahajótest víz alatti részének főméreteiből alkotott hasáb térfogatának az aránya:

$$C_B = \frac{V}{L_{pp} \cdot B \cdot T}$$

Hengeres teltség. A vízkiszorítás térfogatának és a főbordával, mint vezérgörbével képezett L_{pp} hosszúságú henger térfogatának aránya:

$$C_P = \frac{V}{A_M \cdot L_{pp}}$$

Függőleges teltség. A vízkiszorítás térfogatának és a vízvonallal, mint vezérgörbével képezett T magasságú henger térfogatának aránya:

$$C_V = \frac{V}{A_w \cdot T}$$

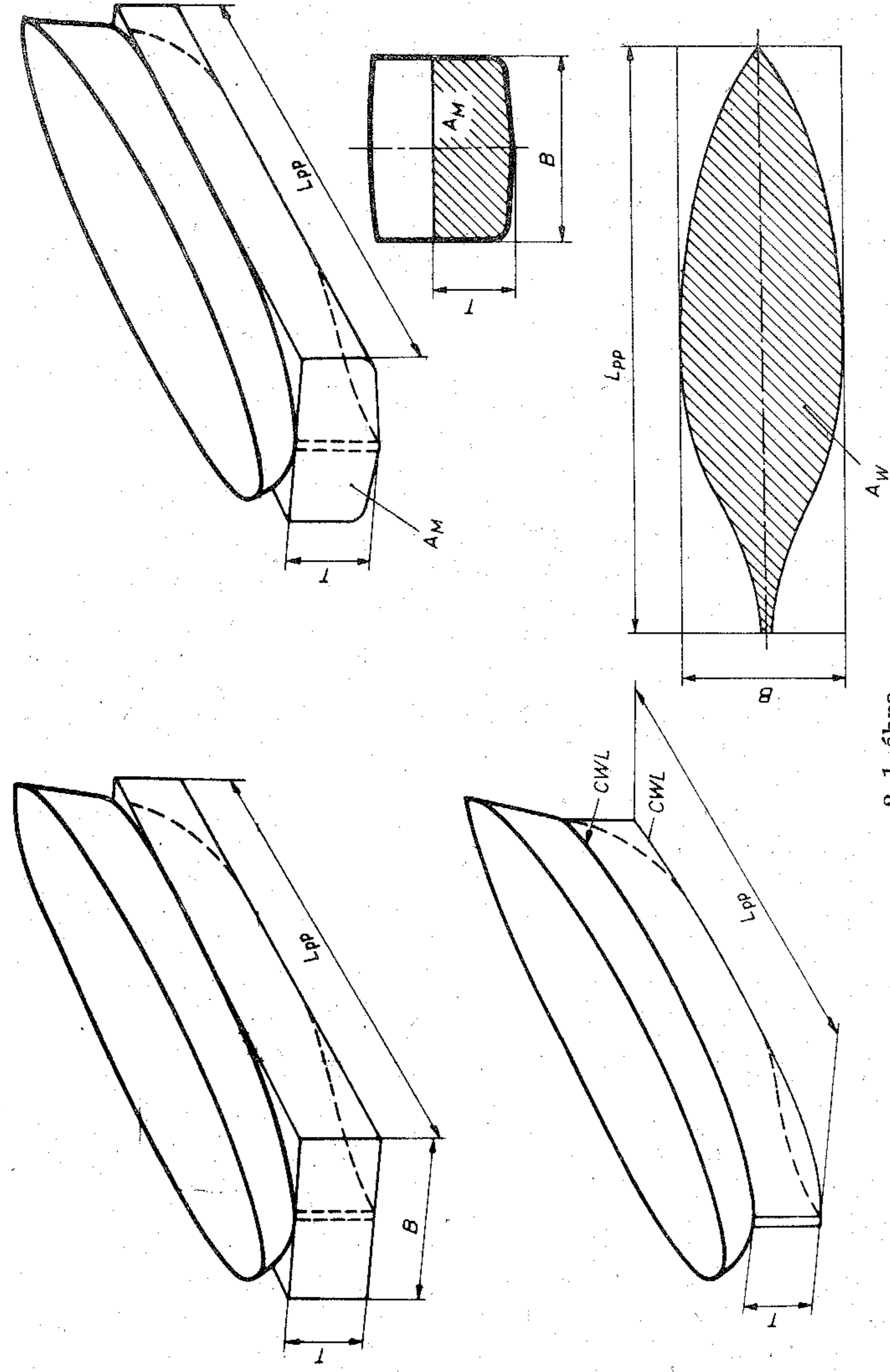
Vízvonal teltség. A vízvonal területének a köréje írható téglalaphoz viszonyított nagysága:

$$C_w = \frac{A_w}{L_{pp} \cdot B}$$

Főborda teltség. A főborda területének a köréje írható téglalaphoz viszonyított nagysága:

$$C_M = \frac{A_M}{B \cdot T}$$

Különféle típusú hajók méretarányait és teltségeit láthatjuk a 2.1 táblázatban.



2.1 ábra

Teltségek értelmezése

2.1 táblázat

Különféle hajótípusok méretarányai

Hajótípus	$\frac{L_{pp}}{B}$	$\frac{B}{T}$	$\frac{D}{T}$	$\frac{L_{pp}}{D}$	C_B	C_M	C_v	C_P
Tengeri hajók:								
Személyhajók	7,5-9,0	2,7-2,25	1,45-1,70	11-14	0,62-0,75	0,94-0,98	0,76-0,86	0,65-0,80
Nagy áruszállítóhajók	7,0-8,0	2,5-2,0	1,2-1,5	11-14	0,68-0,82	0,95-0,99	0,80-0,87	0,68-0,82
Közepes áruszállítóhajók	6,5-7,5	2,8-2,2	1,15-1,4	10-14	0,65-0,80	0,94-0,98	0,80-0,87	0,68-0,82
Kis áruszállítóhajók	6,0-7,5	3,2-2,2	1,05-1,4	10-16	0,65-0,80	0,93-0,98	0,80-0,87	0,68-0,84
Halászhajók (trawlerek)	5,3-6,0	2,3-1,9	1,15-1,3	9-11	0,50-0,60	0,72-0,88	0,72-0,81	0,61-0,70
Vontatók, jégtörők	3,5-5,5	3,1-2,2	1,2-1,55	6,5-10	0,42-0,60	0,73-0,88	0,75-0,83	0,58-0,71
Belvízi hajók:								
Személyhajók	5,5-10	9-5	1,5-1,3	20,30	0,55-0,70	0,90-0,98	0,75-0,85	0,65-0,75
Áruszállító	6,5-10	7-8	1,1-1,5	20-30	0,73-0,85	0,95-0,998	0,75-0,90	0,75-0,88
Uszályok, bárkák	6-9	6-4	1,1-1,3	20-30	0,75-0,95	0,95-0,998	0,75-1,00	0,75-0,95

2.2 A hajó vonalrajza

Szabálytalan testek alakját legcélszerűbben síkmetszeteivel ábrázolhatjuk. Például a térképeken a hegy alakját a különféle magasságban fekvő vízszintes síkok és a hegy metszészíkjával, az úgynevezett szintvonalakkal jelzik. A szabályos távolságokban felvett metszősíkokon nyert szintvonalak alapján a hegyet szinte képiesen látjuk.

A hajótest általában szabálytalan test. Így a hajó alakjának ábrázolására is síkmetszeteket alkalmazunk. Ezeket a síkmetszeteket nevezük a hajó vonalrajzának.

A vonalrajzot általában csupán a hajónak a vízmentes fedélzet alatti részéről készítjük. A feljebb lévő részek, a felépítmények, fedélzeti házak többségében síkokkal határolt idomok, s így a műszaki rajzoknál szokásos vetületekkel ábrázolhatók.

A vonalrajzon a vízmentes fedélzet alatti külhőfelületet ábrázoljuk, a fedélzet nélkül. Fa és műanyag hajóknál a hajótest külső felületének, acél és egyéb fém hajóknál a külhőlemezelés belső felületének a síkmetszeteit rajzoljuk meg.

A hajó tervezése és építése során kétféle vonalrajzot készítenek. Az egyik a szerkesztési vonalrajz. Ezt olyan léptékben rajzolják meg, hogy a hajó hossza a rajzon kb. 1-2 m. Így a nagyobb hajók vonalrajza kisebb méretarányban (nagyobb léptékben) készül, mint a kis hajóké. A szerkesztési vonalrajzot a hajó geometriai jellemzőinek számításához, az úszóképességi, - stabilitási vizsgálatokhoz és a hajó további tervezési munkálataihoz használják.

A másik vonalrajz az úgynevezett rajzpadlási vonalrajz. Ezt 1:1 méretarányban készítik el. A hajó tervezése során véglegesen kialakult szerkesztési vonalrajz alapján rajzolják fel. A hajógyárakban általában valamely műhely padlását alakították ki az építési vonalrajz elkészítésének lehetővé tételére. Innen származik a rajzpadlási vonalrajz elnevezése.

A rajzpadlás sima felületű deszkapadlójára rajzolják fel a hajó egyes síkmetszeteit. A rajzpadlási vonalrajznak több célja van:

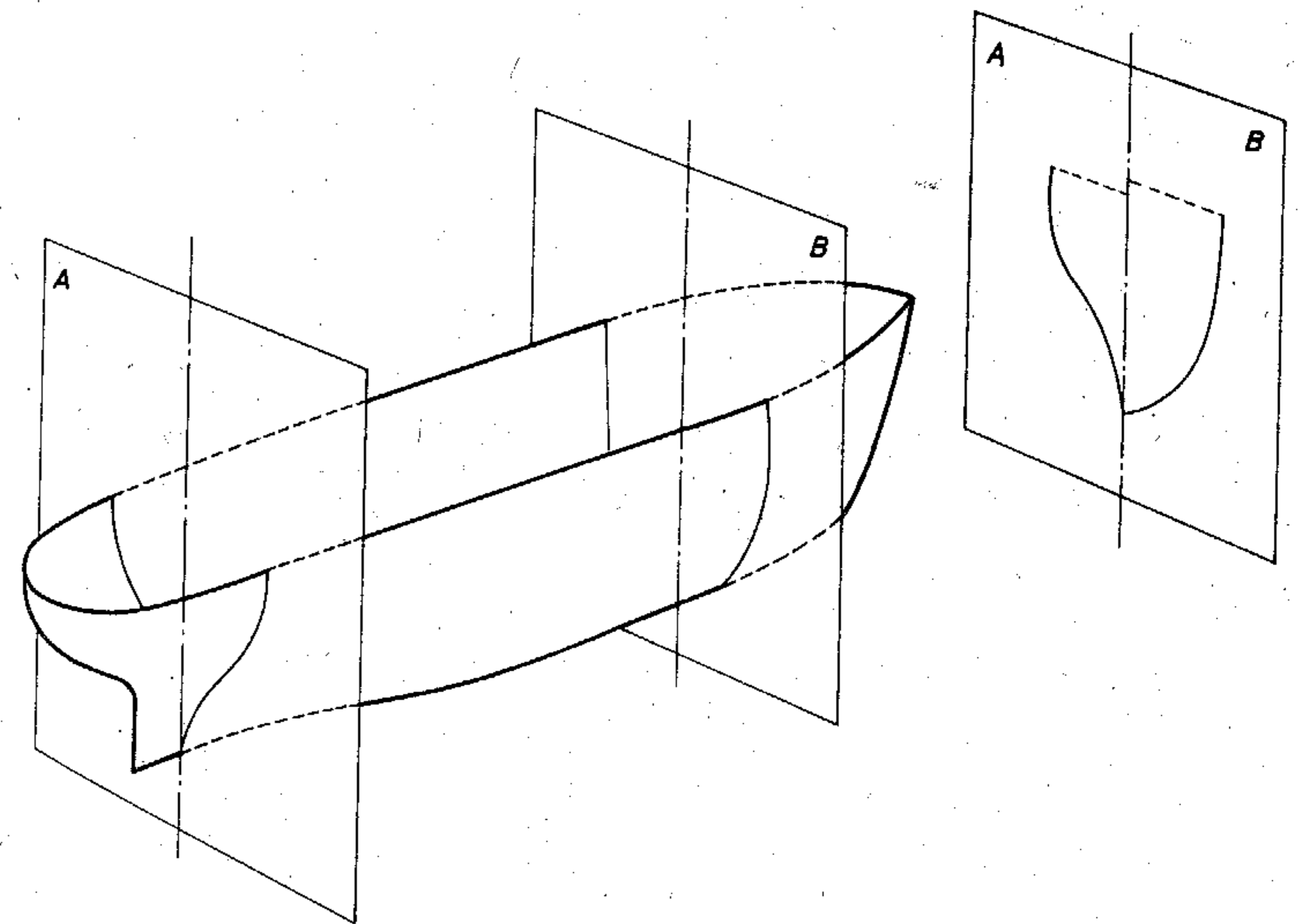
1. Lehetőséget ad a szerkesztési vonalrajz kiegyenlítésére. A nagy léptékben készülő szerkesztési vonalrajz esetleges kis hibája itt felnagyítva, teljes nagyságban jelentkezik. Például egy 100 m hosszú hajó 50 léptékű, 2 m hosszú szerkesztési vonalrajzán egy 0,25 mm-es vonalvastagságnyi hiba a valóságban, s így a rajzpadlási vonalrajzon 12,5 mm nagyságú, tehát szembeötlő.

2. A rajzpadlási vonalrajz alapján készítik el a hőllemezelés sablonjait a hajótest felületének síkba ki nem fejthető részeinél. (Csak a hengerpalást és a kúpfelület fejthető síkba.)

3. A rajzpadláson készülnek a hajó belső szerkezeti elemeinek, a bordáknak és a merevítőknak a kiszabásához, esetleges hajlításához szükséges sablonok is.

2.2.1 A bordametszetek

A hajó hossz tengelyére merőleges síkokkal képezett metszetek a bordametszetek. A szerkesztési vonalrajznál általában húsz, egymástól azonos távolságban elhelyezett metszősíkot alkalmaznak. A rajzpadlási vonalrajzon a hajó valamennyi szerkezeti bordájánál megrajzolják a hajó bordametszetét.



2.2 ábra

A hajótest bordametszetének értelmezése

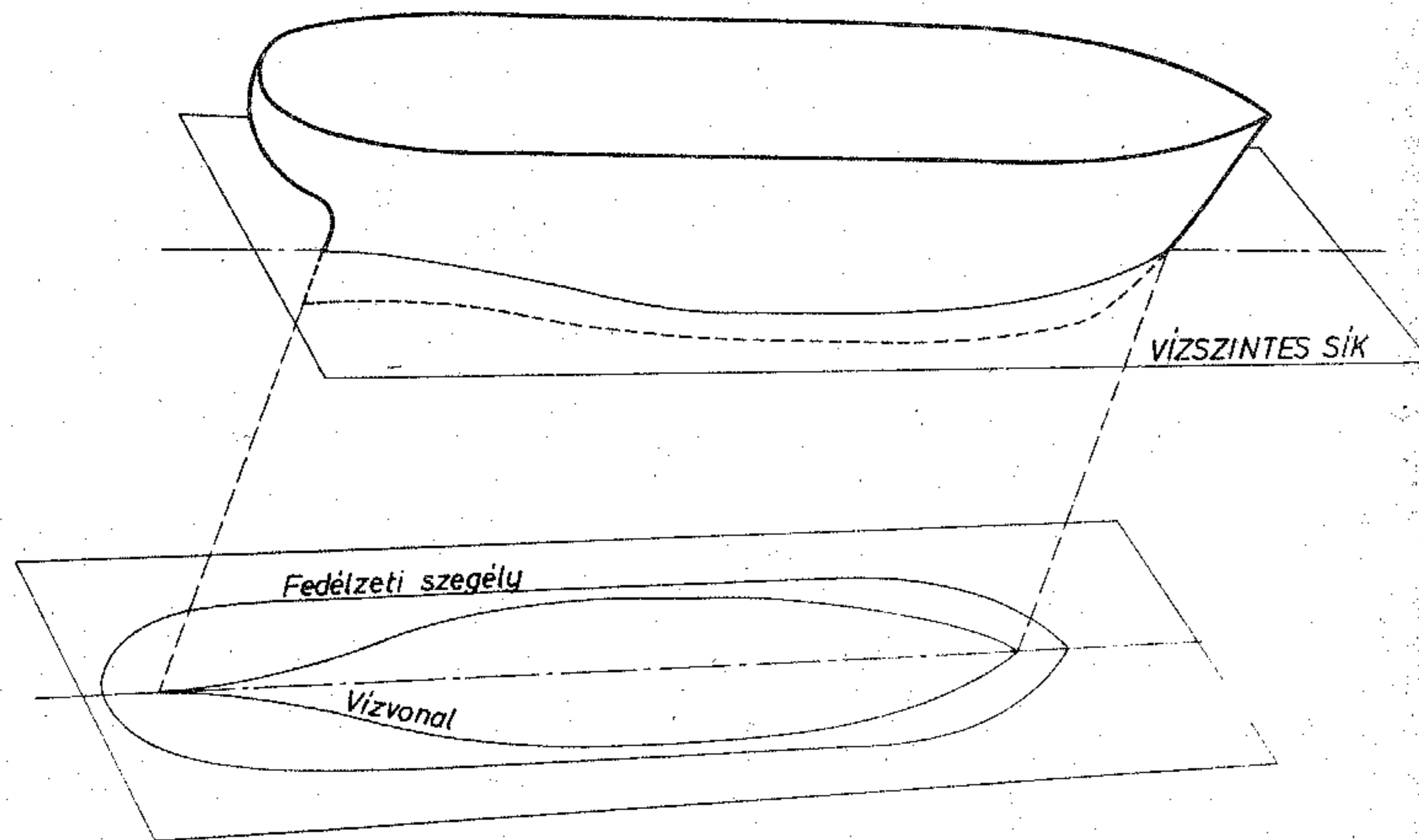
A bordametszet értelmezését a 2.2 ábrán láthatjuk. A fedélzet nélküli külhő felület és az egyes metszősíkok metszészíkjai a bordametszet. Elegendő a bordametszetek felét megrajzolni, mivel azok szimmetrikusak. A hajó hátsó felének (a főborda mögötti résznek) a bordametszeteit a vetítősíkon a középvonaltól balra, az első felének a bordametszeteit a középvonaltól jobbra rajzolják világszerte.

A 2.2 ábrán a hajó hátsó felén A-val jelölt metszősík és a hajó első felén B-vel jelölt metszősík által kimetszett bordákat ábráztuk.

A bordametszeteket sorszámokkal jelölik. A sorszámozás a farnál kezdődik. A hátsó függélynél lévő bordametszet a 0 bordametszet.

2.2.2 A vízvonalmetszetek

A hajó tervezési vízvonala alatt egymástól azonos távolságban 4-8 metszősíkot vesznek fel. A hajótestnek a tervezési vízvonala feletti részén általában csak 1-2 metszősíkot alkalmaznak. Ha a hajó magas, akkor a víz alatti osztás kétszeresének megfelelő távolságban szerkesztenek vízszintes síkmetszeteket a CWL felett. A 2.3 ábrán látható módon képezett síkmetszet, a vízvonalmetszet is szimmetrikus görbe. Így elegendő csupán az egyik felét megrajzolni. A 2.5 ábrán bemutatott vonalrajzon is csak a vízvonalmetszetek felét rajzoltuk meg.



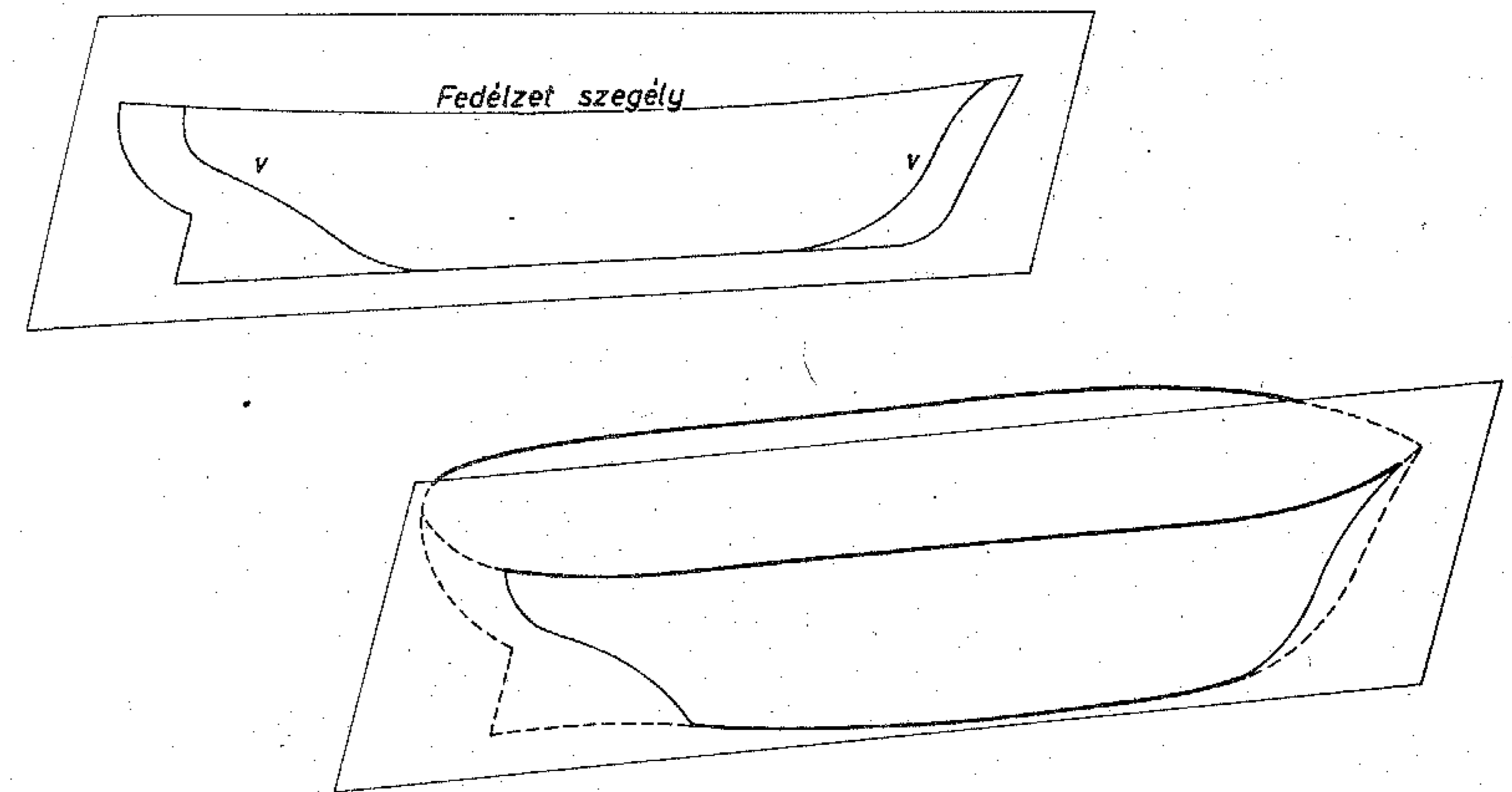
2.3 ábra

A hajótest vízvonalmetszetének értelmezése

A vízvonalmetszetek között rajzolják meg a fedéltetvonal felülnézetben látható körvonalát is.

2.2.3 A függőleges és átlós metszetek

A bordametszetek és a vízvonalmetszetek önmaguk is elegendőek a hajó alakjának egyértelmű ábrázolására. A hajó tervezése során a hajótest alakjának és a lemezelés görbületeinek folyamatosságát, továbbá a szerkesztés helyességét egyéb síkmetszetek megrajzolásával, s azok vizsgálatával ellenőrzik. Ezek a hajó hossz tengelyével párhuzamos, függőleges síkokkal képezett, úgynevezett függőleges metszetek, és a hajó hossz tengelyével párhuzamos, tetszőleges irányú síkokkal képezett átlós (diagonál) metszetek.



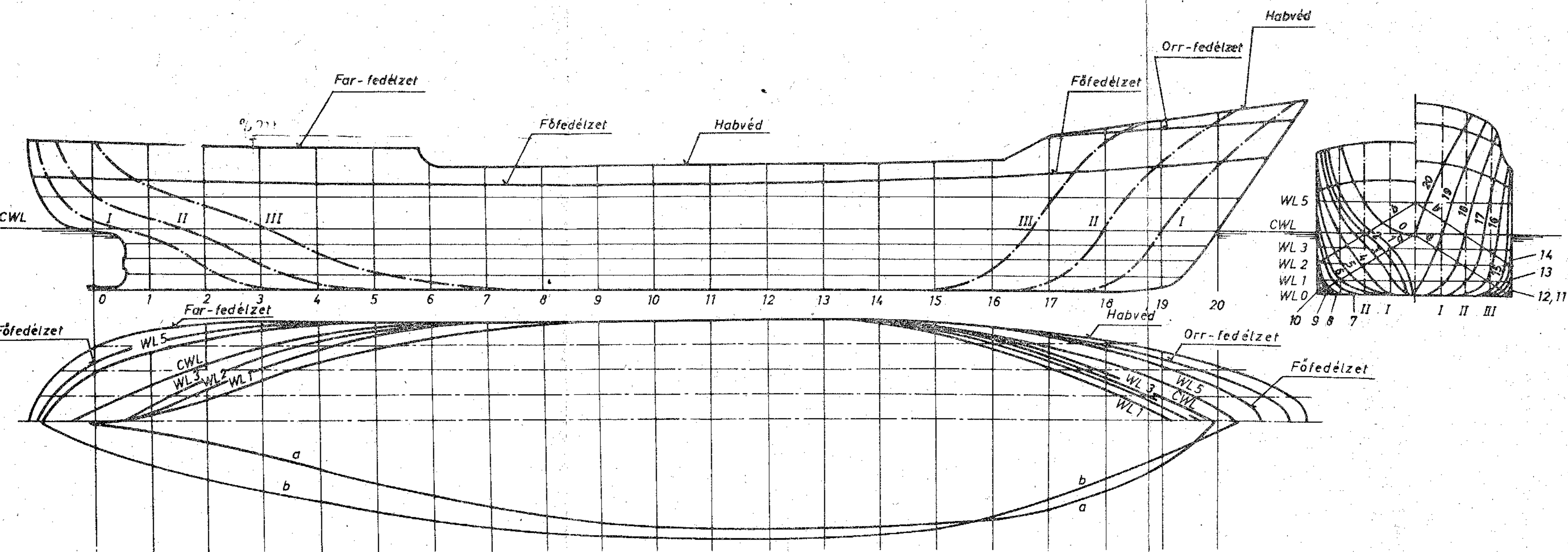
2.4 ábra

A hajótest függőleges metszetének értelmezése

A függőleges metszeteket a 2.4 ábra szerint képezzük. A hajó középvonala és szélé között 2-4 függőleges metszősíkot szokás választani. Az átlós metszetek szerkesztéséhez 1-2 metszősíkot választanak.

2.2.4 A síkmetszetek elrendezése a vonalrajzon

A 2.5 ábrán egy hajó szerkesztési vonalrajzát láthatjuk. A vonalrajz valamennyi képén hálózatot látunk. A hálózatot a metsző síkok nyomvonalai alkotják.



2.5 ábra
A hajótest vonalrajza

hajti
az é
la,

zetv

látha
borc
A b

vetil
deké

nak
papi
ban
pont

a gő
geoi
sze)

alap
főbc
tat.

rajz
az :
lött
lem

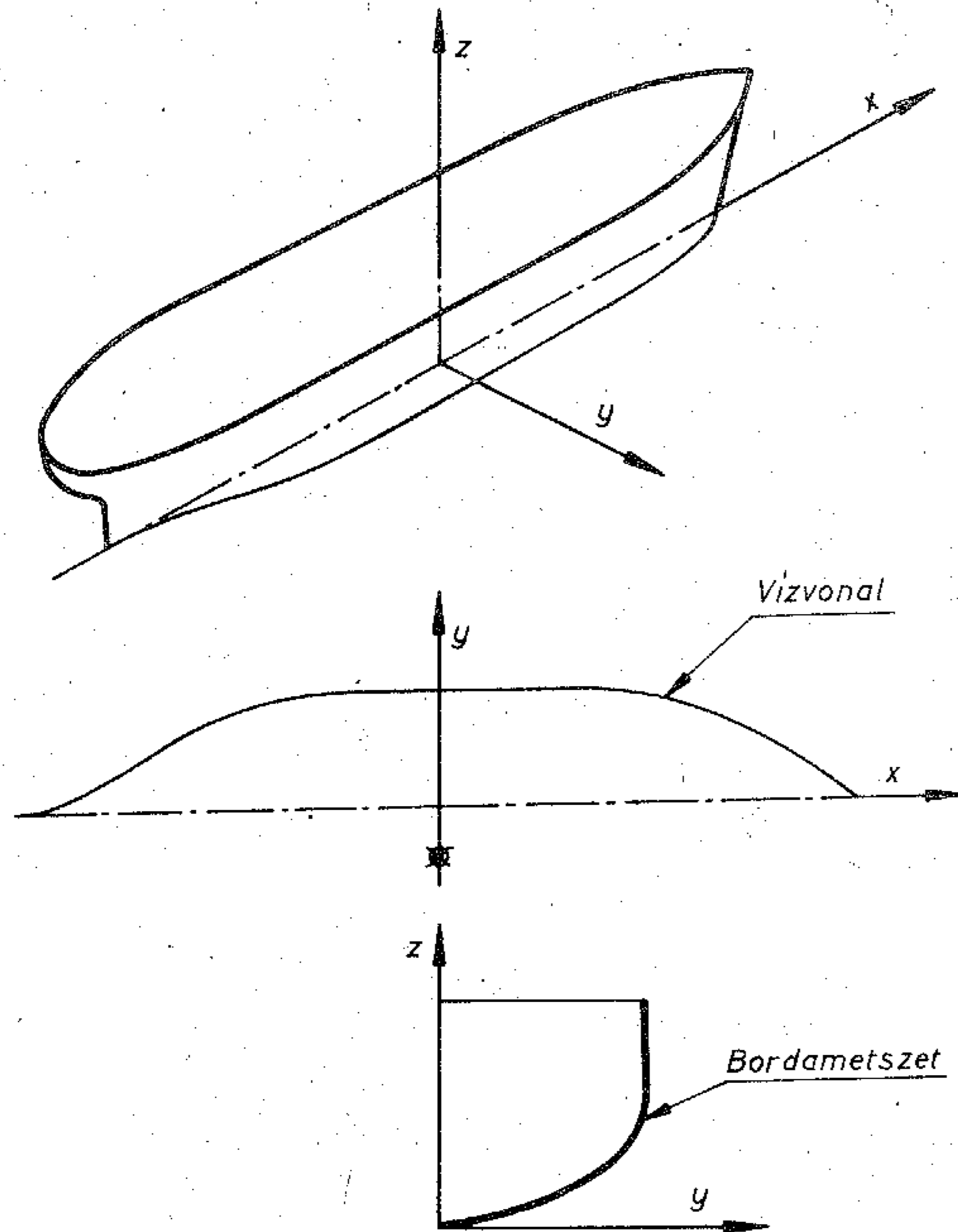
von:
(2.2
jőte

2.2 táblázat
Mérettáblázat

L = 60 m D = 6,613 m
B = 10 m T = 3,360 m

Vízvonalak $\Delta z = 0,672$ m

Bordá- szám	Vízvonalak $\Delta z = 0,672$ m								Főfedélzet		Felső fedélzet		Függőleges metszetek			Gerinc- magas- ság	Diago- nál metszet	Bordá- szám
	WL 1/2	WL 1	WL 2	WL 3	WL 4	CWL= =WL 5	WL 6	fél szé- lesség	oldal- magass.	fél szé- lesség	fél szé- lesség	V. I.	V. II.	V. III.				
0	-	-	-	-	-	627	1429	1906	4528	2844	6933	3870	5515	-	2912	428	0	
1	94	104	127	264	670	1679	2599	3000	4469	3849	6869	3099	3947	6251	-	992	1	
2	132	189	382	783	1575	2660	3491	3769	4395	4472	6805	2459	3259	4363	-	1585	2	
3	241	425	939	1679	2618	3524	4118	4302	4341	4830	6763	1653	2608	3579	-	2237	3	
4	481	915	1873	2830	3608	4189	4561	4660	4293	4972	6709	917	1776	2827	-	2966	4	
5	1028	1783	3000	3821	4340	4651	4825	4863	4267	5000	6656	432	1029	1941	-	3676	5	
6	1906	2835	3896	4476	4755	4892	4962	4972	4245	5000	6635	181	533	1211	-	4269	6	
7	2849	3679	4481	4830	4953	4991	5000	5000	4213	5000	6613	80	256	704	-	4716	7	
8	3519	4208	4788	4967	5000	5000	5000	5000	4213	5000	6613	75	160	411	-	5027	8	
9	3887	4448	4887	5000	5000	5000	5000	5000	4213	5000	6613	75	160	288	-	5188	9	
10	4000	4486	4896	5000	5000	5000	5000	5000	4213	5000	6613	75	160	251	-	5212	10	
11	3868	4377	4807	4953	4976	4986	4995	5000	4213	5000	6613	75	160	299	-	5134	11	
12	3509	4080	4585	4797	4882	4925	4962	4962	4213	5000	6613	75	160	448	-	4920	12	
13	2943	3585	4208	4505	4679	4774	4849	4868	4235	5000	6635	75	213	805	-	4580	13	
14	2282	2972	3679	4071	4311	4472	4608	4657	4293	4925	6709	96	421	1451	-	4162	14	
15	1660	2283	3009	3453	3764	4005	4203	4288	4395	4792	6789	192	832	2667	-	3637	15	
16	1113	1585	2222	2679	3033	3325	3590	3750	4507	4547	6922	427	1744	4491	-	2985	16	
17	642	958	1453	1840	2179	2486	2788	3057	4561	4175	7076	1061	3387	6203	-	2261	17	
18	321	491	783	1052	1321	1604	1887	2236	4821	3604	7237	2496	5355	-	0	1498	18	
19	75	146	269	401	557	736	958	1340	4992	2792	7313	4667	6973	-	219	729	19	
20	-	-	-	-	-	-	108	382	5184	1708	7595	6944	-	-	3360	0	20	



2.6 ábra
A hajóhoz kötött koordináta-rendszer tengelyeinek szokásos elhelyezése

2.4 A hajó geometriai jellemzői

2.4.1 Számítási módszerek

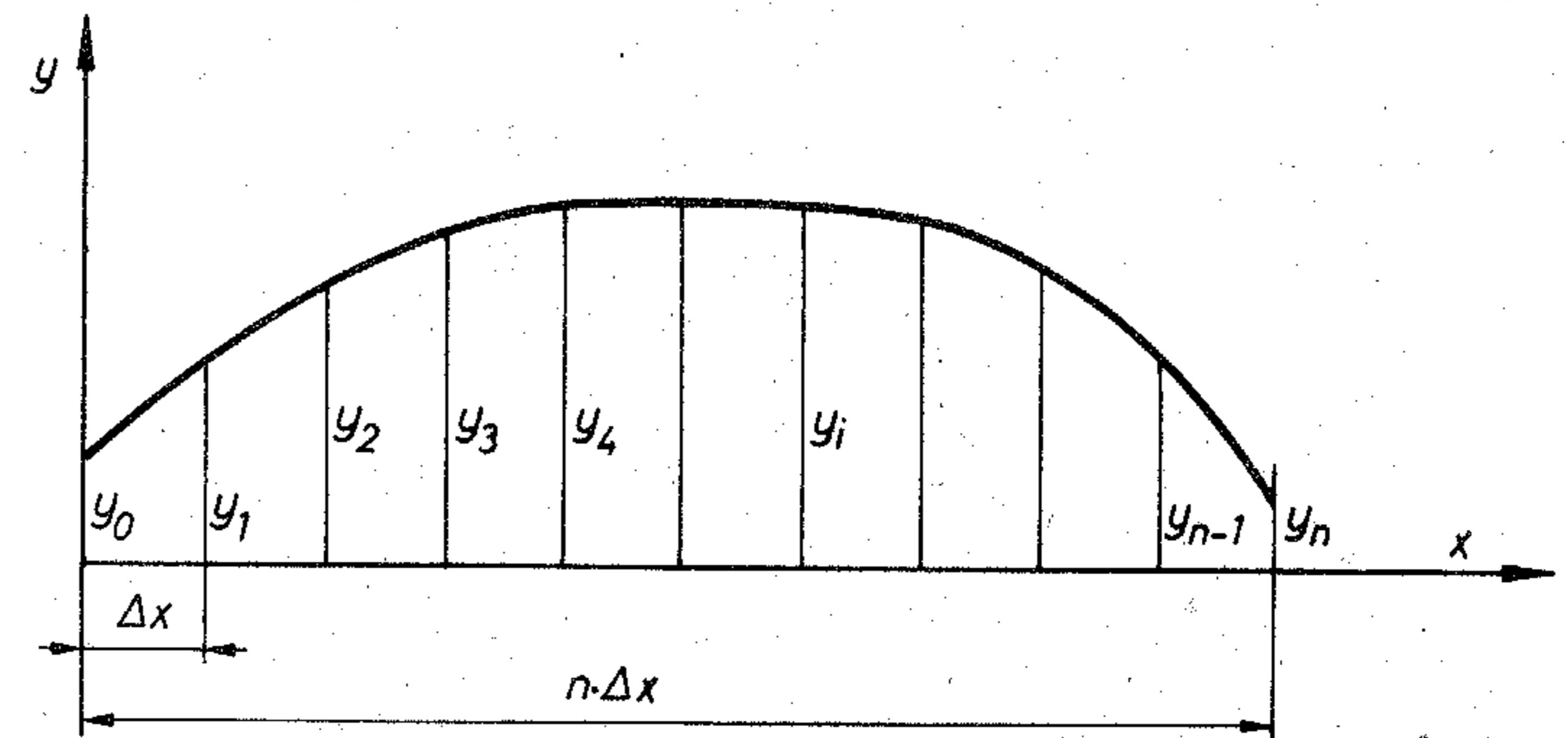
A hajó geometriai jellemzőinek meghatározásánál különféle mennyiségeket kell integrálnunk. Az egyes mennyiségek nem állanak rendelkezésünkre egyenletek formájában, de értéküket azonos távolságú szakaszok végpontjainál ismerjük. Például a 2.6 ábrán jelölt vízvonal görbéjének az egyenletét nem ismerjük, de az y értékeket a hajó teljes hossza mentén, egymástól Δx távolságban lévő x helyeken a mérettáblázatból kiolvashatjuk (vagy a vonalrajzból lemérhetjük).

Így az integrálások végrehajtásánál a trapéz szabályt és a Simpson szabályokat alkalmazhatjuk.

2.4.1.1 A trapéz szabály

A 2.7 ábrán egy $y(x)$ függvényt ábrázoltunk, melynek y értékeit azonos Δx távolságok végpontjaiban ismerjük. Ha az integrálandó függvény görbéje az egyes szakaszokon jó közelítéssel egyenessel helyettesíthető, akkor egy Δx szélességű sáv területe

$$\int_{x_i}^{x_{i+1}} y \, dx \cong \frac{y_i + y_{i+1}}{2} (x_{i+1} - x_i) = \frac{y_i + y_{i+1}}{2} \Delta x$$



2.7 ábra
Közelítő integrálás

Igy a teljes integrál:

$$\int_{x=0}^x y \, dx \cong \Delta x \left(\frac{y_0 + y_1}{2} + \frac{y_1 + y_2}{2} + \dots + \frac{y_{n-1} + y_n}{2} \right) =$$

$$= \Delta x \left(\frac{1}{2} y_0 + y_1 + y_2 + \dots + y_{n-1} + \frac{1}{2} y_n \right) =$$

$$\int_0^x y \, dx \cong \Delta x \left[\left(\sum_{i=0}^n y_i \right) - \frac{y_0 + y_n}{2} \right]$$

A trapéz szabályt természetesen nemcsak görbéjével vagy egyes pontjaival adott függvény integrálásához használhatjuk. Alkalmazhatjuk akkor is, ha a függvény matematikai kifejezése áll rendelkezésünkre. Ez esetben az integrálási tartományt felosztjuk Δx szakaszokra, s minden szakasz végéhez tartozó x_i értéket a függvény kifejezésébe behelyettesítve az y_i értéket kiszámoljuk.

Ha a függvény kifejezésében az x vagy annak hatványa szorzóként szerepel, akkor egyszerűsítésre van lehetőség. Például, ha az előző, 2.7 ábrán megrajzolt területnek a statikai nyomatékát akarjuk meghatározni az y tengelyre, az alábbi integrálást kell végrehajtanunk.

$$\int_{x=0}^x y \, x \, dx \cong \Delta x \left[\left(\sum y_i x_i \right) - \frac{y_0 x_0 + y_n x_n}{2} \right]$$

A kifejezésben az

$$x_i = \beta \cdot \Delta x$$

ahol a β a Δx hosszúságú szakasz sorszáma az y tengelytől számítva. (Jelen esetben $\beta = i$.)
Igy a Δx -et kiemelve, az integrált egyszerűbben számolhatjuk

$$\int_{x=0}^x y \, x \, dx \cong \Delta x^2 \left[\left(\sum \beta y_i \right) - \frac{\beta_0 y_0 + \beta_n y_n}{2} \right]$$

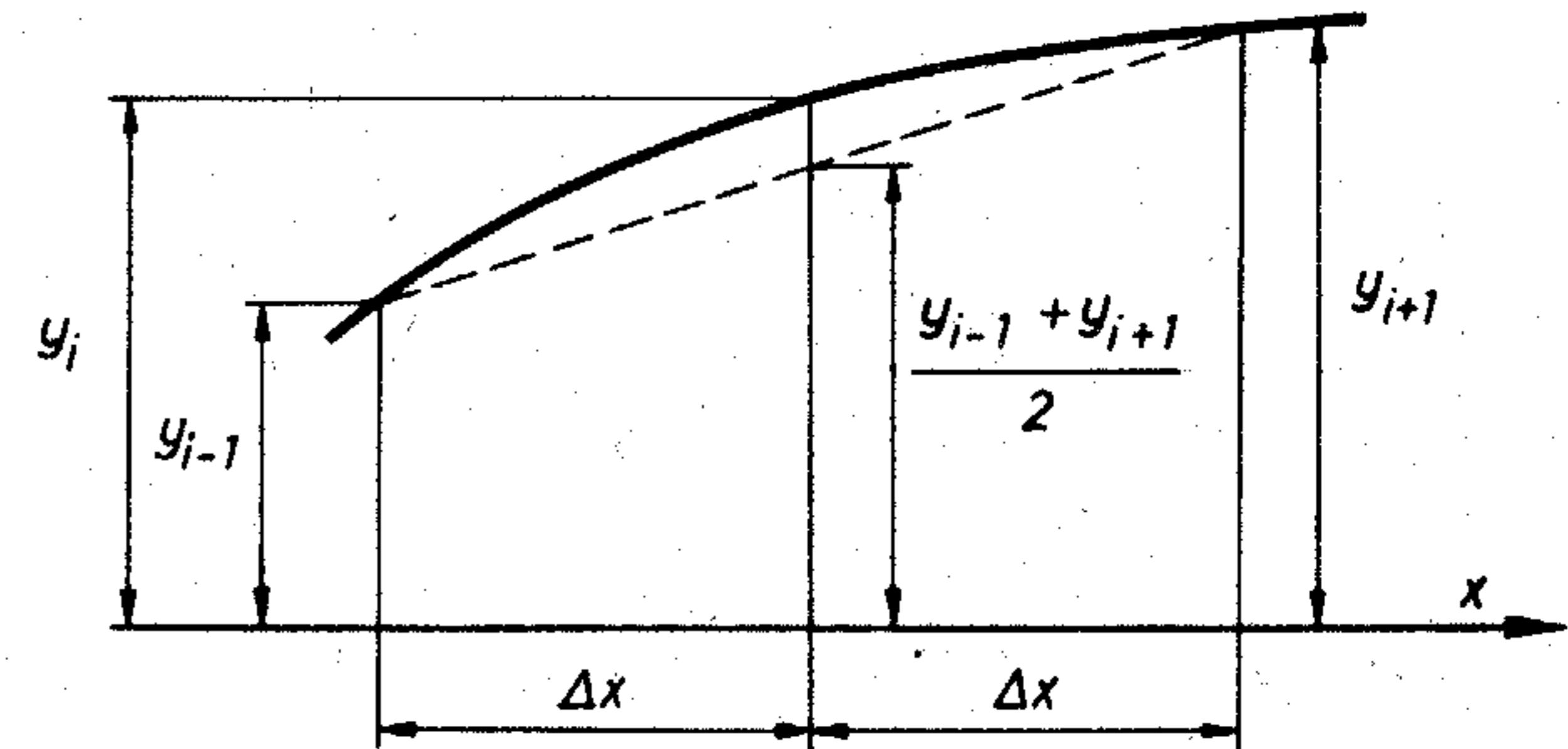
ahol

$$\beta = 0, 1, 2, 3, \dots, n.$$

A számításokat célszerű táblázatos alakban végezni. Erre a következő fejezetben, a 2.3 sz. táblázatban láthatunk példát.

2.4.1.2 A Simpson szabály

Ha az $y(x)$ függvényt ábrázoló görbe olyan, hogy két szomszédos szakaszon másodfokú parabolával helyettesíthető, akkor az integrál értékét teljes pontossággal meghatározhatjuk a Simpson szabály alkalmazásával.



2.8 ábra

A Simpson féle közelítő integrálási eljárás igazolása

A 2.8 ábrán a függvény két szomszédos szakaszát ábrázoltuk. A görbének a szakasz elején és végén lévő két pontját összekötve, a nyert hur (szaggatott vonal) a görbe alatti területet két részre osztja: egy trapézra és egy parabolaív által határolt területre. Ha a görbeszakasz másodfokú parabola, akkor

$$\int_{x_{i-1}}^{x_{i+1}} y \, dx = 2 \cdot \Delta x \frac{y_{i-1} + y_{i+1}}{2} + 2 \Delta x \cdot \frac{2}{3} \left[y_i - \frac{y_{i-1} + y_{i+1}}{2} \right] =$$

$$= \frac{2}{3} \Delta x \left[\left(\frac{3}{2} y_{i-1} + \frac{3}{2} y_{i+1} \right) + \left(2y_i - y_{i-1} - y_{i+1} \right) \right] =$$

$$= \frac{2}{3} \Delta x \left[\frac{1}{2} y_{i-1} + 2y_i + \frac{1}{2} y_{i+1} \right]$$

A függvény teljes integrálját a $2 \Delta x$ hosszúságú szakaszok integráljának összegezésével nyerjük:

$$\int_{x=0}^{x_n} y dx = \frac{2}{3} \Delta x \left[\frac{1}{2} y_0 + 2y_1 + \frac{1}{2} y_2 \right] +$$

$$+ \frac{2}{3} \Delta x \left[\frac{1}{2} y_2 + 2y_3 + \frac{1}{2} y_4 \right] +$$

$$+ \frac{2}{3} \Delta x \left[\frac{1}{2} y_4 + 2y_5 + \frac{1}{2} y_6 \right] +$$

$$+ \frac{2}{3} \Delta x \left[\dots + 2y_{n-1} + \frac{1}{2} y_n \right] =$$

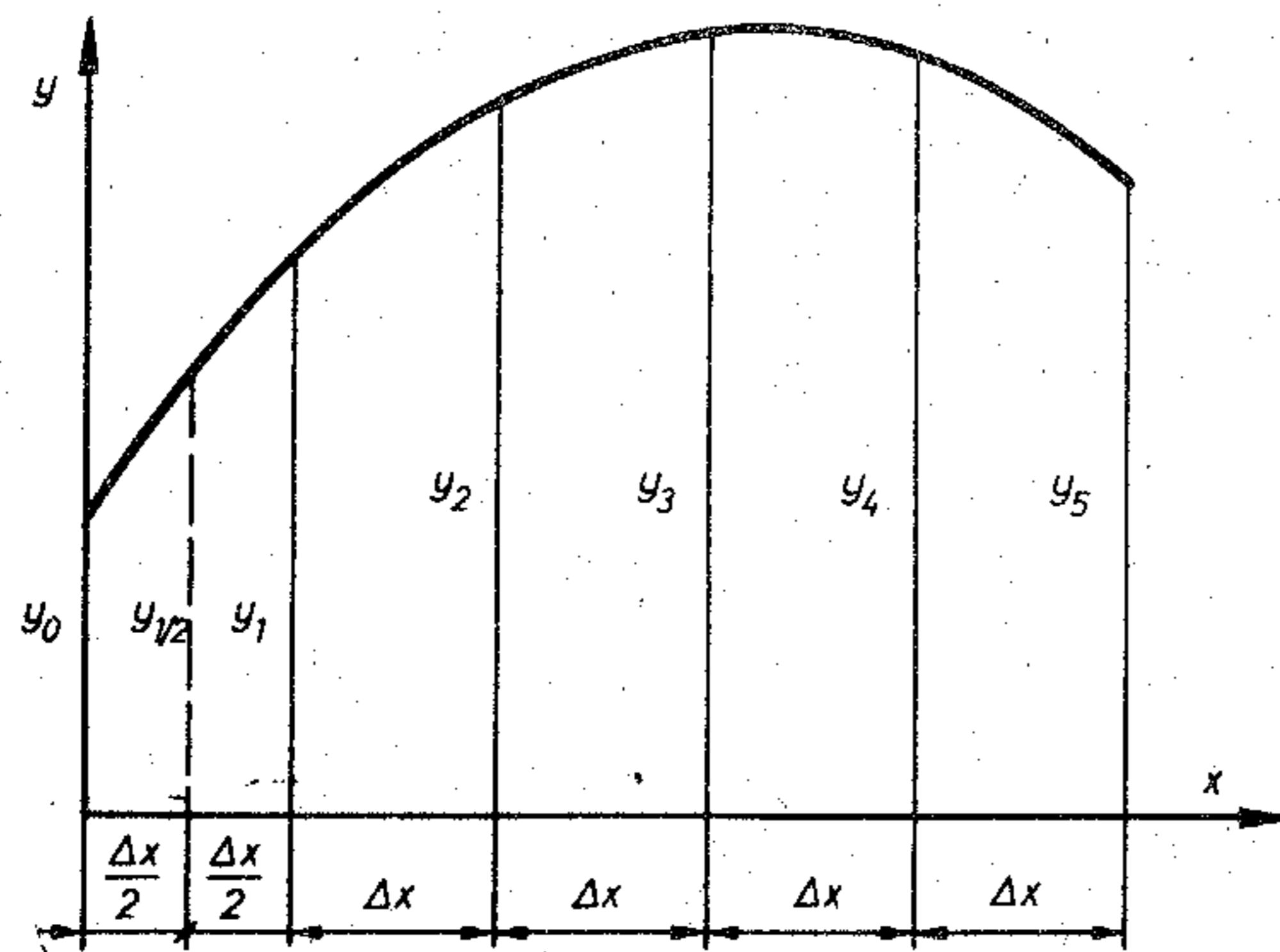
$$= \frac{2}{3} \Delta x \left[\frac{1}{2} y_0 + 2y_1 + y_2 + 2y_3 + y_4 + 2y_5 + \dots + y_{n-2} + 2y_{n-1} + \frac{1}{2} y_n \right]$$

$$\int_{x=0}^{x_n} y dx = \frac{2}{3} \Delta x \sum_{i=1}^n \alpha y_i$$

ahol

$$\alpha = 0,5, 2, 1, 2, 1, 2, 1, \dots, 1, 2, 0,5.$$

Ez azt jelenti, hogy a Simpson szabály csak páros számú osztásköz esetén alkalmazható.



2.9 ábra

A Simpson szabály használatának lehetősége páratlan számú szakaszokra bontásnál

Ha páratlan osztásunk van, abban az esetben az első vagy az utolsó osztást megfelezzük. Például a 2.9 ábrán a 0-1 osztásközt elfelezzük. Így

$$\int y dx = \frac{2}{3} \frac{\Delta x}{2} \left[\frac{1}{2} y_0 + 2 y_{0,5} + \frac{1}{2} y_1 \right] +$$

$$+ \frac{2}{3} \Delta x \left[\frac{1}{2} y_1 + 2y_2 + y_3 + 2y_4 + \frac{1}{2} y_5 \right] =$$

$$= \frac{2}{3} \Delta x \left[\frac{1}{4} y_0 + y_{0,5} + \frac{3}{4} y_1 + 2y_2 + y_3 + 2y_4 + \frac{1}{2} y_5 \right]$$

Hasonló módon, ha a görbe valamely végén hirtelen változó, s emiatt sűrítjük az osztásokat, például negyedeljük a szélső osztásközt, akkor:

$$\int y dx = \frac{2}{3} \Delta x \left[\frac{1}{8} y_0 + \frac{1}{2} y_{0,25} + \frac{1}{4} y_{0,5} + \frac{1}{2} y_{0,75} + \frac{5}{8} y_1 + 2y_2 + y_3 + 2y_4 + \frac{1}{2} y_5 \right]$$

Ha páros osztásunk van, s sűríteni akarjuk az osztások számát, akkor két szakaszban, például egymás melletti két szakaszban, vagy az első és utolsó szakaszban sűrítetünk:

$$\int y dx = \frac{2}{3} \Delta x \left[\frac{1}{4} y_0 + y_{0,5} + \frac{1}{2} y_1 + y_{1,5} + \frac{3}{4} y_2 + 2y_3 + \dots + 2y_9 + \frac{1}{2} y_{10} \right]$$

vagy

$$\int y dx = \frac{2}{3} \Delta x \left[\frac{1}{4} y_0 + y_{0,5} + \frac{3}{4} y_1 + 2y_2 + y_3 + \dots + 2y_8 + \frac{3}{4} y_9 + y_{9,5} + \frac{1}{4} y_{10} \right]$$

Hasonló módon a görbe bármely szakaszán korlátlanul sűrítetjük vagy ritkítetjük az osztások számát.

Ha a függvény kifejezésében x vagy valamely hatványa szerepel, akkor az $x = \beta \Delta x$ helyettesítéssel élhetünk:

$$\int y x dx = \frac{2}{3} \Delta x \sum_{i=0}^n \alpha x_i y_i = \frac{2}{3} \Delta x^2 \sum_{i=0}^n \alpha \beta y_i$$

ahol

$$\beta = 0, 1, 2, 3, 4, \dots, n$$

A számítást célszerű táblázatosan végezni. Erre a 2.4 táblázatban láthatunk példát.

2.4.1.3 Egyéb közelítő integrálási módszerek

Ha az integrálandó tartományban az osztásközök száma hárommal osztható, akkor a függvény integrálására az úgynevezett "második" Simpson szabályt alkalmazhatjuk:

$$\int y \, dx = \frac{3}{8} \Delta x (y_0 + 3y_1 + 3y_2 + 2y_3 + 3y_4 + 3y_5 + 2y_6 + \dots + 2y_{n-3} + 3y_{n-2} + 3y_{n-1} + y_n)$$

Ugyancsak Simpson nevéhez fűződik az úgynevezett "harmadik" Simpson szabály, vagy más néven "öt-nyolc szabály", mely csak két osztásközre alkalmazható:

$$\int y \, dx = \frac{1}{12} \Delta x (5y_0 + 8y_1 + y_2)$$

vagy

$$\int y \, dx = \frac{1}{12} \Delta x (5y_2 + 8y_1 + y_0)$$

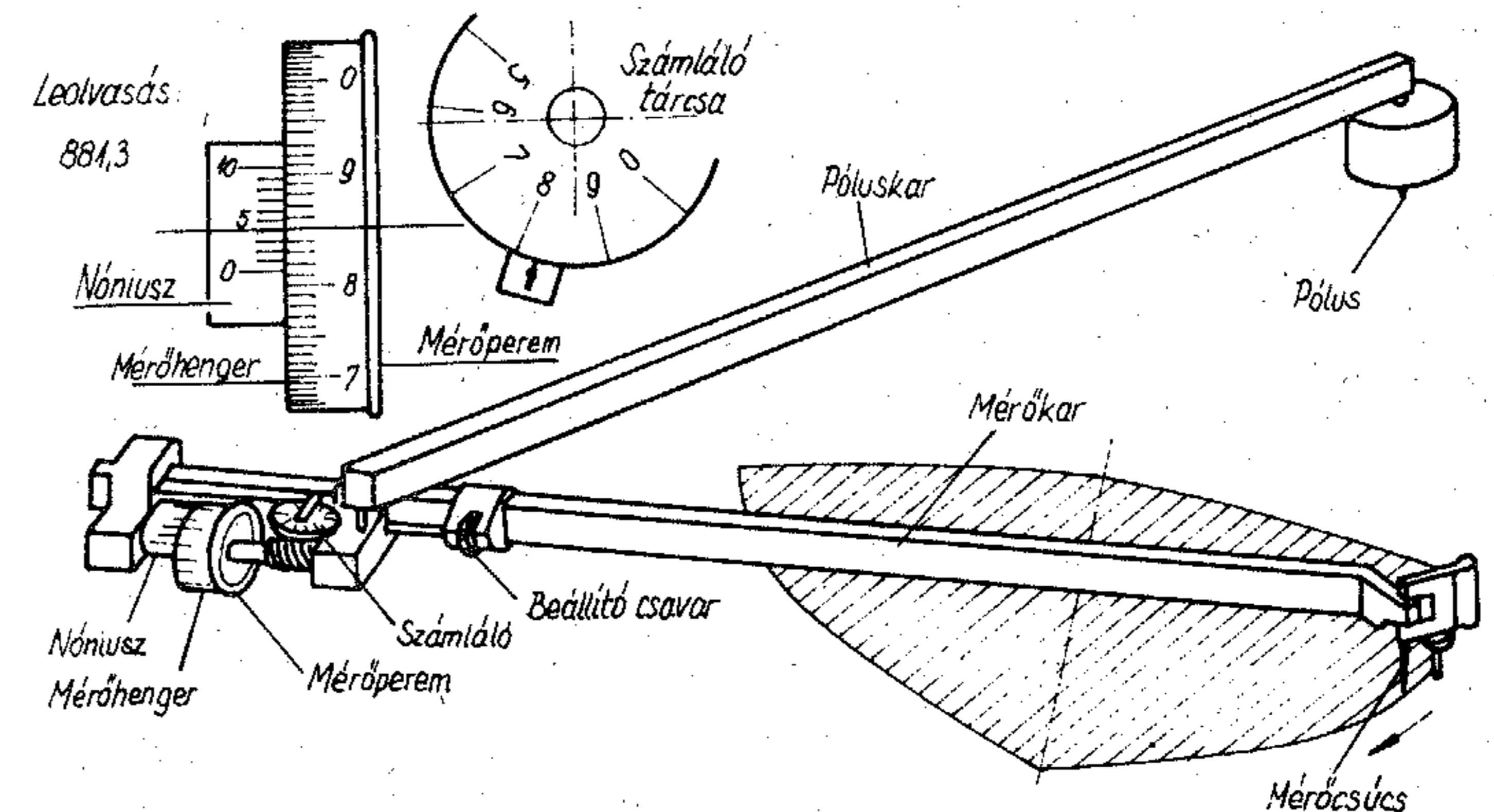
Az ismertetett trapéz és Simpson szabályokon kívül számos más közelítő integrálási módszert is kidolgoztak. Ezeket a szakirodalomban megtalálhatjuk.

2.4.1.4 Terület mérése planiméterrel

A léptékben megrajzolt területek lemérésére, s így egy függvény görbéje alatti területnek, azaz a függvény integráljának meghatározására alakították ki a területmérő műszereket. Leggyakrabban alkalmazott típusa az úgynevezett polár planiméter.

A 2.10 ábrán látható polár planiméter két karból áll. Az egyik a póluskar, melynek egyik vége egy rögzített pont, a pólus körül elfordulhat. A pólus egy fémogácsa, melynek alsó feléből egy rövid tű áll ki. Ezt a rajzra szurva a pogácsa nem mozdul el. Felső feléhez gömbszerűen kapcsolódik a mérőkar.

A póluskar másik végéhez szintén csuklósan kapcsolódik a mérőkar. A mérőkar hosszabb felének végén van kialakítva a mérőcsúcs, melyet körbe kell vezetnünk a meghatározandó terület teljes kerületén. A mérőkar másik végén egy mérőhenger van felerősítve. Miközben a mérőcsúcsot mozgatjuk, a mérőhenger pereme a rajzlapon gördül. A henger palástján 100 vonás van bejelölve. A henger tengelyéhez csavarhajtással egy számláló tárcsa kapcsolódik. Ez egyszer fordul meg a henger 10 körülfordulása esetén. 0-9 jelekkel ellátva alkalmas arra, hogy a henger körülfordulásainak számát mutassa.



2.10 ábra
A planiméter és használata

Az ábrán látható beállító csavar segítségével a mérőhengert, számlálót és a póluskar csatlakozó csapágát a mérőkaron el tudjuk mozditani. Ezáltal a mérőcsúcs és a póluskar csatlakozási pontja közötti távolság változtatható. A távolság változtatásával a planiméter "léptékét" változtathatjuk. A planimétert célszerű úgy beállítani, hogy egy négyzetcentiméter területet a mérőhenger 1/100 körülfordulása, azaz egy vonása jelezzen. Így a henger mellett álló noniusz skálán 1/10 cm² pontossággal olvashatjuk le a terület nagyságát.

A planiméter beállítását mérések előtt célszerű ellenőrizni. Egy ismert sugarú kör területét lemérjük, majd ki is számoljuk. Ha a két érték nem egyezik, a beállítást módosítjuk vagy feljegyezzük a valódi és a mért terület hányadosát, s a mérések során leolvasott értékeket ezzel a hányaddal besorozzuk.

A planimetrálás befejezése után is célszerű ellenőrizni a planimétert, a planimetrálás kezdete előtti kör ismételt lemérésével. (Mérés közben esetleg elcsúszott a mérőkar a számlálószerkezetben.)

A terület meghatározásához a planimétert a 2.10 ábrán látható módon helyezzük el. A mérendő (bevonalkázott) területen kívül leszúrjuk a pólust. A terület kerületén kijelölünk egy kezdő pontot (például a középvonal és a kerület alsó találkozási pontja). A mérőcsúcsot ráhelyezzük a kezdőpontra. Ezután leolvassuk a számláló tárcsán, s a mérőhengeren lévő számokat. Az első jegy a számláló tárcsáról, a második és harmadik a mérőhengerről olvasható le, míg a noniusszal a tizedesjegyet állapítjuk meg. Például a rajzon látható helyzetben a leolvasható érték 881,3. A leolvasott értéket feljegyezzük.

Ezután a mérőcsúcsot az óramutató járásának megfelelő irányban a mérendő terület kerületén végigvezetjük. Eközben vigyáznunk kell arra, hogy a mérőhenger végig azonos minőségű felületen gördüljön (azaz ne menjen le a rajzlapunkról), vagy ne csússzon meg. Gyakori hiba, hogy a mérés megkezdésekor a hengert 0 állásba visszaforgatják. A kéz természetes zsirossága a henger csuszását megkönnyítheti. (Ezért időnként zsirtalanítani is szükséges.)

Ha a mérőcsúcs ismét a kiindulási pontba került, ismét leolvassuk a számlálókat. A végső és a kezdő érték különbsége adja a mért terület nagyságát. Ha a kart megfelelően beállítottuk, akkor cm^2 -ben adja a területet.

Célszerű a mérést legalább egyszer megismételni oly módon, hogy az óramutatóval ellenkező irányban járjuk körbe a területet a mérőcsúccsal. Az indulási és a végső érték különbsége csak véletlen szerencse esetén egyezik meg az előző mérésével. Ha az eltérés nem nagy (a mért terület 1-2 %-ánál kisebb), akkor a két eredmény középértékét vesszük. Ha az eltérés nagyobb, ismételjük meg a mérést harmadszor is, mert valószínűleg hibát követtünk el, nem vezettük a mérőcsúcsot pontosan a körvonal felett.

A planiméterrel nagyobb területet is lemérhetünk. Ez esetben a pólust a mérendő területen helyezzük el. A számláló leolvasásával meghatározott területhez ilyenkor hozzá kell adnunk a póluskar által sűrt területet, azaz a pólustól a mérőkaron elhelyezett csatlakozási pontig mérhető távolságú sugárral rendelkező kör területét.

Vannak olyan planiméterek, amelyeken további karáttelekkel két vagy három számláló berendezés van. Három esetén az első a terület, a második a terület elsőrendű (statikai) nyomatékának, a harmadik pedig a másodrendű nyomatékának a mérőszámát mutatja. Az ilyen planimétereket integrátornak is nevezik.

Példaként két mérés során leolvasott eredményt számoljunk át. Az első esetben 1:20 méretarányban, (azaz 20 léptékű) rajzon egy bordaterületet planimetráltunk. A leolvasott végső, illetve kezdő értékek és a különbségük

$$\begin{array}{r} 881,3 \\ \underline{428,7} \\ 452,6 \text{ cm}^2 \end{array}$$

A rajz lineáris léptéke 20 cm/cm . Így a terület léptéke $20^2 = 400 \text{ cm}^2/\text{cm}^2$. Tehát a valódi bordaterület

$$452,6 \cdot 400 = 181040 \text{ cm}^2 = 18,1 \text{ m}^2$$

A második példában egy diagrammon, egy görbe és a koordináta tengelyek közötti területet planimetráljuk. A függőleges tengelyen erő, a vízszintes tengelyen sebesség szerepel. A függőleges tengelyen 1 cm megfelel 250 N erőnek. A vízszintes tengelyen 1 cm megfelel 0,5 m/s sebességnek. Így

$$\text{az erőlépték} \quad \lambda_F = 250 \frac{\text{N}}{\text{cm}}$$

$$\text{a sebességlépték,} \quad \lambda_V = 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s.cm}}$$

A szorzatuk, a teljesítmény-lépték:

$$\lambda_P = \lambda_F \cdot \lambda_V = 250 \cdot 0,5 = 125 \frac{\text{Nm}}{\text{s.cm}^2} = 125 \frac{\text{W}}{\text{cm}^2}$$

azaz 1 cm^2 terület megfelel 125 W teljesítménynek. Ha a görbe alatti terület 400 cm^2 volt, akkor az "integrál" értéke $400 \cdot 125 = 50 \text{ kW}$ teljesítményt jelent.

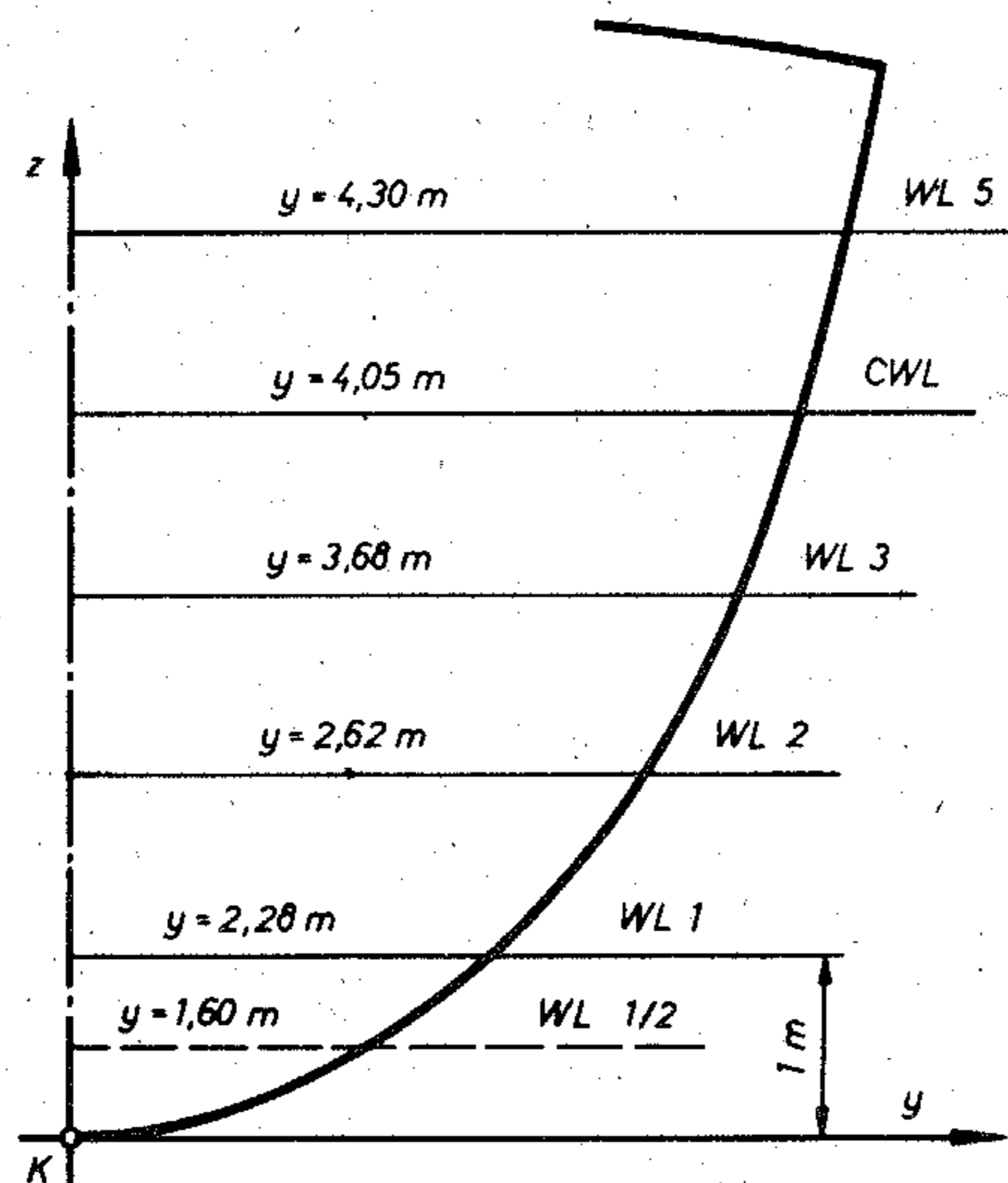
2.4.2 A bordaterületek

2.4.2.1 A bodaterület meghatározása

A hajó úszási helyzetének vizsgálatához szükségünk van a szerkesztési vonalrajzon megrajzolt 10 vagy 20 szerkesztési bordametszet víz alatt lévő keresztmetszeti területére, röviden: Bordaterületére.

A 2.11 ábrán külön kirajzoltuk egy hajó vonalrajzából az egyik, orr felőli szerkesztési bordáját. A vonalrajzból lemérhetjük, vagy a méret-táblázatból kiolvashatjuk a borda fél szélességét (y) az egyes vízvonalakon. Így a borda területe a Simpson szabály felhasználásával:

$$A = 2 \int_0^T y \cdot dz = 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot \Delta z \sum \alpha y_i^2$$



2.11 ábra
Bordametszet területének meghatározása

Példaként számoljuk ki a 2.11 ábrán megadott értékkel a borda területét különféle merülésnél.

T = 1 m merülésnél (WL 1 vízvonalig), $\Delta z = 0,5$ m osztással:

$$A_1 = 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,5 (0 + 2 \cdot 1,60 + 0,5 \cdot 2,28) = 2,893 \text{ m}^2$$

T = 2 m merülésnél $\Delta z = 1$ m osztással:

$$A_2 = 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot 1 (0 + 2 \cdot 2,28 + 0,5 \cdot 2,62) = 7,827 \text{ m}^2$$

T = 3 m merülésnél:

$$A_3 = 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot 1 (0 + 1,60 + 0,75 \cdot 2,28 + 2 \cdot 2,62 + 0,5 \cdot 3,68) = 13,853 \text{ m}^2$$

T = 4 m merülésnél (CWL vízvonalig):

$$A_4 = 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot 1 (0 + 2 \cdot 2,28 + 2,62 + 2 \cdot 3,68 + 0,5 \cdot 4,05) = 22,087 \text{ m}^2$$

T = 5 m merülésnél:

$$A_5 = 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot 1 (0 + 1,60 + 0,75 \cdot 2,28 + 2 \cdot 2,62 + 3,68 + 2 \cdot 4,05 + 0,5 \cdot 4,30) = 29,973 \text{ m}^2$$

A trapéz szabály felhasználásával:

$$A = 2 \int_0^T y \, dz = 2 \Delta z \cdot \left[\left(\sum_0^n y_i \right) - \frac{y_0 + y_n}{2} \right]$$

A 2.11 ábrán megadott értékekkel:

T = 1 m merülésnél:

$$A = 2 \cdot 0,5 \left[(0 + 1,60 + 2,28) - \frac{0 + 2,28}{2} \right] = 2,74 \text{ m}^2$$

T = 2 m merülésnél:

$$A_2 = 2 \cdot 1 \left[(0 + 2,28 + 2,62) - \frac{0 + 2,62}{2} \right] = 7,18 \text{ m}^2$$

T = 5 m merülésnél:

0
2,28
2,62
3,68
4,05
4,30

$\sum y = 16,93$
$0,5y_n = 2,15$

14,78

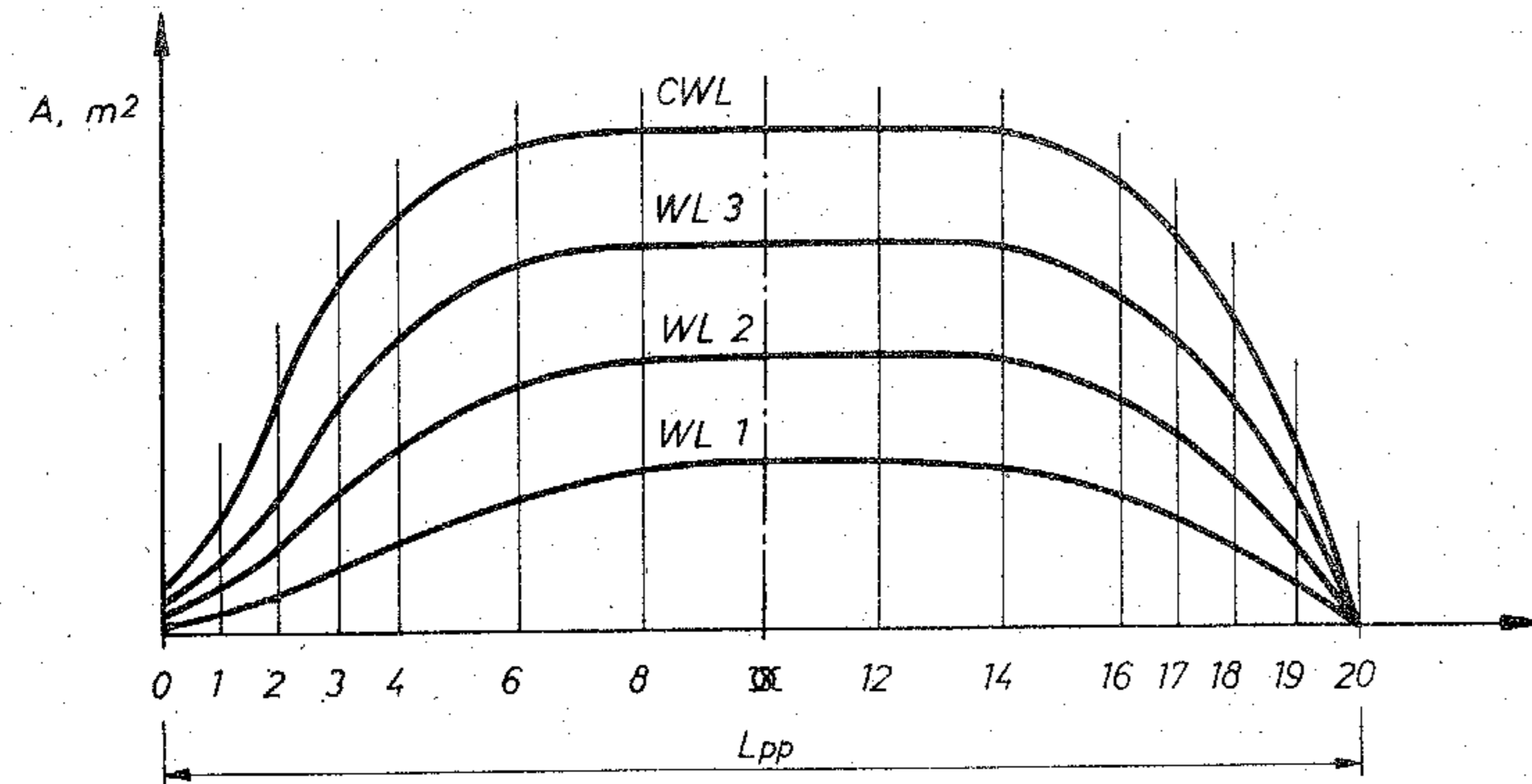
$$A_2 = 2 \cdot 1 \cdot 14,78 = 29,56 \text{ m}^2$$

A példából láthatóan a trapéz szabály a kis merüléseknél nagy relatív hibát ad, mivel a görbe alakja ott erősen görbült.

Ha a bordaterületet planiméterrel akarjuk lemérni, célszerű a planiméter csúcsát kezdéskor a 2.11 ábrán jelölt K pontra helyezni. Így egy merülésnél a mérés befejezésekor leolvasott érték egyben a következő merülésnél a mérés kezdő értéke, s nem kell a mérőműszer csúcsát merülésenként új kezdőpontba helyezni.

2.4.2.2 A bordaterület-eloszlás görbék és a Bonjean-görbék

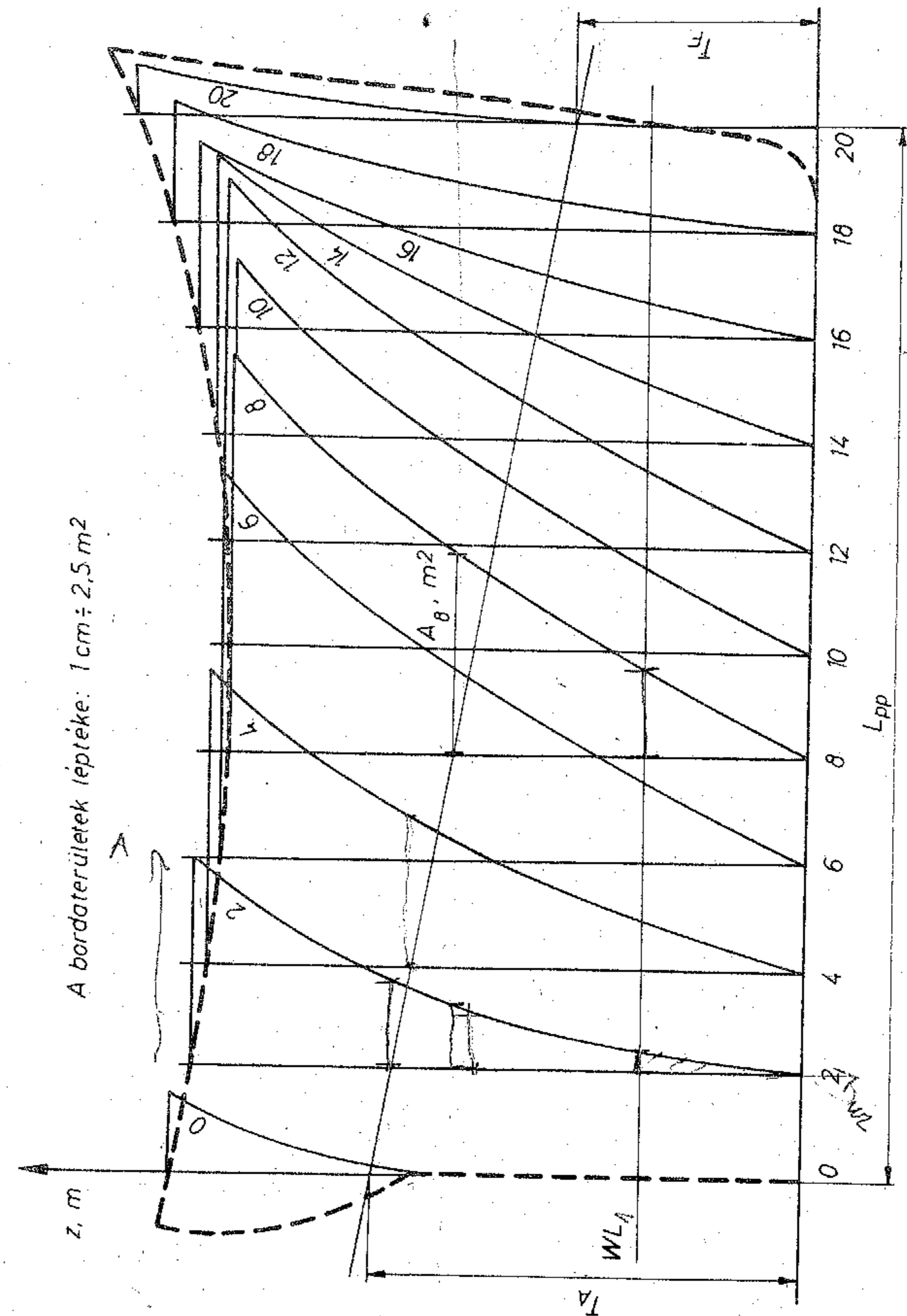
Az előző pont szerint meghatározott bordaterületeket célszerű ábrázolni. A bordaterületeknek az eloszlását a hajó hossza mentén, a 2.12 ábrán bemutatott módon szokás ábrázolni. A bordaterület eloszlás görbe vízszintes tengelyén nem szokás kerek léptéket választani, csupán a bordaszámokat tetszőleges nagyságú, egyenletes osztásközzel bejelölik a tengelyen.



2.12 ábra
A bordaterületek eloszlása a hajó hossza mentén

Az egyes vízvonalakig merülő hajó bordaterület-eloszlás görbéje csak folyamatos görbe vonal lehet. Így a görbe felrajzolása abban is segítséget nyújt, hogy a jelentősebb leolvasási vagy számítási hibákat felfedi. A hibás bordaterület érték, a többi borda területének értéke alapján adódó folyamatos görbéből kiesik.

A bordaterületeket a merülés függvényében is ismernünk kell. Ezért az egyes bordametszetek $A = f(z)$ görbéit egy közös diagramban ábrázoljuk, a 2.13 ábrán látható módon. A hajó hosszának (az x tengelynek) a léptéke lényegesen nagyobb a merülés (a z tengely) léptékénél. Így a hajónak az ábrába szaggatott vonallal berajzolt oldalnézeti képe torzított. A szerkesztési bordák függőlegesétől a vízvonal (WL_1) vízszintesén jobb-



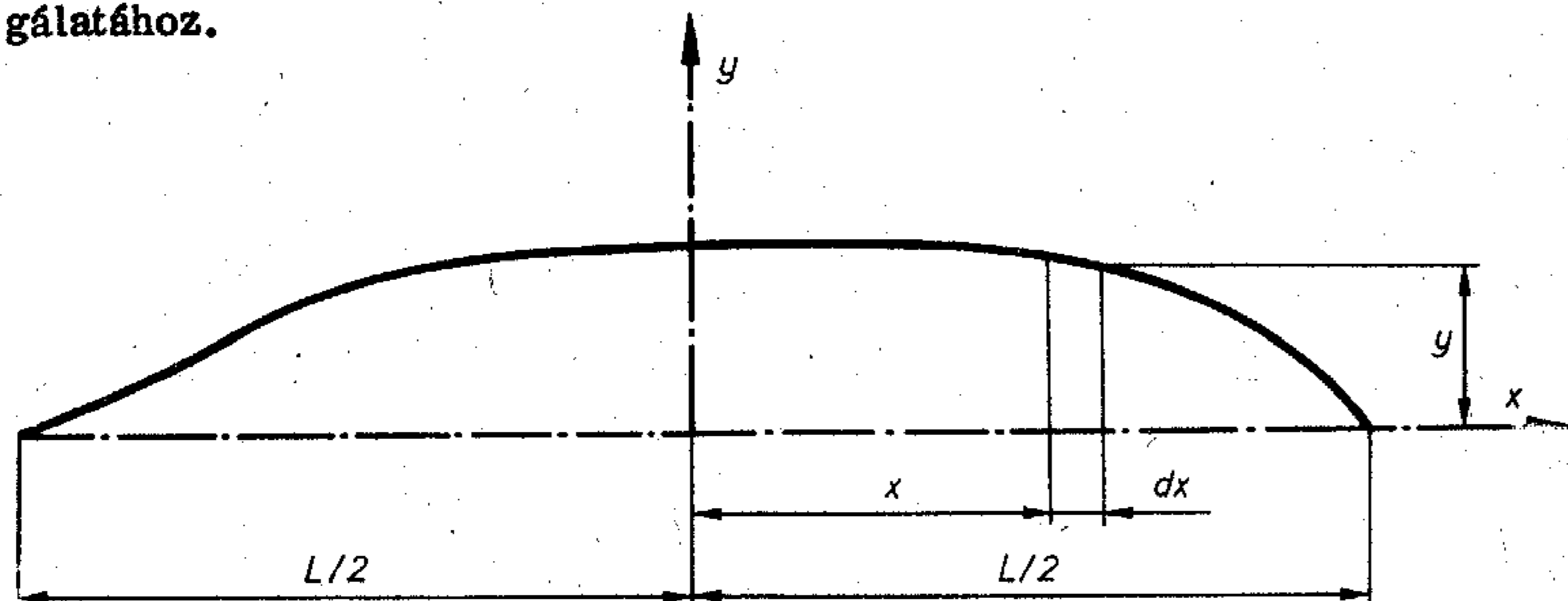
2.13 ábra
Bonjean-görbék (a bordaterületek változása a merülés függvényében)

ra felmérjük a vízvonaltól bemenő borda területét célszerű lépésekben. A különféle merülésekhez tartozó értékeket minden bordánál egy görbével összekötjük, s a görbét meghosszabbítjuk a fedélzet szegélyvonalának megfelelő merülésig. Ezeket a görbéket hívják világszerte a Bonjean-görbéknek.

A Bonjean-görbék segítségével tetszőleges, a hajó alapvonalával nem párhuzamos úszásvonal esetére is megállapíthatjuk a bordametszettek víz alatt elhelyezkedő részének területét. A 2.13 ábrán bejelöltünk egy ferde úszásvonalat. Ahol a vízvonal a borda függőlegesét metszi, leolvasható a bordaterület. Az ábrán a 8. szerkesztési bordánál bejelöltük a leolvasható bordaterületet (A_8).

2.4.3 A vízvonalterület jellemzői

A hajó alapvonalával párhuzamosan választott metszősíkokkal ki-metszett vízvonalak területére, a terület súlypontjának helyére, és a súlyponton áthaladó hosszirányú és keresztirányú tengelyekre számított másodrendű nyomatékokra van szükségünk a hajó úszási helyzetének vizsgálathoz.



2.14 ábra

Magyarázó ábra a vízvonalterület nagyságának, súlyponthelyzetének és a súlyponton áthaladó, harántirányú tengelyre számított másodrendű nyomatékának meghatározásához

A 2.14 ábrán egy hajó vonalrajzából kivett fél vízvonalat láthatjuk. A teljes vízvonal területe:

$$A_w = 2 \cdot \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} y \, dx$$

Trapéz szabállyal:

$$A_w = 2 \Delta x \left[\left(\sum_{i=0}^n y_i \right) - \frac{y_0 + y_n}{2} \right]$$

Simpson szabállyal:

$$A_w = 2 \frac{2}{3} \Delta x \sum_{i=0}^n \alpha y_i$$

A súlypont helyének számításához a terület részterületekre bontjuk. A dx hosszúságú elemi sávok súlypontja az y tengelytől x távolságra van. A terület elsőrendű, statikai nyomatéka a terület és a súlyponttávolság szorzata. Az egész terület statikai nyomatéka a részterületek statikai nyomatékának összege. Így a vízvonalterület súlypontjának távolsága az y tengelytől (a főborda síkjától):

$$x_w = \frac{M_w}{A_w} = \frac{2 \int x y \, dx}{2 \int y \, dx} = \frac{\int x y \, dx}{\int y \, dx}$$

A Simpson szabály alkalmazásával:

$$x_w = \frac{\frac{2}{3} \Delta x^2 \sum \alpha \beta y}{\frac{2}{3} \Delta x \sum \alpha y} = \Delta x \frac{\sum \alpha \beta y}{\sum \alpha y}$$

A trapéz szabály alkalmazásával:

$$x_w = \Delta x \frac{\sum \beta y - \frac{\beta y_0 + \beta y_n}{2}}{\sum y - \frac{y_0 + y_n}{2}}$$

A $2y$ szélességű és dx hosszúságú terület elemnek az y tengelyre számított másodrendű nyomatéka:

$$d J_y = (2y \cdot dx) x^2$$

Így a teljes vízvonalterület másodrendű nyomatéka az y tengelyre:

$$J_y = 2 \int y x^2 dx$$

A Simpson szabály alkalmazásával:

$$J_y = 2 \frac{2}{3} \Delta x \sum \alpha y x^2 dx$$

Az $x^2 = \beta^2 \Delta x^2$ helyettesítéssel:

$$J_y = \frac{4}{3} \Delta x^3 \sum_{i=0}^n \alpha \cdot \beta^2 \cdot y_i$$

A trapéz szabály alkalmazásával:

$$J_y = 2 \Delta x^3 \left[\sum_{i=0}^n \beta^2 y_i - \frac{\beta^2 \cdot y_0 - \beta^2 \cdot y_n}{2} \right]$$

Ha ismerjük a területnek a másodrendű nyomatékát egy tengelyre, akkor ezzel a tengellyel párhuzamos irányú, bármely tengelyre könnyen átszámolhatjuk a másodrendű nyomatékot, a Steiner tétel segítségével:

$$J_2 = J_1 + A x_{12}^2$$

ahol J_1 és J_2 a kétféle tengelyre számolt másodrendű nyomaték;

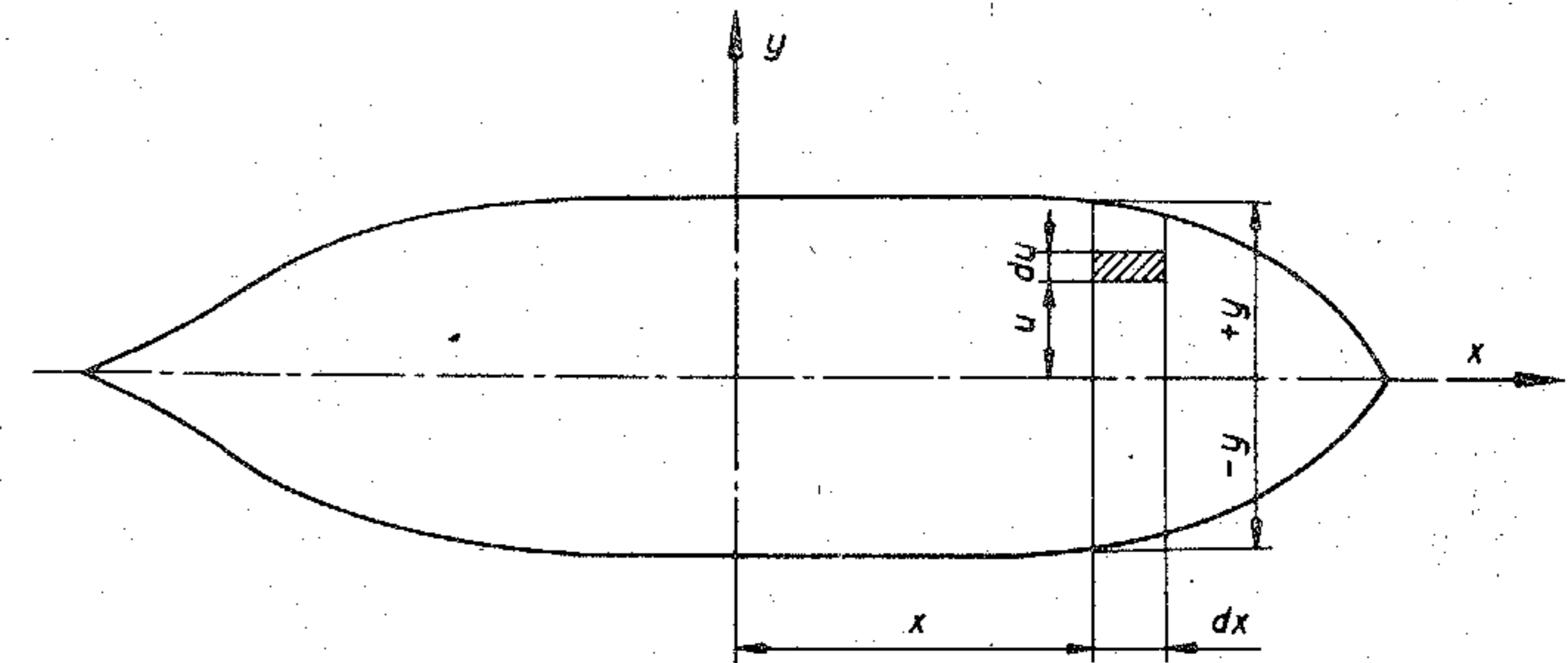
A a terület nagysága, és
 x_{12} a két tengely közötti távolság.

A terület másodrendű nyomatéka akkor a legkisebb értékű, ha a terület súlypontján áthaladó tengelyre számítjuk. Így a korrekciós tag előjelét annak alapján tudjuk eldönteni, hogy az új tengelyünk közelebb vagy távolabb kerül a terület súlypontjától. Ha közelebb kerül negatív, ha távolabb, akkor pozitív előjelet írunk.

A vízvonalterületének másodrendű nyomatéka a súlypontján áthaladó harántirányú (y tengellyel párhuzamos) tengelyre:

$$J_L = J_y - A_w \cdot x_w^2$$

(A korrekciós tag előjele negatív, mivel a súlyponti tengelyre számított másodrendű nyomaték értéke kisebb bármely más tengelyre számítottánál.)



2.15 ábra

Magyarázó ábra a vízvonalterület súlypontján áthaladó, hosszirányú tengelyre számított másodrendű nyomatékának meghatározásához

Végül szükségünk van a területnek az x tengelyre számolt másodrendű nyomatékára is. A 2.15 ábrán láthatóan a bevonalkázott terület-elem másodrendű nyomatéka az x tengelyre:

$$(dx \cdot du) \cdot u^2$$

A dx hosszúságú, 2y szélességű sáv másodrendű nyomatéka:

$$dJ_x = \int_{-y}^{+y} dx \cdot du \cdot u^2 = dx \cdot \int_{-y}^{+y} u^2 \cdot du$$

A teljes vízvonalterület másodrendű nyomatéka az x tengelyre:

$$J_B = \int_{-\frac{L}{2}}^{+\frac{L}{2}} dJ_x = \int_{-\frac{L}{2}}^{+\frac{L}{2}} \int_{-y}^{+y} u^2 \cdot du \cdot dx$$

Vízvonalterület geometriai jellemzőinek számítása a Simpson-szabály alkalmazásával

i	y _i	α	α y _i	β	α β y _i	α β ² y _i	y _i ³	α y _i ³
0	0,783	0,5	0,392	-5	-1,960	9,800	0,480	0,240
1	0,991	2	1,982	-4	-7,928	31,712	0,937	1,946
2	1,143	1	1,143	-3	-3,429	10,287	1,493	1,493
3	1,238	2	2,476	-2	-4,952	9,904	1,897	3,794
4	1,271	1	1,271	-1	-1,271	1,271	2,053	2,053
5	1,240	2	2,480	0	-19,540	0	1,906	3,812
6	1,142	1	1,142	1	1,142	1,142	1,489	1,489
7	0,973	2	1,946	2	3,892	7,784	0,921	1,842
8	0,730	1	0,730	3	2,190	6,570	0,389	0,389
9	0,409	2	0,818	4	3,272	13,088	0,068	0,136
10	0,009	0,5	0,004	5	0,020	0,100	0	0
Δx=0,5 m			14,384		+10,516	91,658		17,194

A vízvonalterület nagysága $A_W = 2 \frac{2}{3} \Delta x \sum \alpha y_i = 2 \frac{2}{3} \cdot 0,5 \cdot 14,384 = 9,590 \text{ m}^2$

súlyponthelyzete

$$x_{W'} = \Delta x \frac{\sum \alpha \beta y_i}{\sum \alpha y_i} = 0,5 \frac{-9,024}{14,384} = -0,314 \text{ m}$$

másodrendű nyomatéka a

$$J_L = 2 \cdot \frac{2}{3} \Delta x^3 \sum \alpha \beta^2 y_i - A_W \cdot x_{W'}^2 = 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,5^3 \cdot 91,658 - 9,590 \cdot 0,314^2 = 14,332 \text{ m}^4$$

súlypontján áthaladó haránt-

irányú tengelyre

$$J_B = \frac{2}{3} \cdot \frac{2}{3} \cdot \Delta x \sum \alpha y_i^3 = \frac{4}{9} \cdot 0,5 \cdot 17,194 = 3,821 \text{ m}^4$$

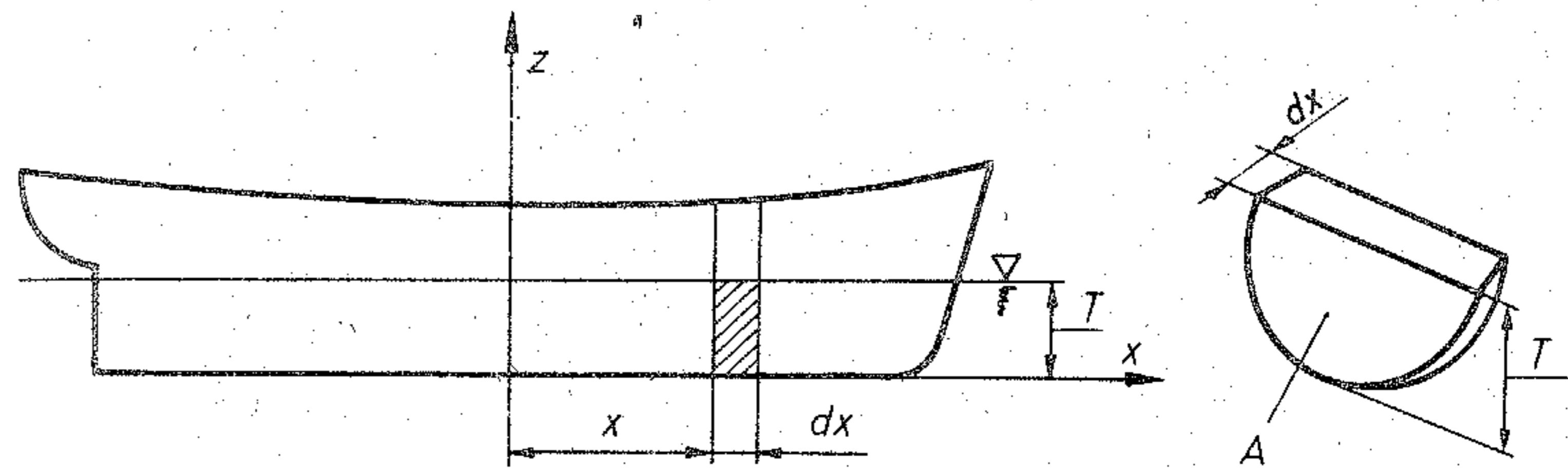
másodrendű nyomatéka a súly-

pontján áthaladó hossztenge-

A hajó vonalrajzán megrajzolt valamennyi vízvonal területét, súlypont helyzetét és másodrendű nyomatékát kiszámoljuk. A kiszámolt értékeket a hajó merülésének a függvényében ábrázoljuk. A nyert pontokat folyamatos görbével összekötve bármely közbenső merülésre leolvashatjuk a vízvonalterület geometriai jellemzőit (2.18 ábra).

2.4.4 A vízkiszorítás jellemzői

A hajótest víz alatti részének térfogata a 2.16 ábra szerint dx hosszúságú, A alapterületű hengerekből tevődik össze. Az A bordaterületeket a 2.4.2 fejezetben közölt módon kiszámoltuk, s a területek értéként a 2.12 vagy 2.13 ábrákban ábrázoltuk, tehát azok már rendelkezésünkre állanak.



2.16 ábra

Magyarozó ábra a vízkiszorítás nagyságának és súlypontja hosszirányú elhelyezkedésének meghatározásához

Így a vízkiszorítás:

$$V = \int_{-\frac{L}{2}}^{+\frac{L}{2}} A \, dx$$

A Simpson szabály alkalmazásával:

$$V = \frac{2}{3} \Delta x \cdot \sum_{i=0}^n \alpha \cdot A_i$$

A trapéz szabállyal:

$$V = \Delta x \left[\sum_{i=0}^n A_i - \frac{A_0 + A_n}{2} \right]$$

A vízkiszorítás súlypontja az y tengelytől, a 2.16 ábra jelöléseivel:

$$x_d = \frac{M_v}{V} = \frac{\int Ax \, dx}{\int A \, dx}$$

ahol $A \cdot x \cdot dx$ egy dx hosszú hajószelet vízkiszorításának nyomatéka az y tengelyre.

A Simpson szabállyal:

$$x_d = \Delta x \cdot \frac{\sum \alpha \beta A}{\sum \alpha A}$$

A trapéz szabállyal:

$$x_d = \Delta x \frac{\sum \beta A - \frac{\beta \cdot A_0 + \beta \cdot A_n}{2}}{\sum A - \frac{A_0 + A_n}{2}}$$

A vízkiszorítás és a súlypont hosszirányú helyzetének a Simpson-szabály alkalmazásával végzett számítására láthatunk példát a 2.5 táblázatban.

A vízkiszorítás súlypontjának magasságirányú helyzetét a vízszintes metszősíkok által határolt térfogatszeletek segítségével határozhatjuk meg. A 2.17 ábrán a bevonalkázott térfogat rész magassága dz , alapterülete a z merüléshez tartozó A_w vízvonal terület. Így az elemi térfogat nyomatéka az x tengelyre, a hajó alapvonalára

$$dM = (A_w \cdot dz) z$$

Így a vízkiszorítás térfogatának súlypontja az x tengelytől:

$$z_d = \frac{M}{V} = \frac{\int A_w z \, dz}{\int A_w \, dz}$$

A vízkiszorítás és a súlypont hosszirányú helyzetének számítása a Simpson-szabály alkalmazásával

i	A m ²	α	$\frac{\alpha A}{2}$ m	β	$\frac{\alpha \beta A}{2}$ m
0	0,0	1/2	0,0	10	0,0
1	0,9	2	1,8	9	16,2
2	2,0	1	2,0	8	16,0
3	4,2	2	8,4	7	58,8
4	7,5	1	7,5	6	45,0
5	11,2	2	22,4	5	112,0
6	15,0	1	15,0	4	60,0
7	17,3	2	34,6	3	103,8
8	18,8	1	18,8	2	37,6
9	19,2	2	38,4	1	38,4
10	19,0	1	19,0	0	-487,8
11	18,5	2	37,0	1	37,0
12	17,2	1	17,2	2	34,4
13	15,4	2	30,8	3	92,4
14	12,8	1	12,8	4	51,2
15	10,4	2	20,8	5	104,0
16	7,2	1	7,2	6	43,2
17	4,6	2	9,2	7	64,4
18	2,3	1	2,3	8	18,4
19	0,6	2	1,2	9	10,8
20	0,0	1/2	0,0	10	0,0
					455,8

$\Delta x = 3m$

306,4

-32,0

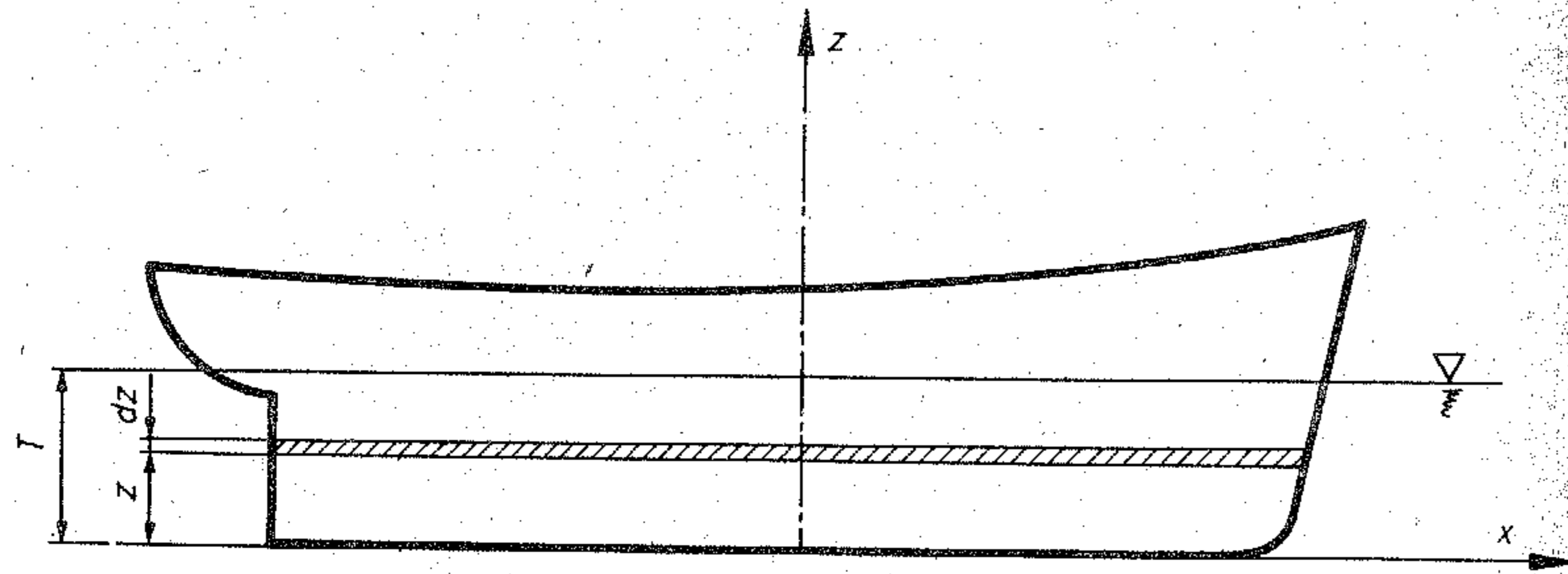
A vízkiszorítás

$$V = \frac{2}{3} \Delta x \sum \alpha A = \frac{2}{3} \cdot 3 \cdot 306,4 = 612,8 \, m^3$$

súlyponthelyzete

$$x_d = \Delta x \frac{\sum \alpha \beta A}{\sum \alpha A} = 3 \cdot \frac{-32,0}{306,4} = -0,313 \, m$$

A vízkiszorítás súlypontja magasságirányú helyzetének meghatározását mutatja a 2.6 táblázat. A példában az integrálokat a Simpson szabállyal számítottuk ki.



2.17 ábra
Magyarázó ábra a vízkiszorítás-súlypont magasságirányú helyzetének meghatározásához

2.6 táblázat

A vízkiszorítás súlypont magassági helyzetének meghatározása a Simpson-szabály alkalmazásával

A vízvonalak osztásának távolsága $\Delta z = 0,672$ m.

WL₁ vízvonalgig merülő hajó:

jel	A_W m ²	α	αA_W	β	$\alpha \beta A_W$
WL ₀	10	0,25	2,5	0	0
WL _{0,5}	195	1	195	0,5	97,5
WL ₁	261	0,25	65,25	1	65,25
			262,75		162,75

$$z_d = \Delta z \frac{\sum \alpha \beta A_W}{\sum \alpha A_W} = 0,672 \cdot \frac{162,75}{262,75} = 0,416 \text{ m}$$

WL₂ vízvonalgig merülő hajó:

WL ₀	10	0,5	5	0	0
WL ₁	261	2	522	1	522
WL ₂	326	0,5	163	2	362
			685		848

$$z_d = 0,672 \frac{848}{685} = 0,832 \text{ m}$$

WL₃ vízvonalgig merülő hajó:

jel	A_W m ²	α	αA_W	β	$\alpha \beta A_W$
WL ₀	10	0,25	2,5	0	0
WL _{0,5}	195	1	195	0,5	97,5
WL ₁	261	0,75	195,5	1	195,5
WL ₂	326	2	652	2	1304
WL ₃	368	0,5	184	3	552
			1229		2149

$$z_d = 0,672 \frac{2149}{1229} = 1,175 \text{ m}$$

WL₄ vízvonalgig merülő hajó:

WL ₀	10	0,5	5	0	0
WL ₁	261	2	522	1	522
WL ₂	326	1	326	2	652
WL ₃	368	2	736	3	2208
WL ₄	405	0,5	203	4	812
			1792		4194

$$z_d = 0,672 \frac{4194}{1792} = 1,573 \text{ m}$$

WL₅ vízvonaltig merülő hajó:

jel	A _w	α	α A _w	β	αβ A _w
WL ₀	10	0,25	2,5	0	0
WL _{0,5}	195	1	195	0,5	97,5
WL ₁	261	0,75	195,5	1	195,5
WL ₂	326	2	652	2	1304
WL ₃	368	1	368	3	1104
WL ₄	405	2	810	4	3240
WL ₅	442	0,5	221	5	1105

2444,0

7046,0

$$z_d = 0,672 \frac{7046}{2444} = 1,937 \text{ m}$$

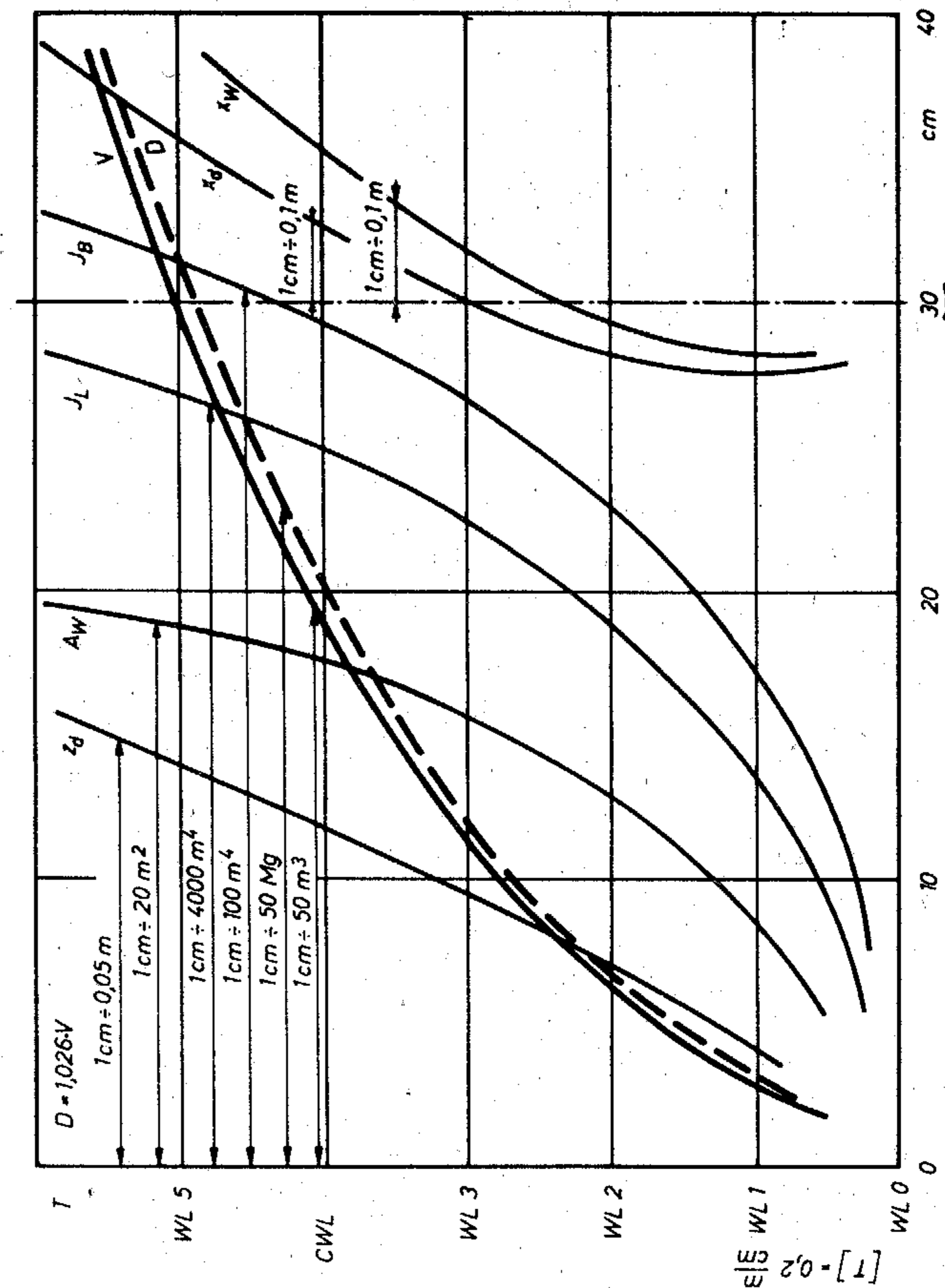
Eredmények:

merülés T m	0,672	1,344	2,016	2,688	3,360
súlypontmagasság z _d m	0,416	0,832	1,175	1,573	1,937

2.4.5 A jellemző görbék és használatuk

Az előzőekben ismertetett módon, a hajó vonalrajzán feltüntetett vízvonalakhoz tartozó merüléseknél kiszámítjuk a hajó alábbi geometriai adatait:

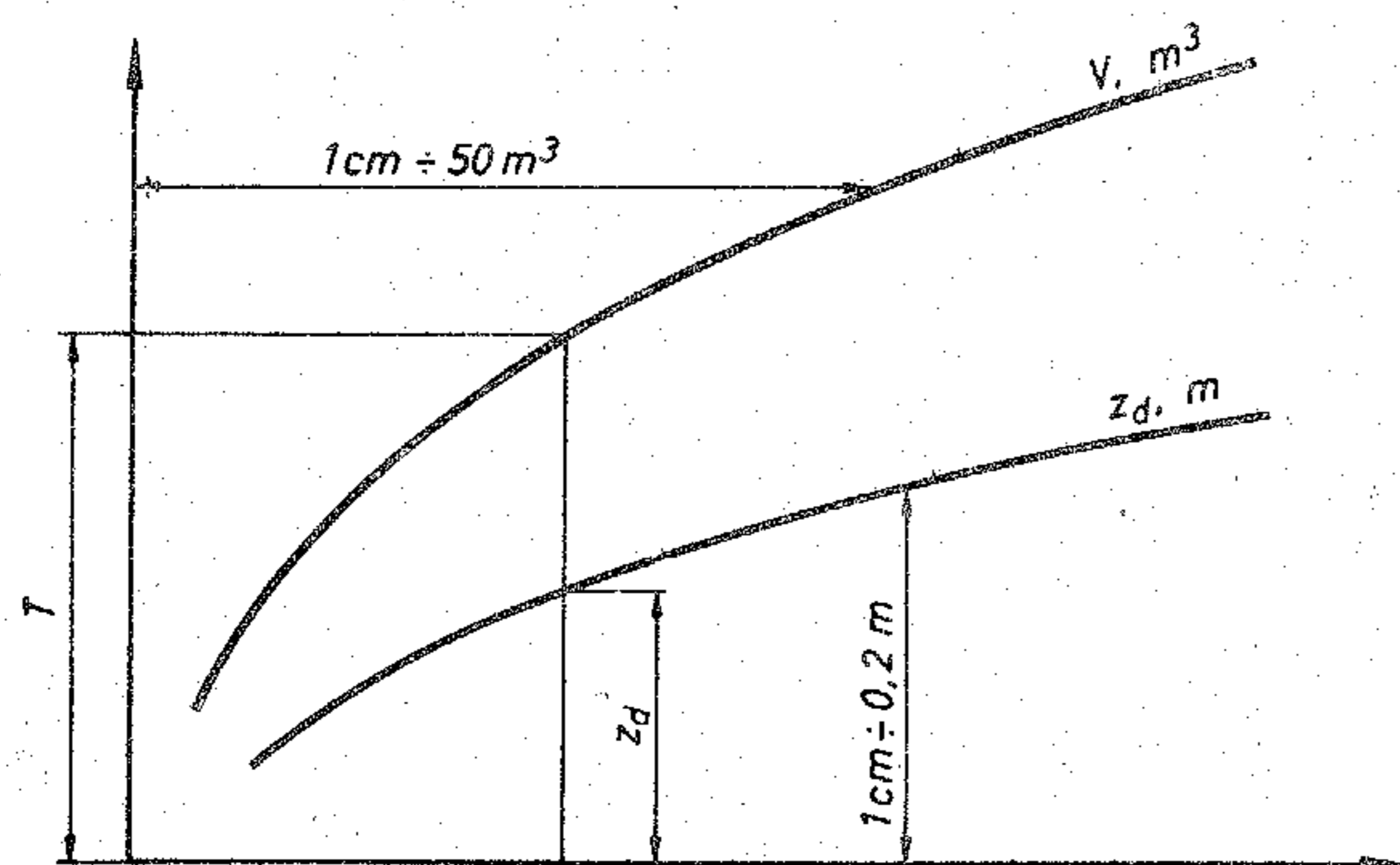
- V a hajó vízkiszorítása, m³;
- x_d a vízkiszorítás súlypontjának hosszirányú helyzete, m;
- z_d a vízkiszorítás súlypontjának magasságirányú helyzete, m;
- A_w a vízvonaltól terület, m²;
- x_w a vízvonaltól terület súlypontjának helyzete, m;
- J_B a vízvonalterület másodrendű nyomatéka a súlypontján áthaladó hosszirányú tengelyre;



2.18 ábra
A hajótest jellemző görbéi

J_L a vízvonalterület másodrendű nyomatéka a súlypontján áthaladó harántirányú tengelyre.

A különféle merüléseknél meghatározott értékeket a merülés függvényében ábrázoló görbéket nevezik jellemző görbéknek. Különféle nyelveken geometriai jellemzőknek (görbéknek) vagy hidrosztatikai jellemzőknek (görbéknek) is nevezik. Egy hajó jellemző görbéjét a 2.18 ábrán láthatjuk. Az általános gyakorlattól eltérően a T független változót a függőleges tengelyen ábrázolják. A vízszintes tengelyen ábrázolt mennyiségek léptéke különböző, sőt az egyes görbék által ábrázolt mennyiségeket nem is a tengely és a görbe között, hanem egy másik, a tengellyel párhuzamos egyenestől kell mérni. Az ábrán bemutatott jellemző görbéknél az x_d és x_w értékeket az eredményvonalától kell lemérni. A leolvasás módját és a léptéket az egyes görbékhez húzott kottával mutatják be.



2.19 ábra

A vízkiszorítás súlypontmagasságának ábrázolása a merülés függvényében

Gyakran a vízkiszorítás súlypontjának magassági helyzetét (z_d) nem közvetlenül a merülés (T) függvényében adják meg. A 2.19 ábrán egy hajó jellemző görbéiből csupán a vízkiszorítás és a z_d súlypont magasságának görbéit ábrázoltuk. Ennél az ábrázolási módnál a merülés értékével húzott vízszintes és a vízkiszorítás görbe metszéspontjában húzott függőlegesen olvashatjuk le a z_d magasságot. Ezen ábrázolásnak az előnye az, hogy a magasságok (T és z_d) léptéke azonos, s a z_d helyett a vízkiszorítás súlypontjának a víz felszínétől mérhető értéke ($T - z_d$) is közvetlenül kiolvasható a görbéből.

A tengeri hajóknál a vízkiszorítás térfogatának görbéje mellett a vízkiszorítás tömegének görbéjét is feltüntetik, ahol a tömeget

$$D = \rho \cdot V$$

összefüggéssel határozzák meg, ahol ρ a tengervíz sűrűsége. A számításba vett értéket a jellemző görbén feltüntetik.

A jellemző görbék használata során kétféle kiindulási adatunk lehetséges: 1. Ismert merüléshez akarjuk meghatározni a további jellemzőket. 2. Ismert vízkiszorításhoz van szükségünk a merülés és a további geometriai jellemző adatok értékére.

A jellemző görbék készítése során vízszintes (alaplíniával párhuzamos) vízvonalakra határozzák meg a geometriai jellemzőket. Így az ismert vízkiszorítás értékéhez leolvasható merülés és egyéb geometriai jellemzők csak vízszintesen úszó hajóra érvényesek. Trimmel úszó hajónál csak közelítő pontosságúak.

Ha ferdén, trimmel úszó hajó geometriai jellemzőit akarjuk meghatározni, a 3. fejezetben ismertetett okok miatt az alábbi módon, fokozatos közelítéssel (iterálással) határozhatjuk meg azt a merülést, mely azonos vízkiszorítást biztosítana vízszintes úszás esetén. E merülés, az úgynevezett közepes merülés, amelynek a függvényében a jellemző görbékből a további adatokat kiolvashatjuk.

Ha a far merülését T_A -val, az orr merülését T_F -fel jelöljük, akkor első közelítésként a

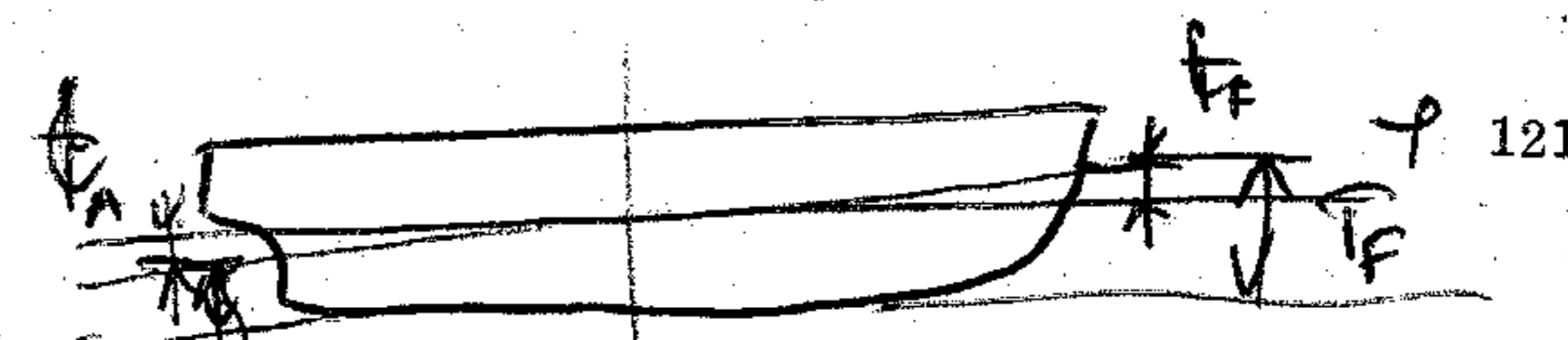
$$T_1 = \frac{T_F + T_A}{2}$$

értéket kiszámoljuk. Az így nyert merüléshez leolvassuk a jellemző görbékből a vízvonalterület súlypontjának x_{w1} koordinátáját. Ezzel a második közelítés:

$$T_2 = \frac{T_F + T_A}{2} + x_{w1} \cdot \frac{T_F - T_A}{L_{pp}} \quad \text{ty}$$

A nyert újabb merüléshez leolvasott x_{w2} értékkel tovább folytatjuk a számítást:

$$T_3 = \frac{T_F + T_A}{2} + x_{w2} \cdot \frac{T_F - T_A}{L_{pp}}$$



$$T_i = \frac{T_F + T_A}{2} + x_{n(i-1)} \cdot \frac{T_F - T_A}{L_{pp}}$$

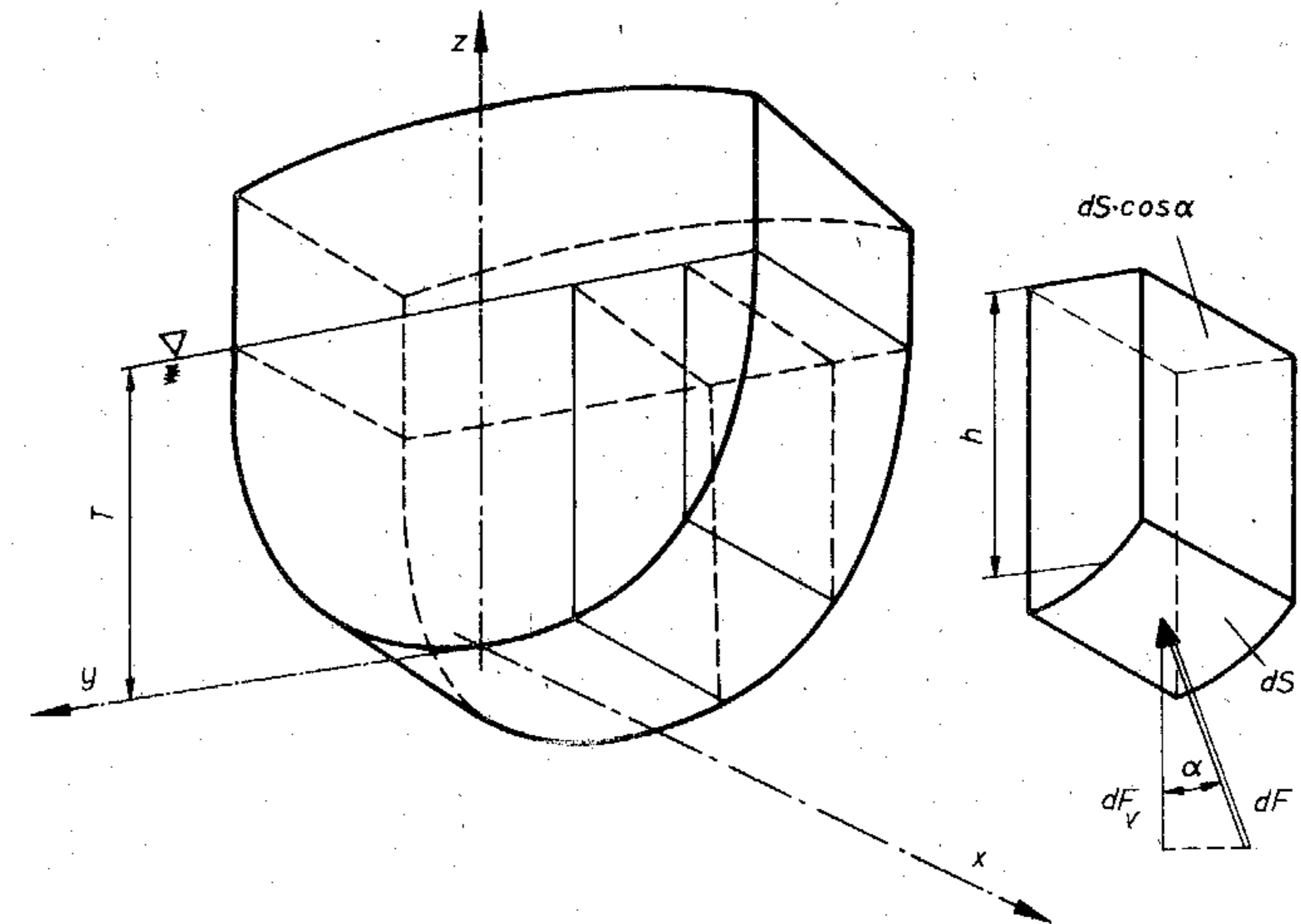
A közelítő eljárást addig folytatjuk, amíg a T_i értéke a kellő pontossággal számolva megegyezik az előző értékkel (Lásd a 3.8.5 és a 3.8.6 példában).

Az így nyert merülést, azaz a trimmel úszó hajó vízkiszorításával azonos vízkiszorítású, vízszintesen úszó hajó merülését nevezük "közepes merülésnek" (T_k).

3.1 A felhajtóerő

A vízben úszó hajó súlyát a víz által átadott erőhatások eredőjének függőleges összetevője tartja egyensúlyban. A hajó vízzel érintkező felületén, az úgynevezett nedvesített felületen, kétféle erőhatás adódhat át: A surlódásból és a nyomásból származó erő.

Amint az áramlástanból ismerjük, a nyugalomban lévő hajó és a víz között surlódóerő nem lép fel. A hajó haladásakor keletkező surlódóerő haladási irányú, azaz vízszintes erő. Így a felhajtóerő kizárólag a hajó vízzel érintkező felületén kialakuló nyomásokból származik.



3.1 ábra
A hajótestre ható felhajtóerő

A 3.1 ábrán a baloldalon a hajó egy szeletét ábrázoltuk. A szelet vízvonal alatti részéből külön kirajzoltunk egy kis hasábot az ábra jobb oldalán. A hasáb vízzel érintkező felülete dS . Ezen felületre a vízből átadott erő:

$$dF = p \cdot dS$$

Ha a hajó nyugalomban van, akkor a hajótest mentén a víz nyomása a hidrosztatikus nyomás. Ez vízszintes síkokban állandó értékű, azaz csak a víz felszínétől mért h távolságtól függ.

A dS felület mentén az átlagos túlnyomás:

$$p = \rho \cdot g \cdot h$$

Így a felületre ható eredő nyomóerő:

$$dF = \rho \cdot g \cdot h \cdot dS$$

Ebből a függőleges, felfelé mutató összetevő erő:

$$dF_v = dF \cdot \cos \alpha = \rho \cdot g \cdot h \cdot dS \cos \alpha$$

A $dS \cdot \cos \alpha$ a hasáb vízszintes metszetének területe, melynek a h magassággal való szorzata a hasáb dV köbtartalmával azonos

$$dF_v = \rho \cdot g \cdot dV$$

Így az egész hajóra ható eredő felhajtóerő:

$$F_v = \rho \cdot g \cdot V$$

ahol V a hajó vízbemerült részének térfogata, a "vízkiszorítás".

A nyomóerő x és y irányú összetevői a hajó egész felületén kiegyenlítik egymást.

Tehát a nyomásokból átadott erők eredője a vízhez képest nyugalomban lévő hajónál függőleges irányú, s nagysága $\rho \cdot g \cdot V$ értékű. Ezt az erőt statikus vagy Archimedesz-i felhajtóerőnek nevezzük.

Matematikai és áramlástan ismereteinkkel mindezeket egyszerűbben is beláthatjuk. A hajó $d\bar{S}$ felületelemére ható erő:

$$d\bar{F} = -p \, d\bar{S}$$

A negatív előjeleiből adódik, hogy az erő iránya ellentétes a kifelé mutató felületvektor irányával. A hajó teljes felületére ható eredő erő:

$$\bar{F} = - \int_S p \, d\bar{S}$$

Gausz-Osztrogradszkij tétele szerint a p felületi integrálja azonos a $\text{grad } p$ -nek a felület által körülvevett térfogatra számított integráljával:

$$\bar{F} = - \int_S p \, d\bar{S} = - \int_V \text{grad } p \, dV$$

Ez eddig általános érvényű, haladó hajóra is igaz. Ha a hajó áll, azaz a víz a hajóhoz képest nyugalomban van, akkor a nyomás gradiense (a nyomásnak a hosszegység-re eső változása):

$$\frac{\partial p}{\partial r} = \text{grad } p = \rho \cdot \bar{g}$$

Ezzel

$$\bar{F} = - \int_V \rho \cdot \bar{g} \cdot dV = - \rho \cdot \bar{g} \cdot V$$

Azaz az eredő erő a gravitációs térerővel ellentétes irányba mutat, s nagysága a vízkiszorítás és a $\rho \cdot \bar{g}$ (fajsúly) szorzata.

Egy megoszló erőrendszer eredőjének hatásvonalára az erőrendszer nyomatéka zérus értékű. Így a felhajtóerő hatásvonalának meghatározásához egy olyan pontot kell keresnünk, melyre a felületelemekre ható nyomóerők nyomatéka zérus:

$$Q = - \int_S \bar{r} \times p \cdot d\bar{S} = 0$$

Az egyenletben a \bar{r} a keresett pont és a $p \, d\bar{S}$ elemi felületre ható nyomóerő hatásvonalára közötti távolság. A vektoriális szorzatban a p skalár szorzót az \bar{r} szorzójaként is felírhatjuk, s alkalmazhatjuk ismét a Gausz-Osztrogradszkij tételt:

$$Q = - \int_S p \bar{r} \times d\bar{S} = - \int_V \text{rot } p \cdot \bar{r} \cdot dV = 0$$

ahol $\text{rot } p \bar{r} = p \cdot \text{rot } \bar{r} - \bar{r} \times \text{grad } p$.

Az \bar{r} vektor egy helyzetvektor, melynek rotációja zérus, így

$$\text{rot } p \bar{r} = - \bar{r} \times \text{grad } p$$

A nyomás, ha a hajó a vízhez képest nyugalomban van, a hidrosztatikus nyomás, melynek gradiense:

$$\text{grad } p = \rho \bar{g} = - \bar{k} \rho g$$

A $\text{grad } p$ és az $\bar{r} = \bar{i}x + \bar{j}y + \bar{k}z$ vektorok vektoriális szorzata:

$$\text{rot } p \bar{r} = - \bar{r} \times \text{grad } p = - \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ x & y & z \\ 0 & 0 & -\rho g \end{vmatrix} = -\bar{i} \rho g y - \bar{j} \rho g x$$

Így a nyomaték:

$$Q = - \int_V \text{rot } p \bar{r} \cdot dV = - \rho g \left[\bar{i} \int_V y \, dV - \bar{j} \int_V x \, dV \right] = 0$$

A Q kifejezése akkor lesz zérus, ha mindkét integrál külön-külön zérus értékű. A két integrál a vízkiszorítás térfogatának statikai nyomatóka arra a pontra, melyre a Q nyomatókat felírtuk, azaz az eredő hatásvonalának egy pontjára. A térfogat statikai nyomatóka csak a térfogat súlypontjára számítva zérus értékű, tehát a statikus felhajtóerő hatásvonala átmege a vízkiszorítás súlypontján.

A hajó haladása során a hajótest mentén eltérő sebességek alakulnak ki. Ezért a nedvesített felület egyes pontjainál a nyomás (p) eltér a hidrosztatikus nyomástól (p_s). Ha az eltérést p_d -vel jelöljük, a $p = p_s + p_d$ nyomásból származó eredőerő:

$$\bar{F} = - \int_S (p_s + p_d) d\bar{S}$$

azaz az eredőt két összetevőre bonthatjuk:

$$\bar{F} = \bar{F}_s + \bar{F}_d$$

A függőleges, felfelé mutató F_s statikus felhajtóerő mellett szereplő F_d erő hatásvonala általában nem halad át a vízkiszorítás súlypontján, irányja nem függőleges. Ha a hajó vízbemerült részének jobb és baloldali szimmetrikus, akkor az F_d erő vízszintes összetevője a haladás irányával ellentétes irányú. Függőleges összetevője, a dinamikus felhajtóerő, lehet felfelé vagy lefelé mutató.

A szokásos alakú, szokásos (kis) sebességgel haladó hajóknál a dinamikus felhajtóerő hatásvonala közel van a vízkiszorítás súlypontjához, de nagysága nem hanyagolható el. Ennek ellenére az úszási helyzet vizsgálata során figyelmen kívül hagyjuk a dinamikus felhajtóerőt, s csak a statikus felhajtóerővel számolunk. Ezt a közelítést az alábbi megfontolás alapján tesszük:

Az úszási helyzet vizsgálatának (pl. a stabilitás vizsgálatának célja a hajótest és a hajótest melletti vízfelszín relatív helyzetének meghatározása. Szokásos alakú és sebességű hajóknál a dinamikus felhajtóerő negatív, lefelé mutató erő. Így a haladó hajó lejjebb süllyed, mint az álló. A dinamikus felhajtóerő azért negatív, mert a hajó telt közepén a környező víz nyomása kisebb, mint a hidrosztatikus nyomás. Ennek eredményeként a hajó környezetében a vízfelszín is lesüllyed. A szokásos alakú és mérsékelt sebességű hajóknál a vízfelszín és a hajótest lesüllyedése közel azonos, azaz a vízfelszín és a hajó relatív helyzete nem különbözik jelentősen álló vagy haladó hajónál. Így az úszóké-

peségi számításokat elegendő álló hajó feltételezésével, kizárólag az Archimedes-i, (statikus) felhajtóerő figyelembevételével elvégezni.

Nagy sebességű vagy különleges alakú hajóknál nem hagyhatjuk figyelmen kívül a dinamikus felhajtóerőt a hajó úszóképességi, stabilitási vizsgálata során.

A statikus felhajtóerő és hatásvonalának meghatározásához az elmondottak szerint a hajó vízbemerült részének térfogatát, az ún. vízkiszorítást és annak súlyponthelyzetét kell kiszámítani (2.4.4. fejezet).

3.2 A hajó súlyának és súlyponthelyzetének számítása

Az üres, felszerelt, üzemkész hajó súlya (G_0) vagy tömege

($m_0 = \frac{G_0}{g}$) és súlypontjának koordinátái (x_G és z_G) a hajó adatai között általában rendelkezésünkre állanak.

Tetszőleges üzemi állapotban a hajó eredő tömegét (m) az üres, felszerelt hajó tömegének (m_0) és a berakott készletek, rakományok (m_1, m_2, \dots, m_n) tömegeinek összegezésével meghatározhatjuk:

$$m = m_0 + m_1 + m_2 + \dots + m_n$$

A súlypont helyzetének megállapításához először meghatározzuk az egyes résztömegek nyomatókát a főbordára és az alapvonalra (Lásd a 3.8.1-4. és a 3.8.7 példákat):

$$M_{ix} = m_i x_i \quad \text{és} \quad M_{iz} = m_i z_i$$

ahol x_i a résztömeg súlypontjának távolsága a főbordától;

z_i a résztömeg súlypontjának magassága az alapvonalról.

A súlyponttávolságokat a hajó rajza alapján határozhatjuk meg.

Az eredő súlyponthelyzetet megkapjuk, ha a résztömegek nyomatókainak összegét elosztjuk a tömegek összegével:

$$x_G = \frac{\sum_{i=0}^n M_{ix}}{m} \quad \text{és} \quad z_G = \frac{\sum_{i=0}^n M_{iz}}{m}$$

A hajó úszási helyzetének meghatározásához a hajón elhelyezett tömegekre ható súlyerő hatásvonalának helyzetét kell ismernünk különféle dőlésszögeknél. Mereven elhelyezett tömegeknél a súlyerő hatásvonal a minden dőléshelyzetben a test súlypontján (tömegközéppontján) halad át). Így a hajó eredő súlyponthelyzetének meghatározásához a résztömegek súlypontjának koordinátáit kell számításba venni.

Olyan testeknél, melyek a hajó dőlése esetén megváltoztatják helyzetüket, meg kell keresnünk azt a pontot, melyen a testre ható súlyerő hatásvonal a minden dőlésnél áthalad. Például darukötélen függő, lengő tehernél a kötél felfüggesztési pontjának koordinátáit kell számításba venni az eredő súlyponthelyzet meghatározásához. (Lásd a 3.8.3 és a 3.8.8 példáknál.)

*Bojca 105
IX - 21*

3.3 A hajó úszási (trimm) helyzete

A hajó önsúlyának, készleteinek, rakományának, stb. súlyadataiból a hajó összes súlyát vagy tömegét és a G súlypontjának koordinátáit meg tudjuk határozni. Ha a hajó összsúlyát G -vel, tömegét m -mel jelöljük, akkor az adott esetben a szükséges felhajtóerő:

$$\rho \cdot g \cdot V = G$$

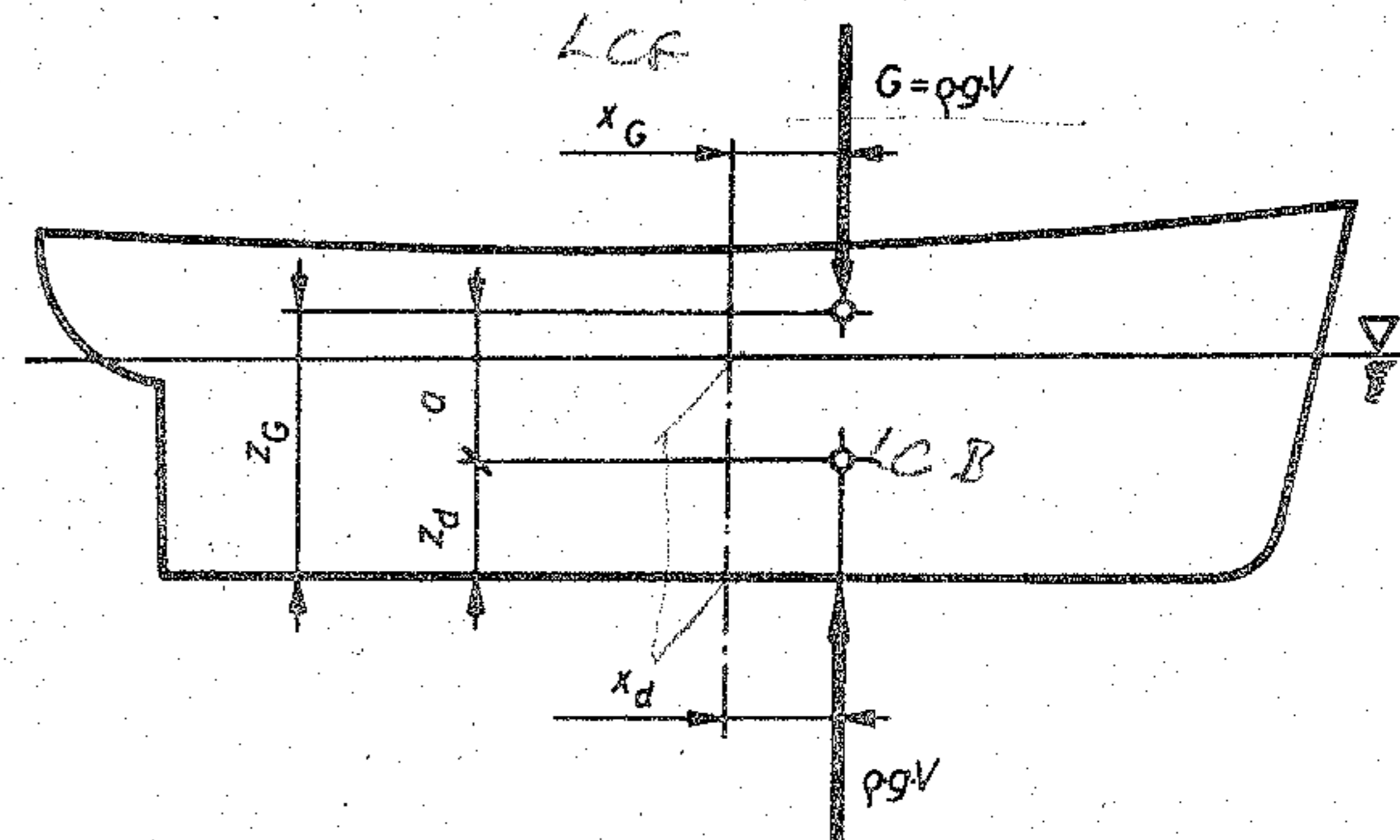
Így a szükséges vízkiszorítás:

$$V = \frac{G}{\rho \cdot g} = \frac{m \cdot g}{\rho \cdot g} = \frac{m}{\rho} \quad (3.3.1)$$

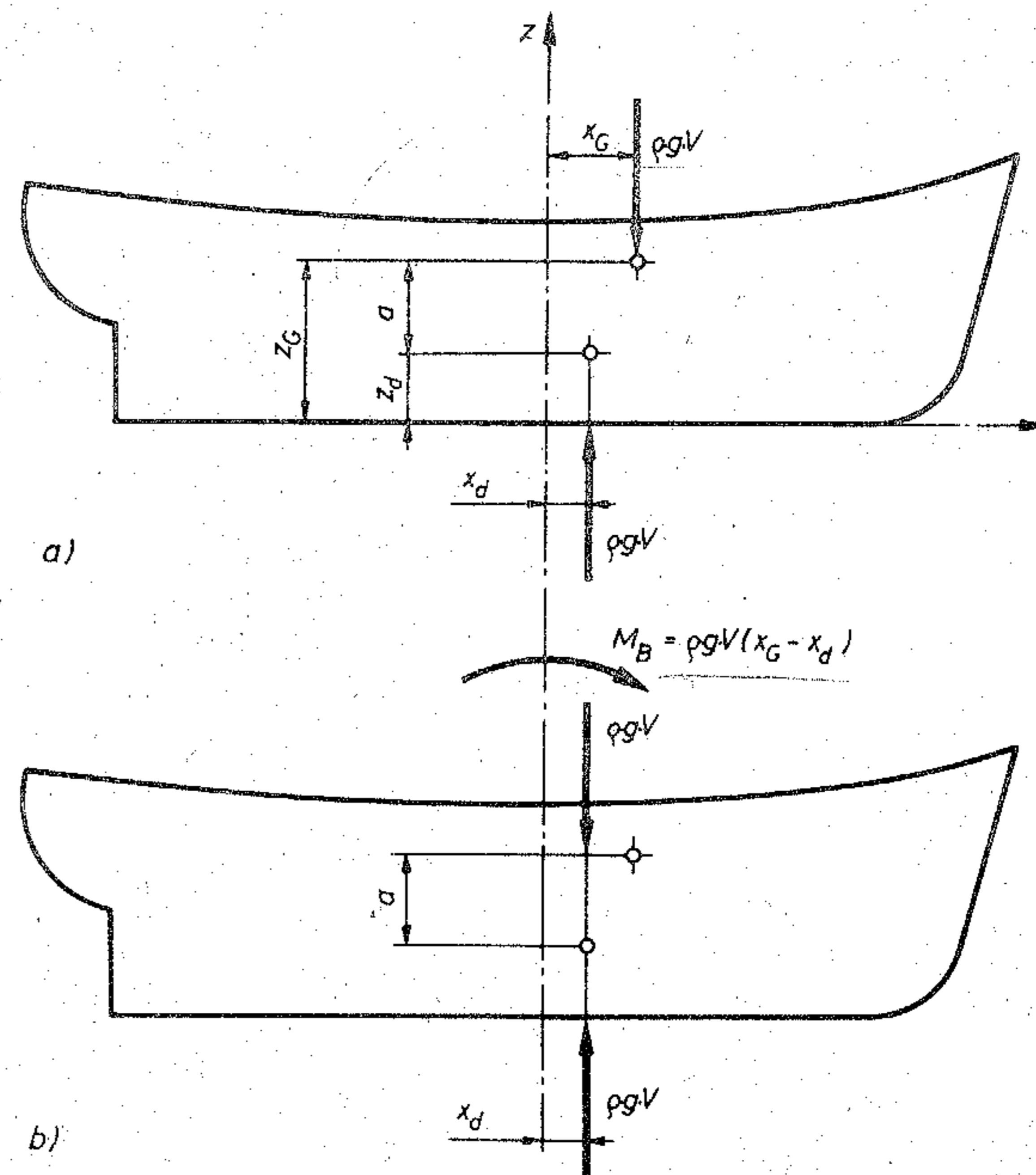
ahol ρ a környező víz sűrűsége. A hőmérséklet és a sótartalom függvényében táblázatokból olvashatjuk ki értékét. Ha nagy pontosság nem szükséges, akkor édesvíznél általában 1000 kg/m^3 , tengervíznél 1025 kg/m^3 értékkel számolhatunk (6.2.2 fejezet).

A 2.18 ábrán bemutatott jellemző görbék segítségével a vízkiszorítás ismeretében leolvashatjuk a vízszintesen úszó hajó T merülését és a vízkiszorítás súlypontjának, azaz a felhajtóerő hatásvonalának x_d koordinátáját.

Ha az $x_d = x_G$, azaz a súly és a felhajtóerő egy függőlegesbe esik, akkor a hajó valóban vízszintesen úszik (3.2 ábra). De ha $x_d \neq x_G$ a hajó orra vagy farra billen. A 3.3 ábra a jelű képen a súlyerőt a valóságos hatásvonalán, x_G helyen ábrázoltuk. A b. jelű képen áthelyez-



3.2 ábra
A felhajtóerő és a súlyerő egyensúlya vízszintes úszási helyzetben

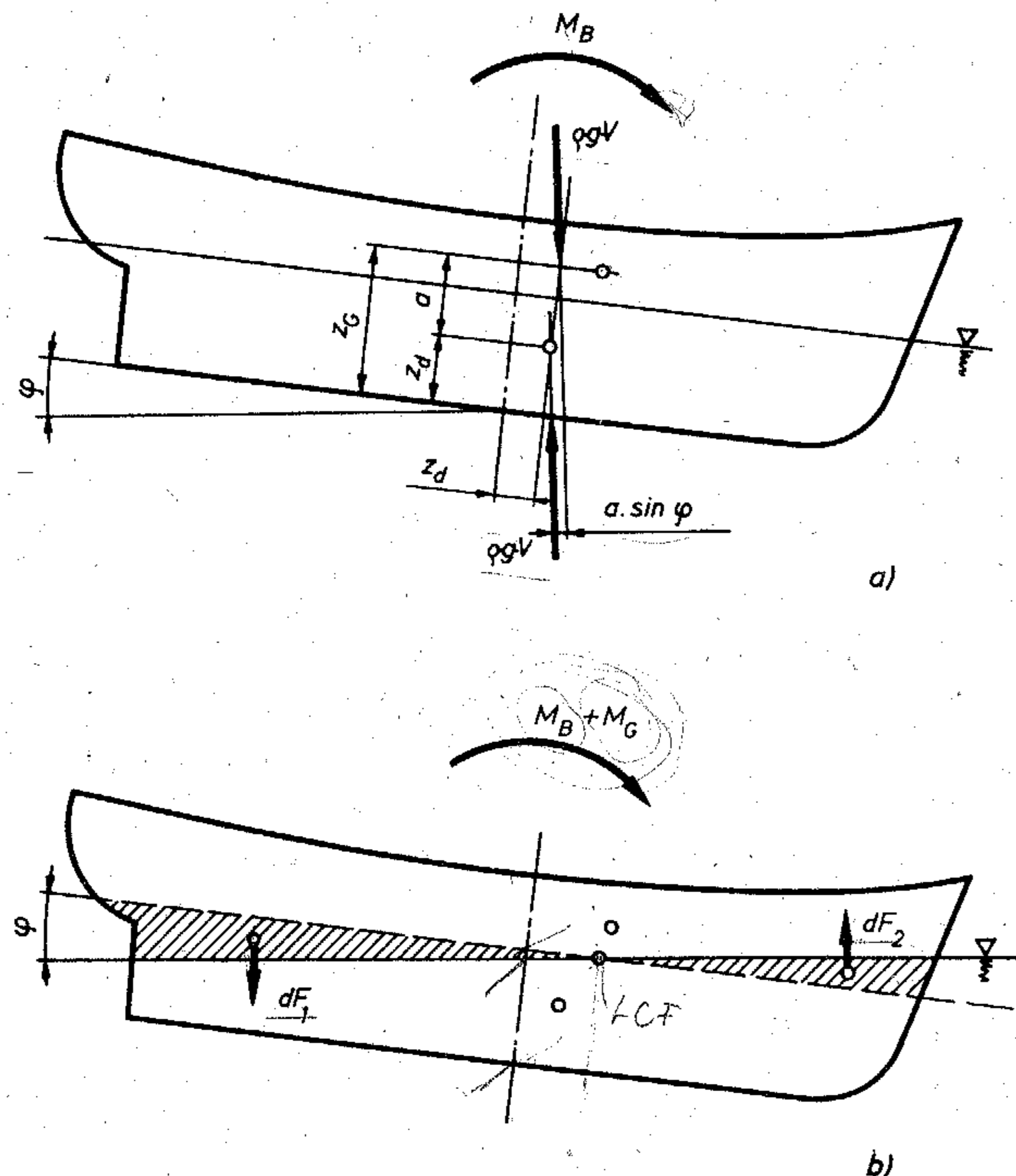


3.3 ábra
A hajóra ható súlyerő áthelyezése

tük a $G = \rho \cdot g \cdot V$ erőt az x_d helyre. A mechanika törvényei szerint ez utóbbi esetben a két erőn kívül:

$$M_B = \rho \cdot g \cdot V \cdot (x_G - x_d) \quad (3.3.2)$$

nyomatékot is fel kell vennünk, hogy a viszonyok ne változzanak. Így a hajóra ható erők egyensúlyban vannak, de egy M_B billenőnyomaték hatására a hajó billenni kezd.



3.4 ábra
A hajó megbillenése

A 3.4 ábrán a hajót φ szöggel megbillent állapotában láthatjuk. Megbillent helyzetben a két erő, a súlyerő és a felhajtóerő hatásvonalának a hajóhoz viszonyított helyzete megváltozik. Emiatt a hajóra ható nyomatékok is megváltoznak. Annak érdekében, hogy a két erő változá-

sának hatását különválasszuk, a megbillenés folyamatát önkényesen két lépésben ábrázoltuk. Az a képen a hajót a vízzel együtt billentettük meg, s a b képen a víz felszínét ismét a valóságnak megfelelően, vízszintesen ábrázoltuk.

Az a képen láthatjuk, hogy az elbillenés következtében, mivel a hajó tömegének súlypontja magasabban van a vízkiszorítás súlypontjánál ($z_G > z_d$), a súlyerő és a felhajtóerő ismét nincs egyensúlyban. Ha az erők egyensúlyát helyre akarjuk állítani, pl. a súlyerőt ismét a felhajtóerő hatásvonalába toljuk, az M_B nyomatékhoz egy újabb nyomatékot kell hozzáadni:

$$M_G = \rho \cdot g \cdot V \cdot a \cdot \sin \varphi \quad (3.3.3)$$

ahol $a = z_G - z_d$ a két súlypont magasság különbsége.

A b képen az $M_B + M_G$ nyomatékot jelöltük be, s az egyensúlyban lévő G és $\rho \cdot g \cdot V$ erőket nem ábrázoltuk. A hajó vízkiszorításának alakja megváltozik. A farnál a bevonalkázott köbtartalommal csökken, az orrnál nő a vízbemerült térfogat. Azaz az orr felőli oldalon a többlet bemerülés miatt többlet felhajtóerő keletkezik, a far felőli oldalon pedig a kiemelkedő térfogatnak megfelelő felhajtóerő megszűnik. Mivel a hajó súlya közben nem változott, a megszűnt és a keletkezett többlet felhajtóerők abszolút értéke egyenlő egymással. Ez az erőpár, az $M_B + M_G$ nyomatékkal ellentétes M_V nyomatékot ad. A hajó olyan billenési szöggel fog úszni, melynél az

$$M_B + M_G - M_V = 0 \quad (3.3.4)$$

egyenlőség fennáll.

Az M_B , M_G nyomatékok kifejezését ismerjük. Két kérdést kell tisztáznunk.

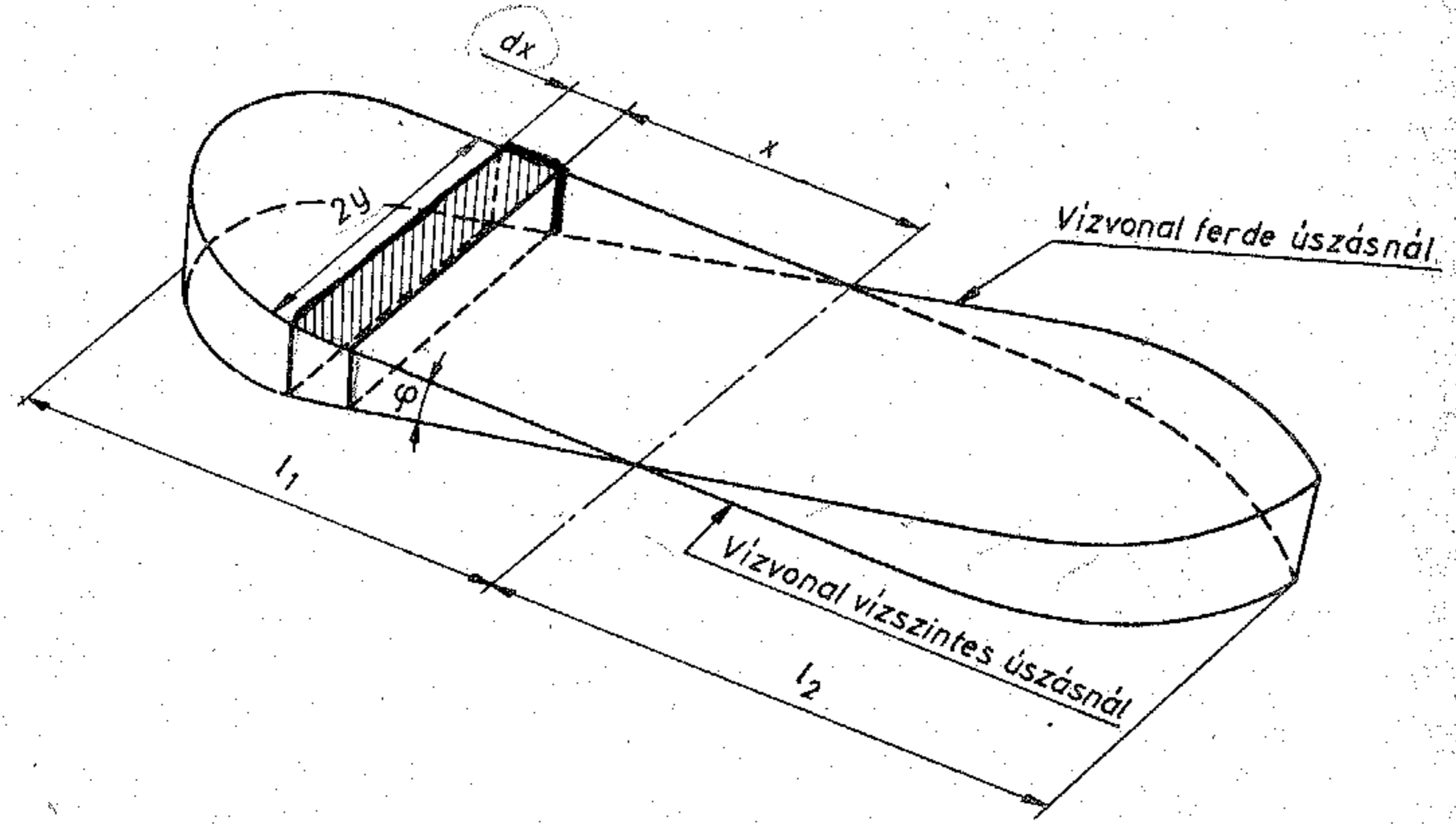
1. Milyen tengely körül billen meg a hajó a vízhez képest?
2. Milyen összefüggés van a vízkiszorítás alakjának megváltozásából adódó M_V nyomaték és a dőlésszög között?

A 3.5 ábrán a hajó kiemelkedő, illetve bemerülő két éktestét ábrázoltuk. Az eredeti, vízszintes és a megbillent úszási helyzethez tartozó vízfelszín által a hajóból kimetszett két éktest felhajtóerői azonos nagyságúak, de ellentétes értelműek,

$$-d\bar{F}_1 = d\bar{F}_2 \quad (3.3.5)$$

azaz:

$$\rho \bar{g} \cdot dV_1 = - \rho \cdot \bar{g} \cdot dV_2 \quad (3.3.6)$$



3.5 ábra
Kiemelkedő és bemerülő éktestek

Az ábrán bevonalkázott fedőlapú elemi hasáb szélessége $2y$, magassága $x \cdot \varphi$ (a dőlésszög kicsi, így az iv azonosnak vehető a magassággal), hosszirányú mérete dx .

Az x méretet az egyelőre ismeretlen helyen lévő elbillenési tengelytől mérjük.

Az elemi hasáb térfogatát

$$2 \cdot y \cdot x \cdot \varphi \cdot dx \quad (3.3.7)$$

integrálva, behelyettesíthetjük az éktestek térfogatát tartalmazó előző összefüggésbe:

$$\rho \cdot \bar{g} \cdot \int_1 2 \cdot y \cdot x \cdot \varphi \cdot dx = - \rho \cdot \bar{g} \cdot \int_2 2y \cdot x \cdot \varphi \cdot dx \quad (3.3.8)$$

az állandókkal egyszerűsítve, átrendezve és a két integrált összevonva

$$\int_{l_1+l_2} x \cdot (2 \cdot y \cdot dx) = 0 \quad (3.3.9)$$

A $(2 \cdot y \cdot dx)$ az elemi hasáb bevonalkázott fedőlapja, mely a vízvonalterület elemi része. Az integrandus az elemi felület statikai nyomatéka, az integrál a teljes vízvonalterület statikai nyomatéka az elbillenés tengelyére. Egy terület statikai nyomatéka pedig akkor zérus, ha a nyomatékot a terület súlypontján áthaladó tengelyre számítjuk. Ezzel választ kaptunk első kérdésünkre: Az elbillenés tengelye mindig áthalad a vízvonalterület súlypontján.

A 3.5 ábra jelöléseivel a felhajtóerő változások által okozott M_V nyomatékot felírhatjuk. A bejelölt elemi hasáb kiemelkedett a vízből. A térfogatának megfelelő felhajtóerő nyomatékának abszolút értéke:

$$\rho \cdot g \cdot dl \cdot x = dM_V = (\rho \cdot g \cdot 2 \cdot y \cdot x \cdot \varphi \cdot dx) \cdot x \quad (3.3.10)$$

A hajó far felőli részén a felhajtóerő csökken, az orr felőli részen nő. Tehát az éktestek felhajtóerejét hátul lefelé, elöl felfelé mutatón kell figyelembe vennünk, azaz az elemi hasábok felhajtóerejének nyomatéka elöl és hátul azonos előjelű. A teljes nyomaték

$$\int_{l_1+l_2} dM_V = M_V = \int_{l_1+l_2} \rho \cdot g \cdot 2y \cdot x^2 \cdot \varphi \cdot dx$$

Az állandókat kiemelve:

$$M_V = \rho \cdot g \cdot \varphi \cdot \int_L x^2 \cdot 2y \cdot dx$$

Az integrandus az elemi hasáb fedőlapját alkotó vízvonalterület-elem, szorozva a tengelytől mért távolság négyzetével, azaz a területelem másodrendű nyomatéka. Így

$$M_V = \rho \cdot g \cdot \varphi \cdot J_L \quad (3.3.11)$$

ahol a J_L a teljes vízvonalterület másodrendű nyomatéka a súlypontján átmenő harántirányú tengelyre.

A (3.3.4) egyenlettel irtuk fel a hajóra ható nyomatékok egyensúlyát:

$$M_B + M_G - M_V = 0$$

Ezt felírhatjuk az alábbi módon is:

$$M_B = M_V - M_G$$

Az egyenlet baloldalán lévő billentőnyomatékkal a jobb oldalon álló $M_V - M_G = M_{st}$ visszabilentő ("stabilizáló") nyomaték tart egyensúlyt. Az M_V értékét a (3.3.11) az M_G értékét pedig a (3.3.3) kifejezéssel helyettesítve, a stabilizáló nyomaték:

$$M_{st} = M_V - M_G = \rho \cdot g \cdot \varphi \cdot J_L - \rho \cdot g \cdot V \cdot a \cdot \sin \varphi \quad (3.3.12)$$

A hajó elbillenését csak olyan határok között van értelme vizsgálnunk, amíg a fedélzet nem kerül a víz alá. A hajók hossza általában több mint tízszerese a magasságának, tehát a legnagyobb elbillenési szög is igen kicsi, így élhetünk a

$$\operatorname{tg} \varphi \approx \varphi \approx \sin \varphi$$

közelítéssel. Ezt felhasználva, s az egyenletet átrendezve felírhatjuk a stabilizáló nyomatékokat:

$$M_{st} = \rho \cdot g \cdot V \cdot \left(\frac{J_L}{V} - a \right) \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (3.3.13)$$

A hajó úszási helyzetének vizsgálata során a billentő nyomaték a (3.3.2) összefüggés szerint:

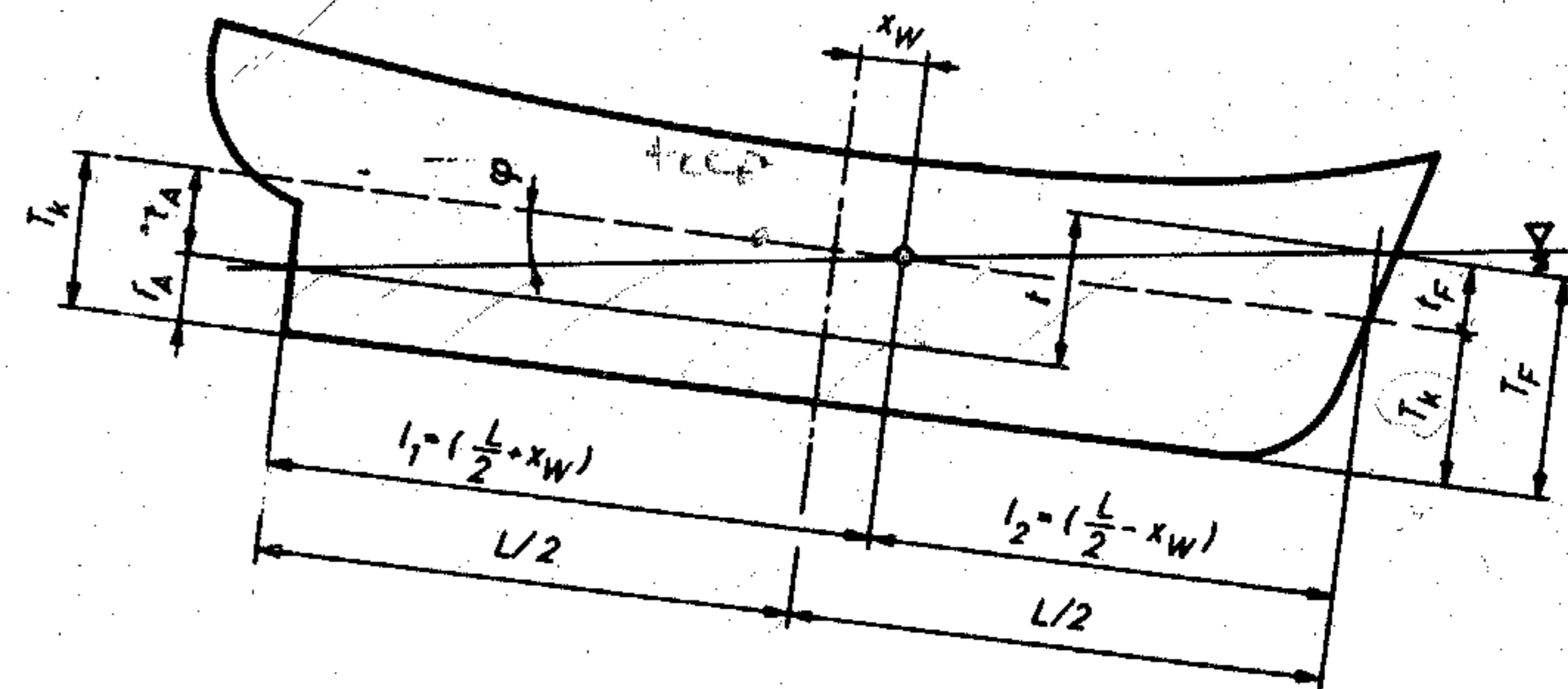
$$M_B = \rho \cdot g \cdot V \cdot (x_G - x_d)$$

A két nyomaték egyenlőségéből ($M_B = M_{st}$) az elbillenés szögére felírható:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{x_G - x_d}{\frac{J_L}{V} - a} \quad (3.3.14)$$

ahol J_L a vízvonalterület másodrendű nyomatéka

$$a = z_G - z_d \text{ a súlypontok magasságkülönbsége.}$$



3.6 ábra

A merülések eltérése vízszintes úszási állapotban és megdőlt helyzetben

A 3.6 ábra jelöléseivel a hajó össztrimmje:

$$t = L \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (3.3.15)$$

Az orrtrimm:

$$t_F = \left(\frac{L}{2} - x_w \right) \operatorname{tg} \varphi \quad (3.3.16)$$

A fartrimm:

$$t_A = \left(\frac{L}{2} + x_w \right) \operatorname{tg} \varphi \quad (3.3.17)$$

Így megállapíthatjuk a hajó úszási helyzetét meghatározó orr és far merülések értékeit:

$$\text{Elől: } T_F = T_k + t_F = T_k + \left(\frac{L}{2} - x_w \right) \operatorname{tg} \varphi \quad (3.3.18)$$

$$\text{Hátul: } T_A = T_k - t_A = T_k - \left(\frac{L}{2} + x_w \right) \operatorname{tg} \varphi \quad (3.3.19)$$

ahol x_w a vízvonalterület súlypontjának távolsága a főbordától. Az x_w előjele pozitív, ha a főborda előtt van, s negatív, ha a főborda mögött van a súlypont.

Az összefüggések és az áb. alapján belátható, hogy $x_w \neq 0$ esetben az orr és farmerülés középértéke nem egyenlő az azonos vízki-szorításhoz tartozó vízszintes úszás merülésével

$$\frac{T_F + T_A}{2} \neq T_k$$

Az eltérés annál nagyobb, minél távolabb van a vízvonalterület súlypontja a hajó közepétől, azaz minél nagyobb x_w abszolút értéke.

Ha a számítások eredményeként nagy merüléskülönbséget (nagy trimmet) kapunk, a Bonjean-görbék segítségével ellenőriznünk kell a nyert adatokat. Ugyanis a jellemző görbékből a vízki-szorítás súlypontjának a helyzetét pontosan csak a vízszin-tes úszásra olvashatjuk ki.

A számított orr- és farmerüléssel a hajó Bonjean-görbéire felraj-zoljuk az úszásvonalat. Leolvassuk az egyes szerkesztési bordák víz alatti területét. Ezekkel kiszámítjuk a hajó vízki-szorítását és a vízki-szo-rítás súlypontjának x_{dB} koordinátáját. Ha az így nyert vízki-szorítás el-tér a vizsgált értéktől az úszásvonalat e távolsággal párhuzamosan fel-jebb vagy lejjebb rajzoljuk. A várhatóan szükséges e távolság:

$V' = \int A dx = \int A dz$
 $x_{dB} = \frac{\int A x dx}{\int A dx}$

$V' > V$
 e -mel
 lefelé helyezni

$$e = \frac{\Delta V}{A_w} \quad (3.3.20)$$

ahol ΔV a vízki-szorítás eltérése; A_w a megfelelő, T_k közepes me-rüléshez tartozó vízvonalterület. A korrigálást addig folytatjuk, míg a kellő pontossággal megegyezik a két vízki-szorítás.

Ha a Bonjean-görbék segítségével számított $x_{dB} \neq (x_G + a \operatorname{tg} \varphi)$ -vel, akkor az úszásvonalat:

$$\Delta \varphi = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{x_{dB} - (x_G + a \operatorname{tg} \varphi)}{R} \quad (3.3.21)$$

szög eltéréssel módosítjuk, amíg a súlyponthelyzetek megegyeznek.

A képletben a metacentrikus sugár: $R = \frac{J_L}{V}$.

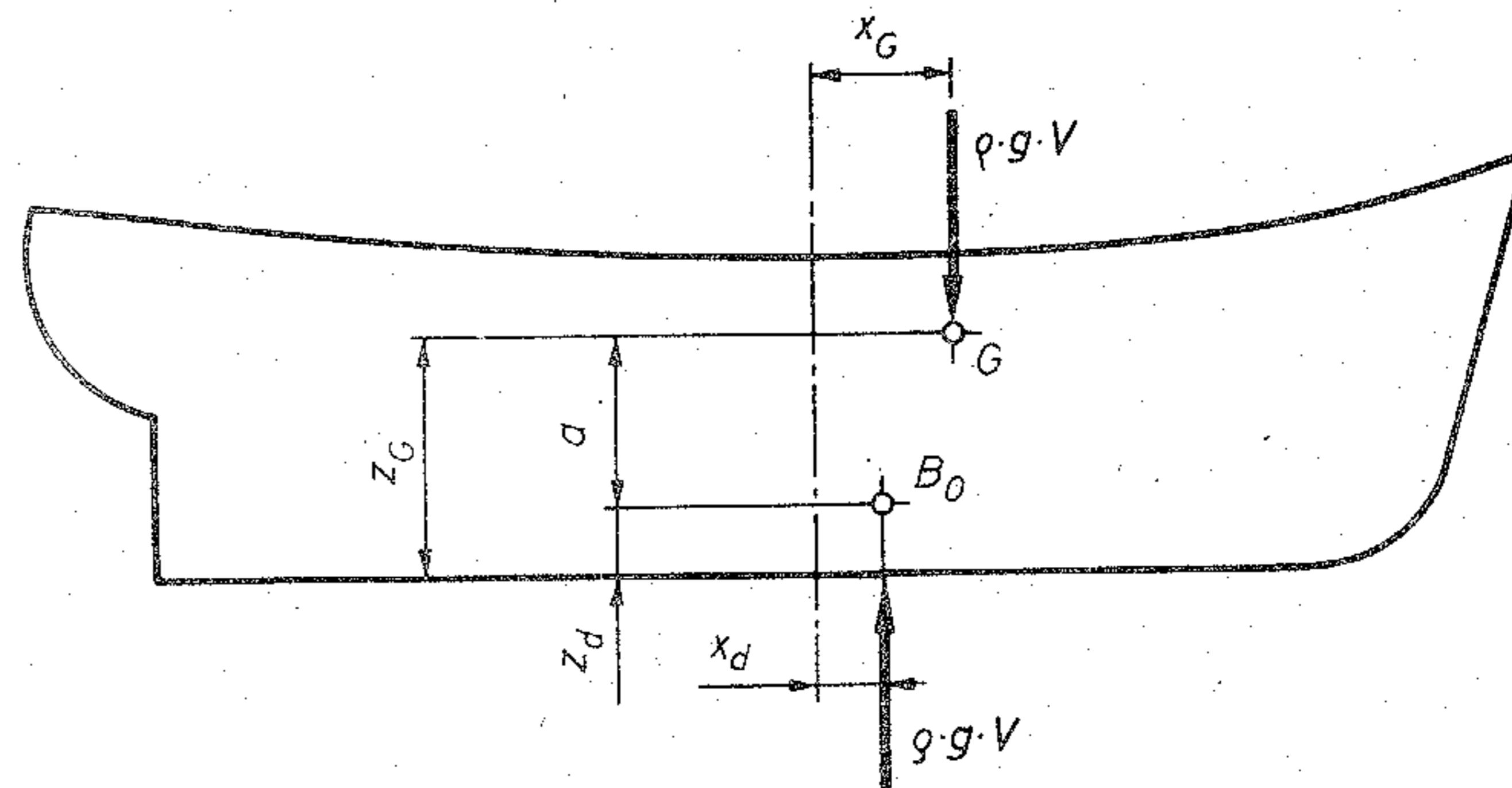
$\operatorname{tg} \varphi = \frac{x_c - x_a}{R - a}$

$\operatorname{tg} \varphi = \frac{x_{dB} - x_G - a \operatorname{tg} \varphi}{R}$

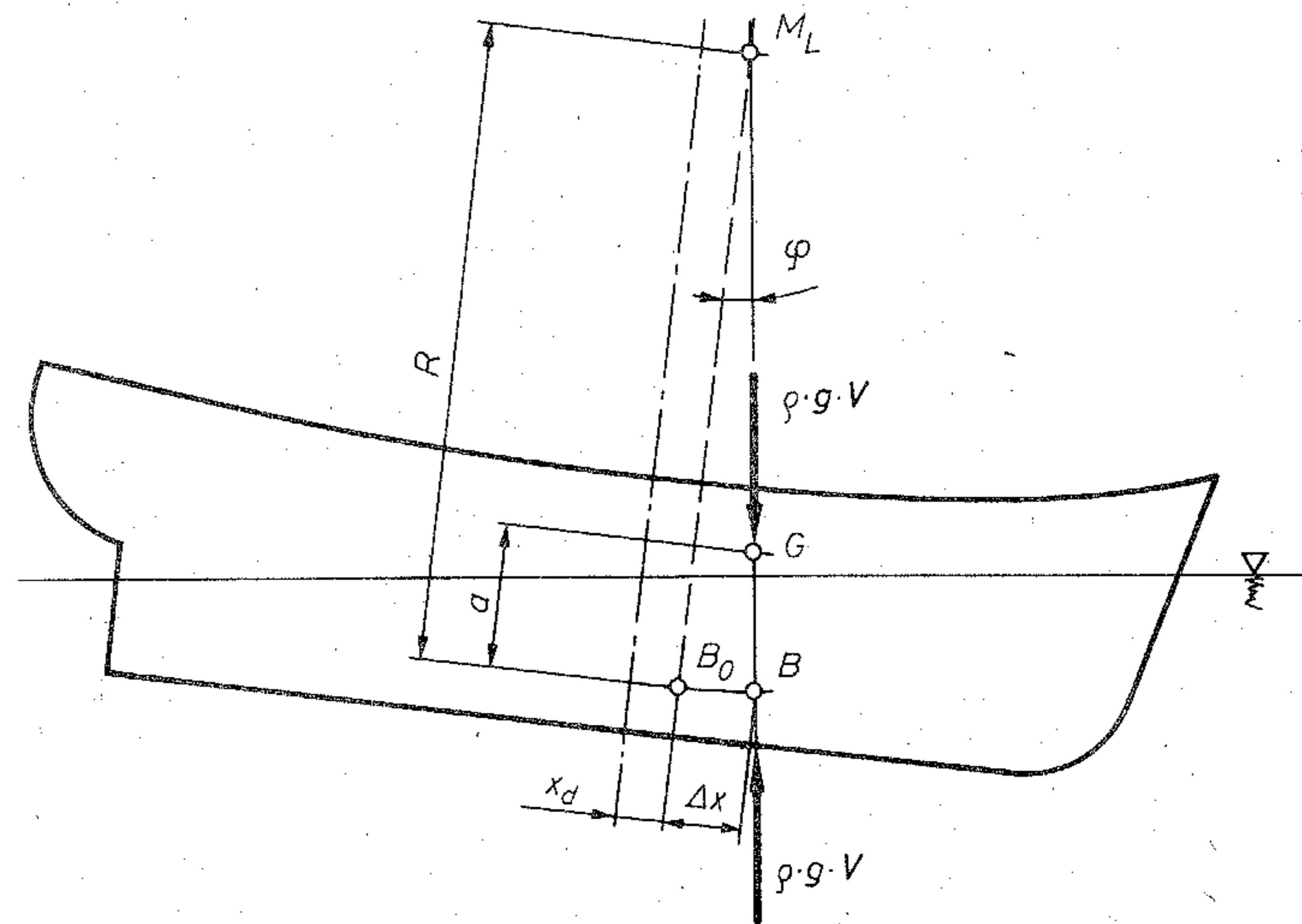
$x_c - x_a = (R - a) \operatorname{tg} \varphi$

$R \operatorname{tg} \varphi - a \operatorname{tg} \varphi$

$x_a = x_c - a \operatorname{tg} \varphi = -2 \operatorname{tg} \varphi$



a)



b)

3.7 ábra
 A felhajtóerő és a súlyerő egyensúlya, ferde úszási helyzetben

Az előzőekben a fogalmak tisztázása érdekében több mozzanatra bontva vizsgáltuk a hajó megbillenését. A nyert eredményeket rövidebb uton is megkaphatjuk:

A 3.7 ábra a képén bejelöltük a hajó tömegének G súlypontját és a vízszintes úszásvonalhoz tartozó vízkiszorítás térfogatának B_0 súlypontját. A két pont nincs egymás fölött, így vízszintes úszásnál a hajó nem lehet egyensúlyban. A hajó, az

$$M_B = \rho g V (x_G - x_d)$$

billentő nyomaték hatására megdől. Az ábrán rajzolt esetben a hajó fara kiemelkedik az orra beljebb merül. Így a vízkiszorítás térfogatának az alakja megváltozik. A dőlésszög növekedésével a vízkiszorítás súlypontja előre halad.

Az egyensúly annál a dőlésnél következik be, melynél a két súlypont egy függőlegesbe kerül. A 3.7 ábra b képén a hajót egyensúlyi helyzetben, φ szöggel megdőltve ábrázoltuk.

A térfogat súlypontjának eltolódása az x tengely irányában:

$$\Delta x = \frac{\Delta M}{V} \quad (3.3.22)$$

ahol ΔM a térfogat változásának nyomatéka
 V a teljes térfogat

A 3.5 ábra jelöléseivel az elemi hasáb térfogatának nyomatéka:

$$(2 y x \varphi dx) x = \varphi (2 y dx) x^2$$

Igy a teljes nyomatékváltozás:

$$\Delta M = \varphi \int_{l_1}^{l_2} (2 y dx) x^2$$

Az integrandus a 3.5 ábrán bevonalkázott terület másodrendű nyomatéka az elbillenés tengelyére, azaz a vízvonalterület súlypontján áthaladó tengelyre. Így az integrál a teljes vízvonalterület J_L másodrendű nyomaték a súlyponti tengelyre. Ezzel a térfogat nyomatékának változása:

$$\Delta M = \varphi J_L$$

Igy a 3.7 ábrán bejelölt súlyponteltolódás

$$\Delta x = \frac{\Delta M}{V} = \varphi \frac{J_L}{V} \quad (3.3.23)$$

Ezek után, a súlypontok rendezőinek ismeretében meg tudjuk határozni a dőlésszöget. A 3.7 ábra szerint:

$$(x_G - x_d) = \Delta x - a \sin \varphi$$

Behelyettesítve Δx kifejezését:

$$x_G - x_d = \varphi \frac{J_L}{V} - a \sin \varphi$$

Mivel kis dőlésszögek várhatók, melyeknél $\operatorname{tg} \varphi \cong \varphi \cong \sin \varphi$ közelítéssel élhetünk, a billenési szögre felírhatjuk az előzőekben is megismert (3.3.14) jelű összefüggést:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{x_G - x_d}{\frac{J_L}{V} - a}$$

A 3.7 ábra b jelű képén bejelöltük a vízszintes úszásnál és a ferde úszásnál fellépő felhajtóerők hatásvonalának metszéspontját, az M_L jelű pontot. A B_0 és az M_L pontok közötti távolságot R -rel jelöltük.

Kis szögváltozások esetén a vízkiszorítás súlypontja köríven mozdul el. Az R távolság a B_0 görbe görbületi sugara (metacentrikus sugár), s az M_L pont a görbület középpontja (metacentrum).

A Δx távolság a vízkiszorítás súlypont elmozdulásának hosszirányú vetülete:

$$\Delta x = R \varphi \quad (3.3.24)$$

Ezt összevetve a (3.3.23) összefüggéssel, a metacentrikus sugár

$$R = \frac{J_L}{V} \quad (3.3.25)$$

s a trimmszögre felírt (3.3.14) jelű összefüggés így is írható:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{x_G - x_d}{R - a}$$

3.3.1 Az úszási (trimm) helyzet meghatározása a jellemző görbék segítségével

A hajó összes tömegének vagy súlyának ismeretében meghatározzuk a vízkiszorítást, a (3.3.1) összefüggés szerint:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{G}{\rho g}$$

A jellemző görbékről a vízkiszorításhoz kiolvassuk a közepes merülés (T_k), a vízkiszorítás súlyponthelyzetének (x_d és z_d), a vízvonalterület súlyponthelyzetének (x_w) és a súlypontján áthaladó haránt irányú tengelyre számított másodrendű nyomatékának (J_L) értékét.

Ha a hajó tömegének súlypontja és a vízkiszorítás súlypontja egy függőlegesbe esik, azaz ha

$$x_G = x_d$$

akkor a hajó vízszintesen uszik, elől-hátul T_k merüléssel. Ha

$$x_G \neq x_d$$

akkor a hajó φ szöggel megdőlvén uszik. A dőlésszög a (3.3.14) összefüggéssel számítható:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{x_G - x_d}{\frac{J_L}{V} - a}$$

A merülések a (3.3.18) és (3.3.19) összefüggések szerint:

$$T_F = T + \left(\frac{L}{2} - x_w \right) \operatorname{tg} \varphi$$

$$T_A = T - \left(\frac{L}{2} + x_w \right) \operatorname{tg} \varphi$$

(Lásd 3.8.7 példát).

3.3.2 A trimmgörbék és használatuk

A (3.3.14) összefüggés szerint az elbillenés szögének tangense:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{x_G - x_d}{\frac{J_L}{V} - a}$$

A szokásos méretviszonyokkal rendelkező hajóknál az a értéke elhanyagolható (általában két nagyságrenddel kisebb) az $\frac{J_L}{V} = R_L$ értéke mellett. Így

$$\operatorname{tg} \varphi \approx \frac{x_G - x_d}{J_L} V$$

Ezzel a hajó faránál és orránál a merülés:

$$T_A = T_k - \left(\frac{L}{2} + x_w \right) \frac{x_G - x_d}{J_L} V$$

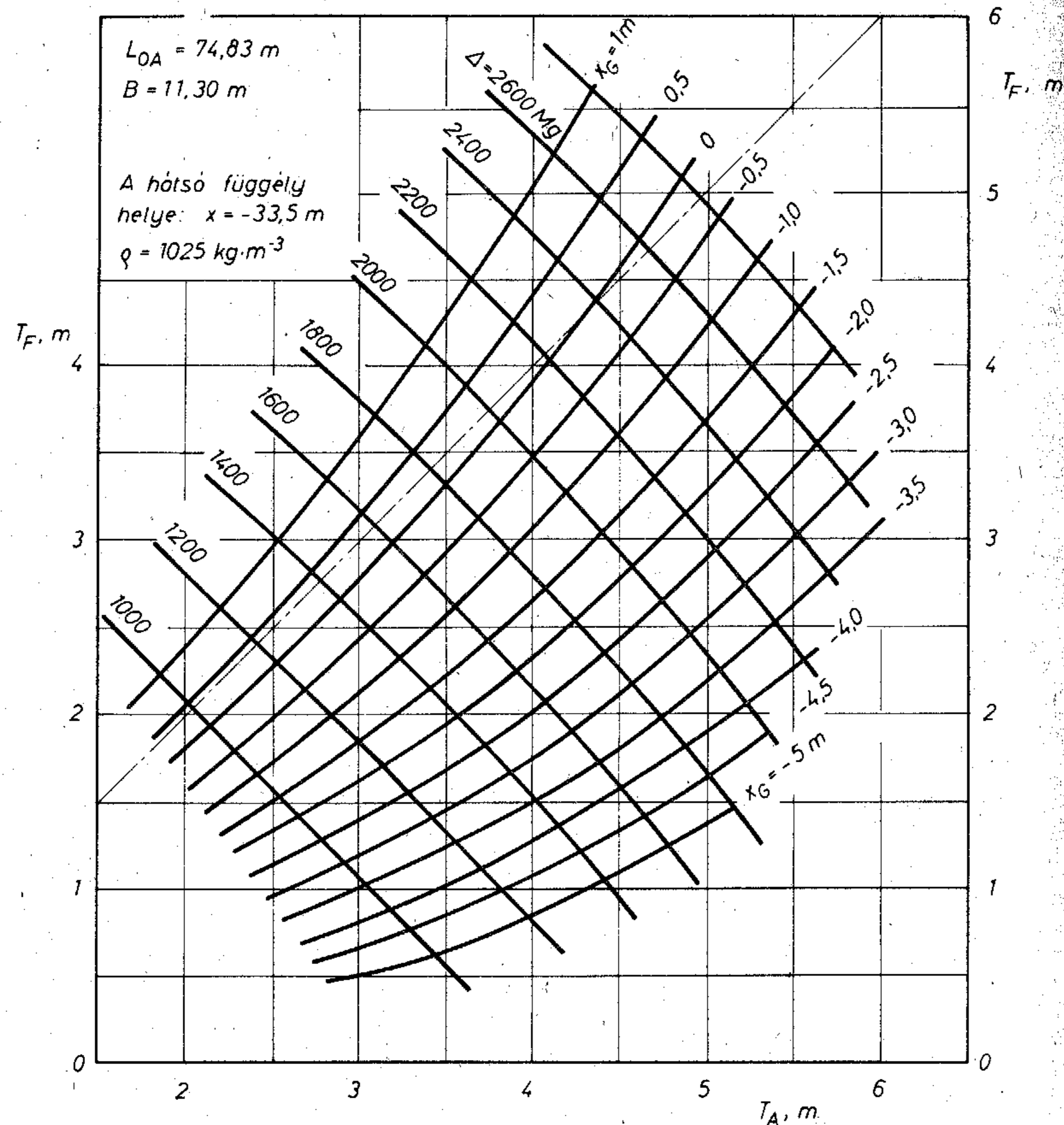
$$T_F = T_k + \left(\frac{L}{2} - x_w \right) \frac{x_G - x_d}{J_L} V$$

A kifejezésben lévő mennyiségek közül L , x_w , x_d , J_L , T_k a ferdén uszó hajóval azonos V vízkiszorítású, vízszintesen uszó hajó jellemző adatai. Egy vízkiszorításnál az elbillenés szögétől független, állandó értékek.

Így egy vízkiszorításnál a két egyenlettel az x_G értékének függvényében kifejezhetjük a merülések értékeit, s ábrázolhatjuk a T_A értékeket a T_F függvényében. A számítást és ábrázolást több vízkiszorítás értékkel megismételve, vízkiszorításonként egy-egy görbét kapunk (3.8 ábra). Ha az egyes görbéknek az azonos x_G értékhez tartozó pontját összekötjük, könnyen használható görbesereghez, az úgynevezett trimmgörbékhez jutunk.

Ha a hajó trimmje nagyobb mértékű, akkor a trimmgörbe készítése során a Bonjean-görbék segítségével ellenőrizzük, illetve módosítjuk a számított értékeket.

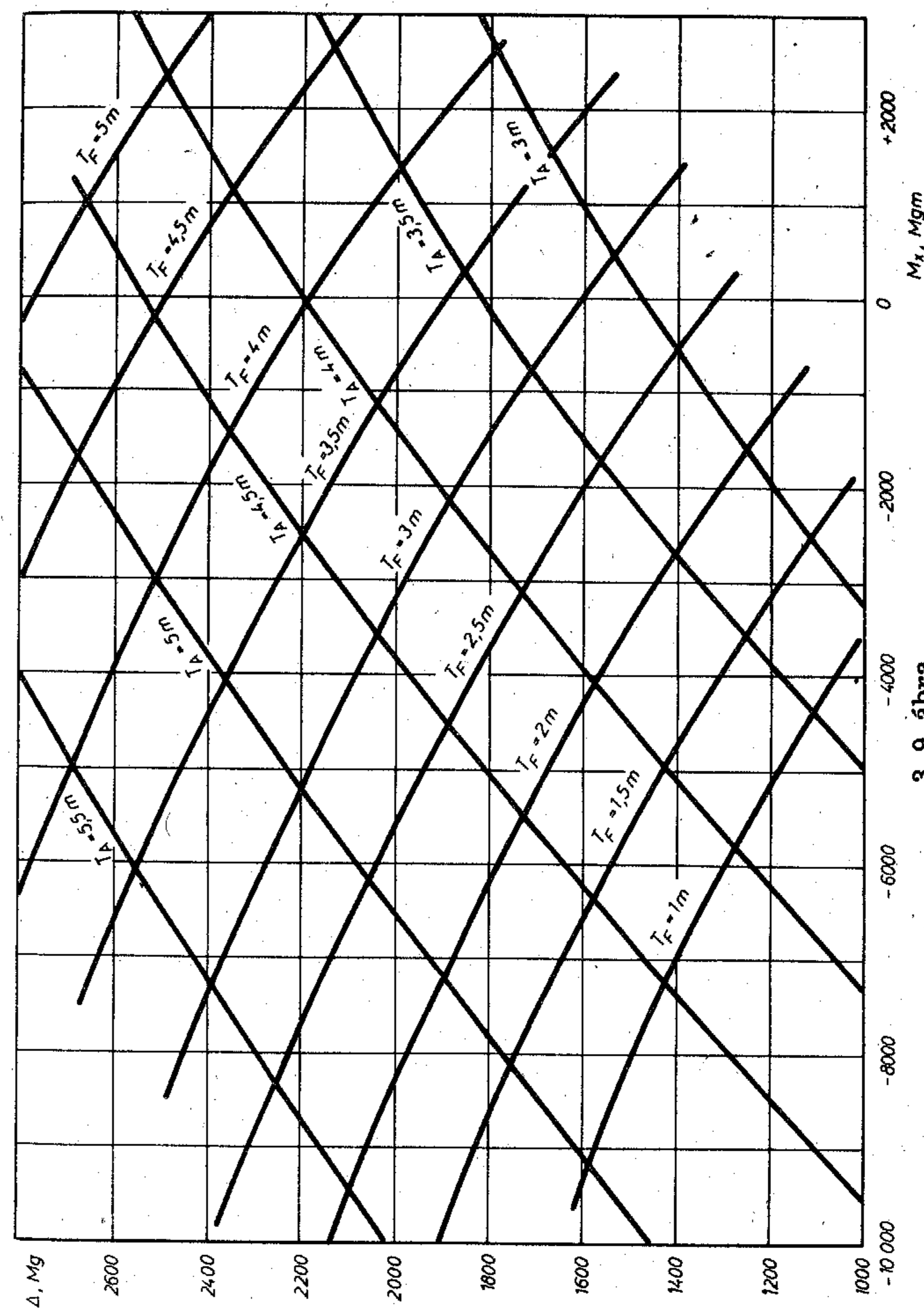
A hajó vízkiszorítását és az x_G súlyponthelyzetét ismerve, a trimmgörbékből a hajó orránál és faránál a merülését; vagy a vízkiszorítás és a merülések ismeretében a hajó súlypontjának hossz irányú koordinátáját leolvashatjuk. Az azonos merüléseket jelölő eredményvonal és az egyes vízkiszorításhoz tartozó görbék metszéspontja által meghatározott x_G érték azonos a vízszintes úszásnál a vízkiszorítás súlypontjának az x_d koordinátájával, mivel vízszintes úszásnál a vízkiszorítási és a rendszersúlypont közös függőleges vonalban van.



3.8 ábra

Trimmgörbék. Δ a hajó teljes tömege Mg; x_G a hajó tömegének súlyponthelyzete a főborda előtt; T_A a hajó farának merülése; T_F a hajó orrának merülése

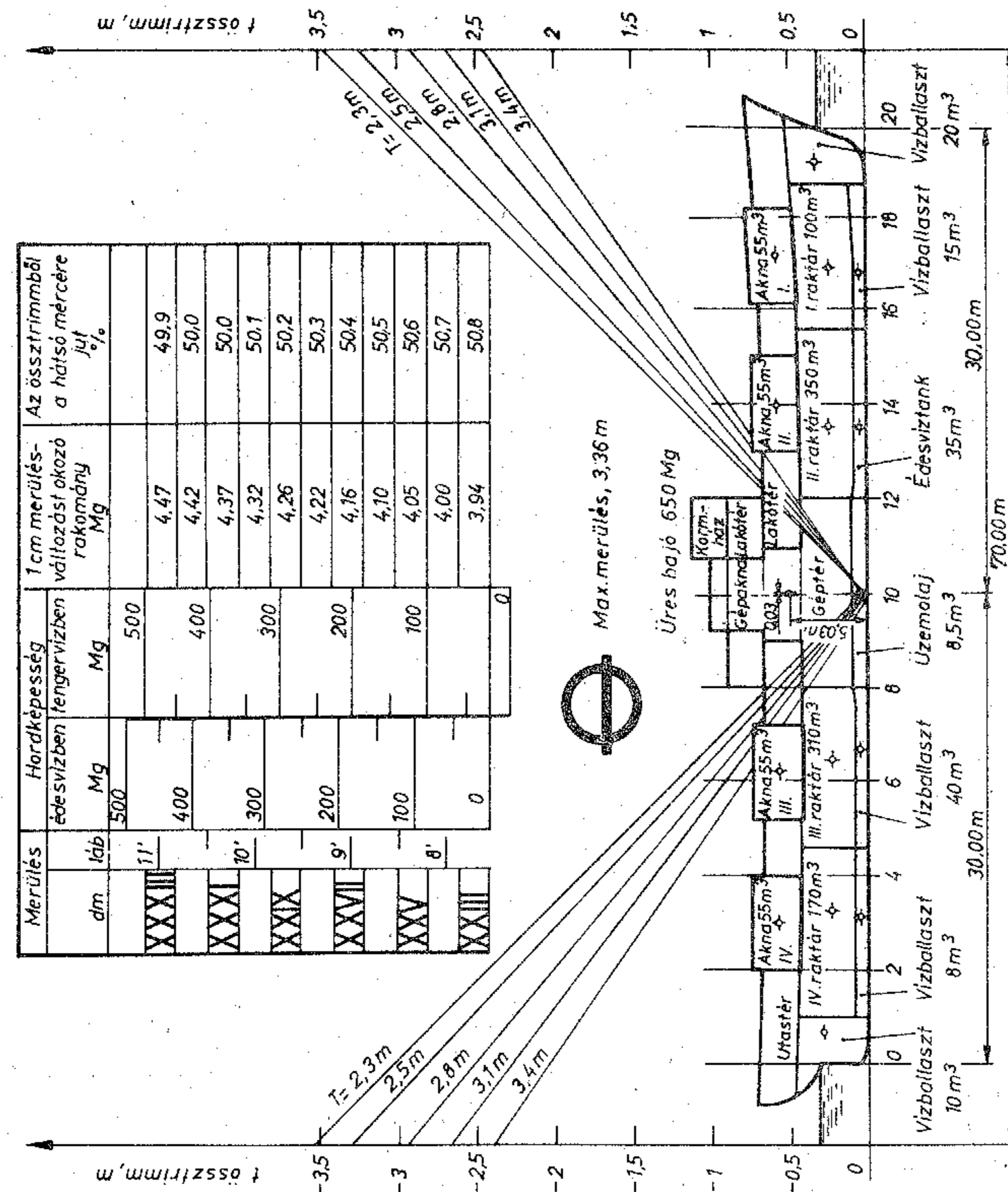
A tengeri áruszállító hajóknál különféle típusú trimmgörbe használata szokásos. A 3.8 ábrán látható az orr és a far merülésének a függvényében ábrázolt kétféle görbesereg paraméterei a hajó tömege (vízki-szorítás tömege) és a tömegnek a hosszirányú súlyponthelyzete. A súlyponthelyzet (x_G) előjele a főbordától előre felé pozitív.



3.9 ábra

Trimmgörbék: Δ a hajó teljes tömege, Mg; T_A a hajó farának merülése; T_F a hajó orrának merülése;

$M_x = \Delta \cdot x_G$, mMg; x_G a hajó tömegének súlyponthelyzete a főborda előtt, m.



3.10 ábra Billenési táblázat. 100 Mg rakomány által okozott össztrimm értéke, a rakomány elhelyezésének függvényében

A 3.9 ábrán lényegében azonos mennyiségek szerepelnek. Itt az orr és a far merülése a görbék paramétere. A függőleges tengelyen találjuk a hajó tömegét, a vízszintes tengelyen pedig a tömegnek a nyomatékát a főbordára számolva:

$$M_x = \Delta \cdot x_G \quad \text{Mg} \cdot \text{m}$$

ahol Δ a hajó tömege, Mg;

x_G a tömeg súlypontjának helye a főbordától mérve, m.

Ez az ábrázolási mód előnyösebb az előzőnél. A 3.2 pontban leírtak szerint a hajó tömeg középpontjának meghatározásához a hajó egyes résztömegeinek a főbordára számított nyomatékát összegezzük, majd elosztjuk az összes tömeggel. A 3.9 ábra használata esetén az utolsó osztásra nincs már szükségünk, mivel a résztömegek nyomatékának összege, M_x szerepel a vízszintes tengelyen.

A bemutatott két típuson kívül még számos egyéb típusú trimmgörbével találkozhatunk.

3.3.3 Nomogramok a hajó trimmjének meghatározására

A trimmgörbék használata során a súlypont helyzetét, vagy az M_x nyomatékot is ki kell számítanunk. A hajó rakodási tervének elkészítése során a merülés meghatározásához több segítséget nyújtanak a különféle nomogramok, melyek használata kevesebb számítási munkát igényel. Ezek is igen sokféle formában használatosak. Példaként két típusát mutatjuk be. A 3.10 ábrán látható billenési nomogram két részből áll. Az ábra középrészén elhelyezett skála segítségével meghatározhatjuk a hordképességhez tartozó közepes merülést, az 1 cm merülés-változást okozó rakomány tömegét (Δm) és a hátsó mércén jelentkező fartrimnek és az össztrimnek az arányát százalékban. Az 1 cm = 0,01 m merülés-változást okozó rakomány tömege Archimedes törvénye alapján:

$$\Delta m = \rho \cdot A_w \cdot 0,01$$

Az A_w vízvonalterület, amint a jellemző görbékéből (2.18 ábra) látható, a merülés függvényében változik. Így a Δm értéke is változik a merüléssel.

A far és az össztrimm arányának változása a vízvonalterület x_w súlypontjának a változása miatt jelentkezik, amint az a (3.3.15) és (3.3.17) összefüggésekből kitűnik.

A hajó össztrimmje a (3.3.15) és a (3.3.19) összefüggés szerint:

$$t = L \cdot \operatorname{tg} \varphi = L \frac{M_B}{\rho \cdot g \cdot V \cdot \left(\frac{J_L}{V} - a \right)}$$

A szokásos méretviszonyú hajóknál az a értéke elhanyagolható az $\frac{J_L}{V}$ mellett. Így az össztrimmre felírhatjuk

$$t = \frac{L}{\rho \cdot g \cdot J_L} M_B$$

A rakodás során a billentő-nyomaték (a hajó tömegének a főbordára számított nyomatékának változása)

$$M_B = m_i \cdot x_i \cdot g$$

ahol m_i a berakott tömeg, x_i a rakomány súlypontjának a távolsága a hajó súlypontjától:

$$t = \frac{L \cdot m_i}{\rho \cdot J_L} x_i$$

Egy vízkiszorításnál, azaz egy közepes merülésnél az L , J_L értéke állandó. Ha m_i -nek kerek értéket választunk (a hajó nagyságától függően 10 Mg, 100 Mg, 1000 Mg), akkor minden vízkiszorításhoz egy egyenes egyenletét kapjuk. Az egyenesek a 3.10 ábrában a hajó körvonalával együtt láthatók. Az x_i skálája helyett tüntetik fel a hajó körvonalát. Így,

ha az egyik raktárba helyezendő rakomány által okozott össztrimmet akarjuk megtudni, a rakomány súlypontján át függőlegest húzunk. A megfelelő közepes merüléshez tartozó egyenes és a függőlegesünk metszéspontját vízszintesen kivetítve, az ábra szélén elhelyezett skálán leolvashatjuk azt az össztrimmet, melyet a 10-100-1000 Mg rakomány okoz. A rakományunk tömegének nagyságát (m_i) ismerve, a leolvasott értéket beszo-

rozzuk m_i tized-század-ezred részével, s így megkapjuk a keresett össztrimmet.

Részletesebb magyarázat helyett egy példát nézzünk: A tengervízben úszó hajóra a 3.1 táblázat első két oszlopa szerint kívánunk rakodni. A rakomány összes tömege 348 Mg. Így a 3.10 ábra közepén elhelyezett nomogram szerint, tengervízben a közepes merülés $T = 3,075$ m.

Ezt megállapítva a 2,8 és 3,1 m közepes merüléshez tartozó egyenesek közé lineáris interpolációval berajzoljuk a 3,075 m merüléshez tartozó egyenest. Az egyes raktárak súlypontján át húzott függőleges és a behúzott egyenes metszéspontjaihoz az ábra szélén leolvasott értéket a táblázat harmadik oszlopában tüntettük fel.

3.1 táblázat

Számítási példa a billenési nomogram használatára

A rakomány helye	a rakomány tömege Mg	100 Mg rakomány által okozott össztrimm m	a teljes össztrimm m
I. raktár	40	+ 1,64	+ 0,66
II. raktár	150	+ 0,86	+ 1,29
IV. raktár	80	- 1,61	- 1,29
üzemolaj	50	0	0
édesvíz	28	+ 0,88	+ 0,22
Összes rakomány	348		+ 0,88 m

Ezeket az értékeket a tömegnek és az ábra készítésekor számításba vett tömegnek az arányával szorozzuk. Példánkban a számításba vett tömeg 100 Mg volt. Így az első sorban 0,4-gyel, a másodikban 1,5-tel, stb. beszorozva nyertük a negyedik oszlopban feltüntetett értékeket. Ezek algebrai összege adja az össztrimmet:

$$t = + 0,88 \text{ m}$$

A 3,075 m közepes merülés környezetében az össztrimmnek 50 %-a jut az egyes mércékre, a 3.10 ábra középső táblázata szerint. Így az orr merülés

$$T_F = 3,075 + 0,44 = 3,52 \text{ m}$$

a far merülés:

$$T_A = 3,075 - 0,44 = 2,64 \text{ m}$$

Ha később a III. raktárba 130 Mg rakományt akarunk elhelyezni, az összes rakomány

$$\begin{array}{r} 348 \\ + 130 \\ \hline 478 \text{ Mg} \end{array}$$

Ehhez a leolvasott közepes merülés $T = 3,36$ m. A III. raktár súlypontján át huzott függőleges és a $T = 3,36$ m interpolált egyenes metszéspontjához leolvasható össztrimm, melyet 100 Mg rakomány okozna: $-0,73$ m. 130 Mg esetén

$$(-0,73) \cdot \frac{130}{100} = -0,95 \text{ m}$$

Ez lesz az össztrimm változása a berakás előtti állapothoz képest. A fartrimm az ábra táblázata szerint 49,9 százalékát teszi ki az össztrimmnek, tehát az orr- és fartrimm abszolút értéke közelítőleg azonos:

$$|t_A| \cong |t_F| \cong 0,475 \text{ m}$$

A rakodás előtt a közepes merülés 3,075 m volt. A közepes merülés növekedése $3,36 - 3,075 = 0,285$ m. Ezzel a merülések:

$$T_A = 2,64 + 0,285 + 0,475 = 3,400 \text{ m}$$

$$T_F = 3,52 + 0,285 - 0,475 = 3,33 \text{ m}$$

A 25. mellékletben egy más típusú nomogramot láthatunk. A nomogramot teljesen azonos alapelv szerint készítik a 3.10 ábrában megismerttel. A lényeges eltérés az, hogy a nomogram használata során a kérdéses rakomány berakása előtti közepes merülést kell figyelembe venni. A rakomány súlypontján függőlegest húzunk. A függőleges és a rakodás előtti közepes merülésnek megfelelő vízszintes rendező metszéspontjából a szomszédos rendezőkkel egyenközű egyenest húzva az ábra felső részén a farmerülés, az alsó részén az orr merülés változását leolvashatjuk, melyet 100 Mg rakomány berakása okoz. A leolvasott értéket az általunk berakandó tömeg és 100 Mg hányadosával beszorozzuk, s így nyerjük a várható merülésváltozásokat.

A 25.sz. mellékletben példát is találunk a nomogramm használatára

3.3.4 A hajó trimm-helyzetének módosítása

Ha a hajón egy rakományt áthelyezünk a hajó hossza mentén, a hajó úszási helyzete, a trimmje változik. A változást okozó nyomaték, a billentő nyomaték:

$$M_B = m \cdot g \cdot x$$

ahol m az áthelyezett rakomány tömege,
 x az áthelyezett tömeg régi és új súlyponthelyzete közötti hosszirányú távolság.

A billentő nyomatékot kiegyensúlyozó stabilizáló nyomaték a (3.3.13) összefüggés szerint:

$$M_B = \rho \cdot g \cdot V \left(\frac{J_L}{V} - a \right) \cdot \text{tg } \varphi$$

A szokásos méretviszonyok esetén az a értéke elhanyagolható az $\frac{J_L}{V}$ értéke mellett. Az M_B értékét behelyettesítve:

$$m \cdot g \cdot x = \rho \cdot g \cdot V \cdot \left(\frac{J_L}{V} \right) \cdot \text{tg } \varphi$$

Az össztrimm változása:

$$\Delta t = L \cdot \text{tg } \varphi$$

A két egyenletből:

$$m \cdot x = \rho \cdot J_L \cdot \frac{\Delta t}{L}$$

Tehát a közepes merüléshez a jellemző görbékből leolvasható vízvonalterület másodrendű nyomatéka és a hajó hossza segítségével meghatározhatjuk, hogy egy kívánt trimmváltozáshoz milyen nyomatékváltozás szükséges.

Például egy $L = 60$ m függélyek közötti hosszúságú hajó merülése $T_A = 3,2$ m, $T_F = 3,4$ m lenne rakodási tervünkben. Szeretnénk a hajó merülését $T_A = 3,35$, $T_F = 3,25$ m-re, azaz a $t = 0,2$ m értékű össztrimmjét $t' = -0,1$ m-re változtatni. A kívánt trimmváltozás:

$$\Delta t = t' - t = (-0,1) - (+0,2) = -0,3 \text{ m}$$

A hajó közepes merüléséhez a jellemző görbékből kiolvassuk a vízvonalterület súlypontján áthaladó harántirányú tengelyre számított másodrendű nyomatékának értékét: $J_L = 75000 \text{ m}^4$. A víz sűrűsége $\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$

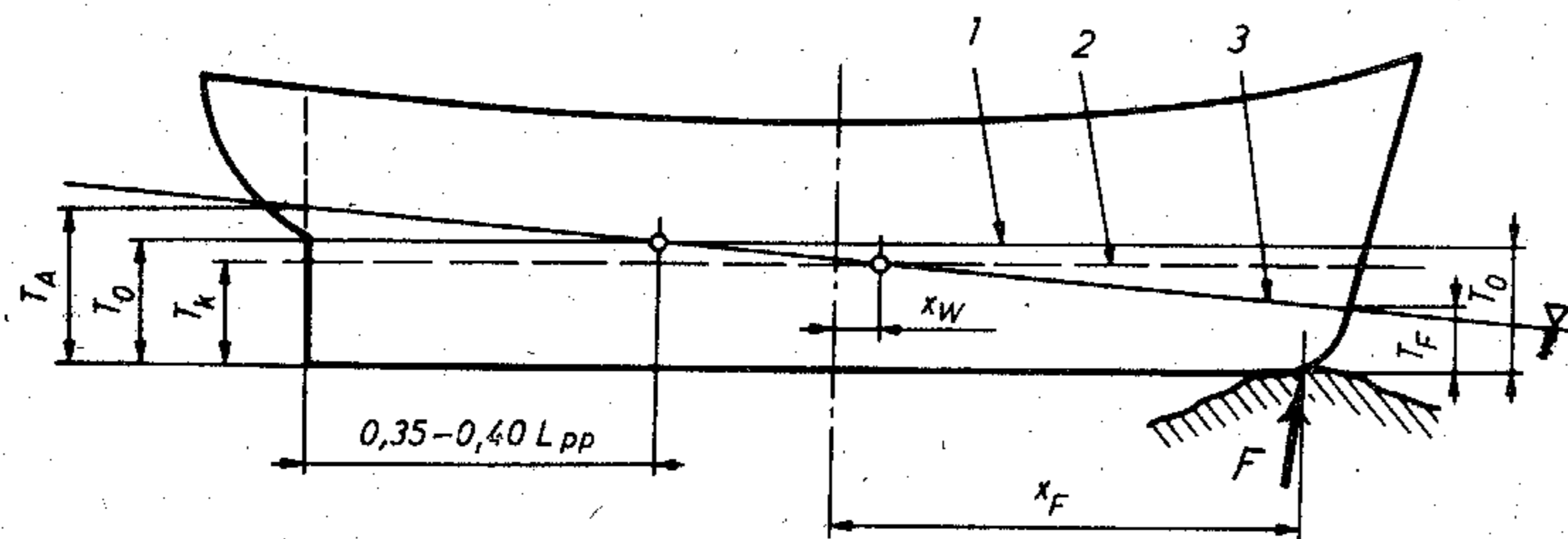
Ezekkel az adatokkal:

$$m \cdot x = \rho J_L \frac{\Delta t}{L} = 1025 \cdot 7500 \frac{-0,3}{60} = -384375 \text{ mkg} = -384 \text{ mMg}$$

nyomatékváltozásra van szükség. Ha az I. raktárban van olyan rakomány, melyet a III. raktárba áthelyezhetünk, s az áthelyezésnek a távolsága $x = -24 \text{ m}$, akkor

$$m = \frac{-384}{-24} = 16 \text{ Mg}$$

rakományt kell áthelyeznünk.



3.11 ábra

Feltámaszkodó hajó úszási helyzete

1. Az eredeti úszásvonal a feltámaszkodás előtt, 2. A feltámaszkodott helyzetben érvényes T_k közepes merülésnek megfelelő vízszintes úszásvonal, 3. Úszásvonal a feltámaszkodott helyzetben

3.3.5 Egyik végén feltámaszkodó hajó úszási helyzete

Vízrebocsátásnál, dokkolásnál, zátonyra futásnál a hajótest egyik vége állványzatra vagy a szilárd talajra támaszkodik. A 3.11 ábrán egy hajót látunk, mely az orrával zátonyra támaszkodik. A feltámaszkodó

helyzetben a hajó vízkiszorítása csökken. A hajó súlyával a csökkent vízkiszorításból származó felhajtóerő és az alátámasztásnál fellépő F támaszerő tart egyensúlyt.

Ha ismerjük a feltámaszkodás helyén a vízmélységet, a hajó feltámaszkodása során elfoglalt úszási helyzetét és a támaszerőt meghatározhatjuk.

Felvezünk néhány, különböző nagyságú F támaszerő értéket. Mindegyik támaszerőhöz meghatározzuk a hajó vízkiszorítását:

$$V = \frac{G - F}{\rho \cdot g}$$

Ha a hajó súlyát nem ismerjük, akkor a zátonyra futás előtti közepes merülés függvényében, a hajó jellemző görbéjéből leolvassuk a hajó vízkiszorítását (V_0) és a vízkiszorítás súlypontjának x_d koordinátáját. Ezekből az adatokból a hajó súlya és súlypontjának helyzete meghatározható (3.6 fejezet).

A felvett F támaszerővel számított V vízkiszorítás értékhez a jellemző görbékből meghatározzuk a T_k közepes merülést, a vízkiszorítás súlypontjának x_d és z_d koordinátáit, a vízvonalterület x_w súlyponthelyzetét és a harántirányú tengelyre számított J_L másodrendű nyomatékának értékét. Az alátámasztási pont helyzetét a 3.11 ábra szerint x_F -fel jelölve a hajó trimm-szöge:

$$\text{tg } \varphi = \frac{F \cdot (x_F - x_d) + G \cdot (x_d - x_G)}{\rho \cdot g \cdot J_L - (z_G - z_d) \cdot \rho \cdot g \cdot V}$$

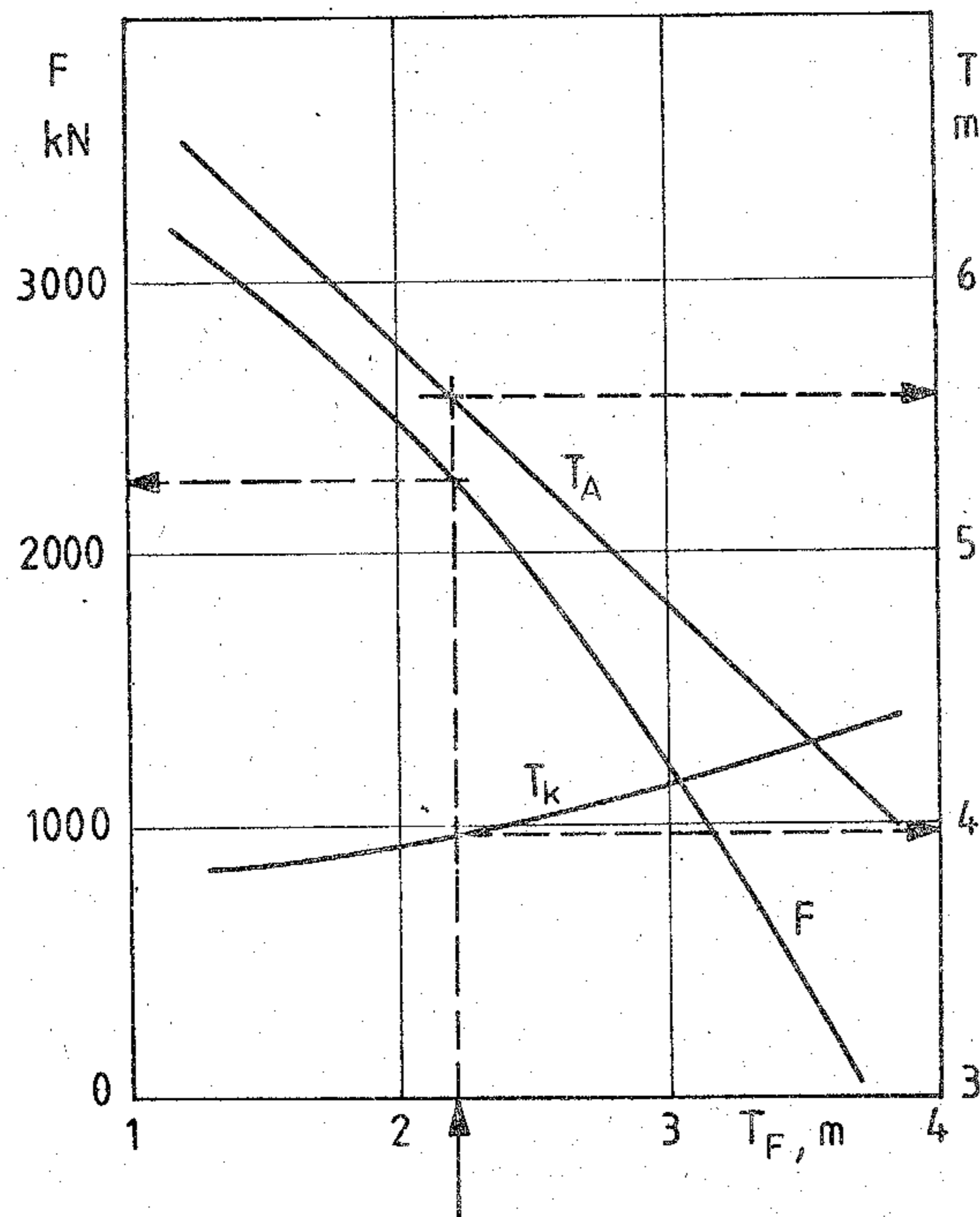
A nevező második tagja a szokásos méretviszonyú hajóknál az első taghoz képest elhanyagolhatóan kis értéket ad. Így, ha nem ismerjük a z_G értéket, nem követünk el nagy hibát, ha a nevező második tagját elhanyagoljuk:

$$\text{tg } \varphi \approx \frac{F \cdot (x_F - x_d) + G \cdot (x_d - x_G)}{\rho \cdot g \cdot J_L}$$

A trimm-szög ismeretében a hajó orrának és farának a merülése számítható:

$$T_F = T_k - \left(\frac{L}{2} - x_w \right) \cdot \text{tg } \varphi$$

$$T_A = T_k + \left(\frac{L}{2} + x_w\right) \operatorname{tg} \varphi$$



3.12 ábra

Feltámaszkodó hajó uszási helyzetének meghatározása

A számítást valamennyi felvett F támaszerővel megismételjük és a kiszámított merüléseket a T_F függvényében ábrázoljuk. A feltámaszkodás helyén rendelkezésre álló M vízmélységgel egyenlő T_F értékhez tartozó F , T_k és T_A értékeket az ábrából kiolvashatjuk (3.12 ábra). Így pontosan meghatározhatjuk a hajónak a feltámaszkodás során elfoglalt uszási helyzetét.

Közelítő becslésként felhasználhatjuk a téglalap alakú vízvonallal rendelkező úszótestre levezethető összefüggéseket. Ezek szerint a feltámaszkodott helyzetben fellépő uszásvonal és a feltámaszkodás előtti hely-

zetben érvényes T_0 közepes merülésnek megfelelő vízszintes uszásvonal metszéspontja a hajó farától $1/3 \cdot L$ távolságban van.

Igy, ha a hajó orrának merüléscsökkenése:

$$t_F = T_0 - T_F$$

akkor hátul a merülés növekedése:

$$t_A = T_A - T_0 = \frac{t_F}{2}$$

Mivel a szokásos alaku hajók vízvonalterületének a másodrendű nyomatóka kisebb, mint a téglalap másodrendű nyomatóka, a két uszásvonal metszésének a hátsó függélytől mért távolsága valamivel nagyobb: $0,35 \cdot L$ és $0,40 \cdot L$ értékek közötti. Így a far merülésének növekedése:

$$t_A = \frac{t_F}{c}$$

ahol $c = 1,5 - 1,9$.

Példa. Egy hajó függélyek közötti hossza $L=67$ m. A merülése a zátonyrafutás előtt $T_A = 4,41$ m, $T_F = 4,23$ m. A hajó jellemző görbéiből meghatározott adatok:

közepes merülés:

$$T_0 = 4,33 \text{ m}$$

a hajó teljes tömege

$$D = 2390 \text{ Mg}$$

a vízkiszorítási súlypont helye

$$x_d = -0,07 \text{ m}$$

a hosszirányú metacentrikus sugár

$$R = \frac{J_L}{V} = 76,2 \text{ m}$$

A hajó tömegének súlypontja a (3.3.14) összefüggésből kifejezve és az a értékét a metacentrikus sugár értéke mellett elhanyagolva:

$$x_G = x_d + \frac{J_L}{V} \cdot \operatorname{tg} \varphi = x_d + \frac{J_L}{V} \cdot \frac{T_F - T_A}{L} = -0,07 + 76,2 \cdot \frac{4,23 - 4,41}{67} = -0,29 \text{ m}$$

A hajó orrát zátonyra kívánjuk ültetni. A kiválasztott helyen a víz mélysége $2,20$ m. Az alátámasztás távolságát a legkedvezőtlenebb módon a hajóhossz felével vesszük azonosnak:

$$x_F = 33,5 \text{ m.}$$

A 3.2 táblázat első oszlopában felvettünk kerek értékű F támaszerőket. Ezekkel a hajó vízkiszorítása:

$$V = \frac{g \cdot D - F}{\rho \cdot g} = \frac{9,81 \cdot 2390 - F}{1,025 \cdot 9,81}$$

A második oszlopban feltüntetett V értékekhez a hajó jellemző görbéiből kiolvastuk a T_k közepes merülést, a vízkiszorítás x_d , és a vízvonalterület x_w koordinátáját és a vízvonalterület harántirányú tengelyére számított másodrendű nyomatékát J_L (3., 4., 5., 6. oszlop).

Kiszámoltuk a trimm-szögek tangenseit (7. oszlop):

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{F \cdot (33,5 - x_d) + 9,81 \cdot 2390 \cdot (x_d + 0,29)}{1,025 \cdot 9,81 \cdot J_L}$$

Ezekkel az adatokkal a hajó várható merülése a zátonyon (8., 9 oszlop):

$$T_F = T_k - (33,5 - x_w) \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

$$T_A = T_k + (33,5 + x_w) \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

Az összetartozó T_k , T_A , F értékeket a T_F függvényben felrajzoltuk (3.12 ábra). A zátonyra futott hajó orránál rendelkezésre álló vízmélység 2,2 m. Így $T_F = 2,2$ m-nél leolvashatjuk az ábrából a zátonyra futott hajó adatait:

közepes merülés $T_k = 3,98$ m
 a far merülése $T_A = 5,59$ m
 a támaszerő $F = 2240$ kN

Az orrnál a merüléscsökkenés a szabadon úszó hajó közepes merüléséhez képest:

$$t_F = T_o - T_F = 4,33 - 2,20 = 2,13 \text{ m,}$$

a farnál a merülésnövekedés

$$t_A = T_A - T_o = 5,59 - 4,33 = 1,26 \text{ m}$$

$$\frac{t_F}{t_A} = 1,68 < 2$$

A két uszásvonal a hátsó függély előtt 25,03 m-re metszi egymást, azaz

$$\frac{l}{L} = \frac{25,03}{67} = 0,374.$$

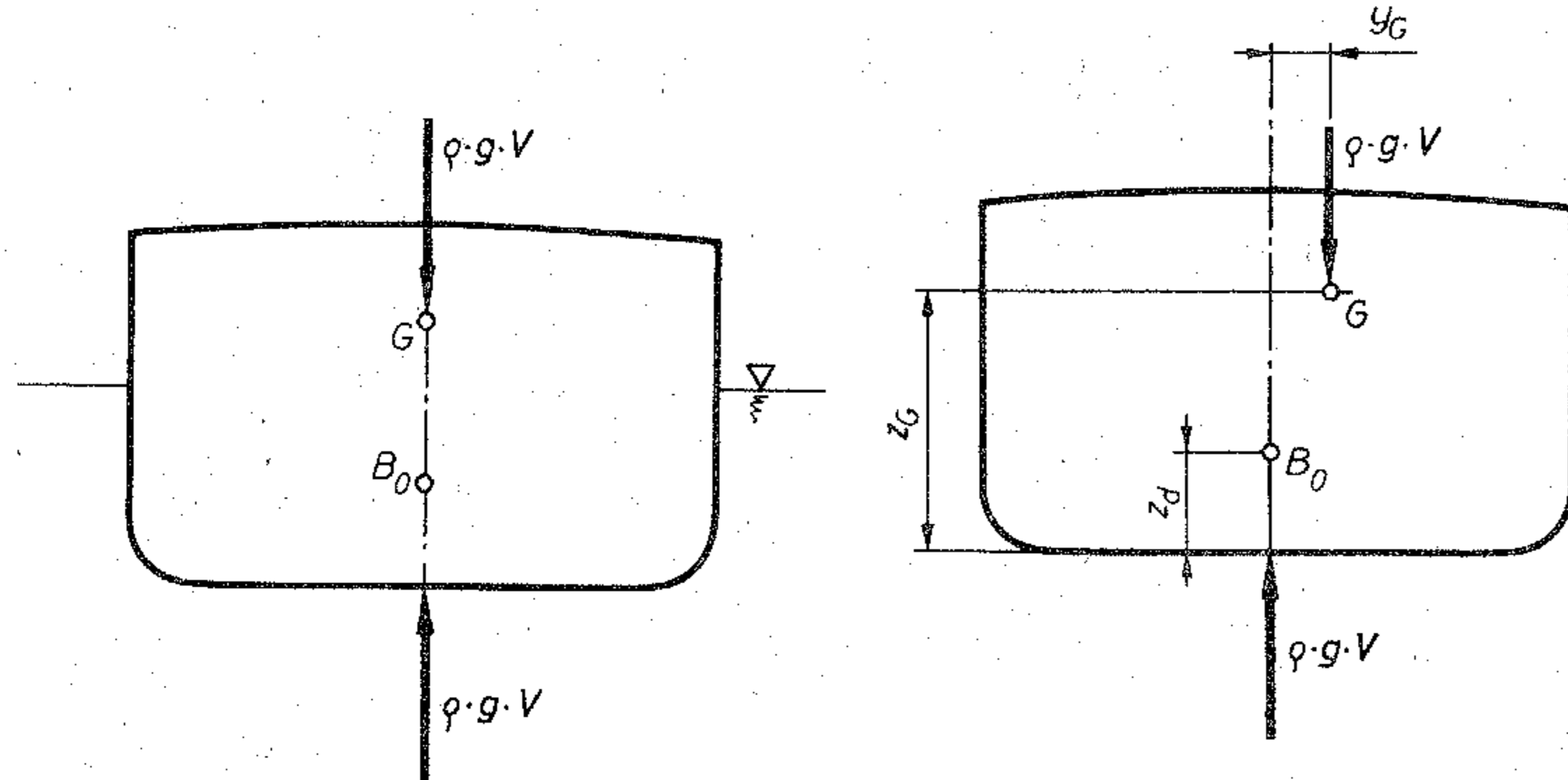
Tehát a közelítő összefüggésekkel is kielégítően pontos eredményt érhetünk volna el.

3.2 táblázat
 Zátonyra futott hajó uszási helyzetének számítása

F	V	T_k	x_d	x_w	J_L	$\operatorname{tg} \varphi$	T_A	T_F
1000	2225	4,18	-0,01	-1,20	172500	0,02309	4,69	3,14
2000	2126	4,02	+0,05	-1,06	168000	0,04431	5,38	2,41
3000	2026	3,85	+0,10	-0,89	163250	0,07270	6,34	1,44

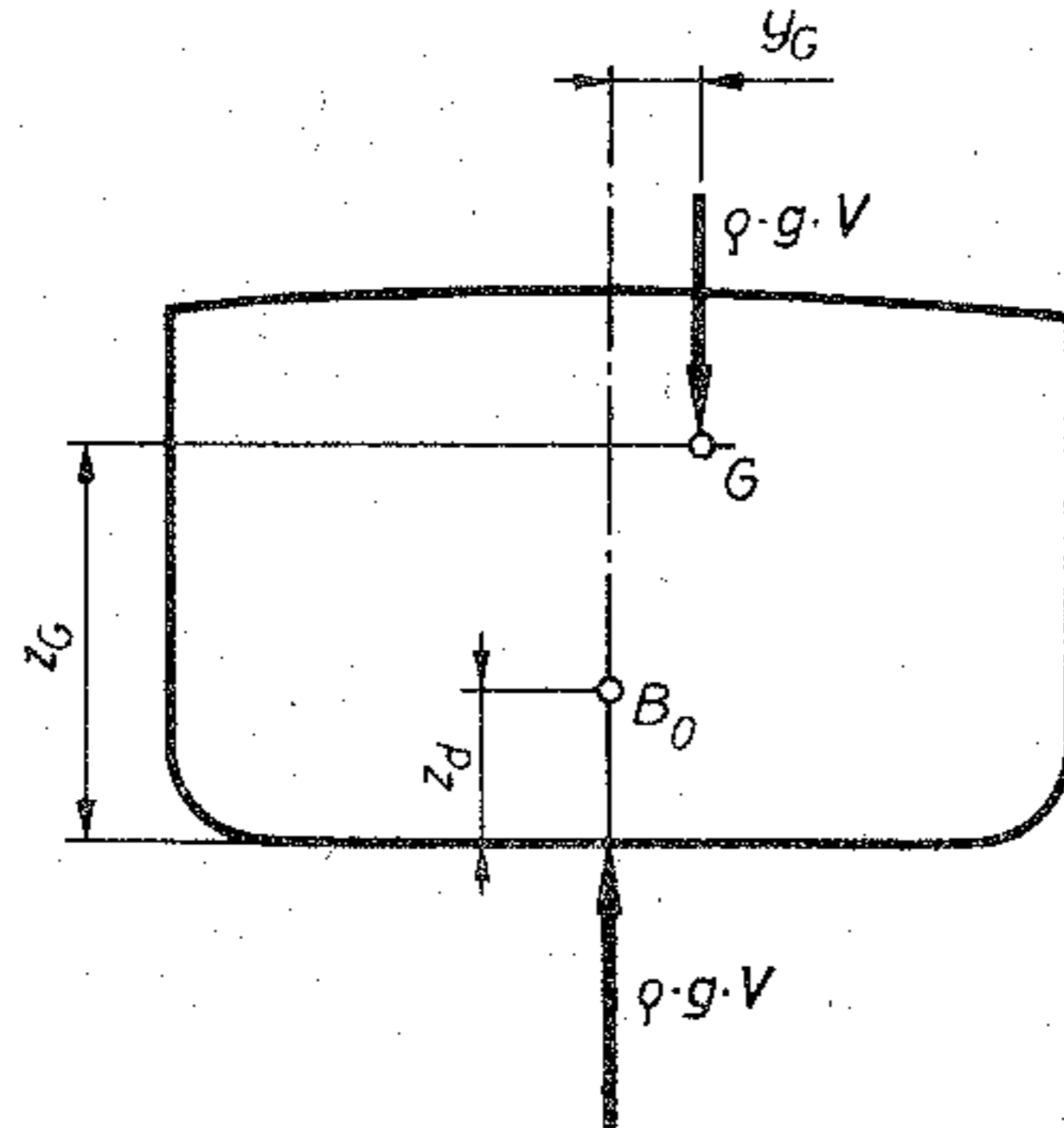
3.4 A hajó oldalirányú megdőlése

Ha a hajóra ható súlyerők eredője és a felhajtóerő egyaránt a hajó hosszirányú szimmetriasíkjába esik, a hajónak nincs oldalirányú dőlése, a hajó vízszintesen úszik (3.13 ábra).



3.13 ábra

A felhajtóerő és a súlyerő egyensúlya vízszintes úszásnál



3.14 ábra

Eltérő hatásvonalon ható súlyerő és felhajtóerő.

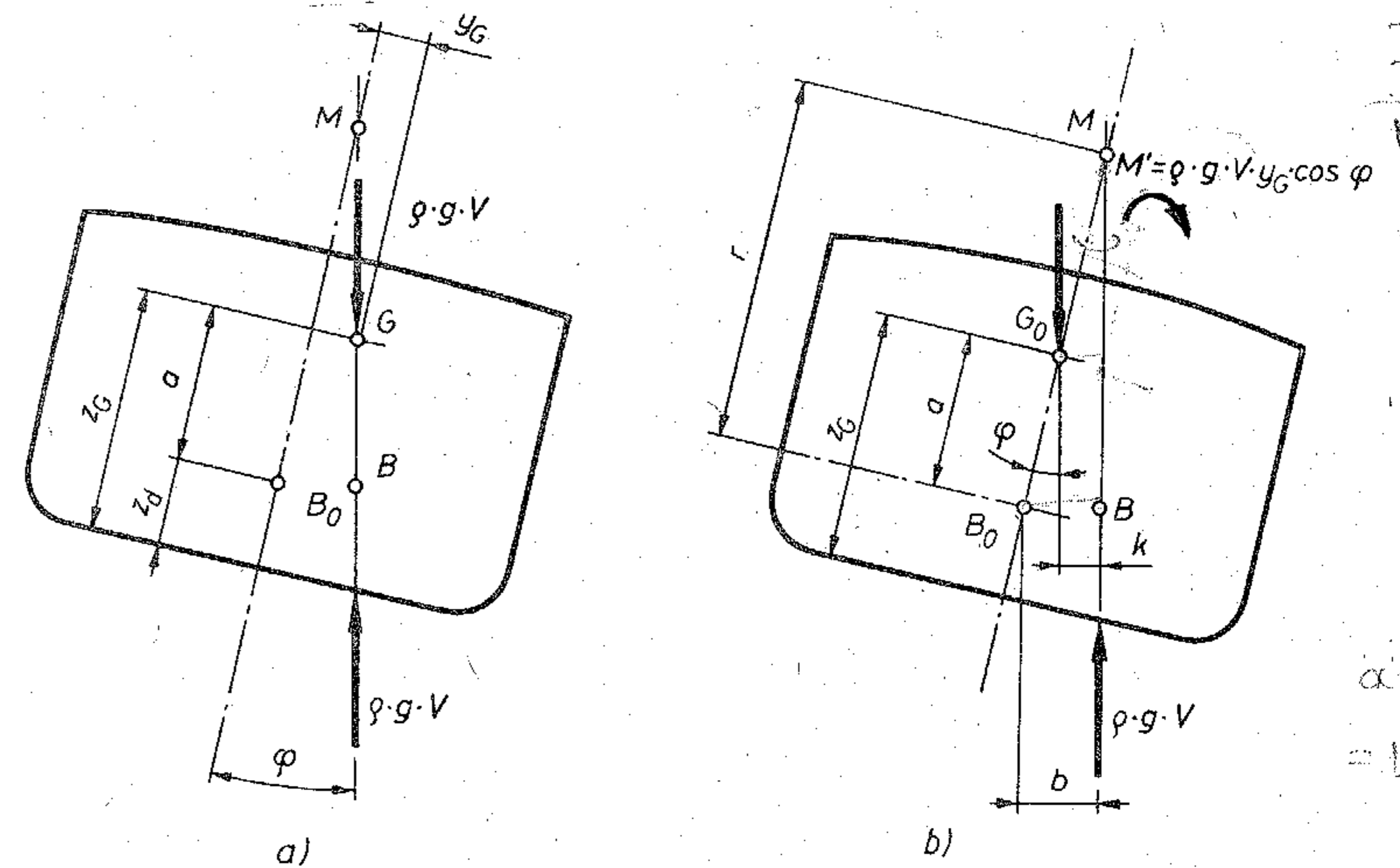
Ha a hajó tömegének a súlypontja (az eredő súlyerő támadási pontja) nincs a hajó szimmetriasíkjában (3.14 ábra), egy

$$M_B = \rho \cdot g \cdot V \cdot y_G \quad (3.4.1)$$

nagyságú billentő nyomaték keletkezik, melynek hatására a hajó oldalirányban megdől.

A megdőlés következtében a hajó vízbemerült térfogatának az alakja megváltozik, így a vízkiszorítás súlypontja eltolódik. A hajó olyan dőlésnél kerül ismét egyensúlyi helyzetbe, melynél a vízkiszorítás súlypontja a tömeg súlypontjával közös függőlegesbe esik.

A 3.15 ábrán megdőlt helyzetében ábrázoltuk a hajót. A dőlés következtében a vízkiszorítás súlypontja a B pontba vándorolt. A felhajtóerőnek a B ponton áthaladó hatásvonala kis dőléseknél (a szokásos alakú hajók esetében 5-8 foknál kisebb dőlésszögeknél), a hajó szimmetriasíkját jó közelítéssel mindig azonos pontban dőfi. Ezt a pontot a "kezdeti metacentrum"-nak nevezik (M pont).



3.15 ábra

Oldalirányban kis dőlésszöggel megdőlt hajóra ható erők egyensúlya

A 3.15 ábra b képén a súlyerőt áthelyeztük a G ponttal azonos magasságú G_0 pontba. Az áthelyezés távolságának vízszintes vetülete $y_G \cdot \cos \varphi$. Így a súlyerőn és a felhajtóerőn kívül, egy

$$M' = \rho \cdot g \cdot V \cdot y_G \cdot \cos \varphi \quad (3.4.2)$$

nyomatékot is figyelembe kell vennünk. Ezzel a nyomatékkal tart egyensúlyt a felhajtóerő és a vele azonos nagyságú súlyerő által létesített erőpár. A 3.15 ábra jelöléseivel:

$$\rho \cdot g \cdot V \cdot y_G \cdot \cos \varphi = \rho \cdot g \cdot V \cdot k \quad (3.4.3)$$

A (3.4.1) kifejezés szerinti M_B billentő nyomatékot az egyenletbe beírjuk:

$$M_B \cdot \cos \varphi = \rho \cdot g \cdot V \cdot k \quad (3.4.4)$$

$$M_B \cos \varphi = \rho \cdot g \cdot V \cdot (r-a) \sin \varphi$$

$$M_B = \rho \cdot g \cdot V \cdot (r-a) \tan \varphi$$

A 3.15 ábra jelölései szerint az erőpár karja, k értéke kétféle módon is kifejezhető:

$$k = (r-a) \cdot \sin \varphi = \overline{MG}_O \cdot \sin \varphi$$

A (3.4.4) összefüggésben a k -nak ezen kifejezését beírva és a bal oldalról a $\cos \varphi$ -vel átosztva:

$$M_B = \rho \cdot g \cdot V \cdot (r-a) \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

vagy

$$M_B = \rho \cdot g \cdot V \cdot \overline{MG}_O \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

(3.4.5)

Tehát a billentő nyomaték hatására bekövetkező dőlés számítható:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{M_B}{\rho \cdot g \cdot V \cdot (r-a)} = \frac{M_B}{\rho \cdot g \cdot V \cdot \overline{MG}_O}$$

Az M és B_O közötti távolságot a 3.15 ábrán r betűvel jelöltük. Az r távolság vízszintes vetülete, a b távolság, a vízkiszorítási súlypont eltolódásának, a $B_O B$ távolságnak a vízszintes vetülete: $b = r \cdot \sin \varphi$

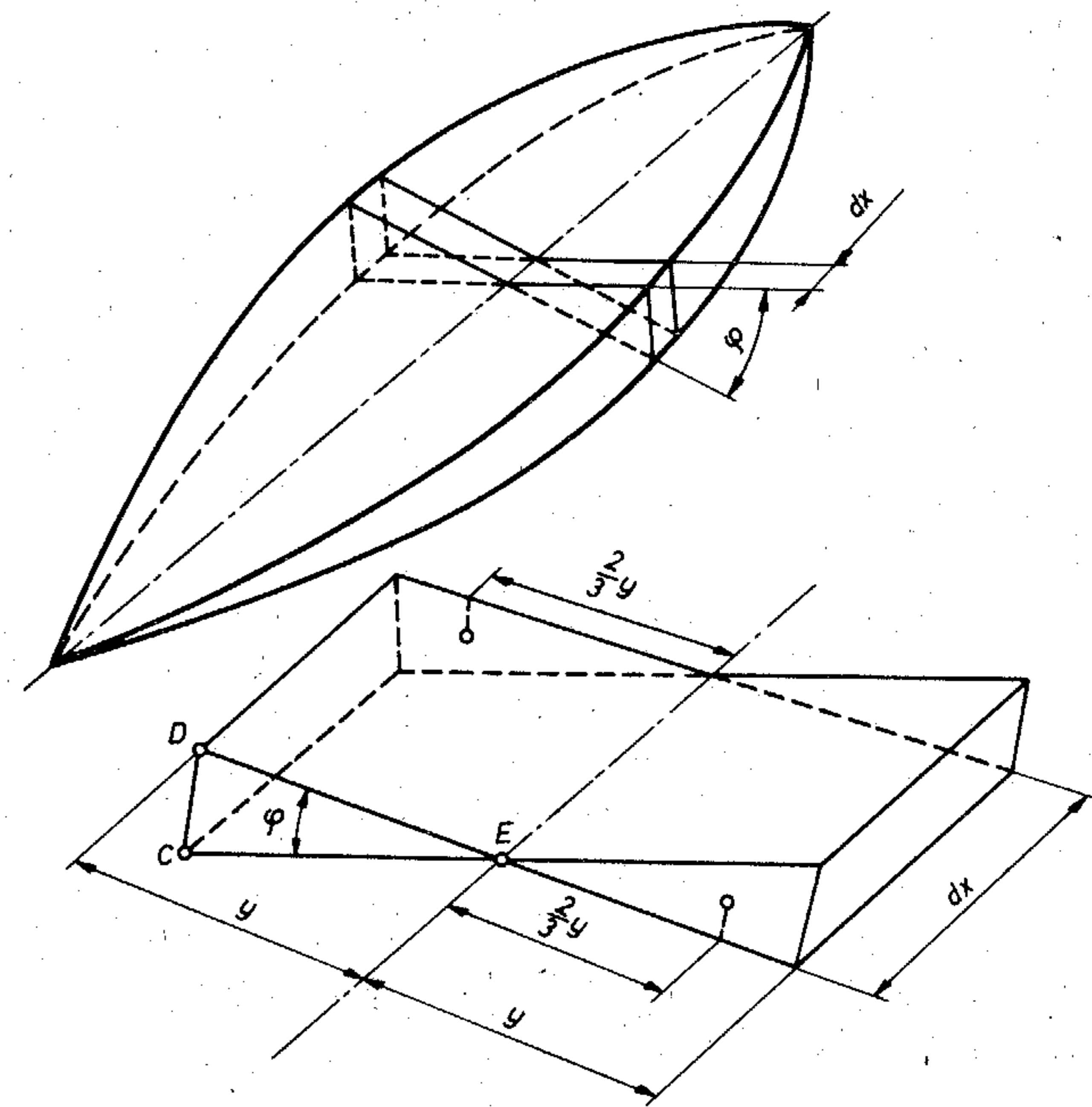
A vízkiszorítás alakjának megváltozását, azaz a súlypontjának az eltolódását az okozza, hogy a megdőlés következtében a hajó bal oldalán egy éktest alakú térfogat kiemelkedik a vízből, a jobb oldalon pedig be-
merül a vízbe.

A két éktestet a 3.16 ábrán láthatjuk. Külön kirajzoltuk a két éktestnek egy dx hosszúságú szakaszát is. A CDE háromszögben a φ szög kicsi, s így a háromszög jó közelítéssel egyenlőszárú. Eszerint az éktest térfogata:

$$\frac{1}{2} \cdot y^2 \cdot \varphi \cdot dx$$

A vízvonalterület hosszirányú szimmetriatengelyén érintkező két ék alakú térfogat súlypontjának távolsága:

$$\frac{4}{3} \cdot y$$



3.16 ábra
Kiemelkedő és bemerülő éktestek, oldalirányú megdőlésnél

Így a dx hosszúságú szakaszon a térfogat nyomatékának a változása

$$\left(\frac{1}{2} \cdot y^2 \cdot \varphi \cdot dx\right) \cdot \left(\frac{4}{3} \cdot y\right) = \frac{2}{3} \cdot \varphi \cdot y^3 \cdot dx$$

A teljes L hosszúságú éktestek nyomatéka (a hajó vízkiszorítás térfogatának nyomatékváltozása):

$$\varphi \cdot \frac{2}{3} \cdot \int_L y^3 \cdot dx$$

Amint a 2.4.3 pontban láttuk, a vízvonalterület másodrendű nyomatéka az x tengelyre:

$$J_B = \frac{2}{3} \int y^3 \cdot dx$$

Igy a térfogat nyomatékváltozása:

$$\varphi \cdot J_B$$

A térfogat súlypontjának eltolódását a nyomatékváltozás és a teljes térfogat hányadosa adja:

$$b = \frac{J_B}{V} \cdot \varphi \quad (3.4.6)$$

A 3.15 ábra jelöléseivel:

$$b = r \cdot \sin \varphi$$

Mivel kis szögeknél $\varphi \cong \sin \varphi$, így

$$b = r \cdot \varphi = \frac{J_B}{V} \cdot \varphi \quad (3.4.7)$$

azaz az M pont helyzetét kijelölő r "metacentrikus sugár" értéke:

$$r = \frac{J_B}{V} \quad (3.4.8)$$

Igy a billentő nyomatékra nyert (3.4.5) képletet az alábbi módon is felírhatjuk:

$$M_B = \rho \cdot g \cdot V \cdot \left(\frac{J_B}{V} - a \right) \cdot \sin \varphi \quad (3.4.9)$$

Ezzel a megdőlés szögének tangense, a hajó súlyponthelyzetének ismeretében, a hajó jellemző görbéiből kiolvasható mennyiségekből felírható:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{M_B}{\rho \cdot g \cdot V \cdot \left(\frac{J_B}{V} - a \right)} \quad (3.4.10)$$

ahol $a = z_G - z_d$.

3.5 A rakomány elmozdulásának és a szabad felülettel rendelkező folyadékoknak a hatása a hajó úszási helyzetére

Ha szilárd rakomány oldalirányban vagy hosszirányban elcsúszhat a hajó megbillenésénél, akkor a billentő nyomatékhoz hozzá kell adnunk az elcsúszó rakomány súlyának és a várható oldal vagy hosszirányú elcsúszás távolságának szorzatát.

Ha kötélén függő rakomány van a hajón, akkor a 3.2 fejezet szerint a lengő rakomány súlypontjának koordinátáiként a felfüggesztési pont koordinátáit kell figyelembe vennünk a hajó eredő súlypontjának meghatározása során (3.8.8 példa).

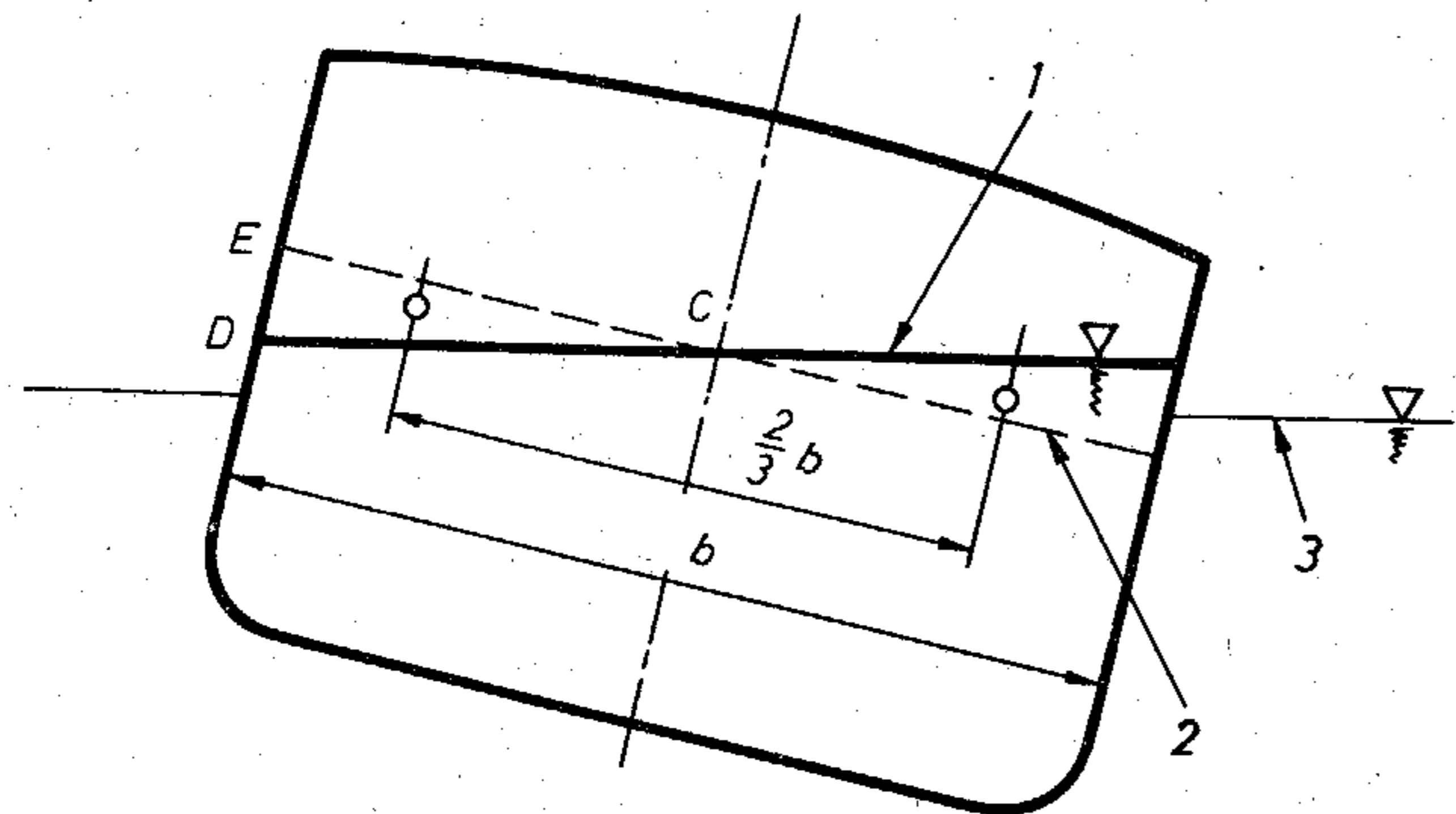
Nemcsak tankhajókon vagy tartályhajókon, hanem egyéb, száraz-áruszállító vagy személyhajókon is jelentős mennyiségű folyadék van. Ha a folyadékot tároló tartály vagy hajótér nincs színültig töltve, a hajó megdőlése során a folyadékrakomány felszíne elbillen a hajóhoz képest. A 3.17 ábrán a hajó belsejében elhelyezett folyadékból a CDE háromszög keresztmetszetű térfogat átfolyt a jobb oldalra a hajó megbillenése során. Ha a tartály hosszúsága l , akkor az átfolyó folyadék tömege:

$$\rho_f \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{b}{2} \right)^2 \cdot \varphi \cdot l = \rho_f \cdot \varphi \cdot \frac{1}{8} \cdot b^2 \cdot l$$

Az átfolyó rakomány súlypontja a középtől balra $\frac{1}{3} \cdot b$ távolságban volt,

s az átfolyás után jobbra $\frac{1}{3} \cdot b$ távolságra került. Így a súlypont eltolódása:

$$\frac{2}{3} \cdot b$$



3.17 ábra
Szabad felszínű folyadékrakomány helyzete a hajó megdőlése során

A folyadék elmozdulása miatt többlet billentő nyomaték keletkezik:

$$\Delta M_B = \left(\frac{2}{3} \cdot b \right) \cdot (\rho_f \cdot \varphi \cdot \frac{1}{8} \cdot b^2 \cdot l \cdot g) = \rho_f \cdot g \cdot \varphi \cdot \frac{1}{12} \cdot b^3 \cdot l \quad (3.5.1)$$

A folyadékrakomány téglalap alakú szabad felszínének a másodrendű nyomatéka a felszín súlypontján áthaladó megbillenési tengelyére:

$$J_f = \frac{1}{12} \cdot b^3 \cdot l$$

Ezzel a billentő nyomaték többlete:

$$\Delta M_B = \rho_f \cdot g \cdot J_f \cdot \varphi$$

illetve kis szögek esetén a $\varphi \cong \sin \varphi$ közelítést felhasználva:

$$\Delta M_B = \rho_f \cdot g \cdot J_f \cdot \sin \varphi \quad (3.5.2)$$

Így szabad felszínnel rendelkező folyékony rakomány esetén a (3.4.9) kifejezés helyett az alábbi kell felírnunk:

$$M_B + \Delta M_B = \rho \cdot g \cdot V \cdot \left(\frac{J_B}{V} - a \right) \cdot \sin \varphi \quad (3.5.3)$$

Az ΔM_B értékét a jobb oldalra átvive és a (3.5.2) szerint kifejezve:

$$M_B = \rho \cdot g \cdot V \cdot \left(\frac{J_B}{V} - a \right) \cdot \sin \varphi - \rho_f \cdot g \cdot J_f \cdot \sin \varphi = \rho \cdot g \cdot V \cdot \left(\frac{J_B}{V} - \frac{\rho_f}{\rho} \cdot \frac{J_f}{V} - a \right) \cdot \sin \varphi$$

Mivel az $a = (z_G - z_d)$, a tömeg súlypontjának és a vízkiszorítás súlypontjának a magasságkülönbsége; az előbbi összefüggést a következőképpen is felírhatjuk:

$$M_B = \rho \cdot g \cdot V \cdot \left[\frac{J_B}{V} - (z_G + \frac{\rho_f}{\rho} \cdot \frac{J_f}{V}) + z_d \right] \cdot \sin \varphi$$

Ha a hajón nincs szabad felszínű folyadékrakomány, a nyomatéki egyensúlyt a (3.4.9) egyenlőség szerint az alábbi módon írjuk fel:

$$M_B = \rho \cdot g \cdot V \cdot \left[\frac{J_B}{V} - z_G + z_d \right] \cdot \sin \varphi$$

Tehát a szabad folyadékfelület hatása olyan, mintha a hajó tömegének súlypontja magasabban helyezkedne el, azaz a z_G helyett, egy

$$z'_G = z_G + \frac{\rho_f}{\rho} \cdot \frac{J_f}{V} \quad (3.5.4)$$

értéket kell figyelembe vennünk, ahol ρ_f a folyadék sűrűsége, ρ a hajót környező víz sűrűsége, J_f a szabad folyadék felszín súlypontján áthaladó tengelyre számított másodrendű nyomatéka, V a hajó vízkiszorítása. Ha a hajón több tartály van, melyben a folyadék szabad felszínnel rendelkezik, természetesen a sűrűségnek és a másodrendű nyomaték-nak a szorzatait összegezzük:

$$z'_G = z_G + \frac{\sum \rho_f \cdot J_f}{\rho \cdot V} = z_G + \Delta h$$

és a megbillenés szögét az alábbi kifejezéssel számoljuk:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{M_B}{\rho \cdot g \cdot V \cdot \left[\frac{J_B}{V} - (z'_G - z_d) \right]} \quad (3.5.5)$$

Ehhez hasonlóan a hajó trimm-helyzetének számításánál is a (3.3.14) képlet helyett a

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{J_L - \frac{x_G - x_d}{V} \left[z_G + \frac{\sum \rho_f J_f}{\rho \cdot V} \right] - z_d}{V} \quad (3.5.6)$$

összefüggéssel határozhatjuk meg a trimm-szöget, ha a hajón szabad felszínnel rendelkező folyadékrakomány van elhelyezve.

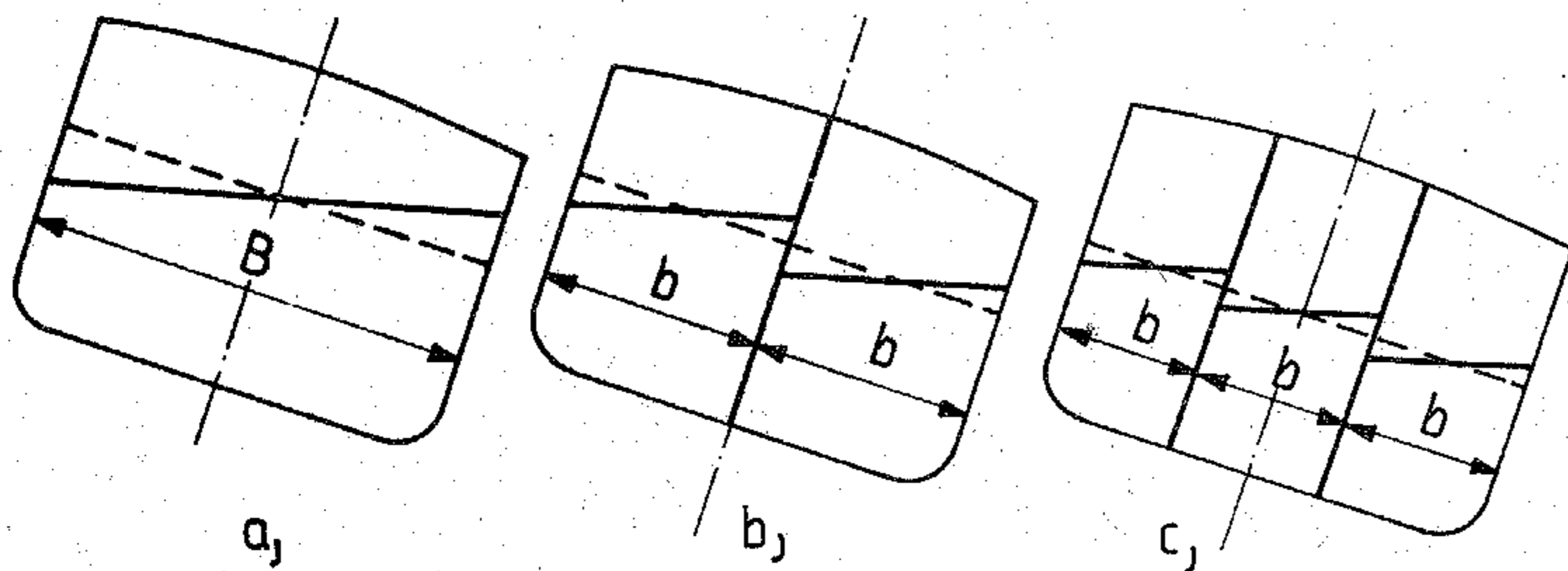
A hajó súlypontjának helyzetét gyakran nem a z_G koordinátával, hanem az \overline{MG}_0 távolsággal jellemzik (3.15 ábra). Így a megbillenés szögének a számításához az \overline{MG}_0 helyett az alábbi, csökkentett értéket kell figyelembe vennünk:

$$\overline{MG}'_0 = \overline{MG}_0 - \frac{\sum \rho_f \cdot J_f}{\rho \cdot V} = \overline{MG}_0 - \Delta h$$

Ezzel a megbillenés szögét az alábbi módon számíthatjuk:

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{M_B}{\rho \cdot g \cdot V \cdot \overline{MG}'_0} \quad (3.5.7)$$

A folyadékrakomálynak a megdőlést növelő hatása elmarad, ha a tartály teljesen meg van töltve.



3.18 ábra

Szabad felszínnű folyadékrakomány helyzete a hajó megdőlése során, hosszirányú válaszfalakkal osztott hajótérben

Ha a tartály hosszirányú válaszfalakkal több részre van osztva, az oldalirányú dőlésnél a szabad felszínnű folyadékrakomálynak a dőlést fokozó hatása csökken.

A 3.18 ábra a képe szerinti elrendezésnél ℓ hosszúságú tartály esetén:

$$\sum J_f = \frac{B^3 \cdot \ell}{12}$$

A b jelű kép szerint két részre osztott tartály esetén:

$$\sum J_f = 2 \cdot \frac{b^3 \cdot \ell}{12} = 2 \cdot \frac{\left(\frac{B}{2}\right)^3 \cdot \ell}{12} = \frac{1}{4} \cdot \frac{B^3 \cdot \ell}{12}$$

A c jelű kép szerint három részre osztott tartálynál

$$\sum J_f = 3 \cdot \frac{\left(\frac{B}{3}\right)^3 \cdot \ell}{12} = \frac{1}{9} \cdot \frac{B^3 \cdot \ell}{12}$$

Tehát a tartálynak egyenlő részekre osztásával az osztás számának négyzetével csökken a szabad folyadékfelületnek a dőlést növelő hatása.

A 3.3 táblázatban néhány gyakran előforduló terület másodrendű nyomatékának képletét találjuk.

Nagyobb dőlés esetén a szabad felszínnű folyadék hatását a 4.4.5 pontban közöltek szerint számíthatjuk.

3.3 táblázat

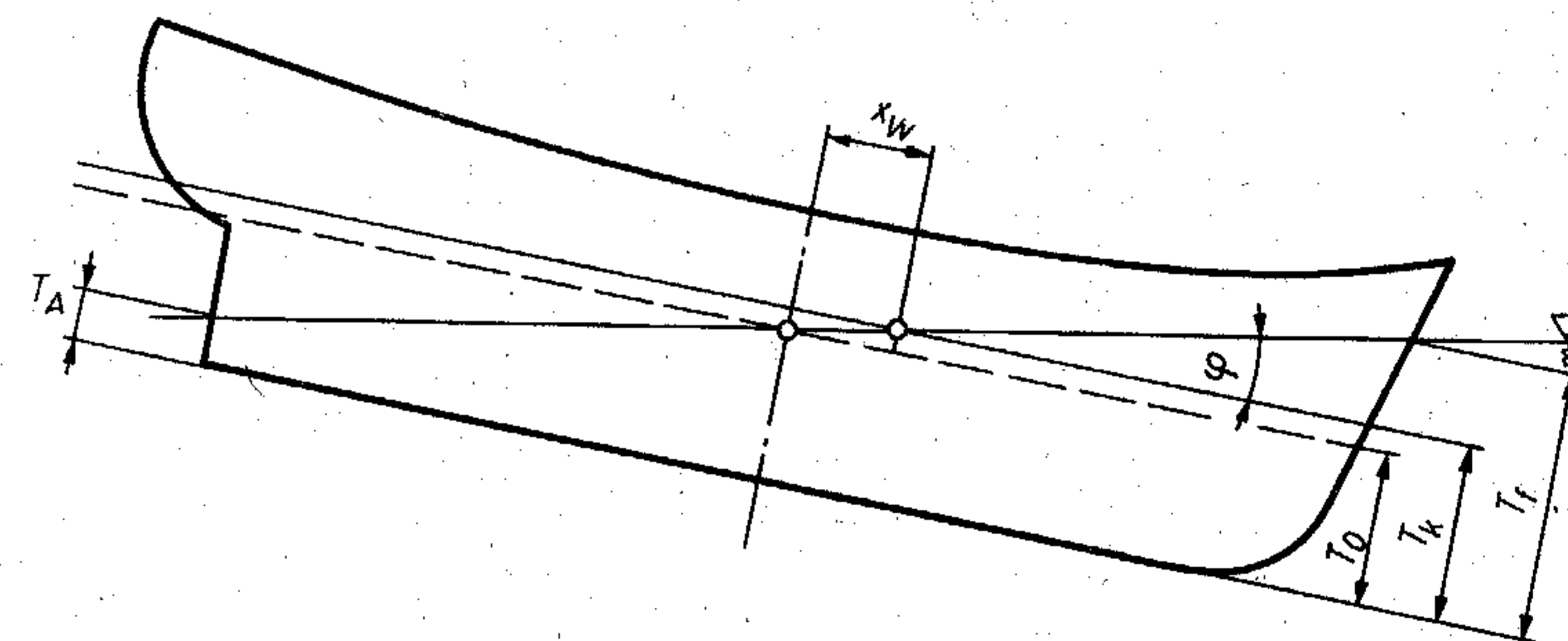
Síkidomok területének másodrendű nyomatékai a súlypontjukon áthaladó tengelyekre számítva

Síkidom	J_x	J_y
	$\frac{b^3 \cdot \ell}{12}$	$\frac{b \cdot \ell^3}{12}$

Síkidom	J_x	J_y
	$\frac{b^3 \cdot l}{36}$	$\frac{8}{175} \cdot b \cdot l^3$
	$\frac{l}{48} [b^3 - 3ab^2 + 9a^2b - 3a^3]$	$\frac{l^3}{36} [a+b + \frac{2 \cdot a \cdot b}{a+b}]$
	$\frac{b^3 \cdot l}{48}$	$\frac{b \cdot l^3}{36}$
	$\frac{b^3 \cdot l}{36}$	$\frac{b \cdot l^3}{36}$
	$\frac{l}{36(a+b)} [a^4 + 2a^3b + b^4]$	$\frac{l^3}{36} [a+b + \frac{2 \cdot a \cdot b}{a+b}]$

3.6.1 A súlypont x irányú koordinátájának meghatározása a merülések értékéből

A hajó rendszer-súlypontjának a hosszirányú helyzetét a hajó merülési adatai alapján megállapíthatjuk. Ha a hajó vízszintesen úszik, akkor a hajó jellemző görbéiből a merülés függvényében leolvassuk a víz-kiszorítás súlypontjának x_d koordinátáját. Mivel egyensúlyi helyzetben a felhajtóerő és a súlyerő hatásvonala közös, az $x_G = x_d$ egyenlőség fennáll, tehát a leolvasott koordináta lesz egyben a hajó rendszer súlypontjának hosszirányú koordinátája is.



3.19 ábra
Trimmel úszó hajó közepes merülése

Ha a hajó trimmel úszik, először meg kell határoznunk a "közepes merülését" azaz azt a merülést, mellyel a hajó az adott terheléssel vízszintesen úszna. Kiszámoljuk a far és az orr merülés középértékét:

$$T_o = \frac{T_A + T_F}{2}$$

Ehhez a merüléshez a jellemző görbékből leolvassuk a vízvonalterület súlypontjának x_w értékét. A közepes merülés közelítő értéke, a 3.19 ábra jelöléseivel:

$$T_{ko} = T_o + x_{wo} \cdot \text{tg } \varphi$$

ahol

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{T_F - T_A}{L_{pp}}$$

A nyert T_{ko} értékhez újabb x_{wo} értéket olvasunk le a jellemző görbéből. A közelítést addig folytatjuk, amíg az utolsó és utolsó előtti leolvasás során azonos értéket találunk. Az utolsó T_{ko} értékhez leolvassuk a vízkiszorítás súlypontjának x_d koordinátáját, a vízvonalterület másodrendű nyomatékát (J_L) és a vízkiszorítást (V). A 3.3.1 pontban közöltek szerint ezzel a rendszer-súlypont koordinátája a (3.3.14) képletből kifejezhető:

$$x_G = x_d + \left(\frac{J_L}{V} - a \right) \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

Ha a hajón szabad felszíni folyadékra van, akkor a 3.5 pont szerint az alábbi képlettel kell számolnunk:

$$x_G = x_d + \left(\frac{J_L}{V} - a - \frac{\sum \rho_f \cdot J_f}{\rho \cdot V} \right) \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

Ahol J_f az egyes tartályokban a szabad folyadékfelszínnek a felszín súlypontján áthaladó harántirányú tengelyre számított másodrendű nyomatéka.

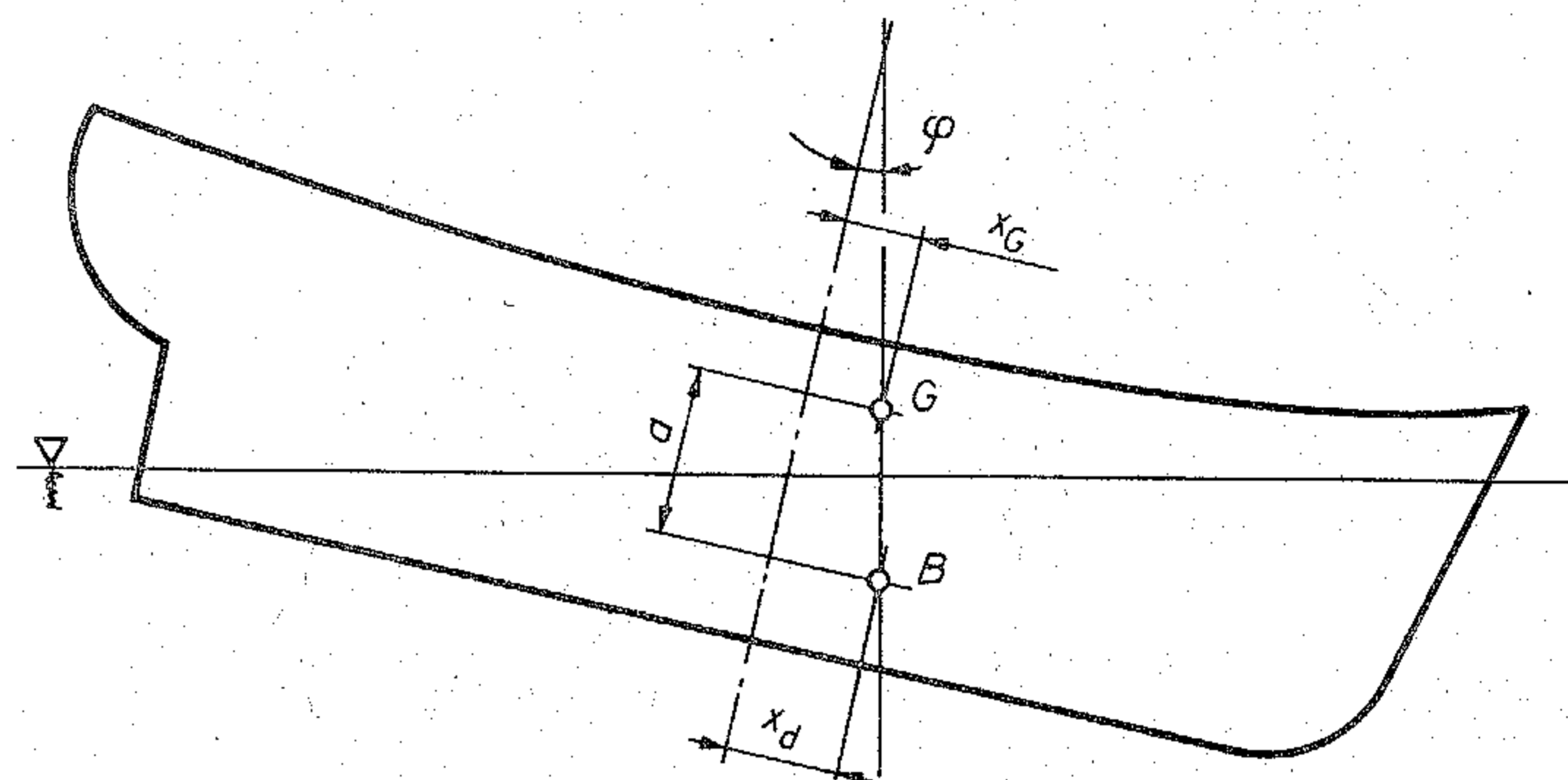
Ha a hajó nagy trimmel uszik, akkor a jellemző görbékől számítható érték nem pontos. Ilyen esetben a hajótest Bonjean-görbéit kell felhasználnunk.

A hajó merülési adatai alapján berajzoljuk a Bonjean-görbékbe a hajó úszásvonalát. Az úszásvonalhoz tartozó bordaterületek integrálásával a 2.4.4 pontban közöltek szerint meghatározzuk a vízkiszorítás súlypontjának x_d koordinátáját. Ezzel a 3.20 ábra szerint a hajó rendszer-súlypontjának rendezője:

$$x_G = x_d - a \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

A képletben φ a hajó trimm-szöge. Az $a = z_G - z_d$ kifejezésben a z_G értékét közelítő értékkel helyettesíthetjük. A z_d a vízkiszorítás súly-

pontjának magassága. Közelítésként a vízszintes uszásnál a jellemző görbékől kiolvasható értékével számolhatunk.



3.20 ábra

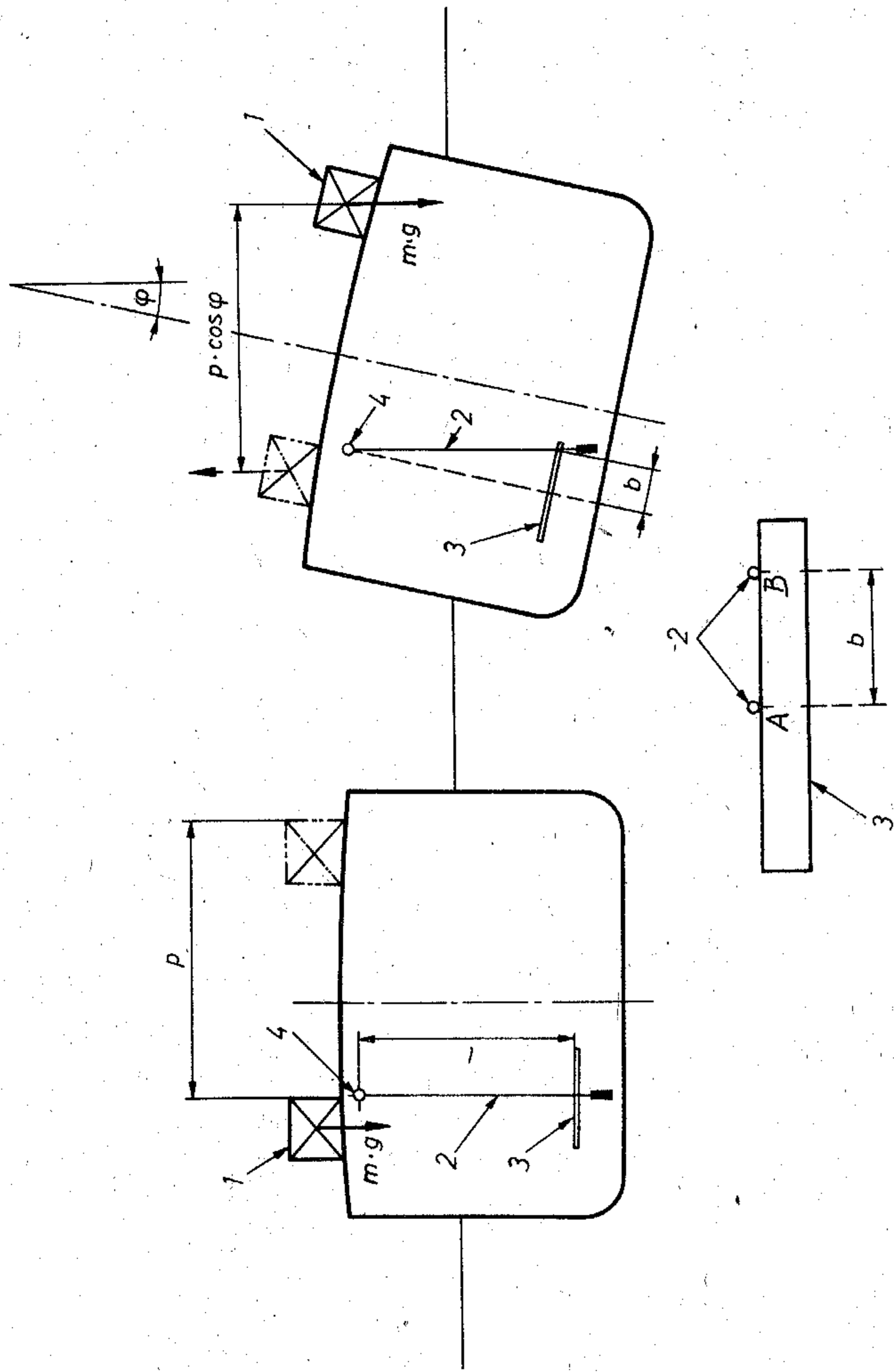
A rendszer-súlypont x_G rendezőjének meghatározása a trimmel úszó hajó vízkiszorítási súlyponthelyzetének ismeretében

3.6.2 A súlypont z irányú koordinátájának kísérleti meghatározása dőléspróbával

A rendszer-súlypont magassági helyzetét egyszerűen végrehajtható kísérlettel, a dőléspróbával (döntési kísérlettel) határozhatjuk meg. A hajó fedélzetén egy (vagy több) tömeget helyezünk el oly módon, hogy azt a kísérlet során oldal irányba át tudjuk helyezni. A hajó valamely belső terében egy ingát függesztünk fel a dőlésszög változásának meghatározására (3.21 ábra). A pontosabb leolvasás biztosítására minél hosszabb ingát célszerű elhelyezni (raktárban vagy felépítmény lépcsőházában). Az inga fonáljának alsó vége közelében a fonál mellé keresztirányban álló, közel vízszintes deszkalapot rögzítünk a hajóhoz, s lemérjük az inga felfüggesztése és a deszkalap felső síkja közötti távolságot (l).

A kiindulási helyzetben a deszkára rögzített papirlapon bejelöljük az inga fonáljának helyzetét (A). Lemérjük a hajó merülését valamennyi merülési mércénél. A merülések mérését célszerű csónakból végrehajtani. A csónakban lévők a dőléspróba befejezéséig nem szállhatnak vissza a hajóra, hogy a hajó terhelése változatlan maradjon.

A merülés-mérések befejezése után a fedélzetén elhelyezett m tömeget oldalirányban áthelyezzük, s lemérjük az áthelyezés p távolságát.



3.21 ábra
Döntéspróba. 1. áthelyezendő tömeg, 2. dőlésmérő inga, 3. deszkalap, 4. az inga felfüggesztési pontja

Ezután a hajón tartózkodó személyek visszatérnek pontosan abba a helyzetbe, ahol a kiindulási állapotban a merülések mérése és az inga helyzetének bejelölése alatt voltak.

A tömeg áthelyezése miatt a 3.21 ábra jelölései szerint $m \cdot g \cdot p \cdot \cos \varphi$ billentő nyomaték lép fel, mely a hajót megdőlt helyzetben tartja. Ebben az állapotban is bejelöljük a fonál helyzetét a deszkára helyezett papírlapon (B). A két jelölés közötti b távolsággal és az inga l hosszával a dőlésszög tangense meghatározható:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{b}{l}$$

A 3.4 pontban közöltek szerint:

$$m \cdot g \cdot p \cdot \cos \varphi = \rho \cdot g \cdot V \left(\frac{J_B}{V} - a \right) \sin \varphi$$

Így a zárójelben lévő kifejezés, az úgynevezett metacentrikus magasság számítható:

$$\overline{MG} = \left(\frac{J_B}{V} - a \right) = \frac{m \cdot g \cdot p \cdot \cos \varphi}{g \cdot \rho \cdot V \cdot \sin \varphi} = \frac{m \cdot p}{\rho \cdot V \cdot \operatorname{tg} \varphi}$$

A merülési adatok ismeretében az előző pontban foglaltak szerint meghatározzuk a hajó T_k közepes merülését. Ennek függvényében kiolvassuk a jellemző görbékől a V , x_d , z_d , J_B értékeket. Ezekkel az a értéke számítható:

$$a = \frac{J_B}{V} - \overline{MG}$$

Majd az a ismeretében a súlypont magassági helyzetét meghatározhatjuk:

$$z_G = a + z_d$$

Ha a hajón szabad felszínű folyadékra van, akkor a 3.5 pontban ismertettek szerint a nyert eredményt módosítanunk kell:

$$z_G = (a + z_d) - \frac{\sum J_f \cdot \rho_f}{\rho \cdot V}$$

vagy az \overline{MG} számításánál:

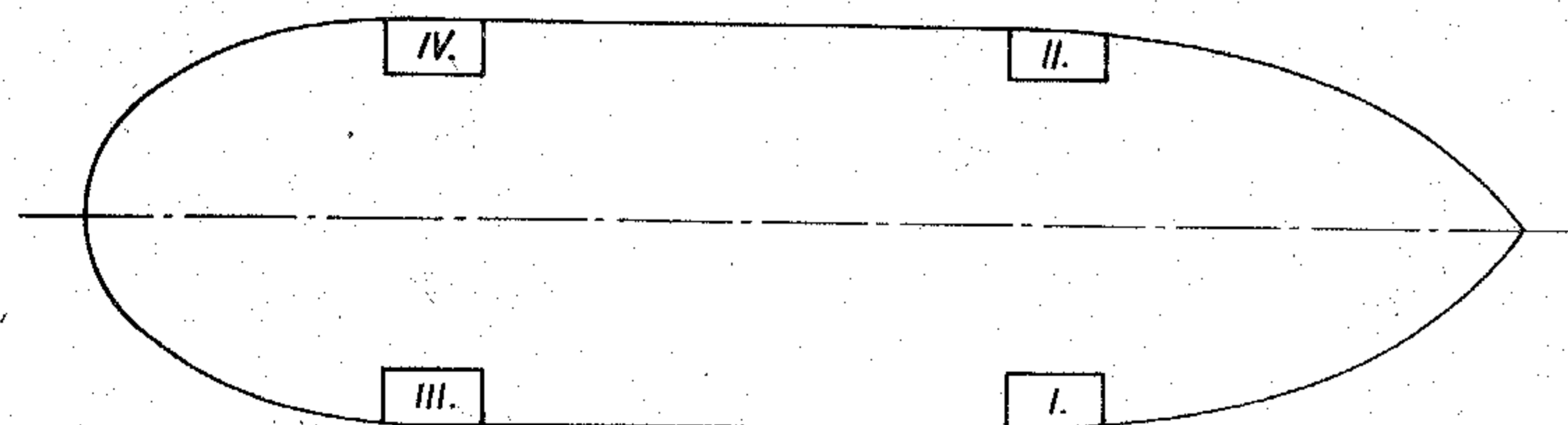
$$\overline{MG} = \frac{m \cdot p}{\rho \cdot V \cdot \text{tg } \varphi} + \frac{\sum J_f \cdot \rho_f}{\rho \cdot V}$$

A dőléspróba segítségével bármely terhelésnél meghatározhatjuk a hajó súlypontjának magassági helyzetét (3.8.12 példa).

A hajók építése vagy átépítése után a hatósági előírások is megkövetelik az üres felszerelt hajó súlypont-magasságának kísérleti meghatározását. Az ilyen célra végrehajtott dőléspróbák lefolytatását szabványban rögzítették (MSZ 20105-63).

A szabvány részletesen leírja a döntéspróba a hajó előkészítésének módját. Eszerint a mérés során csak a méréshez feltétlenül szükséges személyek tartózkodhatnak a hajón, de a hajót üzemkész állapotban, teljes felszereléssel és leltárral kell vizsgálni. A tartályoknak, raktáraknak üreseknek kell lenniük. Csak kivételesen engedhető meg üzemanyagkészlet is. Ennek és az üzemkész hajón szükséges egyéb folyadékok (hűtővíz, kazánvíz, stb.) szabad felszínének a saját súlyponti tengelyére számított másodrendű nyomatékainak összege nem haladhatja meg a vízvonalterület másodrendű nyomatékának 0,5 százalékát. Ettől függetlenül a laposfenekű hajóknál a fenékvizet teljesen el kell távolítani.

A próbára előkészített hajónak vízszintesen kell úsznia. Csak egy foknál kisebb oldalirányú dőlés engedhető meg. A hajónak a mérések során teljesen szabadon kell úsznia, legfeljebb a hajó orránál fogva, a hajó középsikjének irányában lehet egy laza kötéllel megfogni oly módon, hogy esetleges kisebb szél vagy áramlás irányába a hajó szabadon beállhasson. Ennek megfelelően a dőléspróbát csak álló vízben, és szélcsendben szabad végezni.



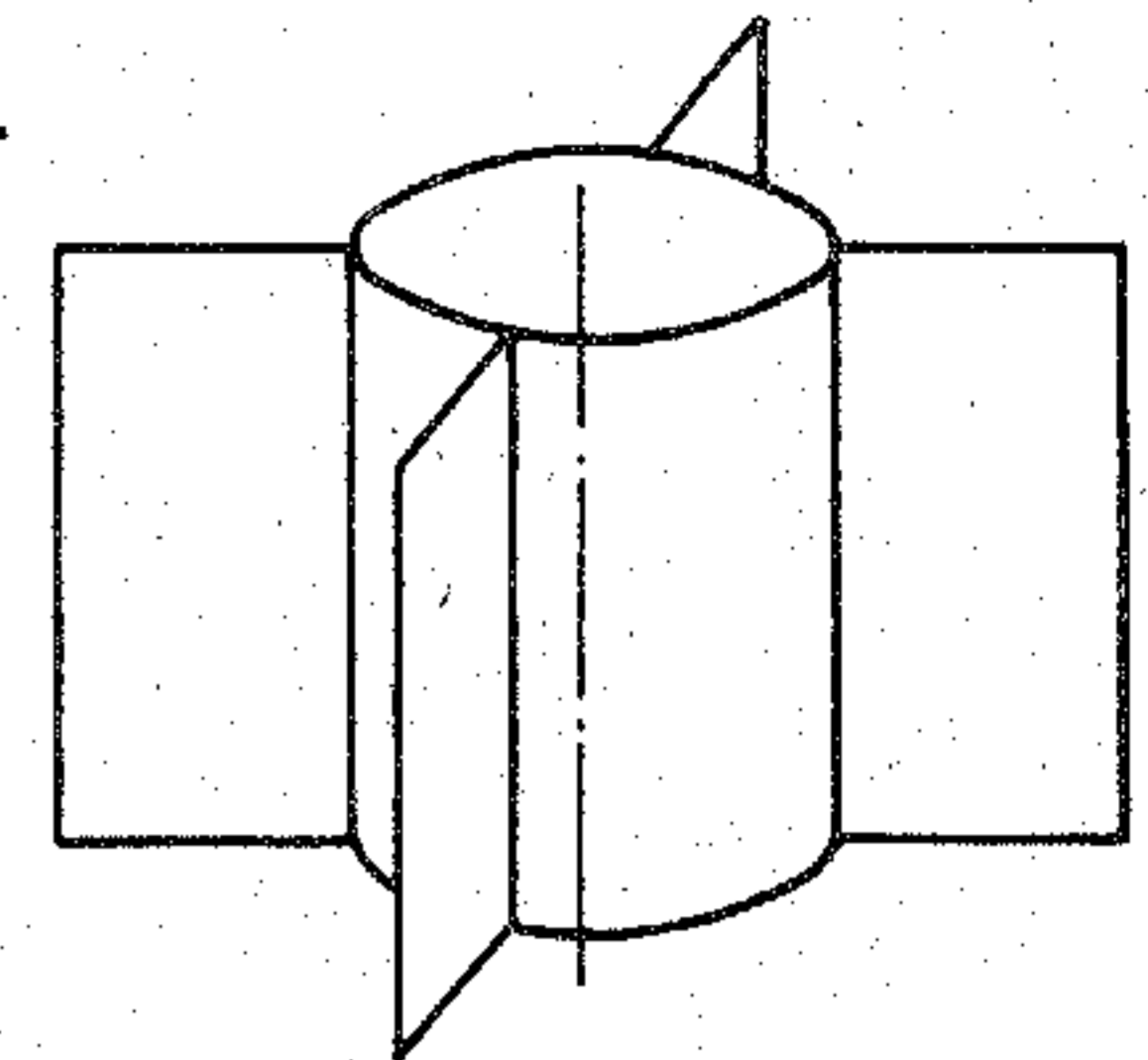
3.22 ábra

A próbasúlyok elhelyezése a döntéspróba megkezdésekor

A méréshez szükséges próbasúlyokat négy csoportban a fedélzet szélén kell elhelyezni (3.22 ábra) oly módon, hogy a hajó trimmje ne változzék az üres, felszerelt hajó trimmjéhez képest. Annyi próbasúlyt kell alkalmazni, hogy a súlyok egy oldalra helyezése esetén a hajó dő-

lésének szöge 2-4 fok között legyen. Ezt a szokásos hajóalakoknál a vízkiszorításnak kb. 0,5-2 százalékát kitevő próbasúly biztosítja.

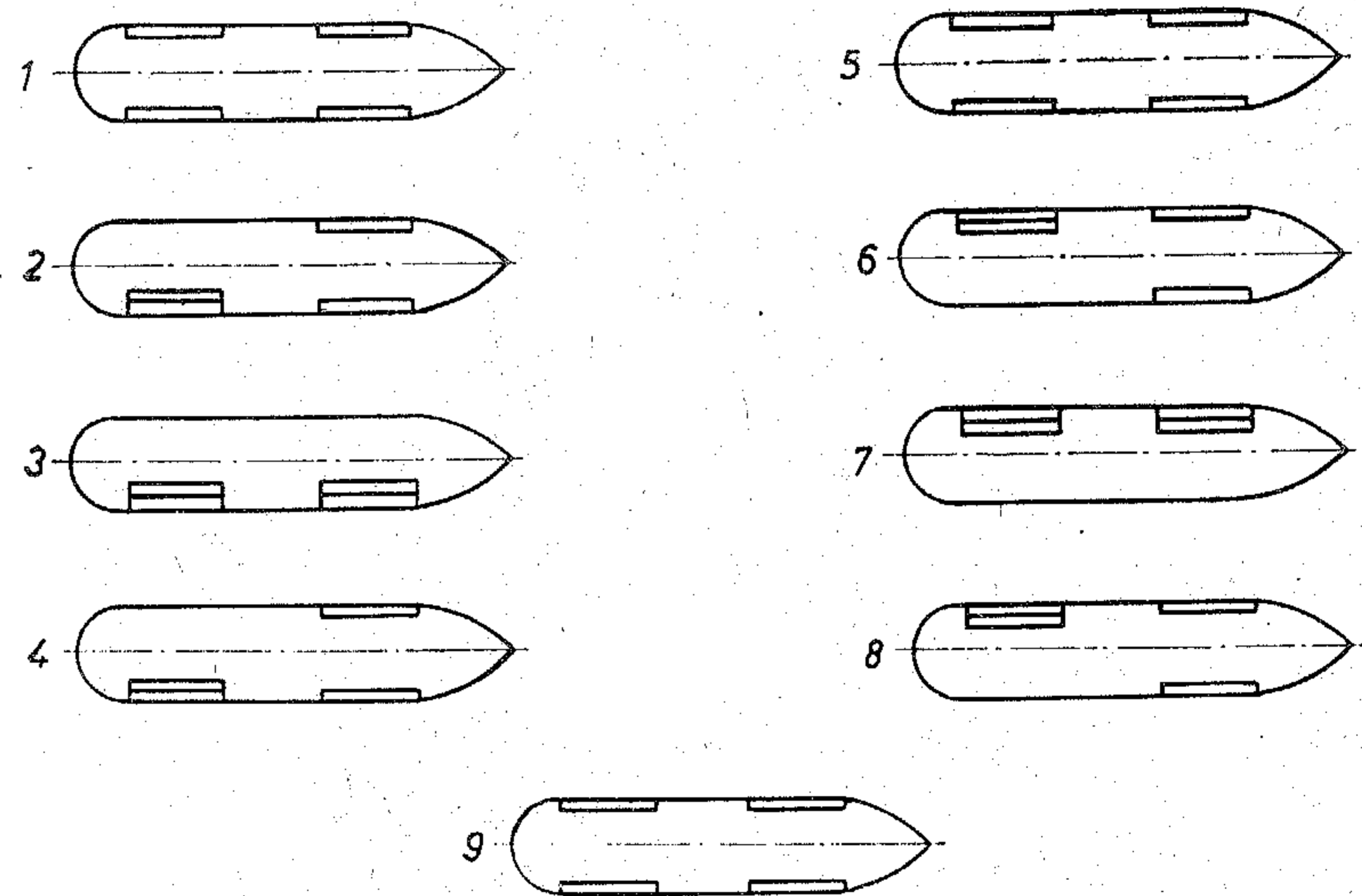
A dőlésszög meghatározásához fonál-¹ ingát vagy elfogadott típusú, dőlést regisztráló egyéb műszert kell használni. Inga használata esetén két ingát kell felszerelni a hajó két külön terében. Az inga lengésének csillapítására az inga súlyát vízzel vagy olajjal töltött edénybe kell lógatni, s a súlyt egymáshoz derékszögben álló négy csillapító szárnyal kell ellátni (3.23 ábra).



3.23 ábra

A dőlésmérés során használt inga

A mérés megkezdése előtt a hajó mérülését a hajón elhelyezett hivatalos mérceken kell leolvasni csónakról vagy tutajról. A hajó vízkiszorítását és egyéb geometriai jellemzőit a jellemző görbékből olvashatjuk le, ha a hajó mérsékelt trimmel úszik. Nagyobb trimmek esetén a vízkiszorítást a Bonjean-görbékből kell meghatároznunk, s a geometriai jellemzőket a hajó vonaltervéből vett adatokkal kell számolnunk.



3.24 ábra

A próbasúlyok elhelyezése a döntéspróba során

A döntéspróba során kilenc mérést kell végezni. Az egyes mérésekhez a próbasúlyokat a 3.24 ábra szerint kell elhelyezni. Az 1., 5. és a 9. mérés során bejelölt 3 ingahelyzet átlagából határozzuk meg azt a pontot, amelytől a 2-4. és 6-8 mérések során bejelölt ingahelyzet távolságát mérjük. Ezen távolságoknak és az inga hosszának hányadosából kell meghatároznunk a dőlésszög tangensét.

A hat mérés során a két inga által meghatározott dőlésszögek átlagát kell a számításoknál felhasználni. A metacentrikus magasságot a mérések adataiból az alábbi összefüggéssel kell számolnunk:

$$\overline{MG} = \frac{1}{\rho \cdot V} \frac{\sum (m_i \cdot p_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i)}{\sum \operatorname{tg}^2 \varphi_i}$$

ahol m_i a méréshez áthelyezett súlycsoport tömege

p_i az áthelyezés távolsága

φ_i a dőlésszög

A mérés megbízhatóságának ellenőrzésére meg kell határozni ezen kívül, minden mérés adatából külön-külön is a metacentrikus magasságokat:

$$\overline{MG}_i = \frac{1}{\rho \cdot V} \frac{m_i \cdot p_i}{\operatorname{tg} \varphi_i}$$

Az egyes mérésekből számított értékek és az átlag eltérése:

$$\Delta h_i = \overline{MG} - \overline{MG}_i$$

A valószínű, relatív hiba értékének megengedett értéke 3 százalék:

$$\varepsilon = \frac{1}{\overline{MG}} \sqrt{\frac{\sum \Delta h_i^2}{n \cdot (n-1)}} < 0,03$$

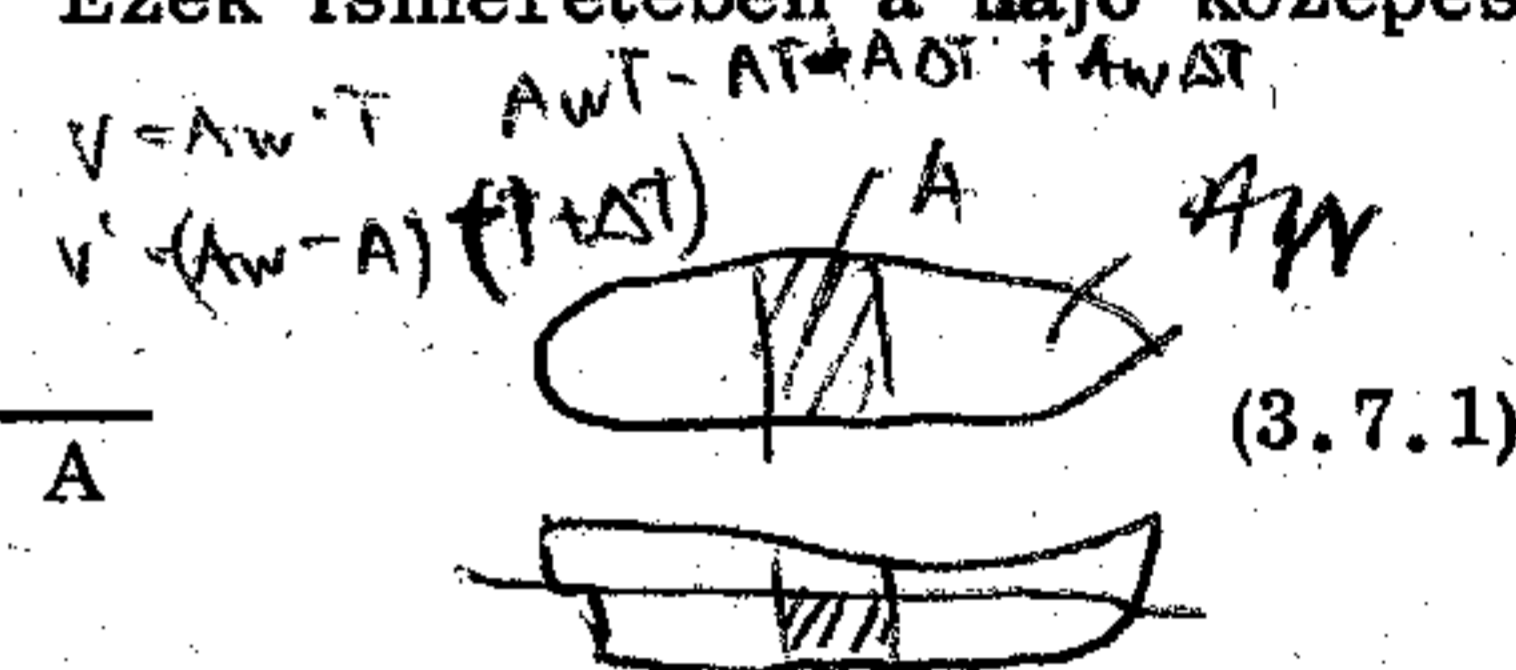
ahol n az értékelt mérések darabszáma (esetünkben $n = 6$).

3.7 Lékesedett hajó úszási jellemzőinek meghatározása

Ha a hajó léket kap, akkor a lékesedett teret határoló vízmentes válaszfalak által határolt térbe beáramlik a víz, s akülső víz szintjével azonos magasságig emelkedik. Az elárasztott tér nem vesz részt a vízkiszorításban. Mivel a hajó súlya változatlan maradt, a hajó épen maradt része beljebb merül a vízbe. Annyira merül beljebb, hogy a többlet vízkiszorítás fedezze a lékesedett tér megszünt vízkiszorítását.

Ebből a feltételből meghatározhatjuk a hajó közepes merülésének változását. A hajó vonalrajza (2.12 ábra) vagy a bordaterület görbéi (2.13 ábra) alapján meghatározzuk a sérült hajótérnek a v köbtartalmát az eredeti T merülésig. A hajó jellemző görbéjéből leolvassuk a T merüléshez tartozó A_w vízvonalterületet. Ezek ismeretében a hajó közepes merülésének a növekedése

$$\Delta T = \frac{v}{A_w - A}$$



ahol A a vízvonalterületnek a sérült térhez tartozó része.

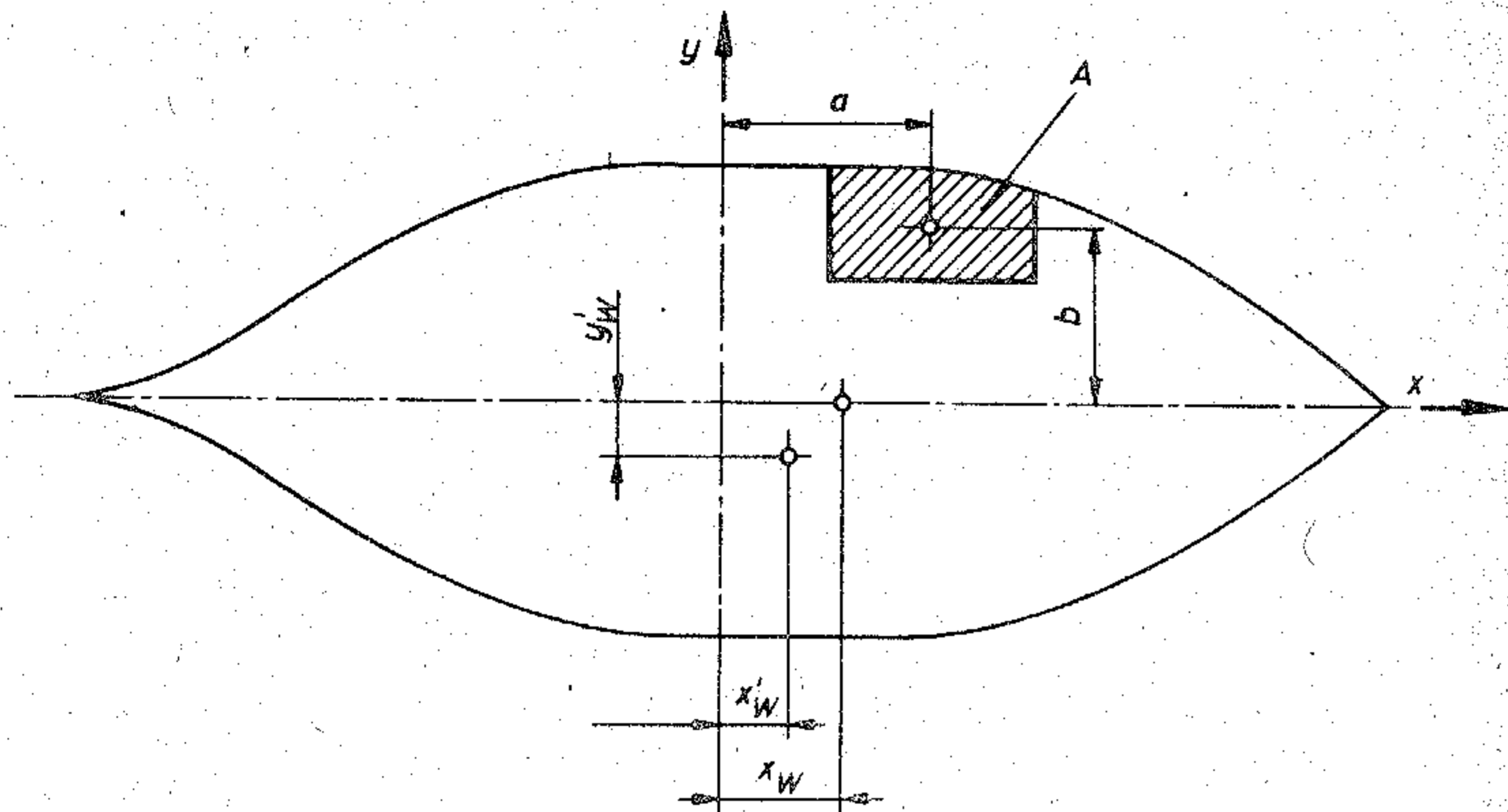
Ez az összefüggés csak függőleges oldalfalú hajók, azaz a különböző merülésnél azonos nagyságú vízvonalterületek esetén ad pontos értéket. Ezért a hajó jellemző görbéiből ellenőrzésként leolvassuk a $T + \Delta T$ merüléshez tartozó vízvonalterületet. Ha ez eltér a T merülésnél leolvasott értéktől, akkor meghatározzuk a két vízvonalterület középértékét, s ezt helyettesítjük be A_w értékeként a (3.7.1) összefüggésbe.

A második közelítésként kiszámított, pontosabb ΔT értékkel megnövelt $T + \Delta T$ merüléshez ismét kiolvassuk a jellemző görbékből a vízvonalterület nagyságát. Ha eltér az előzőtől, akkor tovább folytatjuk az iterálást, amíg az eltérés elhanyagolhatóan kicsi.

A hajó vonalrajza alapján meghatározzuk a lékesedett részhez tartozó vízvonalterület súlypontjának helyét. (A 3.25 ábrán az a és b rendezőjü pont.) Ha a sértetlen hajó vízvonalterülete súlypontjának koordinátáját (x_w) a jellemző görbékből kiolvassuk, akkor az épen maradó hajórész vízvonalterületének a súlypontját meghatározhatjuk:

$$x'_w = \frac{A_w \cdot x_w - A \cdot a}{A_w - A}$$

$$y'_w = -b \cdot \frac{A}{A_w - A} = \frac{A_w \cdot y_w - A \cdot b}{A_w - A}$$



3.25 ábra
Sérült hajó vízvonalterülete

A vízvonalterület másodrendű nyomatékainak a csökkenése:

$$\Delta J_B = i_x + Ab^2 + (A_w - A) \cdot y_w'^2 \quad (3.7.2)$$

$$\Delta J_L = i_y + A \cdot (a - x_w')^2 + (A_w - A) (x_w' - x_w)^2 \quad (3.7.3)$$

ahol i_x és i_y a sérült rész vízvonalterületének (a 3.25 ábrán vonalkázott területnek) az x , illetve y irányú súlyponti tengelyei-re számolt másodrendű nyomatékok.

A vízkiszorítás súlypontjának magasságirányú helyzete is megváltozik. A v térfogatú lékesedett tér súlypontja z magasságban volt a sértetlen hajónál. Lékesedés után az eredeti T merülés fölött, ΔT vastag réteg v vízkiszorítása pótolja a kieső vízkiszorítást. Tehát a vízkiszorítás v térfogatú részének súlypontmagassága z magasságból

$T + \frac{\Delta T}{2}$ magasságra emelkedett. Így a teljes V vízkiszorítás súlypontjának magassági helyzete megnövekedik. A növekedés:

$$\Delta z_d = \left[\left(T + \frac{\Delta T}{2} \right) - z \right] \frac{v}{V}$$

Ezzel az oldalirányú dőlés meghatározásához a metacentrikus magasság:

$$\overline{MG}'_B = \left[\frac{J_B - \Delta J_B}{V} - z_G + (z_d + \Delta z_d) \right]$$

Az eltérés a sértetlen hajó \overline{MG}_B metacentrikus magasságától:

$$\Delta \overline{MG}_B = \overline{MG}'_B - \overline{MG}_B = \left[\Delta z_d - \frac{\Delta J_B}{V} \right] = \frac{v}{V} \left[T + \frac{\Delta T}{2} - z - \frac{\Delta J_B}{v} \right]$$

A hosszirányú dőlés meghatározására szolgáló metacentrikus magasság változásában a vízkiszorítás súlypontjának magasságváltozása elhanyagolhatóan kicsi a metacentrikus sugár változásához képest. Így

$$\overline{MG}'_L = \frac{J_L - \Delta J_L}{V}$$

A lékesedett hajó dőlése oldalirányban

$$\varphi = \arctg \frac{v \cdot (y - y_w')}{V \cdot \overline{MG}'_B} \quad (3.7.4)$$

Hosszirányban

$$\psi = \arctg \frac{v \cdot (x - x_w')}{V \cdot \overline{MG}'_L} \quad (3.7.5)$$

ahol x, y, z a sérült térbe áramlott víz térfogatának a súlypontját meghatározó koordináták;

\overline{MG}_B és \overline{MG}_L a hajó metacentrikus magassága az eredeti úszási állapotban.

$$z + \Delta z_d = z_d = \frac{z_d \cdot V - z \cdot v + \left(T + \frac{\Delta T}{2} \right) v}{V} = z_d + \frac{v}{V} \left[\left(T + \frac{\Delta T}{2} \right) - z \right]$$

A hajó középrészén a merülés változása a lékesedés előtti állapot-
hoz képest, az y tengely pozitív iránya felőli oldalon:

$$\Delta T_j = \Delta T + \left(\frac{B}{2} - y'_w\right) \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

Az ellenkező oldalon:

$$\Delta T_b = \Delta T - \left(\frac{B}{2} + y'_w\right) \operatorname{tg} \varphi$$

Az orr és a far merülésének változása:

$$\Delta T_F = \Delta T + \left[\frac{L}{2} - x'_w\right] \operatorname{tg} \psi$$

$$\Delta T_A = \Delta T - \left[\frac{L}{2} + x'_w\right] \operatorname{tg} \psi$$

(3.7.6)

Az ismertett számítás egy iterációs eljárás első közelítése. A meg-
változott merüléshez ugyanis más beáramlott vízmennyiség és más geo-
metriai jellemzők tartoznak. Ezért az eredmény finomításához a megvá-
ltozott merüléshez tartozó adatokkal meg kell ismételnünk a számítást.

3.8 Példák a 3. fejezethez

3.8.1 Példa

Egy 14 m hosszú, 4 m széles, 1 m oldalmagasságu, téglatest ala-
ku uszómű saját tömege $m_o = 5 \text{ Mg}$. Súlypontja $z_o = 0,55 \text{ m}$ maga-
san a hajó középsíkában, a hossz felezőjében van ($x_o = y_o = 0$).

A 3.26 ábra szerint egy 15 Mg tömegű konténert helyezünk el az
uszóművön.

Az eredő tömeg és súlypontjának meghatározása:

	m	x	m.x	z	m.z
	Mg	m	Mg.m	m	Mg.m
üres hajó	5,0	0	0	0,55	2,75
konténer	15,0	2,5	37,5	2,0	30
	20,0		37,5		32,75

$$x_G = \frac{37,5}{20} = 1,875 = 1,88 \text{ m}$$

$$z_G = \frac{32,75}{20} = 1,6375 = 1,64 \text{ m}$$

A hajó jellemző görbét
nem kell előre elkészítenünk,
mert egy téglatest geometri-
ai jellemzőit könnyen kiszá-
molhatjuk.

A hajó vízkiszorítása
 $1,025 \text{ Mg/m}^3$ sűrűségű ten-
gervízben:

$$V = \frac{20}{1,025} = 19,51 \text{ m}^3$$

A hajótest vízvonalterülete
bármely merülésnél:

$$A_w = 14,4 = 56 \text{ m}^2$$

Igy a közepes merülés:

$$T_k = \frac{V}{A_w} = \frac{19,51}{56} = 0,348 \text{ m}$$

A vízkiszorítás súlypontja (téglatest súlypontja) a merülés felezőjében
van:

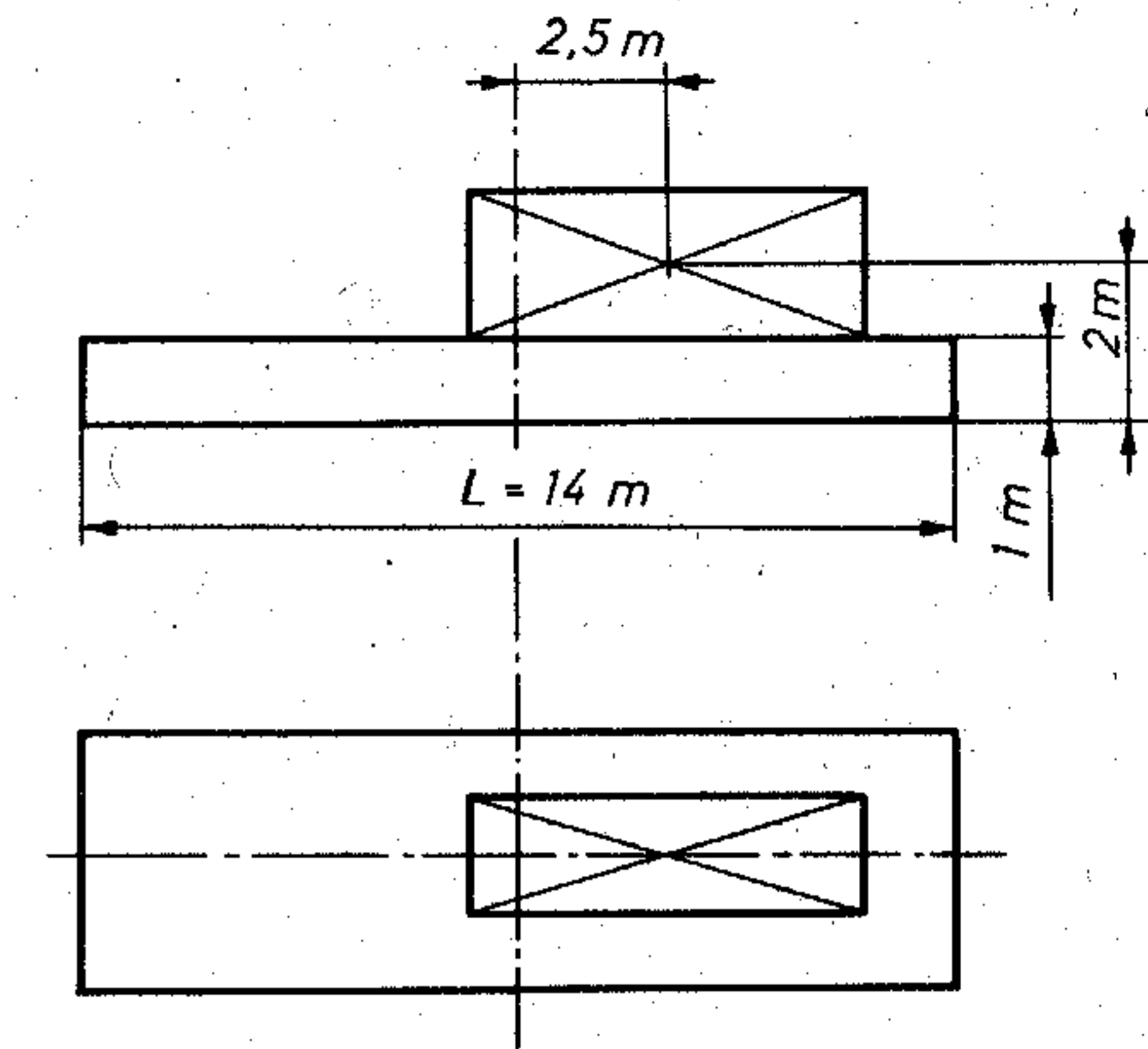
$$z_d = \frac{0,348}{2} = 0,174 \text{ m}$$

A vízvonalterület másodrendű nyomatéka:

$$J_L = \frac{14^3 \cdot 4}{12} = 915 \text{ m}^4$$

A hosszirányú metacentrikus sugár:

$$R = \frac{J_L}{V} = \frac{915}{19,51} = 46,88 \text{ m}$$



3.26 ábra

A 3.8.1 példa magyarázó ábrája

A súlypontok magasságkülönbsége:

$$a = z_G - z_d = 1,64 - 0,174 = 1,47 \text{ m}$$

A hajó trimmszögének tangense:

$$\text{tg } \varphi = \frac{x_G - x_d}{R - a} = \frac{1,88 - 0}{46,88 - 1,47} = 0,0414$$

A merülések:

$$T_A = T_k - \left(\frac{L}{2} + x_w\right) \cdot \text{tg } \varphi = 0,348 - \left(\frac{14}{2} + 0\right) \cdot 0,0414 = 0,06 \text{ m}$$

$$T_F = T_k + \left(\frac{L}{2} - x_w\right) \cdot \text{tg } \varphi = 0,348 + \left(\frac{14}{2} - 0\right) \cdot 0,0414 = 0,64 \text{ m}$$

3.8.2 Példa

Az előző példában meghatározott úszási helyzetben tovább rakodva, egy 3 Mg tömegű tárgyat helyezünk a fedélzet bal hátsó sarka közelébe.

Az eredő tömeg és súlypontjának meghatározása:

	m Mg	x m	m · x Mg · m	z m	mz Mg · m
hajó rakodás előtt	20,0		+37,5		32,75
rakomány	3,0	-5	-15,0	2,25	6,75
	23,0		+22,5		39,50

$$x_G = \frac{22,5}{23} = 0,98 \text{ m} \quad z_G = \frac{39,5}{23} = 1,72 \text{ m}$$

$$V = \frac{23}{1,025} = 22,44 \text{ m}^3$$

$$T_k = \frac{22,44}{56} = 0,40 \text{ m}$$

$$z_d = 0,20 \text{ m}$$

$$R = \frac{J_L}{V} = \frac{915}{22,44} = 40,78 \text{ m}$$

$$a = 1,72 - 0,20 = 1,52 \text{ m}$$

$$\text{tg } \varphi = \frac{0,98 - 0}{40,78 - 1,52} = 0,02496$$

$$T_A = 0,40 - \left(\frac{14}{2} + 0\right) \cdot 0,02496 = 0,225 \text{ m}$$

$$T_F = 0,40 + \left(\frac{14}{2} - 0\right) \cdot 0,02496 = 0,575 \text{ m}$$

A 3 Mg-os láda nem a hajó középsíkjában van. Így a hajót megbillenti oldalirányban is. A billentőnyomaték

$$M_B = m \cdot y = 3 \cdot 1 = 3 \text{ Mg} \cdot \text{m}$$

ahol $y = 1 \text{ m}$ a távolság a felrakott tárgy és a hajó középvonala között.

A vízvonalterület másodrendű nyomatéka a hosszirányú tengelyre:

$$J_B = \frac{14 \cdot 4^3}{12} = 74,7 \text{ m}^4$$

A metacentrikus sugár a keresztirányú billenéshez:

$$r = \frac{J_B}{V} = \frac{74,7}{22,44} = 3,327 \text{ m}$$

Így az oldalirányú dőlésszög tangense:

$$\text{tg } \varphi = \frac{M_B}{\rho \cdot V \cdot (r - a)} = \frac{3}{1,025 \cdot 22,44 \cdot (3,327 - 1,52)} = 0,072$$

A merülésváltozás a hajó jobb és baloldalán azonos nagyságú:

$$t_b = t_j = \frac{B}{2} \cdot \text{tg } \varphi = \frac{4}{2} \cdot 0,072 = 0,144 \text{ m}$$

Ha a rakományt a baloldalra tettük, a ponton négy sarkának merülése:

$$T_{Ab} = T_A + t_b = 0,225 + 0,144 = 0,37 \text{ m}$$

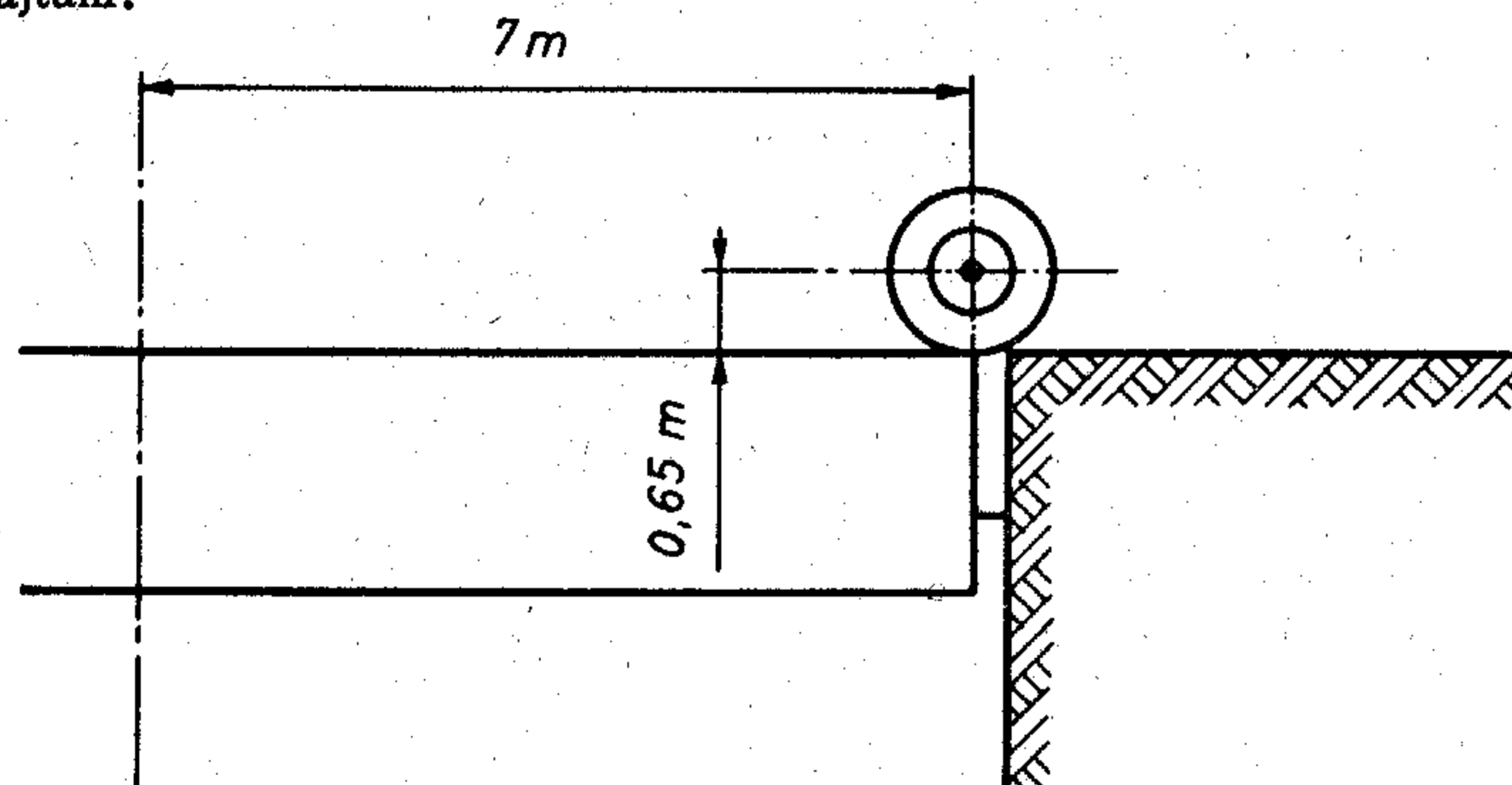
$$T_{Aj} = T_A - t_j = 0,225 - 0,144 = 0,08 \text{ m}$$

$$T_{Fb} = T_F + t_b = 0,575 + 0,144 = 0,72 \text{ m}$$

$$T_{Fj} = T_F - t_j = 0,575 - 0,144 = 0,43 \text{ m}$$

3.8.3 Példa

Az első példában megadott méretű ponton egyik végével a 3.27 ábra szerint a partfal mellé állunk. Egy nehéz gépjárművel akarunk a pontonra hajtani.



3.27 ábra

A 3.8.3 példa magyarázó ábrája

Határozzuk meg az úszási helyzetet a jármű első kerekeinek az úszómű széle feletti helyzetében. A jármű első tengelyén átadott súlyerő (tengelynyomás) az úszómű bármilyen elmozdulása, dőlése esetén változatlanul a tengelyen adódik át, így a rakomány súlypontját a tengelynél vesszük fel.

A jármű első tengelyén átadott súlyerő 20,9 kN. Ezt a tengelynyomást akkora tömegű rakományként vesszük figyelembe, melynek súlya azonos:

$$m_1 = \frac{20900}{9,81} = 2130 \text{ kg} = 2,13 \text{ Mg}$$

	m	x	m·x	z	m·z
	Mg	m	Mg·m	m	Mg·m
üres hajó	5,0	0	0	0,55	2,75
"tengelynyomás"	2,13	+7	+14,91	1,65	3,51
	7,13		+14,91		6,26

$$x_G = \frac{14,91}{7,13} = 2,09 \text{ m} \quad z_G = \frac{6,26}{7,13} = 0,88 \text{ m}$$

$$V = \frac{7,13}{1,025} = 6,956 \text{ m}^3$$

$$T_k = \frac{6,956}{56} = 0,124 \text{ m}$$

$$z_d = \frac{T}{2} = 0,062 \text{ m}$$

$$a = z_G - z_d = 0,88 - 0,062 = 0,82 \text{ m}$$

$$R = \frac{J_L}{V} = \frac{915}{6,956} = 131,541 \text{ m}$$

$$\text{tg } \varphi = \frac{2,09 - 0}{131,541 - 0,82} = 0,016$$

$$T_A = 0,124 - \left(\frac{14}{2} + 0\right) \cdot 0,016 = 0,012 \text{ m} \approx 0,01 \text{ m}$$

$$T_F = 0,124 + \left(\frac{14}{2} - 0\right) \cdot 0,016 = 0,236 \text{ m} \approx 0,24 \text{ m}$$

A hajó üres vízkiszorítása: $V = \frac{5}{1,025} = 4,88 \text{ m}^3$

merülése: $T = \frac{4,88}{56} = 0,087 \text{ m}$ volt.

Így a ponton elülső végének süllyedése a jármű felhajtásakor

$$\Delta T = T_F - T = 0,236 - 0,087 = 0,149 \text{ m}$$

3.8.4 Példa

Az előző példa folytatásaként határozzuk meg a hajó úszási helyzetét abban a pillanatban, amikor a jármű hátsó két kereke a ponton elülső végére ér, s az első kerekek a ponton közepétől 2 m-rel a hajó orra felé helyezkedik el.

Ha a jármű teljesen az úszóművön van, a terhelő súlyerő mindig a jármű tömegközéppontján halad át. Így a két tengelynyomás súlypontjának magassági helyzeteként a jármű súlypont-magasságát vesszük figyelembe.

A hátsó tengely nyomása 25 kN. Ennek megfelelő tömeg 2,55 Mg. A jármű súlypontja 1,8 m magasan van a fedélzet felett. Az eredő tömeg és a súlyponthelyzetek:

	m Mg	x m	mx Mg·m	z m	mz Mg·m
üres hajó	5,0	0	0	0,55	2,750
első tengely	2,13	+2,0	+4,26	2,80	5,9764
hátsó tengely	2,55	+7,0	+17,85	2,80	7,140
	9,68		+22,11		15,854

$$x_G = \frac{+22,11}{9,68} = + 2,28 \text{ m} \quad z_G = \frac{15,85}{9,68} = 1,64 \text{ m}$$

$$V = \frac{9,68}{1,025} = 9,44 \text{ m}^3$$

$$T_k = \frac{9,44}{56} = 0,169 \text{ m}$$

$$z_d = \frac{T_k}{2} = 0,085 \text{ m}$$

$$a = 2,28 - 0,085 = 2,20 \text{ m}$$

$$R = \frac{915}{9,44} = 96,93 \text{ m}$$

$$\text{tg } \varphi = \frac{2,28-0}{96,93-2,20} = 0,0241$$

$$T_A = 0,169 - \left(\frac{14}{2} + 0\right) 0,0241 = 0,00 \text{ m}$$

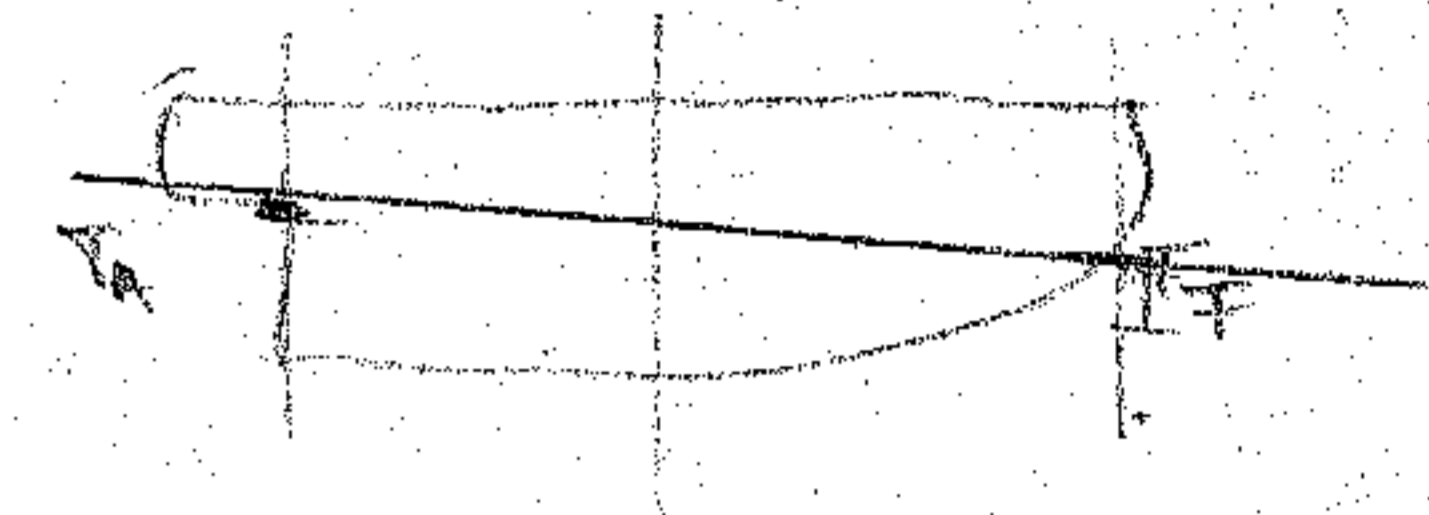
$$T_F = 0,169 + \left(\frac{14}{2} - 0\right) 0,0241 = 0,34 \text{ m}$$

3.8.5 Példa

Egy $L_{pp} = 67,0 \text{ m}$; $B = 11,3 \text{ m}$; $D = 5,3 \text{ m}$ főméretekkel rendelkező hajó valamennyi szükséges adata és a hajótest jellemző görbéje (a 27. melléklet) rendelkezésünkre áll. Határozzuk meg az üres, felszerelt hajó tömegét és súlypontjának hosszirányú helyzetét, a merülések értékéből.

A merülések mért értéke: $T_A = 3,45 \text{ m}$

$T_F = 1,57 \text{ m}$



A trimm-szög tangense:

$$\text{tg } \psi = \frac{T_F - T_A}{L_{pp}} = \frac{1,57 - 3,45}{67,00} = -0,028$$

A közepes merülés közelítő értéke:

$$T_o = \frac{T_A + T_F}{2} = \frac{3,45 + 1,57}{2} = 2,51 \text{ m}$$

A jellemző görbékől T_o értékéhez a vízvonalterület súlypontjának helyzete $x_w = + 0,145 \text{ m}$. Így a merülés korrekciója:

$$\Delta T = x_w \cdot \text{tg } \psi = 0,145 \cdot (-0,028) = -0,004 \text{ m}$$

Ezzel a közepes merülés

$$T_k = T_o + \Delta T = 2,51 - 0,004 \approx 2,51 \text{ m}$$

azaz a korrekció jelen esetben elhanyagolható. A jellemző görbékől a vízkiszorítás a T_k merülésnél: $V = 1300 \text{ m}^3$.

a vízkiszorítás súlypont helyzete: $x_d = + 0,36 \text{ m}$

$$z_d = 1,35 \text{ m}$$

A vízvonalterület hosszirányú másodrendű nyomatéka:

$$J_L = 132125 \text{ m}^4$$

Így a metacentrikus sugár

$$R = \frac{J_L}{V} = \frac{132125}{1300} = 101,63 \text{ m}$$

A rendszersúlypont magassági koordinátájának becsült értéke

$$z_G = 0,8 \cdot D = 0,8 \cdot 5,3 = 4,24 \text{ m}$$

Így

$$a = z_G - z_d = 4,24 - 1,35 = 2,89 \text{ m}$$

Ezekkel az adatokkal a hajó súlypontjának hosszirányú rendezője:

$$x_G = (R-a) \cdot \text{tg } \psi + x_d = (101,63 - 2,89) \cdot (-0,028) + 0,36 = -2,41 \text{ m}$$

A hajó tömege:

$$m = \rho \cdot V = 1,025 \cdot 1300 = 1333 \text{ Mg}$$

Ha az a értékét elhanyagoljuk:

$$x_G = R \cdot \text{tg } \psi + x_d = 101,6 \cdot (-0,028) + 0,36 = -2,49 \text{ m}$$

a hiba a jelen esetben 2 %.

3.8.6 Példa

Az előző példában szereplő hajó rakodás közben $T_A = 4,90 \text{ m}$:

$T_F = 3,10 \text{ m}$ merüléssel úszik. Számítsuk ki, mennyi a behajózott rakomány:

A trimm-szög tangense:

$$\text{tg } \psi = \frac{T_F - T_A}{L_{pp}} = \frac{3,10 - 4,90}{67} = -0,0269$$

A közepes merülés első közelítése:

$$T_{01} = \frac{T_F + T_A}{2} = \frac{3,10 + 4,90}{2} = 4,00 \text{ m}$$

Ezen merüléshez a jellemző görbékéből:

$$x_w = -1,04 \text{ m}$$

Így a merülés korrekciója:

$$\Delta T = x_w \cdot \text{tg } \psi = -1,04 \cdot (-0,0269) = +0,0279 = 0,03 \text{ m}$$

A közepes merülés második közelítése:

$$T_{02} = T_{01} + \Delta T = 4,00 + 0,03 = 4,03 \text{ m}$$

Ennél a merülésnél

$$x_w = -1,06 \text{ m}$$

$$\Delta T = -1,06 \cdot (-0,0269) = 0,0284 \approx 0,03 \text{ m}$$

Az eltérés pontos értéke $28,4 - 27,9 = 0,5 \text{ mm}$, azaz elhanyagolható. Tehát a mértékadó közepes merülés

$$T_k = 4,03 \text{ m}$$

A jellemző görbékéből leolvasott adatok T_k merülésnél:

$$V = 2130 \text{ m}^3$$

$$x_d = +0,04 \text{ m}$$

$$z_d = 2,15 \text{ m}$$

$$J_L = 16850 \text{ m}^4$$

A hosszirányú metacentrikus sugár

$$R = \frac{J_L}{V} = \frac{16850}{2130} = 79,1 \text{ m}$$

A súlypont magasságának közelítő értéke $z_G = 0,8$, $D = 4,24$ m.

$$a = z_G - z_d = 4,24 - 2,15 = 2,09 \text{ m}$$

Ezzel a hajó rendszer-súlypontjának helyzete:

$$x_G = (R-a) \cdot \text{tg } \psi + x_d = (79,1 - 2,09) \cdot (-0,0269) + 0,04 = -2,03 \text{ m}$$

A hajó tömege:

$$m = \rho \cdot V = 1,025 \cdot 2130 = 2183 \text{ Mg}$$

Ha az előző példában szereplő merüléssel úszott a hajó a rakodás előtt, akkor a berakott tömeg:

$$m_R = 2183 - 1333 = 850 \text{ Mg.}$$

A merüléseket általában 1 cm pontossággal tudjuk leolvasni. A hajó vízvonalterülete a vizsgált $T_k = 4,03$ m közepes merülésénél $A_w = 616 \text{ m}^2$. Így 1 cm merülésváltozáshoz tartozó vízkiszorítás változás

$$\Delta V = A_w \cdot \Delta T = 616 \cdot 0,01 = 6,16 \text{ m}^3$$

azaz, ha a merüléseknél fel vagy le kerekítettünk egész cm értékre, a legrosszabb esetben ± 6 Mg hibával számolhatunk a berakott m_R meghatározásánál.

3.8.7 Példa

Az előző két példában is szereplő hajó III. raktárába 400 Mg, a II. raktárába 600 Mg ömlesztett rakományt akarunk berakni. A berakott áru átlagos sűrűsége $1,6 \text{ Mg/m}^3$. Így a raktárban elfoglalt térfogatuk:

$$\frac{400}{1,6} = 250 \text{ m}^3 \quad \text{és} \quad \frac{600}{1,6} = 375 \text{ m}^3.$$

A hajó raktárainak adatait tartalmazó rajzról leolvashatjuk, hogy a III. raktárt 1,74 m magasan, a II. raktárt 2,60 m magasan tölti meg a vízszintesre símított felületű rakomány. Ugyancsak a rajzról olvasható le, hogy mi lesz a rakományok súlyponthelyzete:

$z_{III} = 1,68$ m és $z_{II} = 2,10$ m, az alapvonalától,

$x_{III} = -7,80$ m és $x_{II} = +5,88$ m, a főbordától.

A tömeg adatai:

	m	x	mx	z	m
	Mg	m	Mg·m	m	Mg·m
üres felszerelt hajó	1333	-2,41	-3212,53	4,24	5651,92
rakomány III. raktárban	400	-7,80	-3120,00	1,68	672
rakomány II. raktárban	600	+5,88	+3528,00	2,10	1260
	2333		-2804,53		7583,92

$$x_G = \frac{-2804,53}{2333} = -1,202 \text{ m} \quad z_G = \frac{7583,92}{2333} = 3,251 \text{ m}$$

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{2333}{1,016} = 2296 \text{ m}^3$$

A jellemző görbékől ezen vízkiszorításnál:

$$T_k = 4,30 \text{ m}$$

$$x_d = -0,05 \text{ m}$$

$$z_d = 2,29 \text{ m}$$

$$x_w = -1,32 \text{ m}$$

$$J_L = 176250 \text{ m}^4$$

$$J_B = 5580 \text{ m}^4$$

Számított értékek:

$$R = \frac{J_L}{V} = \frac{176250}{2296} = 76,76 \text{ m}$$

$$r = \frac{J_B}{V} = \frac{5580}{2296} = 2,43 \text{ m}$$

$$a = z_G - z_d = 3,25 - 2,29 = 0,96 \text{ m}$$

A hajó trimm-szöge:

$$\text{tg } \psi = \frac{x_G - x_d}{R - a} = \frac{-1,202 + 0,05}{76,76 - 0,96} = -0,0152$$

A merülések

$$T_A = T_k - \left[\frac{L}{2} + x_w \right] \cdot \text{tg } \psi = 4,30 - \left[\frac{67}{2} - 1,32 \right] \cdot (-0,0152) = 4,79 \text{ m}$$

$$T_F = T_k + \left[\frac{L}{2} - x_w \right] \cdot \text{tg } \psi = 4,30 + \left[\frac{67}{2} + 1,32 \right] \cdot (-0,0152) = 3,77 \text{ m}$$

3.8.8 Példa

Az előző példában kiszámított úszási helyzetben a hajó I. raktárban közepén, a padlón elhelyezett 3 Mg tömegű ládát daruval kiemeljük, s a rakpartra kitesszük. Mennyi lesz a főbordán a hajó merülésváltozása a hajó két oldalán?

(A jellemző görbéből kiolvasott értékek azonosak az előző pontban felsoroltakkal.)

A hajó rendszer-súlypontjának magassági helyzete változott. A súlypont eltolódása: a tömeg-nyomaték változása osztva a teljes tömeggel.

A teljes tömeg $m = 2333 \text{ Mg}$; $z_G = 3,25 \text{ m}$.

Az $m_1 = 3 \text{ Mg}$ láda súlypontja a raktárban $z_{10} = 1,52 \text{ m}$. A darukötélen függve a súlypontja a gém végén lévő kötél terelő tárcsa tengelye. Ez az alapvonal felett $z_{11} = 8,56 \text{ m}$ magasan van. A teljes hajó súlypontjának magasságirányú elmozdulása:

$$\Delta z = \frac{m_1(z_{11} - z_{10})}{m} = \frac{3 \cdot (8,56 - 1,52)}{2333} = 0,009 \text{ m} = 0,01 \text{ m}$$

Így a $z_G = 3,25 + 0,01 = 3,26 \text{ m}$ értékkel számolunk.

$$a = z_G - z_d = 3,26 - 2,29 = 0,97 \text{ m}$$

Az oldalirányú billentő nyomaték, amikor a 3 Mg-os ládát a hajó közép-vonalától 9 m-re a part felé kinyújtjuk:

$$M_B = 3 \cdot 9 = 27 \text{ Mg} \cdot \text{m}$$

A metacentrikus magasság:

$$\overline{MG} = (r-a) = 2,43 - 0,97 = 1,46 \text{ m}$$

A hajó dőlésszögének tangense:

$$\text{tg } \varphi = \frac{M_B}{\rho \cdot V \cdot (r-a)} = \frac{27}{2333 \cdot 1,46} = 0,0079$$

A merülés változása a hajó jobb és baloldalán:

$$t = \frac{B}{2} \cdot \text{tg } \varphi = \frac{11,3}{2} \cdot 0,0079 = 0,045 \text{ m}$$

Így a hajó közepén a jobb és baloldali merülések:

$$T_j = 4,30 + 0,045 = 4,345 \text{ m}$$

$$T_b = 4,30 - 0,045 = 4,255 \text{ m}$$

3.8.9 Példa

Vizsgáljuk meg az előző példa kiindulási adataival, hogy mi lesz az úszási helyzet, ha a hajó két tankjában szabad felszínű folyadék van.

A tankok adatai:

a) Ballaszttank hossza $\ell = 13,5 \text{ m}$; szélessége $b = 5,65 \text{ m}$; a tankban tengervíz van. A metacentrikus magasság látszólagos csökkenése (a súlypontmagasság növekedése):

$$\Delta h_a = \frac{\rho_f}{\rho} \cdot \frac{\ell b^3}{12} \cdot \frac{1}{V} = \frac{1025}{1025} \cdot \frac{13,5 \cdot 5,65^3}{12} \cdot \frac{1}{2296} = 0,088 \text{ m}$$

b) Üzemolajtank hossza $\ell = 9,5 \text{ m}$; szélessége $b = 4,5 \text{ m}$; a tankban $\rho_f = 800 \text{ kg/m}^3$ sűrűségű olaj van:

$$\Delta h_b = \frac{800}{1025} \cdot \frac{9,5 \cdot 4,5^3}{12} \cdot \frac{1}{2296} = 0,025 \text{ m}$$

Az eredő:

$$\Delta h = 0,088 + 0,025 = 0,123 \text{ m}$$

Igy a metacentrikus magasság:

$$MG = 1,46 - 0,123 = 1,24 \text{ m}$$

Ezzel a dőlésszög tangense:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{M_B}{\rho \cdot V \cdot \overline{MG}} = \frac{27}{2333 \cdot 1,24} = 0,0093$$

A merülésváltozás a két oldalon:

$$t = \frac{B}{2} \cdot \operatorname{tg} \varphi = \frac{11,30}{2} \cdot 0,0093 = 0,053 \text{ m}$$

Igy a hajó közepén a merülés:

$$T_j = 4,30 + 0,053 = 4,353 \text{ m}$$

$$T_b = 4,30 - 0,053 = 4,247 \text{ m}$$

3.8.10 Példa

Az előző két példában számításba vett $M_B = 27 \text{ Mg} \cdot \text{m}$ billentőnyomaték hogyan döntené meg a hajót, ha a hajó egyik vízszintes tere vízzel telt meg, s a vízterheléssel a hajó - véletlenül - a 3.8.9 példában vizsgált közepes merüléssel uszik?

A hajótestben lévő víz felszíne 13,5 m hosszú, 11,3 m széles. Így a metacentrikus magasság csökkenése a szabad felszínű folyadékrakomány miatt:

$$\Delta h = \frac{\rho_f}{\rho} \frac{\ell \cdot b^3}{12} \cdot \frac{1}{V} = \frac{1016}{1016} \cdot \frac{13,5 \cdot 11,3^3}{12} \cdot \frac{1}{2296} = 0,707 \text{ m}$$

Ezzel a metacentrikus magasság:

$$\overline{MG} = 1,24 - 0,707 = 0,53 \text{ m}$$

A dőlésszög tangense:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{M_B}{\rho \cdot V \cdot \overline{MG}} = \frac{27}{2333 \cdot 0,53} = 0,02186$$

A merülésváltozás a két oldalon:

$$t = \frac{B}{2} \cdot \operatorname{tg} \varphi = \frac{11,30}{2} \cdot 0,02186 = 0,124 \text{ m}$$

Igy a merülések a hajó közepén:

$$T_j = 4,30 + 0,124 = 4,424 \text{ m}$$

$$T_b = 4,30 - 0,124 = 4,176 \text{ m}$$

3.8.11 Példa

A 3.8.7 példában tervezett rakodásnál a II. raktárba 600 Mg, a III. raktárban 400 Mg rakományt akartunk berakni. Ezzel a far és az orr merülése és a közepes merülés értéke:

$$T_A = 4,79 \text{ m}; \quad T_F = 3,77 \text{ m}; \quad T_k = 4,30 \text{ m}.$$

A hajó összes trimmje:

$$t_o = T_F - T_A = 3,77 - 4,79 = -1,02 \text{ m}.$$

Mennyi rakományt tegyünk a III. helyett az I. raktárba, ha azt akarjuk, hogy a trimm csak az előző érték harmada, azaz

$$t = -\frac{1,02}{3} = -0,34 \text{ m legyen.}$$

A 3.8.7 példában azt tételeztük fel, hogy a 600 Mg rakomány a III. raktárba beraktuk. Az átrakodás során a hajó tömege, és így a vízki-szorítása nem változik, tehát a közepes merülés és a jellemző görbék-ből kiolvasható adatok azonosak a 3.8.7 példa adataival.

A két raktár súlypontja között távolság $\ell = 27 \text{ m}$.

A kívánt trimm-változás

$$\Delta t = t - t_o = (-0,34) - (-1,02) = +0,68 \text{ m}$$

Igy a billenési szög eltéréseinek tangense:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\Delta t}{L_{pp}} = \frac{0,68}{67} = 0,01015$$

Az ezt előidéző nyomatékváltozás:

$$M = \rho \cdot g \cdot V \cdot (R-a) \cdot \operatorname{tg} \varphi = 1016 \cdot g \cdot 2296 \cdot 76 \cdot 0,01015 = 1799 \cdot 10^3 \cdot g \cdot \text{Nm}$$

ahol $(R-a) = \overline{MG}_L = 75,8 \approx 76 \text{ m}$, a 3.8.7 példából.

Az m_1 tömegnek $l = 27 \text{ m}$ távolságra való áthelyezése után a nyomaték-
változás

$$M = m_1 \cdot l \cdot g$$

Így az áthelyezendő tömeg

$$\underline{m_1} = \frac{M}{l \cdot g} = \frac{1799 \cdot 10^3 \cdot g}{27 \cdot g} = 66647 \text{ kg} \approx \underline{67 \text{ Mg}}$$

3.8.12 Példa

Határozzuk meg kísérletileg az előző példákban is szereplő hajó súlypontjának magassági koordinátáját, a 3.6.2 pontban ismertetett dőlés-próbával.

A dőléspróba megkezdésekor a leolvasott merülések: $T_A = 3,85 \text{ m}$
 $T_R = 3,61 \text{ m}$.

A közepes merülés első közelítése

$$T_o = \frac{T_A + T_R}{2} = \frac{3,85 + 3,61}{2} = 3,73 \text{ m}$$

A jellemző görbékből ehhez a merüléshez leolvasható a vízvonalterület súlypontjának helyzete: $x_w = 0,77 \text{ m}$.

A hajó trimmszögének a tangense:

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{T_R - T_A}{L_{pp}} = \frac{3,61 - 3,85}{67} = -0,0036$$

A merülés korrekciója

$$T = x_w \cdot \operatorname{tg} \psi = -0,77 \cdot (-0,0036) = + 0,0028 \text{ m}$$

A közepes merülés így $T_k = T_o + \Delta T = 3,73 + 0,003 = 3,733 \text{ m}$. Ehhez a merüléshez leolvasott x_w érték nem tér el az előzőtől, tehát a további

korrekció felesleges. A jellemző görbékből a közepes merüléshez leolvasott értékek:

$$V = 1945 \text{ m}^3; \quad z_d = 1,99 \text{ m}; \quad J_B = 5372 \text{ m}^4.$$

A hajóra felszerelt inga hossza $4,8 \text{ m}$. Az inga felfüggesztési pontjától $l = 4,675 \text{ m}$ távolságban, a fonálra merőlegesen elhelyezett deszkalapon bejelöltük a fonál helyzetét. Ezután a hajó baloldaláról egy $m = 1,23 \text{ Mg}$ tömegű tárgyat oldalirányban $p = 5,85 \text{ m}$ távolságra áthelyeztünk a jobboldal felé.

Az áthelyezés után megnyugodott inga helyzetét ismét bejelöltük a deszkalapra. A két jel közötti távolság $b = 34 \text{ mm}$ volt.

A 3.6.2 pontban leírtak szerint a hajó metacentrikus magassága a mért adatokkal:

$$\overline{MG} = \frac{m \cdot p}{\rho \cdot V \cdot \frac{b}{l}} = \frac{1,23 \cdot 5,58}{1,025 \cdot 1945 \cdot \frac{34}{4675}} = 0,496 \text{ m} \approx 0,50 \text{ m}$$

A súlypont magassági helyzete:

$$z_G = z_d + \frac{J_B}{V} - \overline{MG} = 1,99 + \frac{5372}{1945} - 0,50 = 4,25 \text{ m}$$

3.8.13 Példa

Egy téglalap alakú vízvonallal rendelkező pontontestnek a 3.28 ábrán jelölt része lékesedett. A ponton a lékesedés előtt vízszintesen úszott, a merülése $1,20 \text{ m}$ volt. A vízkiszorítása 150 m^3 . A sérült résznél a fenék vízszintes. Így a kieső vízkiszorítás:

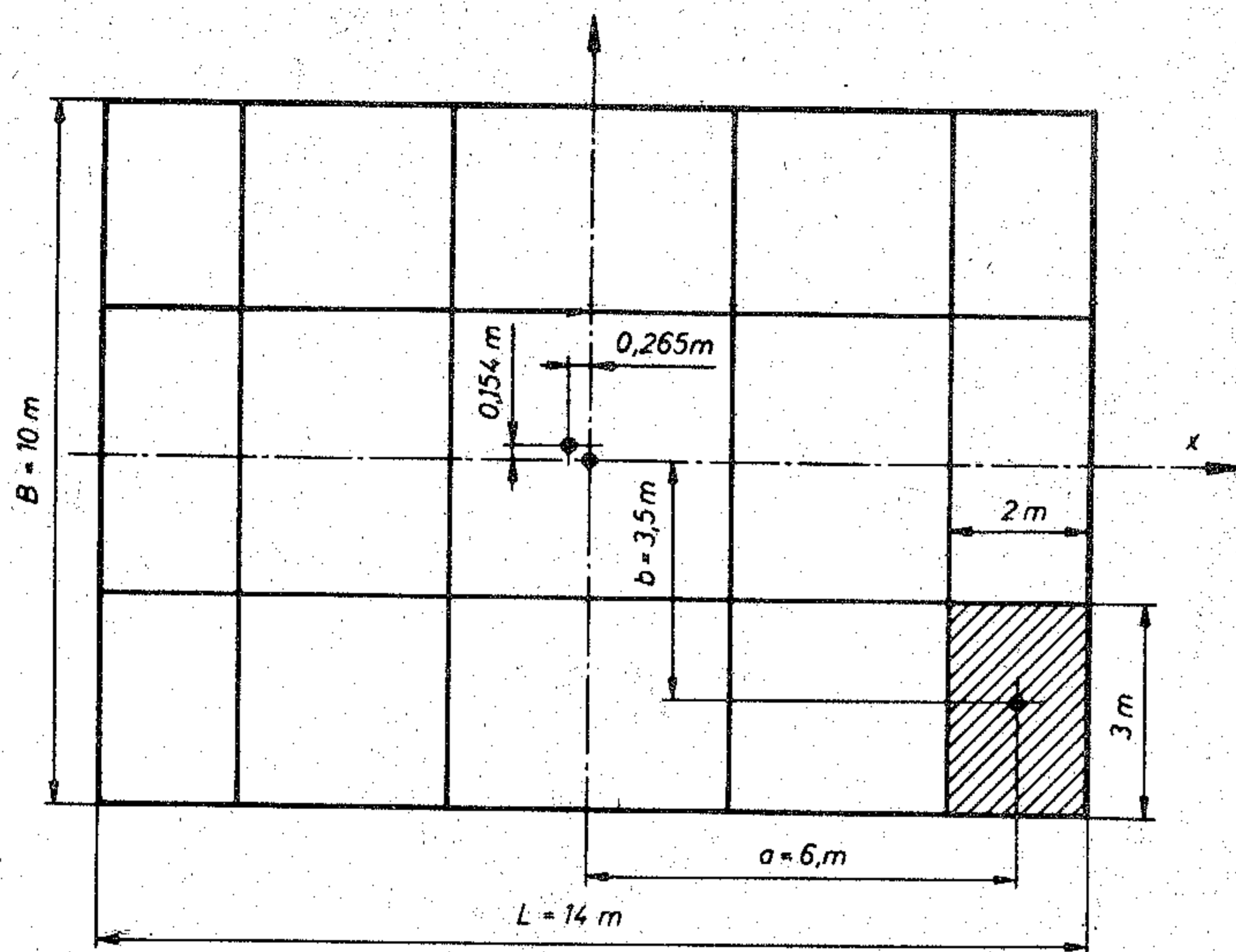
$$v = 2 \cdot 3 \cdot 1,2 = 7,2 \text{ m}^3$$

A teljes vízvonalterület $A_w = 14 \cdot 10 = 140 \text{ m}^2$; ebből a sérült részre

esik $A = 2 \cdot 3 = 6 \text{ m}^2$.

A (3.7.1) összefüggés szerint a közepes merülés növekedése:

$$\Delta T = \frac{7,2}{140 - 6} = \frac{7,2}{136} = 0,053 \text{ m}$$



3.28 ábra
A 3.8.13 példa magyarázó ábrája

Az eredeti vízvonalterület súlypontja középen volt ($x_w = y_w = 0$). Így az épen maradt vízvonalterület súlypontja:

$$x'_w = \frac{A_w \cdot x_w - A \cdot a}{A_w - A} = \frac{140 \cdot 0 - 6 \cdot 6}{140 - 6} = -0,265 \text{ m}$$

$$y'_w = -b \cdot \frac{A}{A_w - A} = -3,5 \cdot \frac{6}{140 - 6} = 0,154 \text{ m}$$

A sérült vízvonalterület másodrendű nyomatékai:

$$i_x = \frac{3^3 \cdot 2}{12} = 4,5 \text{ m}^4$$

$$i_y = \frac{3 \cdot 2^3}{12} = 2 \text{ m}^4$$

Az épen maradt vízvonalterület másodrendű nyomatékai

$$J'_B = \frac{14 \cdot 10^3}{12} - \left(4,5 + 6 \cdot 3,5^2 + (140 - 6) \cdot 0,154^2 \right) = 1167 - 81,5 = 1085 \text{ m}^4$$

$$J'_L = \frac{14^3 \cdot 10}{12} - \left[2 + 6(6-0)^2 + (140 - 6)(0,265 - 0)^2 \right] = 2287 - 228 = 2259 \text{ m}^4$$

A hajó súlypontja $z_G = 3,2$ m magasan van az alapvonal felett. A vízkiszorítás súlypontja a lékesedés előtt $z_d = 0,63$ m magasan volt. A vízkiszorítás súlypont új helyzete:

$$z'_d = z_d + \left[T + \frac{\Delta T}{2} - z \right] \frac{v}{V} = 0,63 + \left[1,2 + \frac{0,053}{2} - 0,6 \right] \frac{7,2}{150} = 0,63 + 0,03 = 0,66 \text{ m}$$

Így a metacentrikus magasságok

$$\overline{MG}'_B = \frac{J'_B}{V} - z_G + z'_d = \frac{1085}{150} - 3,2 + 0,66 = 4,69 \text{ m}$$

$$\overline{MG}'_L = \frac{J'_L}{V} - z_G + z'_d = \frac{2259}{150} - 3,2 + 0,66 = 12,52 \text{ m}$$

Az oldalirányú dőlés tangense

$$\text{tg } \varphi = \frac{v \cdot (y - y'_w)}{V \cdot \overline{MG}'_B} = \frac{7,2 \cdot (-3,5 - 0,154)}{150 \cdot 4,69} = -0,0374$$

Így a merülésváltozás a két oldalon

$$t_o = \frac{B}{2} \cdot \text{tg } \varphi = \frac{10}{2} \cdot 0,0374 = 0,187 \text{ m}$$

A hosszirányu billenés tangense:

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{v(x-x_w)'}{V \cdot \overline{MG}'_L} = \frac{7,2 \cdot (+6,0 + 0,256)}{150 \cdot 12,52} = 0,024$$

Igy a merülésváltozás elől és hátul:

$$t_A = t_F = \frac{L}{2} \cdot \operatorname{tg} \psi = \frac{14}{2} \cdot 0,024 = 0,168 \text{ m}$$

Ezzel a merülések a ponton négy sarkán:

Baloldalon elől: $1,2 - 0,187 + 0,168 = 1,18 \text{ m}$

Baloldalon hátul: $1,2 - 0,187 - 0,168 = 0,94 \text{ m}$

Jobboldalon elől: $1,2 + 0,187 + 0,168 = 1,46 \text{ m}$

Jobboldalon hátul: $1,2 + 0,187 - 0,168 = 1,22 \text{ m}$

3.8.14 Példa

A 3.8.5-12. példákban vizsgált hajó $T_A = 3,80 \text{ m}$; $T_F = 3,60 \text{ m}$ merüléssel úszik. A rendszer-súlypont magassági helyzete $z_G = 4,15 \text{ m}$.

Az 53.-75. sz. bordán elhelyezett vízmentes válaszfalak közötti tér lékesedése esetén mi a hajó várható úszási helyzete?

A közepes merülés első közelítése

$$T_o = \frac{T_F + T_A}{2} = \frac{3,60 + 3,80}{2} = 3,70 \text{ m}$$

A jellemző görbékből a vízvonalterület súlypontjának helyzete, $x_w = -0,735 \text{ m}$. A trimmszög tangense:

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{3,60 - 3,80}{67} = -0,003$$

Ezzel a közepes merülés második közelítése

$$T_k = 3,70 + (-0,003) \cdot (-0,735) = 3,702 \text{ m}$$

azaz a korrekció elhanyagolható. A jellemző görbékből kiolvasott adatok:

$$V = 2100 \text{ m}^3; \quad z_d = 1,98 \text{ m}; \quad A_w = 605 \text{ m}^2;$$

A 26. sz. mellékletből leolvasható, hogy az 53-75 bordák közötti tér közepe és a főborda közötti távolság $x = 6 \text{ m}$. Így a tér közepén a merülés

$$T = T_o + \frac{2 \cdot x}{L_{pp}} \cdot (T_F - T_o)$$

$$T = 3,70 + \frac{2 \cdot 6}{67} (3,60 - 3,70) = 3,70 - 0,02 = 3,68 \text{ m}$$

A hajó bordaterület (Bonjean) görbéi alapján pontosan megállapíthatjuk a vízkiszorításból kieső térfogatot. Jó közelítéssel felhasználhatjuk a 18. és a 26. mellékleteket is. A 18. melléklet szerint a hajó 53-75 bordaközében levő 10. számú két fenéktank összes térfogata 98 m^3 . A 26. mellékletből a 3,68 m merülésig a II. raktár térfogata 420 m^3 . Így a kieső vízkiszorítás:

$$v = 420 + 98 = 518 \text{ m}^3$$

A közepes merülés lékesedett állapotban

$$T_{k1} = T_k + \frac{v}{A_w - A} = 3,70 + \frac{518}{605 - 153} = 4,85 \text{ m}$$

Igy a közepes merülés különbsége ép és sérült állapotban:

$$\Delta T = T_{k1} - T_k = 4,80 - 3,70 = 1,10 \text{ m}$$

A 4,85 m merüléshez $A_w = 646 \text{ m}^2$. Így a két terület középértékével számolunk

$$A_w = \frac{605 + 646}{2} = 625 \text{ m}^2$$

$$T_{k1} = 3,70 + \frac{518}{625 - 153} = 4,80 \text{ m}$$

Ennél a merülésnél $A_w = 644 \text{ m}^2$, így a közelítés kielégítő. A jellemző görbéből $V = 2620 \text{ m}^3$

$$x_w = -1,74 \text{ m}$$

$$J_B = 5760 \text{ m}^4$$

$$J_L = 191000 \text{ m}^4$$

A sérült rész vízvonalterületének adatai:

$$a = 5,98 \text{ m} \quad b = 0$$

$$i_x = \frac{11,3^3 \cdot 13,6}{12} = 1635 \text{ m}^4 \quad i_y = \frac{11,3 \cdot 13,6^3}{12} = 2369 \text{ m}^4$$

A sérült térbe áramlott víz súlypontja:

$$x = 5,98 \text{ m}, \quad y = 0 \text{ m}, \quad z = \frac{T}{2} = 2,4 \text{ m}$$

Így a vízvonalterület épen maradt részének adatai:

$$x'_w = \frac{A_w x_w - Aa}{A_w - A} = \frac{625 \cdot (-1,74) - 153 \cdot 5,98}{625 - 153} = -4,24 \text{ m}$$

$$\Delta J_B = 1635 \text{ m}^4 \quad (\text{a (3.7.2) képlet szerint);}$$

$$\begin{aligned} \Delta J_L &= 2369 + 153 \cdot (5,98 + 1,74)^2 + (625 - 153) \cdot (-4,24 + 1,74)^2 = \\ &= 14438 \text{ m}^4 \quad (\text{a (3.7.3) képlet szerint).} \end{aligned}$$

A vízkiszorítás súlypont emelkedése:

$$\begin{aligned} \Delta z_d &= \left[(T_k + \frac{\Delta T}{2}) - z \right] \frac{v}{V} = \left[(3,70 + \frac{1,10}{2}) - 2,4 \right] \frac{518}{2100} = \\ &= 0,46 \text{ m} \end{aligned}$$

A metacentrikus magasságok:

$$\overline{MG}'_B = \frac{5760 - 1635}{2100} - 4,15 + (1,98 + 0,46) = 0,25 \text{ m}$$

$$\overline{MG}'_L = \frac{191000 - 14438}{2100} = 90 \text{ m}$$

$$\text{tg } \psi = \frac{518 \cdot (5,98 + 4,24)}{2100 \cdot 90} = 0,028$$

$$T_F = 4,80 + \left(\frac{67}{2} + 4,24 \right) \cdot \text{tg } \psi = 5,86 \text{ m}$$

$$T_a = 4,80 - \left(\frac{67}{2} + 4,24 \right) \cdot \text{tg } \psi = 3,98 \text{ m}$$

4. A HAJÓK STABILITÁSA

4.1 A stabilizáló nyomaték, stabilitás fogalma

A 3.4 fejezetben megvizsgáltuk, hogy a kezdetben vízszintesen úszó hajó az M_B jelű billentőnyomaték hatására megdől és olyan φ dőlésszögnél lesz egyensúlyban, mely - kisebb dőléseknél - a (3.4.5) összefüggésből kifejezhető.

Ha a billentőnyomaték megszűnik, akkor a φ szöggel megdőlt hajó nincs egyensúlyban. A hajó G jelű súlypontján áthaladó eredő súlyerő és a vízkiszorítás B jelű súlypontján áthaladó felhajtóerő hatásvonala nem azonos (4.1 ábra).

A hajóra ható eredő nyomaték a hajót visszabilentíti eredeti - esetünkben vízszintes - úszási helyzetébe. Ezt a visszabilentítő nyomatékot hívjuk a hajó stabilizáló nyomatékának:

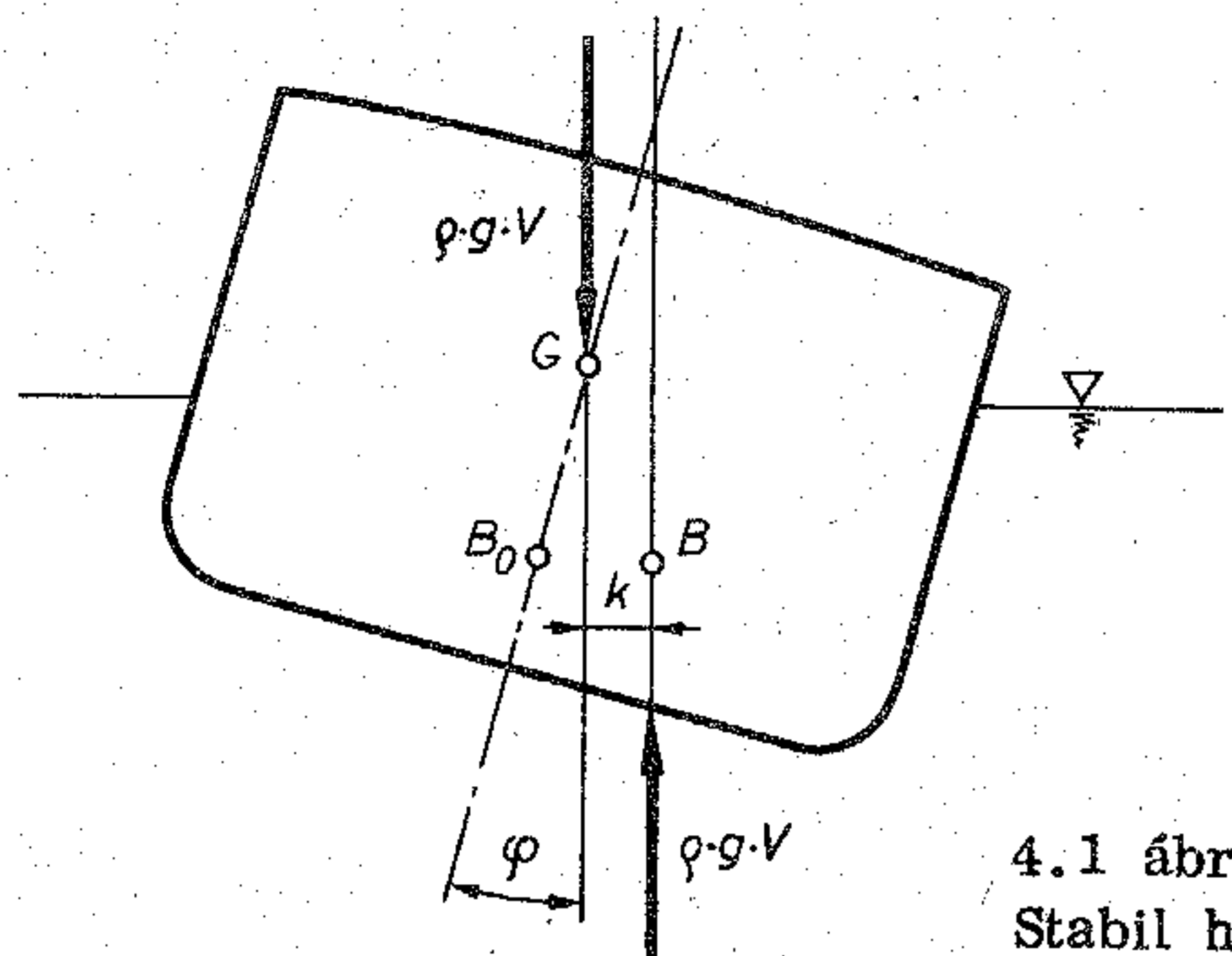
$$M_{st} = \rho \cdot g \cdot V \cdot k$$

A 4.2 ábrán látható esetben a megdőlt hajóra a súlyerőből és a felhajtóerőből keletkező nyomaték a hajót nem vissza-, hanem tovább bilentíti, azaz a stabilizáló nyomaték negatív értékű.

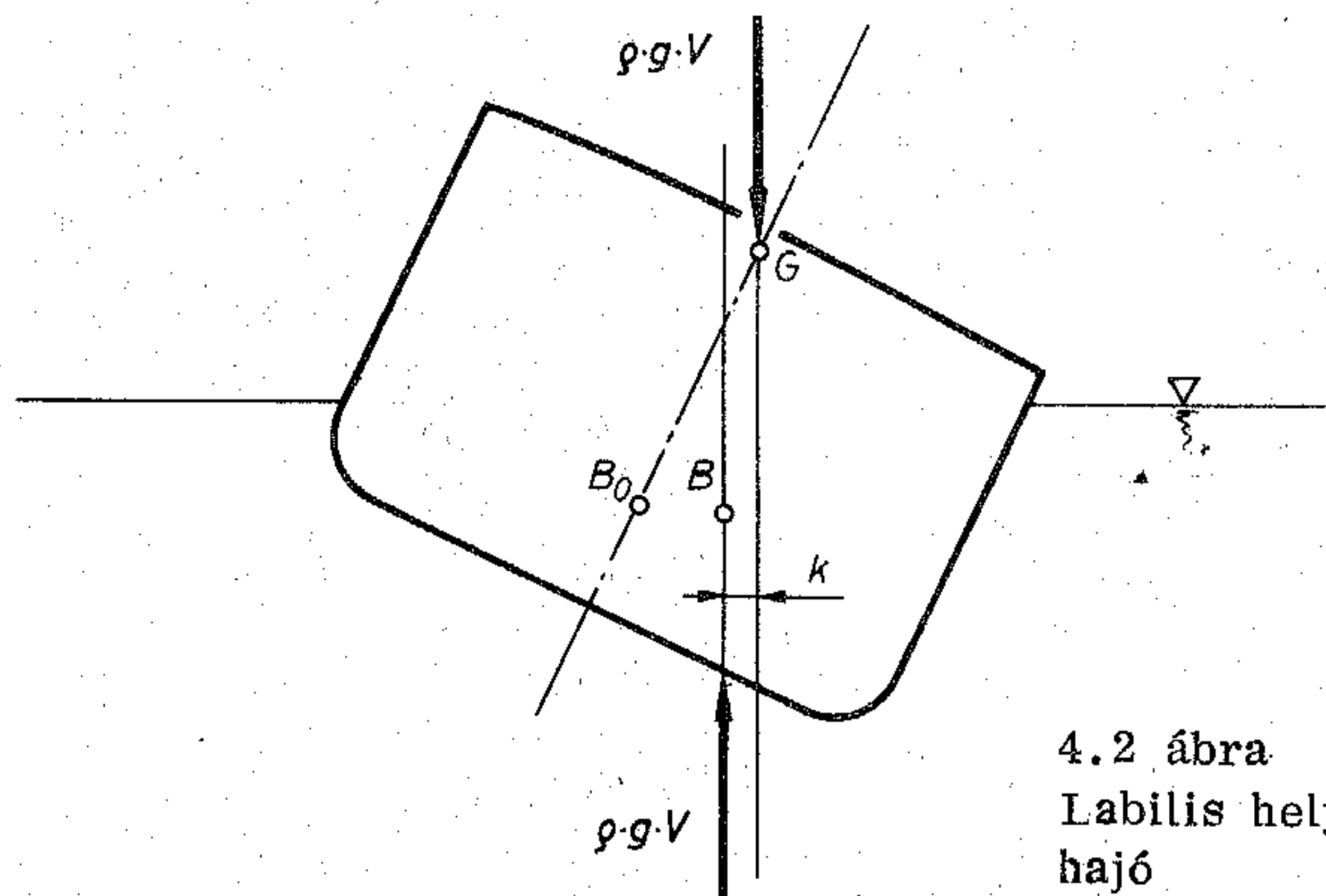
A stabilitásnak azt a tulajdonságot nevezzük, hogy a hajó visszabilentlen eredeti, vízszintes úszási helyzetébe. Így a 4.1 ábrán vázolt esetben a hajónak van stabilitása, a 4.2 ábrán vázoltban nincs. Azaz az első esetben a hajó stabil, a másodikban labilis.

A 4.3 ábrán vázolt úszótestnél a súlyerőnek és a felhajtóerőnek bármely dőlésszögnél közös a hatásvonala. Így a test bármilyen helyzetbe forgatva nyugalomban marad. Az ilyen helyzetet közömbös vagy indifferens egyensúlyi helyzetnek nevezzük.

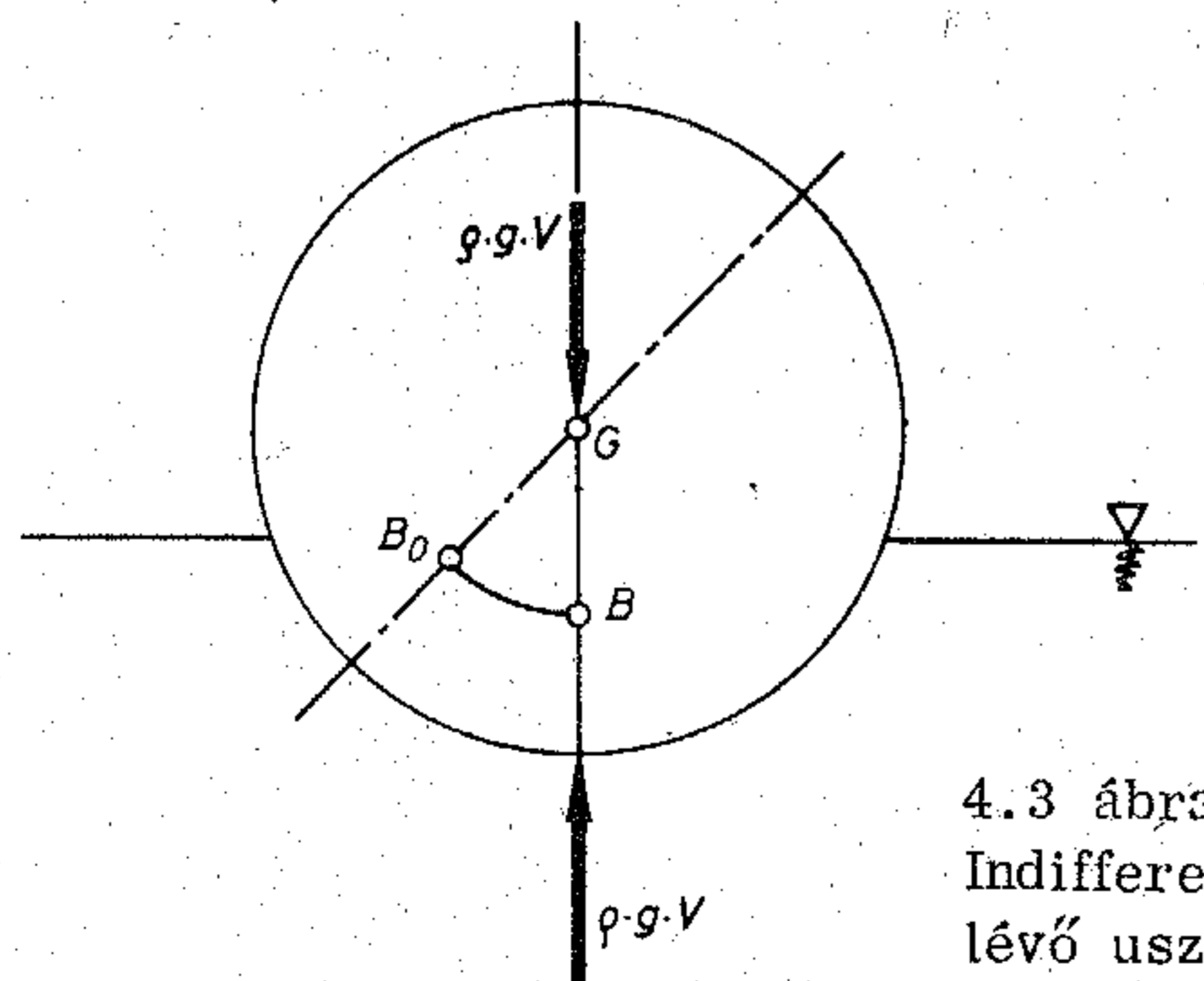
A hajó hosszirányban és keresztirányban egyaránt megbillenhet. Így beszélhetünk a hajó hossz-stabilitásáról és keresztstabilitásáról. A hossz-stabilitás vizsgálatához a 3.3 fejezetben megismert összefüggések elegendőek, mivel a billenési szög nem lehet nagy. Az oldalirányú megbillenések során nagy dőlésszögek is bekövetkezhetnek. Így a 3.4 fejezetben megismert számítási módszert - mely csak kis dőlésszögre érvényes - további, nagy dőlésekre is érvényes módszerekkel ki kell egészítenünk a hajó keresztirányú stabilitásának vizsgálatához.



4.1 ábra
Stabil helyzetben lévő hajó



4.2 ábra
Labilis helyzetben lévő hajó



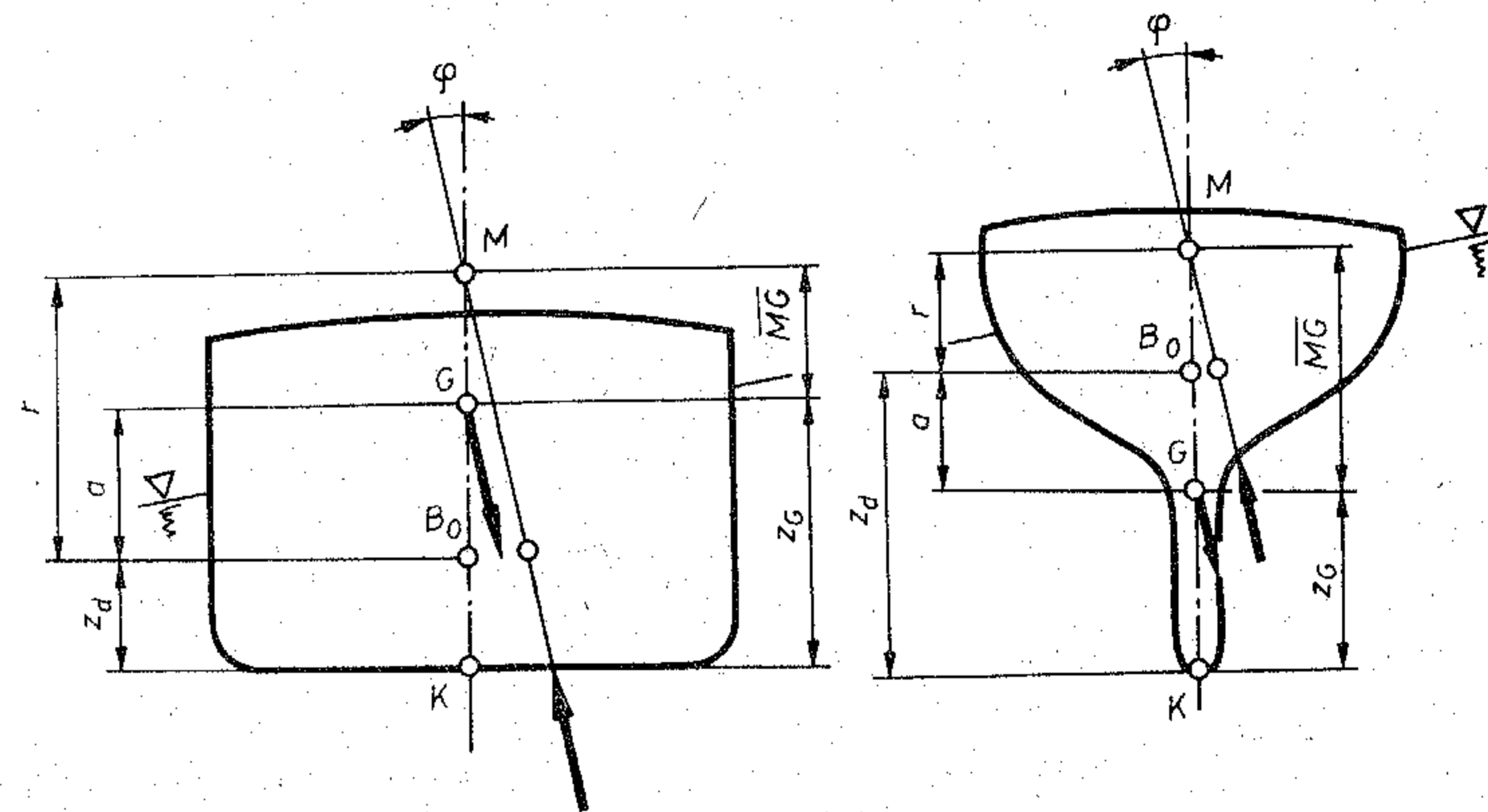
4.3 ábra
Indifferens helyzetben lévő uszómű

4.2 A kezdeti stabilitás

A 3.4 fejezetben leírtak szerint kis dőlésszögeknél a hajóra ható visszabillentő (stabilizáló) nyomaték a (3.4.5) összefüggések jobb oldalán felírt kifejezés, a 4.4 ábra jelölésével:

$$M_{st} = \rho \cdot g \cdot V \cdot \overline{MG} \cdot \varphi = \rho \cdot g \cdot V \cdot [r - a] \cdot \varphi = \rho \cdot g \cdot V \left[\frac{J_B}{V} - (z_G - z_d) \right] \cdot \varphi \quad (4.1)$$

A kifejezés olyan dőlésszögig használható, amelynél a megdőlt helyzetben a vízvonaltérület hosszirányú súlyponti tengelyre számított másodrendű nyomatéka nem tér el lényegesen a vízszintes úszásnál számítható J_B másodrendű nyomatéktól. Azaz amíg a vízvonalterület nem változik lényegesen. A szokásos alakú hajóknál ez olyan kis dőlésszög tartomány, melyen belül a $\sin \varphi \cong \varphi \cong \text{tg } \varphi$ közelítéssel is élhetünk.



4.4 ábra
A kezdeti stabilitás

Ha a stabilizáló nyomaték kifejezésében az $\overline{MG} = (r - a)$ metacentrikus magasság értéke pozitív szám, azaz ha a kezdeti metacentrum (M) magasabban van a hajó tömegének súlypontjánál (G), akkor a hajó stabil (4.4 ábra).

Az $r = \frac{J_B}{V}$, a kezdeti metacentrikus sugár mindig pozitív. Értéke annál nagyobb, minél szélesebb a hajó úszási vízvonalterülete s minél nagyobb a terület teltsége, továbbá minél kisebb a hajó vízkiszorítása. A vízkiszorítás akkor kicsi, ha a hajó merülése, vagy a vízkiszorítás térfogatának a teltsége kis értékű.

Az $a = z_G - z_d$, a hajó tömegközéppontja (G) és a vízkiszorítás súlypontja (B_0) közötti magasságkülönbség. Pozitív, ha a hajó súlypontja van magasabban, s negatív, ha a vízkiszorításé. A szokásos hajóknál az a értéke általában pozitív. Egyedül a tókesúlyos vitorlásoknál van alacsonyabban a tömegközéppont, mint a vízkiszorítás súlypontja (4.4 ábra).

Az a kifejezésében egy merülésnél a z_d állandó. Így az a értékét csak a rendszersúlypont helyzete befolyásolja, azaz a hajó rakományának elhelyezésétől függ.

A 2.4.3. és 2.4.4 pont szerint a metacentrikus sugár nagysága (r) és a vízkiszorítás súlypontjának az alapvonaltól mért távolsága (z_d) pontosan számítható, s bármely merülésnél a jellemző görbékből kiolvasható. Ezekkel az adatokkal a kezdeti metacentrum magassága az alapvonalról, a 4.4 ábra jelölései szerint:

$$\overline{KM} = r + z_d = \frac{J_B}{V} + z_d \quad (4.2)$$

egy merülésnél (azaz vízkiszorításnál) állandó.

Így a merülésenként állandó helyzetű M kezdeti metacentrum vonatkoztatási pontként is felhasználható: Célszerűségi okokból a stabilitás számítása során szokás a G pont helyzetet a $z_G = \overline{KM}$ távolság helyett a $h = \overline{MG}$ távolsággal is megadni.

Amint a 3.5 fejezetben láttuk, a hajón levő szabad felszínű folyadékra a hajó megdőlése esetén elmozdul, és billentő nyomatékot hoz létre, azaz csökkenti a hajó stabilizáló nyomatékát.

Ha a z_G -vel, vagy \overline{MG} -vel a hajó eredő tömegközéppontjának magassági helyzetét jelöljük, akkor a szabad felszínű folyadékra hatásának figyelembevételére a z'_G , illetve h helyett

$$z'_G = z_G + \Delta h$$

illetve

$$h' = h - \Delta h$$

értékkel kell számolnunk, ahol

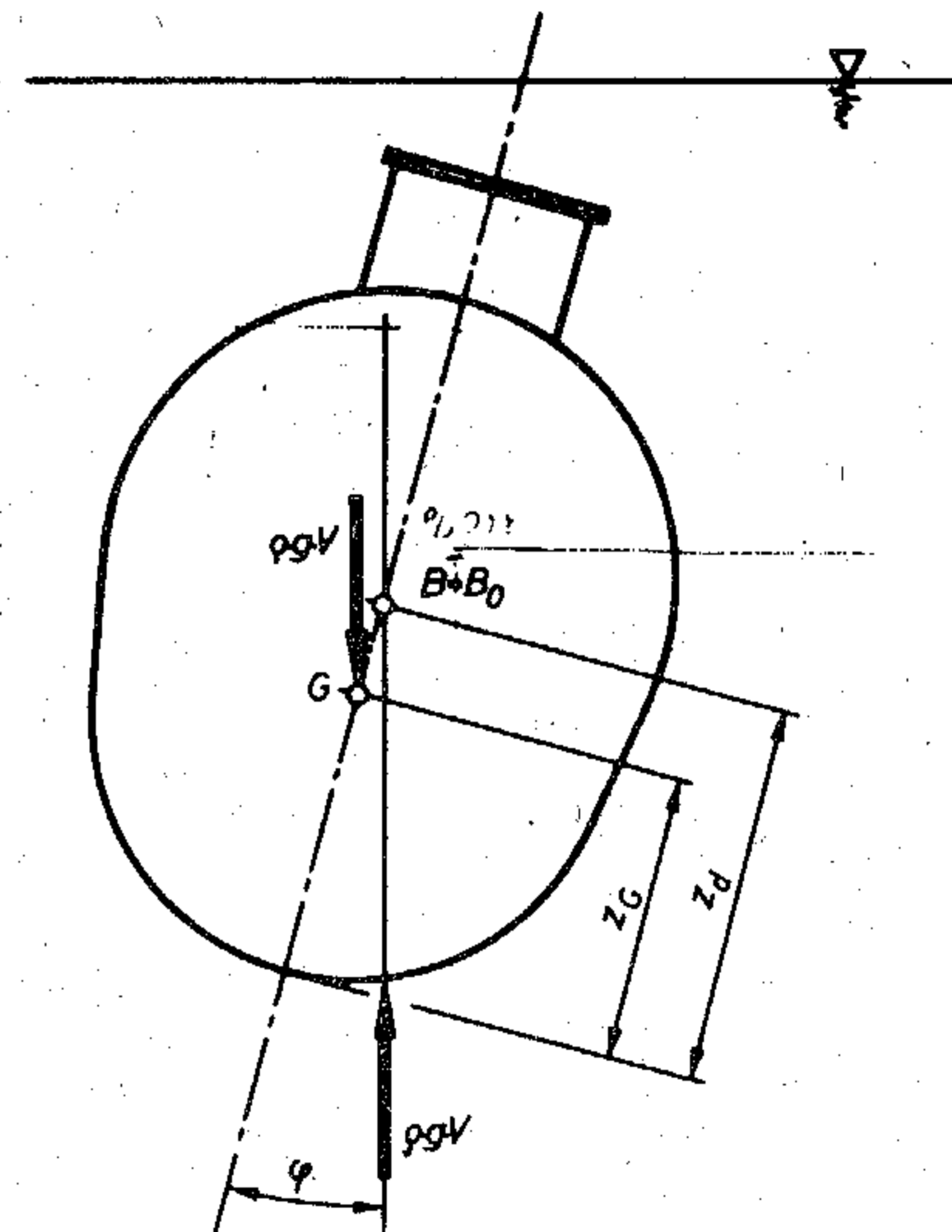
$$\Delta h = \frac{\sum \rho_f J_f}{\rho \cdot V} \quad (4.3)$$

ρ_f a folyadékra komomány sűrűsége;

J_f a folyadék felszín területének másodrendű nyomatéka az elbillenés tengelyével párhuzamos, a felszín súlypontján áthaladó tengelyre számolva (3.3 táblázat);

ρ a hajót körülvevő víz sűrűsége;

V a hajó vízkiszorítása.



4.5 ábra
Tengeralattjáró stabilitása

A teljesen víz alá merült úszóműveknél (4.5 ábra) nincs úszási vízvonal. A stabilizáló nyomaték képlete:

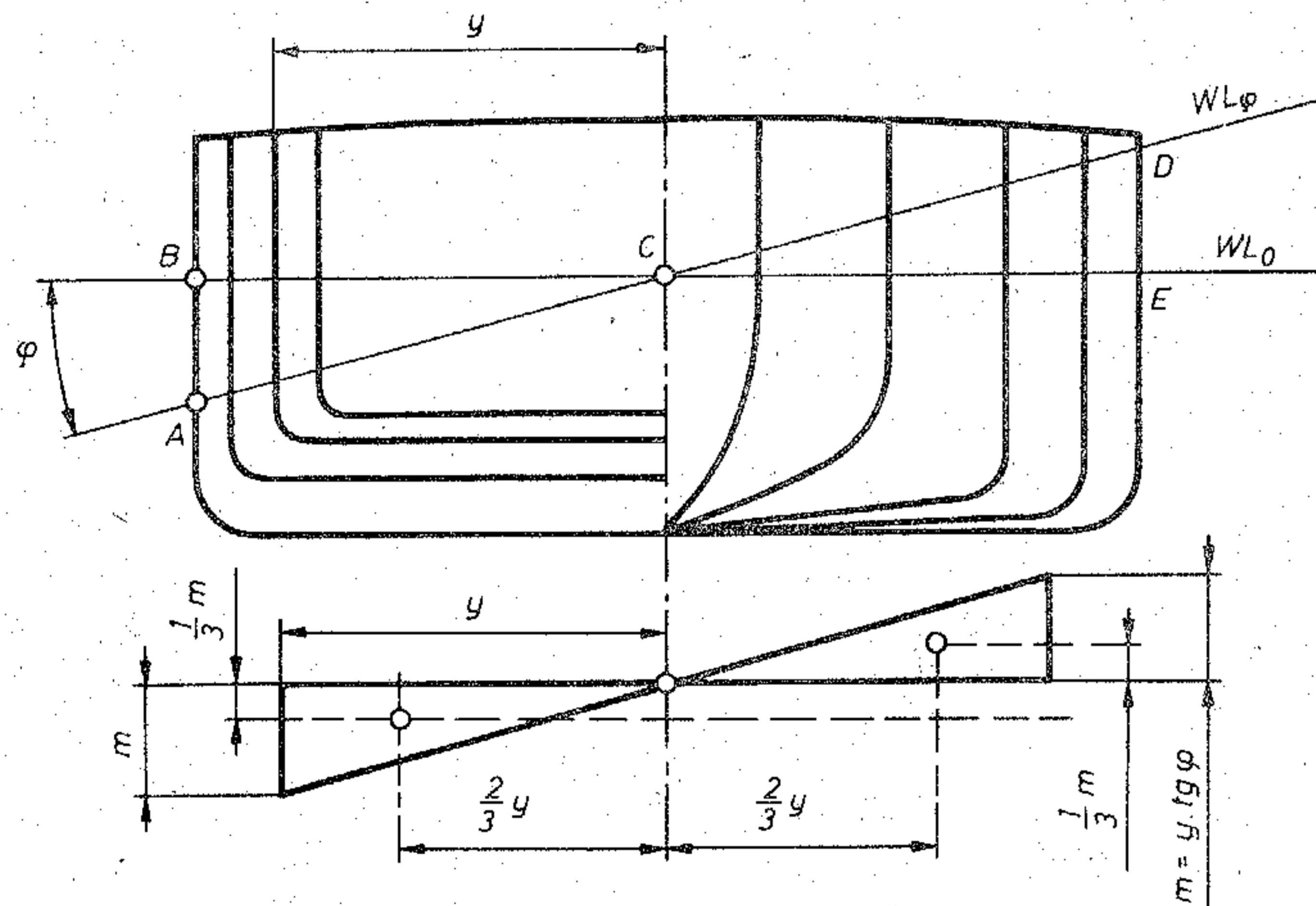
$$M_{st} = \rho \cdot g \cdot V \cdot (-a) \cdot \sin \varphi$$

A stabilizáló nyomaték csak akkor lehet pozitív, ha az $a = (z_G - z_d) < 0$, azaz ha a rendszer tömegközéppontja alacsonyabban van, mint a vízki-

szorítás súlypontja. A nyomatékra felírt összefüggés bármilyen nagyságú dőlésszögnél érvényes.

4.3 A függőleges oldalfalú hajók stabilitása

A kereskedelmi hajók általában olyan alakúak, hogy az úszásvonal környezetében a hajó oldalfala a hajó teljes kerületén közel függőlegesnek tekinthető. A hajó hengeres középrészén pontosan függőleges, az orr-részen igen kevésbé tér el a függőlegestől, egyedül a far-részen - aránylag rövid távolságon találunk a függőlegestől lényegesen eltérő oldalfalat a merülés környezetében. Így a függőleges oldalfalú hajókra levezethető összefüggéseket jól felhasználhatjuk a stabilitás vizsgálatához.



4.6 ábra
Függőleges oldalfalú hajó dőlése

A 4.6 ábrán egy hajó bordametszeteit ábrázoltuk. A hajó oldalfala mindenütt függőleges olyan dőlésszögeknel, melyeknél a fedélzetet nem éri el a víz. A hajó megdőlése során kiemelkedő és bemerülő éktestek a hajó két oldalán azonos nagyságúak. A függőleges oldalfalú hajóknál az éktest keresztmetszetét alkotó ABC és CDE háromszögek a hajó két oldalán egybevágóak bármely bordametszetenél.

Így a hajó elbillenésének tengelye a vízvonalterület középvonala lesz minden dőlésszögnél, s a vízvonalterületek szimmetrikusak maradnak.

A hajótestből kivágott dx hosszúságú szeleten a kiemelkedő, illetve a bemerülő éktestek térfogata

$$dv = \frac{1}{2} \cdot y^2 \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot dx$$

A két háromszög keresztmetszetű éktest súlypontjának egymástól mért távolsága y irányban: $\frac{4}{3} \cdot y$.

Így a dx vastag szelet vízkiszorításának a nyomatékváltozása y irányban:

$$\frac{4}{3} \cdot y \cdot dv = \operatorname{tg} \varphi \cdot \frac{2}{3} \cdot y^3 \cdot dx$$

A súlypontok távolságának z irányú vetülete:

$$\frac{2}{3} \cdot m = \frac{2}{3} \cdot y \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

Így a nyomatékváltozás z irányban:

$$\frac{2}{3} \cdot y \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot dv = \operatorname{tg}^2 \varphi \cdot \frac{1}{3} \cdot y^3 \cdot dx$$

A teljes hajó vízkiszorításának nyomatékváltozása y irányban

$$\Delta M_y = \operatorname{tg} \varphi \cdot \frac{2}{3} \int_L y^3 \cdot dx$$

z irányban

$$\Delta M_z = \operatorname{tg}^2 \varphi \cdot \frac{1}{3} \int_L y^3 \cdot dx$$

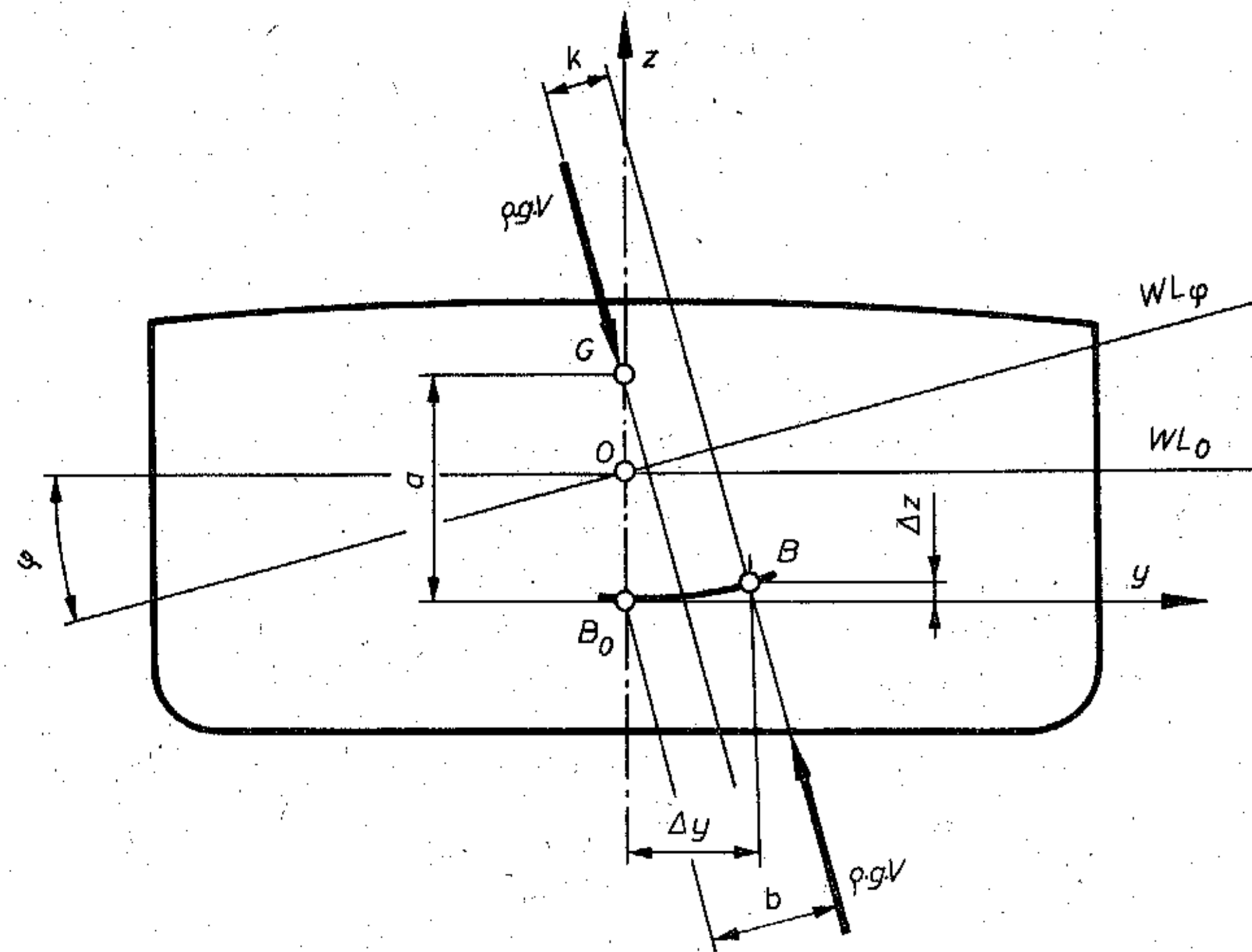
A vízkiszorítás súlypontjának eltolódása:

$$\Delta y = \frac{\Delta M_y}{V} = \frac{\operatorname{tg} \varphi \cdot \frac{2}{3} \int_L y^3 dx}{V} = \operatorname{tg} \varphi \cdot \frac{J_B}{V} = r_o \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (4.4)$$

$$\Delta z = \frac{\Delta M_z}{V} = \frac{\text{tg}^2 \varphi \cdot \frac{1}{3} \int y^3 dx}{V} = \text{tg}^2 \varphi \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{J_B}{V} = \frac{1}{2} \cdot r_o \cdot \text{tg}^2 \varphi \quad (4.5)$$

ahol $J_B = \frac{2}{3} \int_L y^3 dx$ a vízvonalterület másodrendű nyomatéka vízszintes úszásnál;

$r_o = \frac{J_B}{V}$ a metacentrikus sugár vízszintes úszásnál:



4.7 ábra

A vízkiszorítás súlypontjának görbéje függőleges oldalfalú hajónál

A vízkiszorítás súlypont eltolódásának vízszintes vetülete φ szöggel megdőlt hajónál (4.7 ábra):

$$b = \Delta y \cdot \cos \varphi + \Delta z \cdot \sin \varphi$$

$$b = r_o \cdot \text{tg} \varphi \cdot \cos \varphi + \frac{1}{2} \cdot r_o \cdot \text{tg}^2 \varphi \cdot \sin \varphi \quad (4.6)$$

$$b = (r_o + \frac{1}{2} r_o \cdot \text{tg}^2 \varphi) \cdot \sin \varphi$$

A stabilizáló nyomatékot alkotó erőpár karja:

$$k = b - a \cdot \sin \varphi = (r_o - a + \frac{1}{2} \cdot r_o \cdot \text{tg}^2 \varphi) \cdot \sin \varphi$$

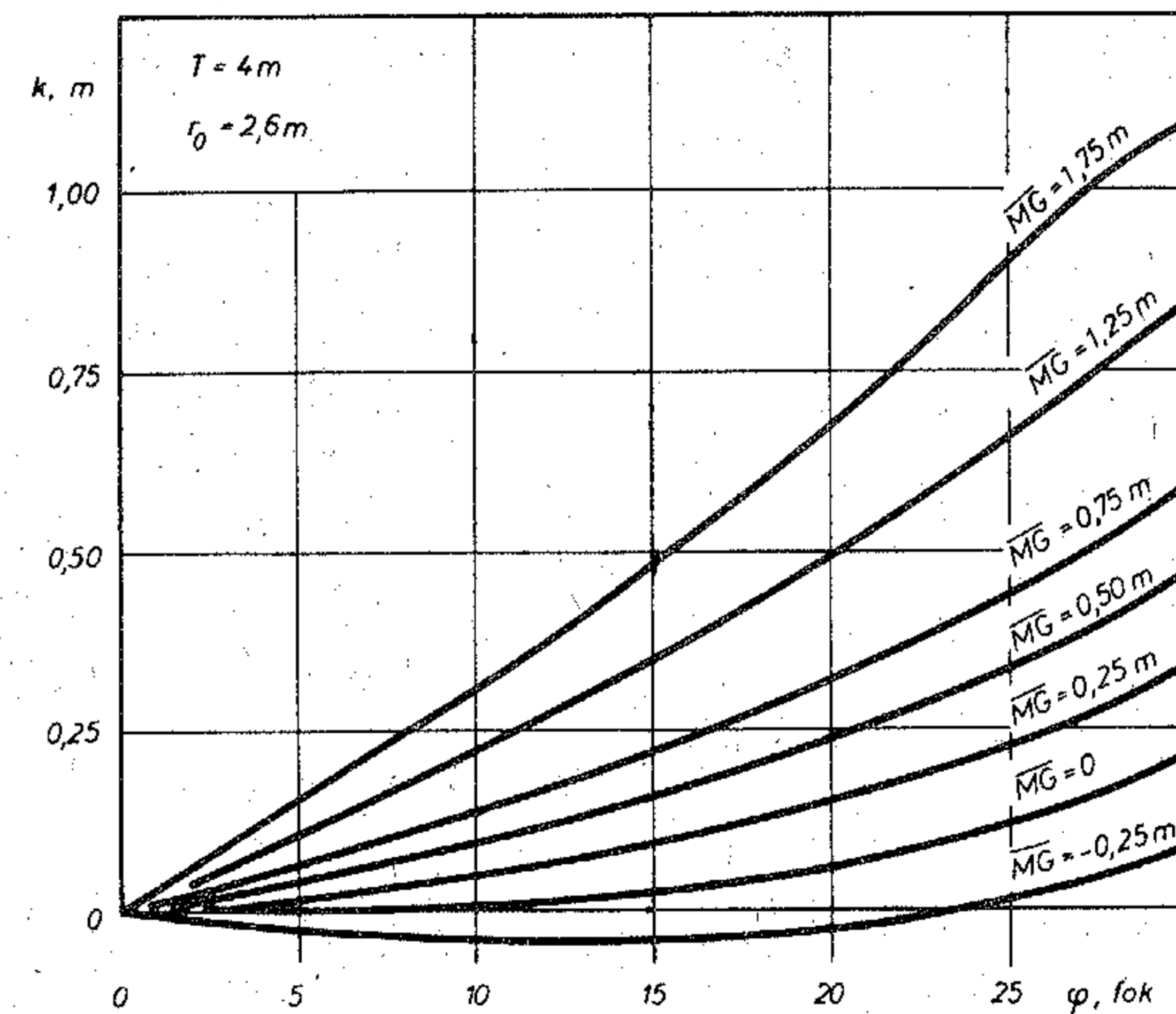
$$k = (\overline{MG} + \frac{1}{2} \cdot r_o \cdot \text{tg}^2 \varphi) \sin \varphi \quad (4.7)$$

A stabilizáló nyomaték

$$M_{st} = \rho \cdot g \cdot V \cdot k = \rho \cdot g \cdot V \cdot (\overline{MG} + \frac{1}{2} \cdot r_o \cdot \text{tg}^2 \varphi) \cdot \sin \varphi \quad (4.8)$$

ahol $\overline{MG} = (r_o - a)$ a kezdeti metacentrikus magasság.

A 4.8 ábrán egy függőleges oldalfalú hajó stabilizáló nyomatékának karjait ábrázoltuk. A vizsgált 4 m merülésnél a hajó kezdeti metacentrikus sugara $r_o = 2,6$ m. Az \overline{MG} értékeit - 0,25 és + 1,75 között választottuk.



4.8 ábra

A stabilitási kar változása a dőlésszög függvényében

A függőleges hajókra nyert (4.8) összefüggés segítségével megállapítható, hogy adott esetben milyen hibát követünk el a kezdeti stabilitás (4.1) összefüggésével számolva:

$$M_{st} = \rho \cdot g \cdot V \cdot \overline{MG} \cdot \sin \varphi$$

A számított stabilizáló nyomatékok különbsége:

$$\Delta M_{st} = \rho \cdot g \cdot V \cdot (MG + \frac{1}{2} r_o \cdot \text{tg}^2 \varphi) \sin \varphi - \rho \cdot g \cdot V \cdot MG \cdot \sin \varphi =$$

$$= \rho \cdot g \cdot V \cdot (\frac{1}{2} r_o \cdot \text{tg}^2 \varphi) \sin \varphi$$

A relatív eltérés a kezdeti stabilitás képletéből számított stabilizáló nyomatékhoz viszonyítva:

$$\varepsilon = \frac{\Delta M_{st}}{M_{st}} = \frac{\rho \cdot g \cdot V \cdot (\frac{1}{2} r_o \cdot \text{tg}^2 \varphi) \cdot \sin \varphi}{\rho \cdot g \cdot V \cdot MG \cdot \sin \varphi} = \frac{1}{2} \cdot \frac{r_o}{MG} \cdot \text{tg}^2 \varphi$$

Példa: Egy 1400 tonnás tengeri hajó metacentrikus sugara 4 m merülésnél $r_o = 2,6$ m. Az a dőlésszög, ameddig a kezdeti stabilitás képletét használva $\varepsilon = 1\% = 0,01$ relatív eltérés mutatkozik:

$$\varphi = \text{arc tg} \sqrt{2 \cdot \frac{MG}{r_o} \cdot \varepsilon} = \text{arctg} \sqrt{2 \cdot \frac{MG}{2,6} \cdot 0,01}$$

Különböző értékű metacentrikus magassággal számolva, az alábbi szögeket kapjuk:

MG m	φ fok
0,25	2,51
0,75	4,34
1,25	5,60
1,75	6,62

A függőleges oldalfalú hajókra nyert összefüggésből azt is láthatjuk, hogy amíg a fedélzet vízbe nem merül vagy a fenék ki nem emelkedik, a stabilizáló nyomaték nagyobb, mint amit a kezdeti stabilitás képletéből számíthatunk. Így az is lehetséges, hogy egy hajó kezdeti stabilitása negatív ($\overline{MG} < 0$), de nagyobb dőléseknél az $(\frac{1}{2} \cdot r_o \cdot \text{tg}^2 \varphi)$ tag rohamos növekedése stabilissá teheti a hajót, amint az a 4.8 ábra legalsó, $\overline{MG} = -0,25$ m-rel számított görbéjénél látható.

Példa: Az előző példában említett hajó metacentrikus magassága $MG = -0,02$ m. Számítsuk ki, milyen dőlésszögnél kezd stabilis lenni a hajó (azaz hol lesz a stabilizáló nyomaték ismét zérus értékű). Az M_{st} zérus ott lesz, ahol a kar értéke zérus:

$$k = \overline{MG} + \frac{1}{2} \cdot r_o \cdot \text{tg}^2 \varphi = 0$$

Ebből a keresett dőlésszöget kifejezhetjük:

$$\varphi = \text{arc tg} \sqrt{-2 \cdot \frac{\overline{MG}}{r_o}} = \text{arc tg} \sqrt{-2 \cdot \frac{(-0,02)}{2,6}} = \pm 7,1^\circ$$

Tehát a hajó nem úszhat vízszintesen, hanem csak 7,1 fokkal jobbra vagy balra dőlve.

4.4 Általános alakú hajók stabilitása nagy döléseknél

4.4.1 A stabilizáló nyomaték karjának változása

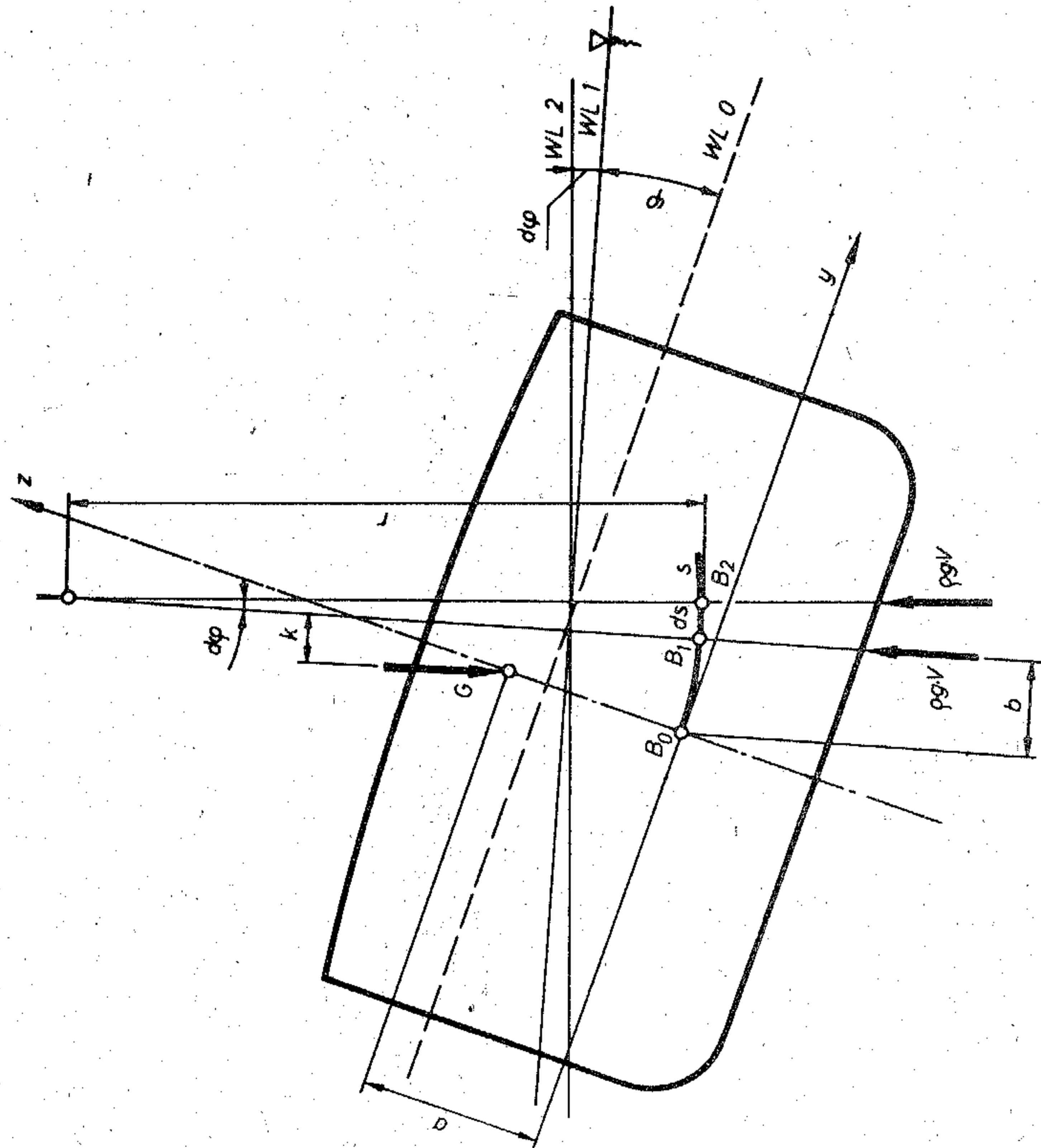
A 4.9 ábrán egy hajót φ szöggel megdőlt helyzetben látunk. A hajó nem mindenütt függőleges oldalfalú. A szokásos hajóalakoknál az orr- és a far-részen a hajó felfelé szélesedik. Ezért megdőlt helyzetben a bemerülő oldalon szélesebb, a kiemelkedő oldalon keskenyebb lesz a hajó vízvonalterülete. Így a vízvonalterület súlypontja nem a hajó középsíkjában, hanem attól jobbra van. Ezért az eltérő dőlésszöghöz tartozó úszásvonalak nem a hajó középsíkjában metszik egymást, amint azt a 4.7 ábrán, a teljes hosszán függőleges oldalfalú hajónál láttuk.

A hajó vízszintes úszásnál a WL 0 jelű úszásvonalig merült és a vízkiszorítás súlypontja a B_o pontban volt. A φ szöggel megdőlt helyzetben az úszásvonalat WL 1-el, a vízkiszorítás súlypontját B_1 -gyel jelöltük.

A hajó G tömegközéppontja (súlypontja) változatlanul a helyén marad. Így a φ szöggel megdőlt helyzetben a stabilizáló nyomaték:

$$M_{st} = \rho \cdot g \cdot V \cdot k$$

ahol $k = b - a \cdot \sin \varphi$ kifejezésében az a értéke a dőlésszögtől függetlenül állandó értékű.



4.9 ábra A vízkiszorítás súlypont görbéjének jellemzői

A b a B_0 és B_1 pontok közötti távolság vízszintes vetülete. A különböző dőlésszögeknél a B pontok egy folyamatos görbét határoznak meg.

A továbbiakban a B pontok görbéjének törvényszerűségeit keressük meg. Ennek érdekében billentsük tovább a hajót $d\varphi$ dőlésszöggel. Ezen helyzetben a hajó a WL 2 úszásvonalon úszik és a vízkiszorítás súlypontja a B_2 pontban van. Ha $d\varphi \rightarrow 0$, akkor a B_1 és a B_2 pontok közötti görbeszakasz egyben a két pont közötti vízszintes távolság.

A WL 1 és a WL 2 úszásvonalak által határolt két éktest térfogatának nyomatóka, amint azt a 3.4 fejezetben láttuk:

$$J_\varphi \cdot d\varphi$$

ahol J_φ a φ szöggel dőlt hajó vízvonalterületének másodrendű nyomatóka.

A bemerülő és kiemelkedő éktestek miatt a vízkiszorítás súlypontjának eltolódása (a nyomatókváltozás osztva a teljes térfogattal):

$$ds = \frac{J_\varphi \cdot d\varphi}{V}$$

A szög, az általános megfogalmazás szerint, a szöghöz tartozó körív és a sugár hányadosa:

$$d\varphi = \frac{ds}{r}$$

Ebből a körív sugara:

$$r = \frac{ds}{d\varphi}$$

Esetünkben:

$$r = \frac{ds}{d\varphi} = \frac{J_\varphi}{V}$$

azaz a vízvonalterület másodrendű nyomatókájának és a vízkiszorításnak a hányadosa, a vízkiszorítás súlypontgörbéjének a görbületi sugara (metacentrikus sugara).

A vízvonalterület másodrendű nyomatókát és az r metacentrikus sugarat bármely φ dőlésszögnél kiszámíthatjuk. Így a B pontok $s = f(\varphi)$ görbéjének elsőrendű differenciálhányadosát (érintőjét) bármely dőlésnél

ismerjük. Ismerjük ezen kívül a görbe B_0 kezdőpontját is. Ha egy görbének ismerjük egy pontját és tetszőleges helyeken a görbe érintőjét, akkor a görbét is ismerjük, megrajzolhatjuk, vagy közelítő polinommal egyenletekbe foglalhatjuk.

Tehát a hajó különféle dőlési helyzetében a vízvonalterület másodrendű nyomatékát kiszámítva, a B pontok görbéje meghatározható. A B_1 pontok ismeretében a B_0 és a B_1 pontok közötti vízszintes (a felhajtóerőre merőleges) b távolságot megállapíthatjuk és ennek ismeretében a stabilitás karját már számíthatjuk:

$$k = b - a \cdot \sin \varphi$$

4.4.2 A vízvonalterület másodrendű nyomatékának meghatározása különféle dőlésszögeknél

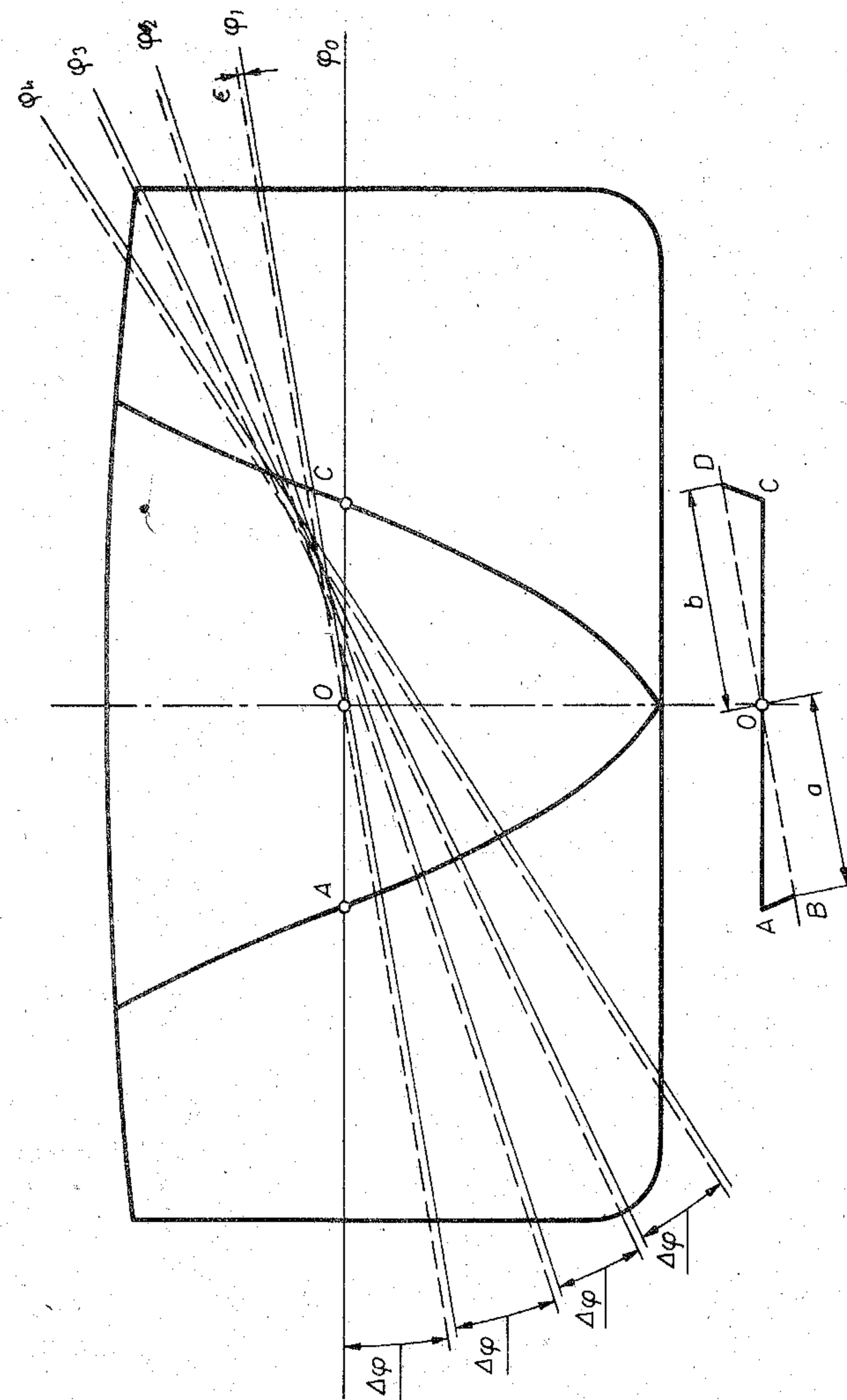
A különféle dőléseknél a vízvonalterület másodrendű nyomatékának számításához először meg kell határoznunk az úszásvonalak pontos helyzetét. Kiindulásként az első, φ_1 dőléshez tartozó úszásvonalat úgy rajzoljuk meg, hogy az a vízszintes úszásvonalat a hajó középvonalán mense. (A 4.10 ábrán φ_1 jelű szaggatott vonal).

Az ábrán a hajó főbordáját és egy orr-részen elhelyezkedő bordáját rajzoltuk meg. A bemerülő és kiemelkedő éktestek keresztmetszetét alkotó háromszögek egybevágók, ahol a hajó oldalfala függőleges (a középrészen), de eltérők ott, ahol a hajó oldalfala nem függőleges. Például az ábrán bejelölt orr-bordánál a kiemelkedő ABO háromszög kisebb, mint a bemerülő OCD háromszög. Mivel a szokásos hajóalakoknál az orr és a far közelében lévő bordák felfelé szélesednek, ez a különbség azt jelenti, hogy a felvett, szaggatott vonallal jelölt úszásnál a hajó vízkiszorítása nagyobb, mint a vízszintes úszásnál. Az eltérés a bemerülő és a kiemelkedő éktestek térfogatának különbsége.

A 3.3 fejezetben a 3.5 ábra kapcsán láttuk, hogy az éktestek térfogatának különbsége:

$$\Delta V = M_{\text{stat}} \cdot \Delta \varphi$$

ahol M_{stat} a vízvonalterület elsőrendű (statikai) nyomatéka az elbillenés tengelyére. Itt most nagyobb dőlésszögeket vizsgálunk és a φ_0 és a φ_1 -hez tartozó vízvonalterületek egymástól eltérők. Ez esetben a két vízvonalterület statikai nyomatékának átlagértékét helyettesítjük az M_{stat} értékének:



4.10 ábra
Az úszási vízvonalak különféle dőléseknél

$$\Delta V_1 = \frac{M_0 + M_1}{2} \cdot \Delta \varphi$$

Mivel a $\varphi_0=0$ dőlésnél a vízvonaltérület súlypontja a 0 jelzésű középvonalon van, a statikai nyomatéka $M_0 = 0$. Így

$$\Delta V_1 = \frac{M_1}{2} \Delta \varphi$$

Az M_1 értékét az egyes bordáknál lement fél szélességekkel számíthatjuk:

$$M_1 = \frac{1}{2} \int_L (b^2 - a^2) dx$$

Ha ismerjük a vízkiszorítás ΔV eltérését, akkor berajzolhatjuk a helyes úszásvonalat. A hajó a valóságban kisebb merüléssel úszik. A két merülés eltérését ε -val jelölve:

$$\varepsilon = \frac{\Delta V_1}{A_{w1}} = \frac{1}{4} \cdot \Delta \varphi \cdot \frac{\int (b^2 - a^2) dx}{\int (b+a) dx}$$

ahol

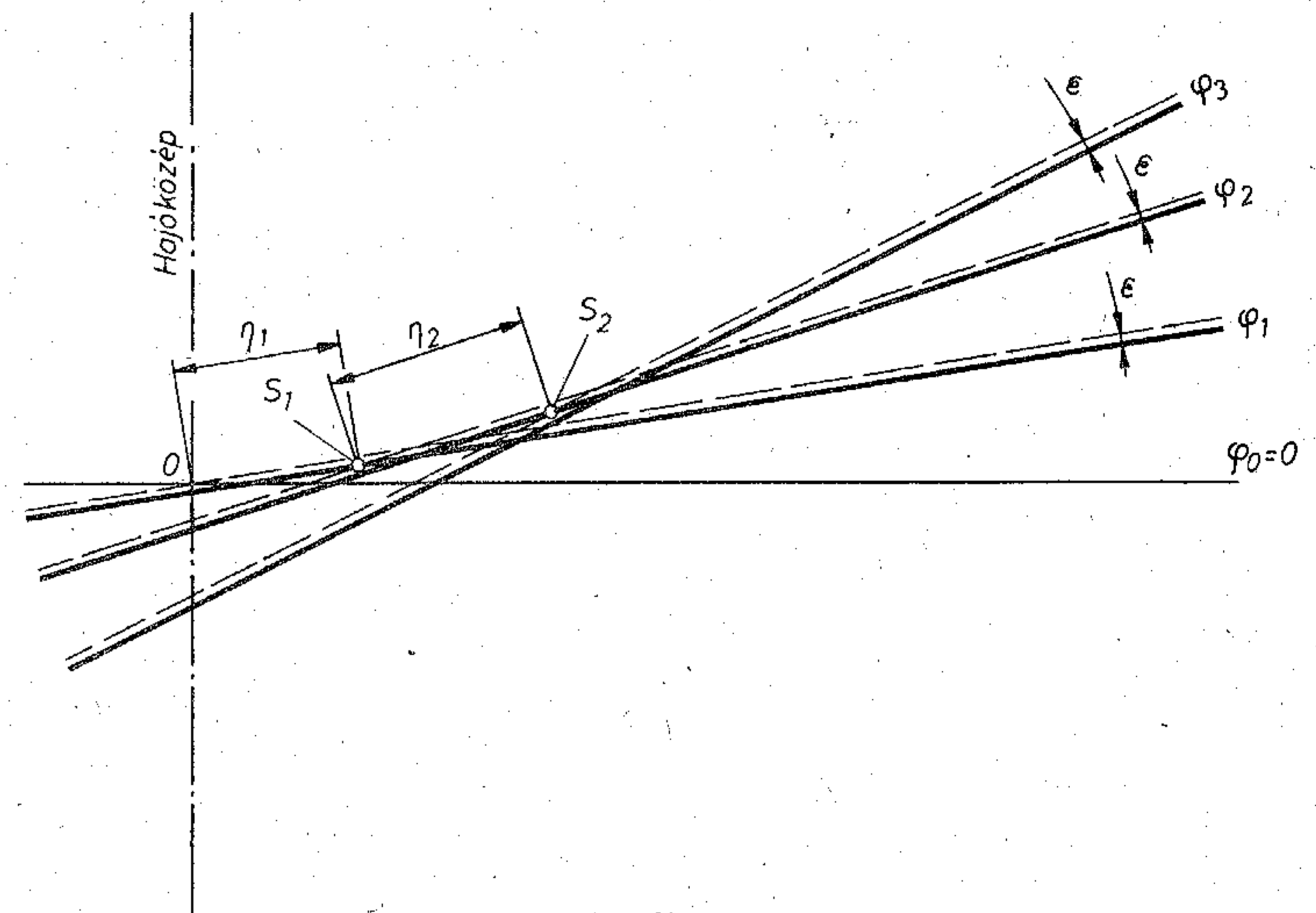
$$A_{w1} = \int_L (b+a) dx$$

a φ_1 jelű úszási vízvonaltérület.

A 4.10 ábrán folyamatos vonallal rajzoltuk a valóságos úszásvonalat. Az ε értéke a szokásos hajóknál igen kicsiny, így a vízvonalak a és b jelű fél szélességei azonosaknak vehetők a szaggatott és a folyamatos vonallal rajzolt úszásvonalaknál.

A következő, φ_2 dőléshez tartozó úszásvonalat a φ_1 jelű úszásvonal vízvonaltérületének súlypontján át húzott vonallal közelítjük. A vízvonaltérület súlypontja az 0 tengelytől (4.11 ábra):

$$\eta_1 = \frac{M_1}{A_{w1}} = \frac{\frac{1}{2} \int (b^2 - a^2) dx}{\int (b+a) dx}$$



4.11 ábra

Az úszási vízvonaltérületek súlypontja és a szomszédos vízvonaltérületek metszéspontjának meghatározása

Az η_1 távolságban a φ_1 úszásvonalon bejelölt súlyponton át ismét szaggatott vonalat húzunk, mely a vízszintessel φ_2 szöget zár be. Ezek után ugyanúgy számolunk, mint az előzőekben. Az új elbillenési tengely a φ_1 dőléshez tartozó vízvonaltérület súlypontján halad át, így most a

φ_1 vízvonaltérület statikai nyomatéka zérus. A bemerülő és a kiemelkedő éktetek különbsége:

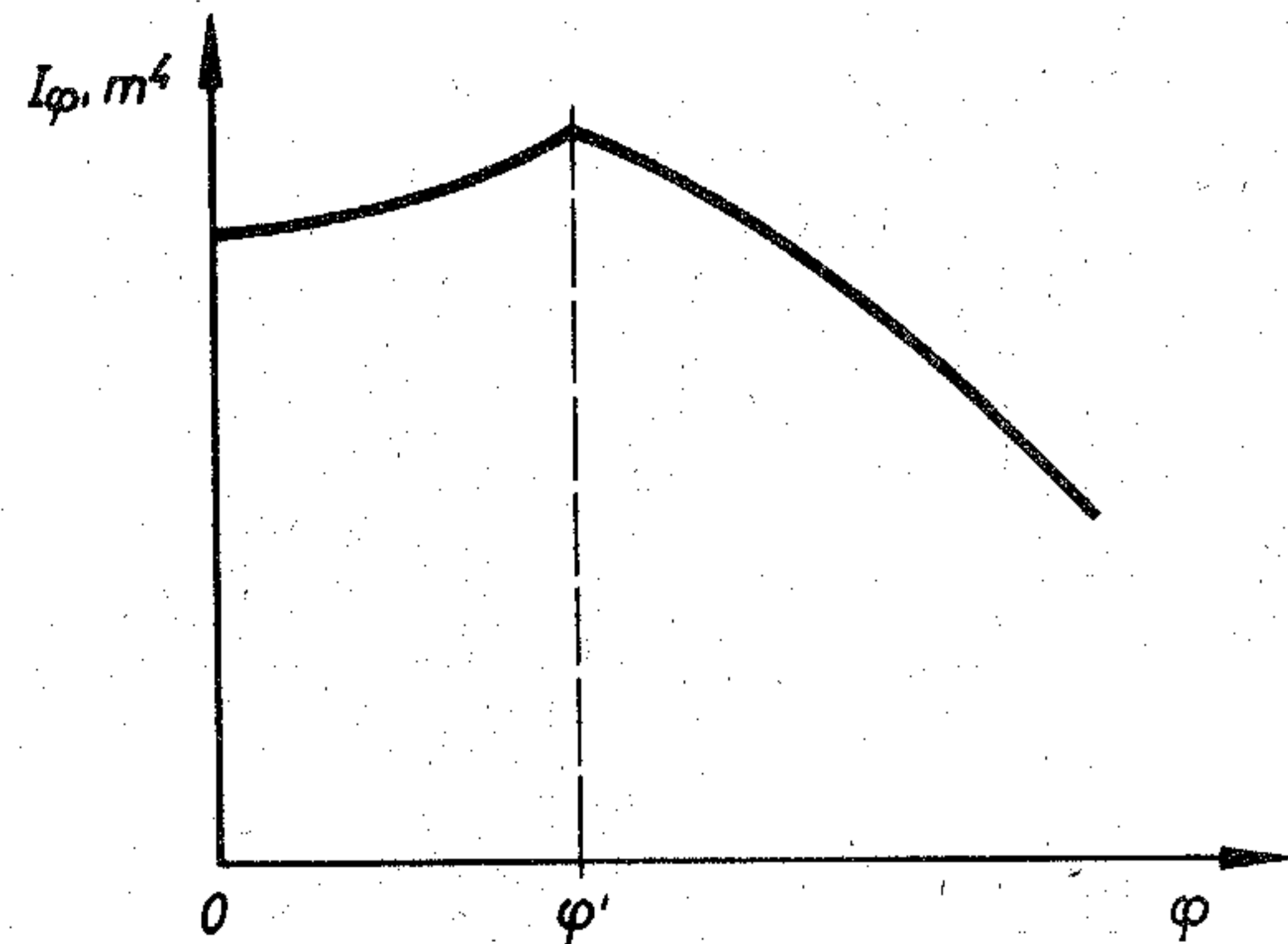
$$\Delta V_2 = \frac{1}{2} \cdot \Delta \varphi \cdot M_2$$

Így az előzőekhez hasonlóan határozhatjuk meg az újabb η és ε értékeket,

$$\eta_2 = \frac{1}{2} \frac{\int (b^2 - a^2) dx}{\int (b+a) dx}$$

$$\xi_2 = \frac{1}{4} \cdot \Delta\varphi \cdot \frac{\int (b^2 - a^2) dx}{\int (b+a) dx} = \frac{1}{2} \cdot \Delta\varphi \cdot \eta_2$$

ahol a és b a φ_2 jelű vízvonálnak az egyes bordáknál leolvasható fél szélességei az elbillenés tengelyétől (S_1) mérve.



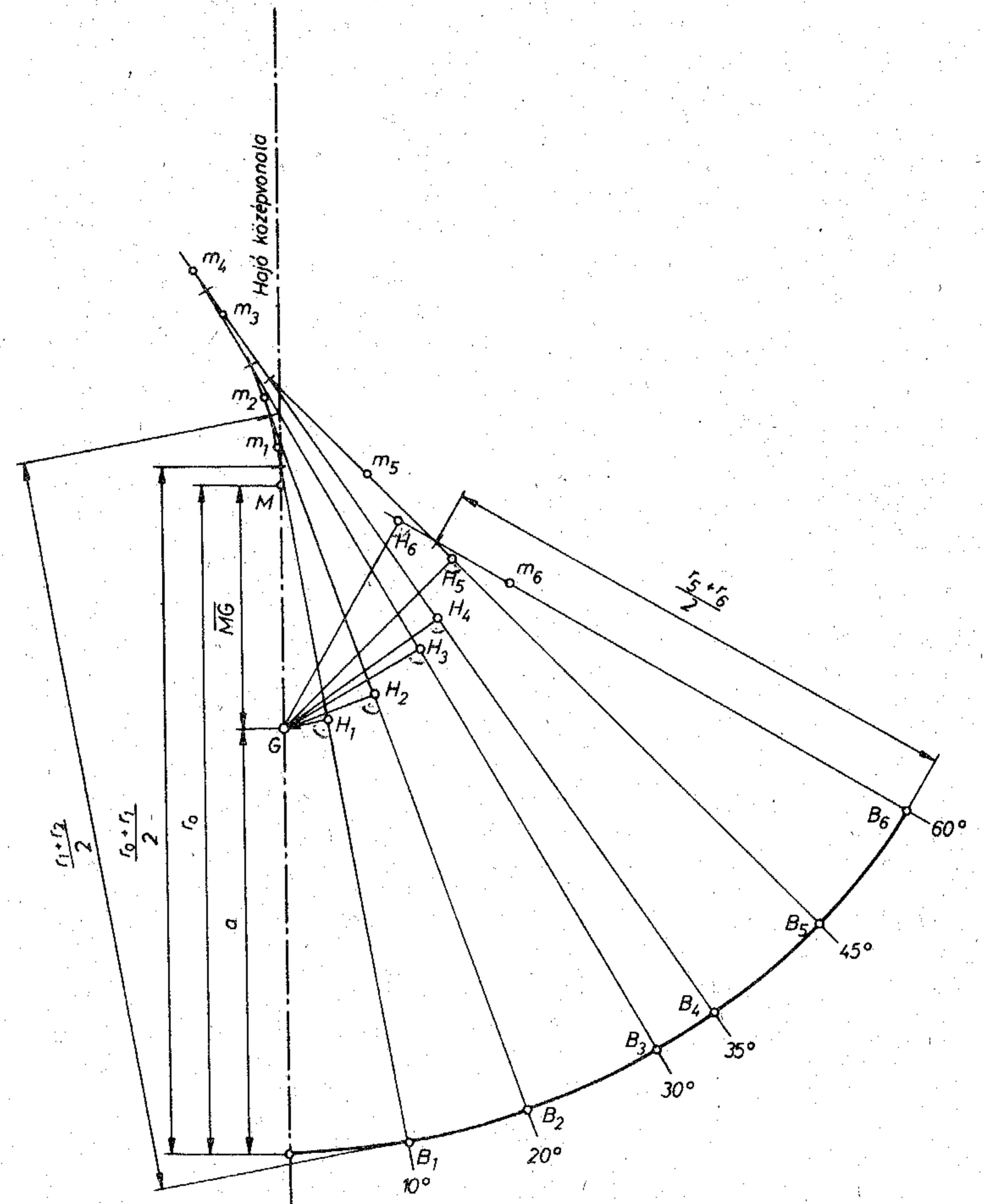
4.12 ábra

A vízvonalterület másodrendű nyomatékának változása a dőlés-
szög függvényében

Az egyes dőléseknél számítható a vízvonalterület másodrendű nyo-
matékának az értéke a súlyponti tengelyre:

$$J_\varphi = \frac{1}{3} \int_L (b^3 + a^3) dx - A_w \eta^2$$

A számított J_φ értékek a dőlésszög függvényében általában min-
den hajónál a 4.12 ábrához hasonlóan változnak. Kiseb szögeknél nő az
 J_φ értéke, amíg a hajó fedélzete a vízbe nem ér, vagy - kis merülést
vizsgálva - a feneké ki nem emelkedik a vízből (az ábrán φ' szögnél).
Ennél nagyobb dőléseknél a vízvonalterület másodrendű nyomatéka roha-
mosan csökken.



4.13 ábra

A stabilitási kar meghatározása szerkesztéssel

4.4.3 A stabilizáló nyomaték karjának meghatározása. A Reed-diagram

Ha az előző pontban ismertetett módszerrel, vagy más úton meghatároztuk különféle dőlésszögeknél a hajó úszási vízvonalterületének másodrendű nyomatékát, akkor tetszőleges súlyponthelyzetre megállapítható a stabilizáló nyomaték karja is, a 4.4.1 pontban ismertetett törvényszerűségek alapján.

Példaként egy szerkesztési eljárást láthatunk a 4.13 ábrán: A hajó középvonalán bejelöljük a vízszintes úszásra érvényes vízkiszorítás B_0 súlypontját. A B pontokat összekötő görbének görbületi sugarát különféle dőlésszögeknél ismerjük ($\varphi = 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 35^\circ, 45^\circ$ és 60° -nál). Két pont között a kétféle sugar középértékével számolunk.

A B_0 pontból kiindulva a középvonalon felmérjük a $0,5 \cdot (r_0 + r_1)$ közepes görbületi sugarat. A nyert pontból mint középpontból a közepes sugárral körívet rajzolunk, majd a középvonallal $\varphi = 10^\circ$ -ot bezáró egyenest húzunk. Ezen egyenes és a körív metszéspontja jelöli ki a B_1 pontot, a vízkiszorítás súlypontjának a helyét φ_1 dőlésnél.

A B_1 pontból a berajzolt sugárra felmérjük a következő $0,5 \cdot (r_1 + r_2)$ közepes görbületi sugarat s a nyert pontból húzott körív és φ_2 hajlásszögű sugár kimetszi a következő B_2 pontot. Így pontról-pontra megkapjuk a vízkiszorítás súlypontjának görbét.

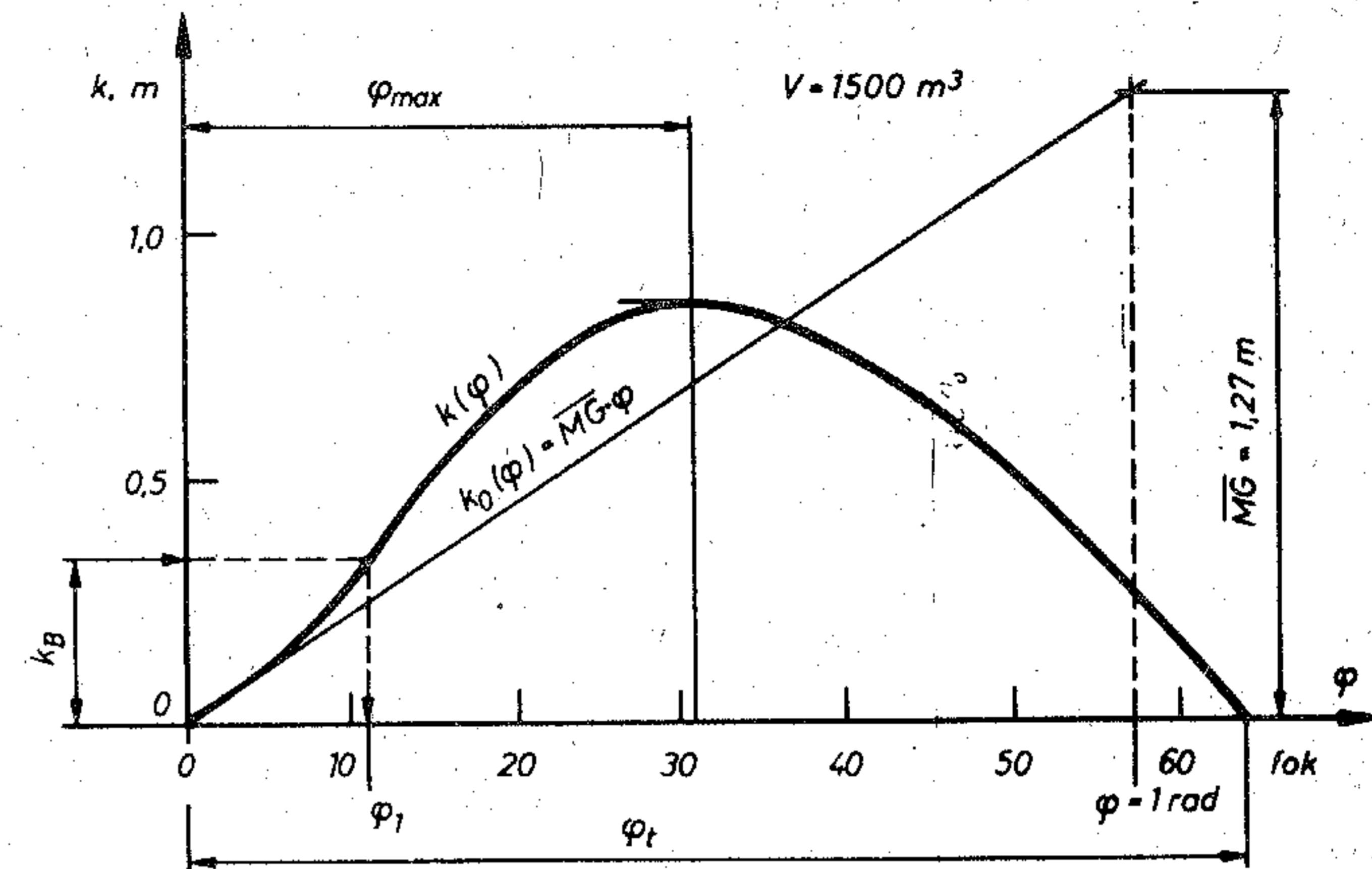
A szerkesztés során húzott sugarak a megfelelő dőlésnél függőleges irányúak, így a felhajtóerő hatásvonalát adják.

A hajó középvonalán a B_0 pont felett felmérve az $a = (z_G - z_d)$ távolságot, a G súlypontot is bejelöljük. A G pontból a felhajtóerő hatásvonalakra merőleges egyeneseket húzva, a súlyerő és a felhajtóerő hatásvonala közötti távolság a stabilizáló nyomaték karja:

$$k = \overline{GH}$$

A középvonalra és a különféle dőléseknél a felhajtóerő hatásvonalára a B pontoktól felmérhetjük az r metacentrikus sugarakat is. Így bejelölhetjük a görbe pillanatnyi görbületi középpontját, a metacentrumot, vízszintes úszásnál M-mel, a megdőlt úszási helyzetekben kis m-mel jelöltük a 4.13 ábrán.

A stabilizáló nyomaték karját a dőlésszög függvényében ábrázoló görbét Reed-diagramnak nevezik (4.14 ábra). Egy hajónak minden merüléséhez (vízkiszorításához) és minden súlypont (G) helyzetéhez külön görbe tartozik.



4.14 ábra
A Reed-diagram

A stabilitás maximuma φ_{max} szögnél van. A φ_t -vel jelölt szöget a "stabilitás terjedelmé"-nek nevezik. A görbe kezdeti szakaszának helyes megrajzolása érdekében meg szokták rajzolni a kezdeti szakasz érintőjét, ami nem más, mint a kezdeti stabilitás (4.1) képletében szereplő stabilitási kar függvénye:

$$k_0 = \frac{M_{st}}{\rho \cdot g \cdot V} = \frac{\rho \cdot g \cdot V \cdot \overline{MG} \cdot \varphi}{\rho \cdot g \cdot V} = \overline{MG} \cdot \varphi$$

A függvényt kifejező egyenes megrajzolásához $\varphi = 1 = 57,296^\circ$ szögnél felmérjük a \overline{MG} távolságot.

A görbe segítségével meghatározhatjuk, hogy a hajó egy M_B billentőnyomaték hatására milyen dőlésszögnél kerül egyensúlyi helyzetbe: A függőleges tengelyre felmérjük a billentő nyomaték "karját":

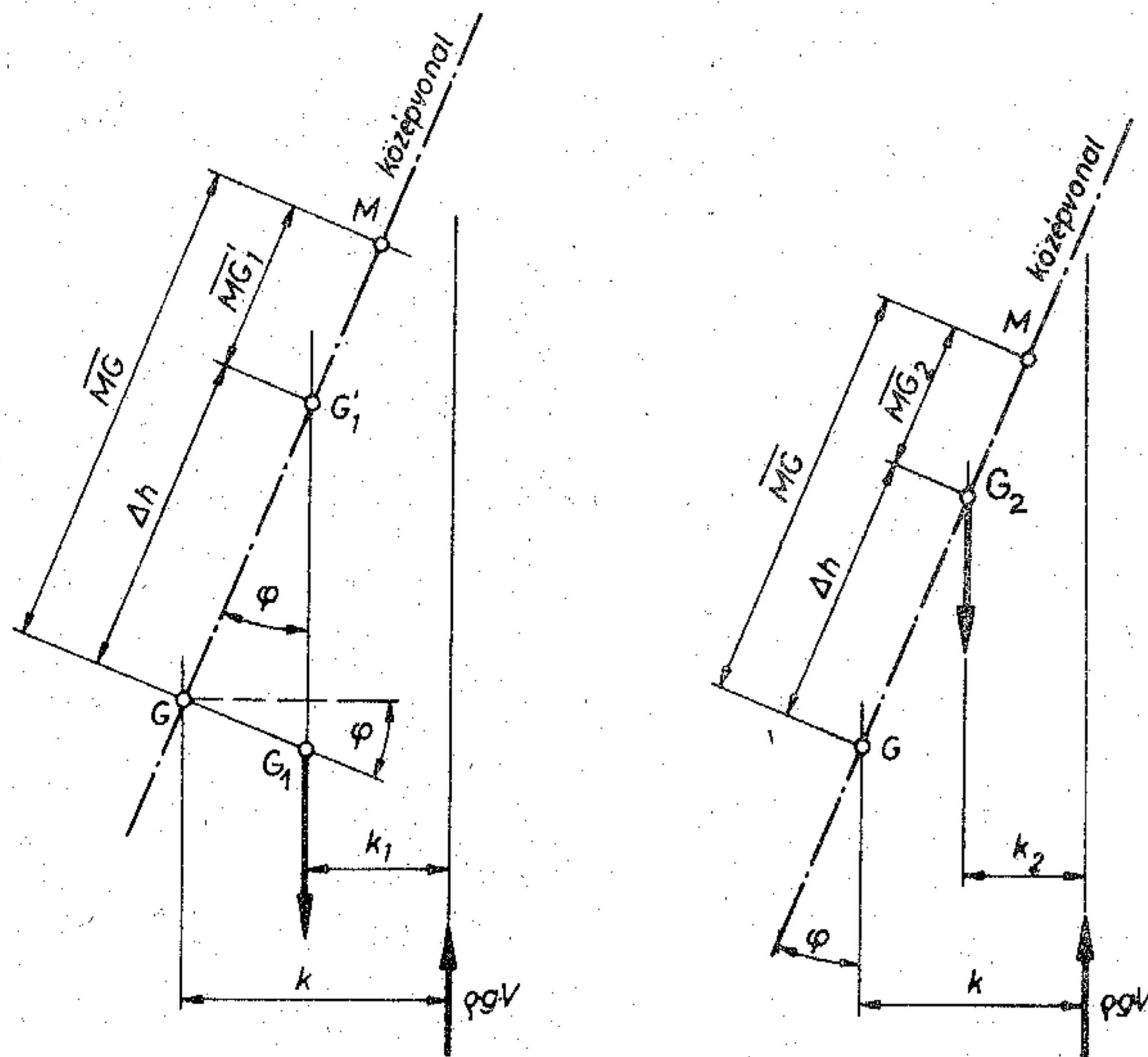
$$k_B = \frac{M_B}{\rho \cdot g \cdot V}$$

A görbéből leolvasható φ_1 szöggel megdőlt hajóra ható stabilizáló nyomaték és a billentő nyomaték egyenlősége fennáll, így a hajó egyensúlyi helyzetben van.

4.4.4 A súlyponthelyzet változásának figyelembevétele. Az általános Reed-diagram

A 4.15 ábra baloldali képén φ szöggel megdőlt hajó középvonalán feltüntettük a hajó merüléséhez tartozó M kezdeti metacentrumot, továbbá a G súlypontot, amelynek figyelembevételével készült a Reed-diagram. Vizsgáljuk meg, mi lesz a stabilitási kar, ha a súlypont a G_1 helyen van, azaz oldalirányban $\overline{GG_1}$ távolsággal elmozdult. Az ábra szerint:

$$k_1 = k - \overline{GG_1} \cdot \cos \varphi$$



4.15 ábra

A súlypont-helyzet változásának hatása a stabilitási kar nagyságára

A G_1 súlyponthelyzetével azonos k_1 kart kapunk akkor is, ha a súlypont a G'_1 pontban lenne. Azaz a a súlypont $\overline{GG_1}$ oldalirányú eltérése egyenértékű a

$$\overline{GG'_1} = \frac{\overline{GG_1}}{\operatorname{tg} \varphi}$$

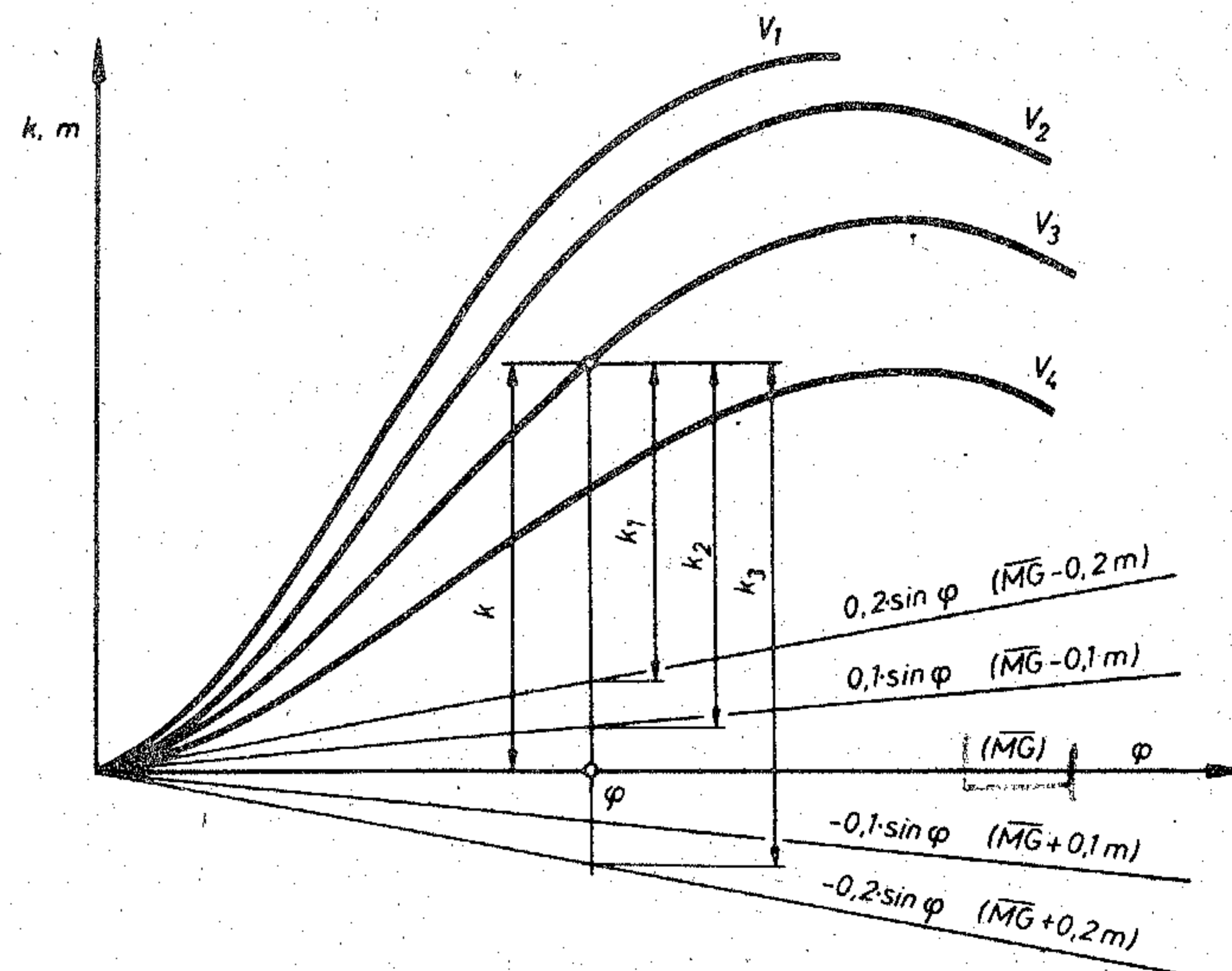
magasságkülönbséggel. Azaz a metacentrikus magasság csökkenése az oldalirányban eltérő súlyponthelyzet esetén:

$$\Delta h = \overline{MG} - \overline{MG'_1} = \frac{\overline{GG_1}}{\operatorname{tg} \varphi}$$

A 4.15 ábra jobboldali képén a G_2 súlypont feljebb van, mint a G, amelynek figyelembevételével készült a hajó Reed-diagramja. Így a stabilitás karja a diagramból leolvasható k érték helyett:

$$k_2 = k - \overline{GG_2} \cdot \sin \varphi = k - [\overline{MG} - \overline{MG_2}] \sin \varphi = k - \Delta h \cdot \sin \varphi \quad (4.9)$$

Ennek figyelembe vételével olyan általános (univerzális) Reed-diagramot készíthetünk, mely bármely merülésnél és bármely súlyponthelyzetnél használható:



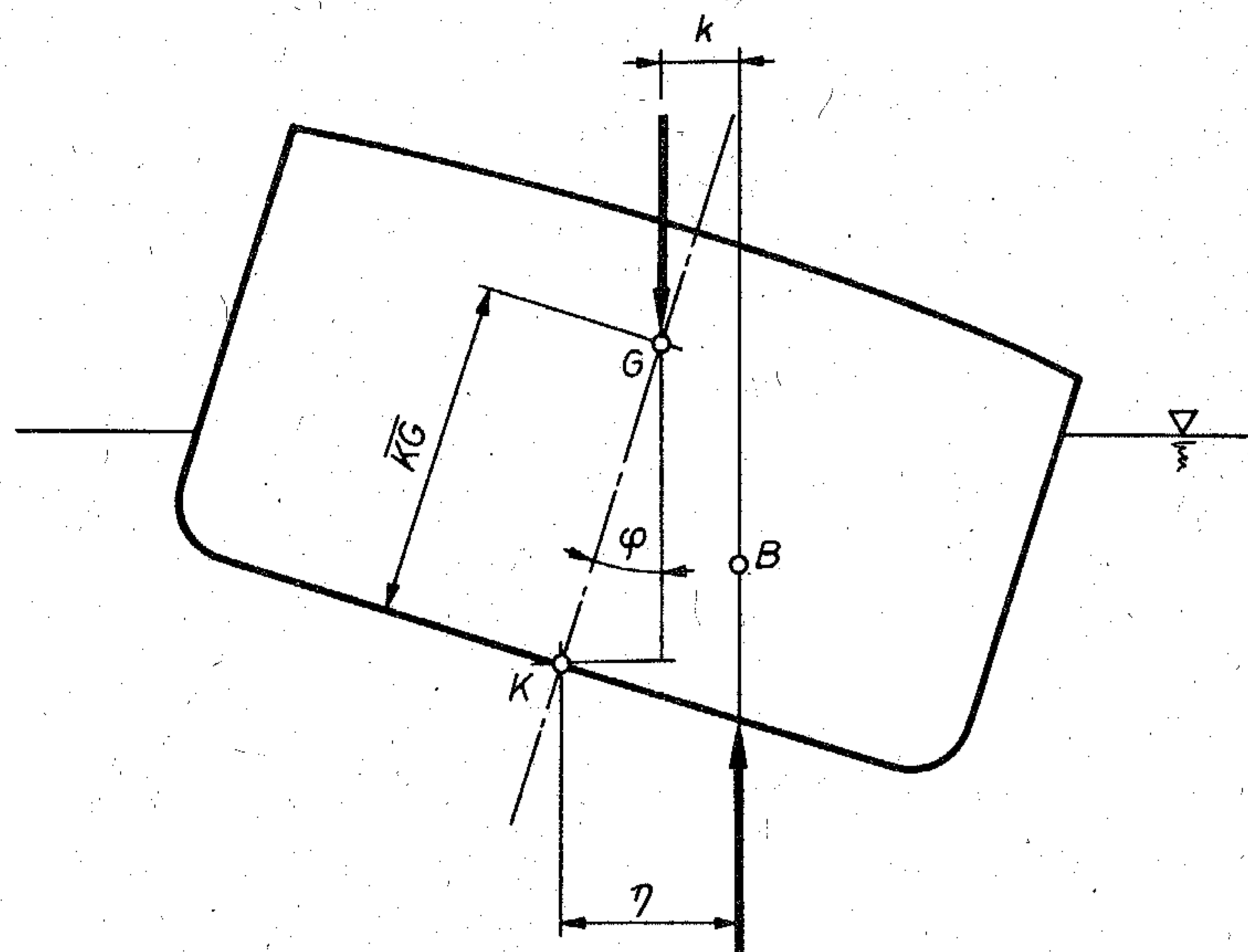
4.16 ábra

Általános Reed-diagram

A 4.16 ábrán egy hajónak többféle vízkiszorításra (merülésre) és egy G pont helyzetre számított stabilitási görbéit láthatjuk. A G pontnál 0,1 méterrel magasabb súlyponthelyzetnél, azaz $\Delta h = 0,1$ m-rel kisebb metacentrikus magasságnál a stabilizáló nyomaték karja:

$$k_2 = k - \Delta h \cdot \sin \varphi = k - 0,1 \cdot \sin \varphi$$

Ha a diagramba berajzoljuk a $0,1 \cdot \sin \varphi$ görbét, akkor a φ dőlésszög függőlegesen közvetlenül lemérhetjük a k_2 értékét.



4.17 ábra

A pantokarénák η karjának értelmezése

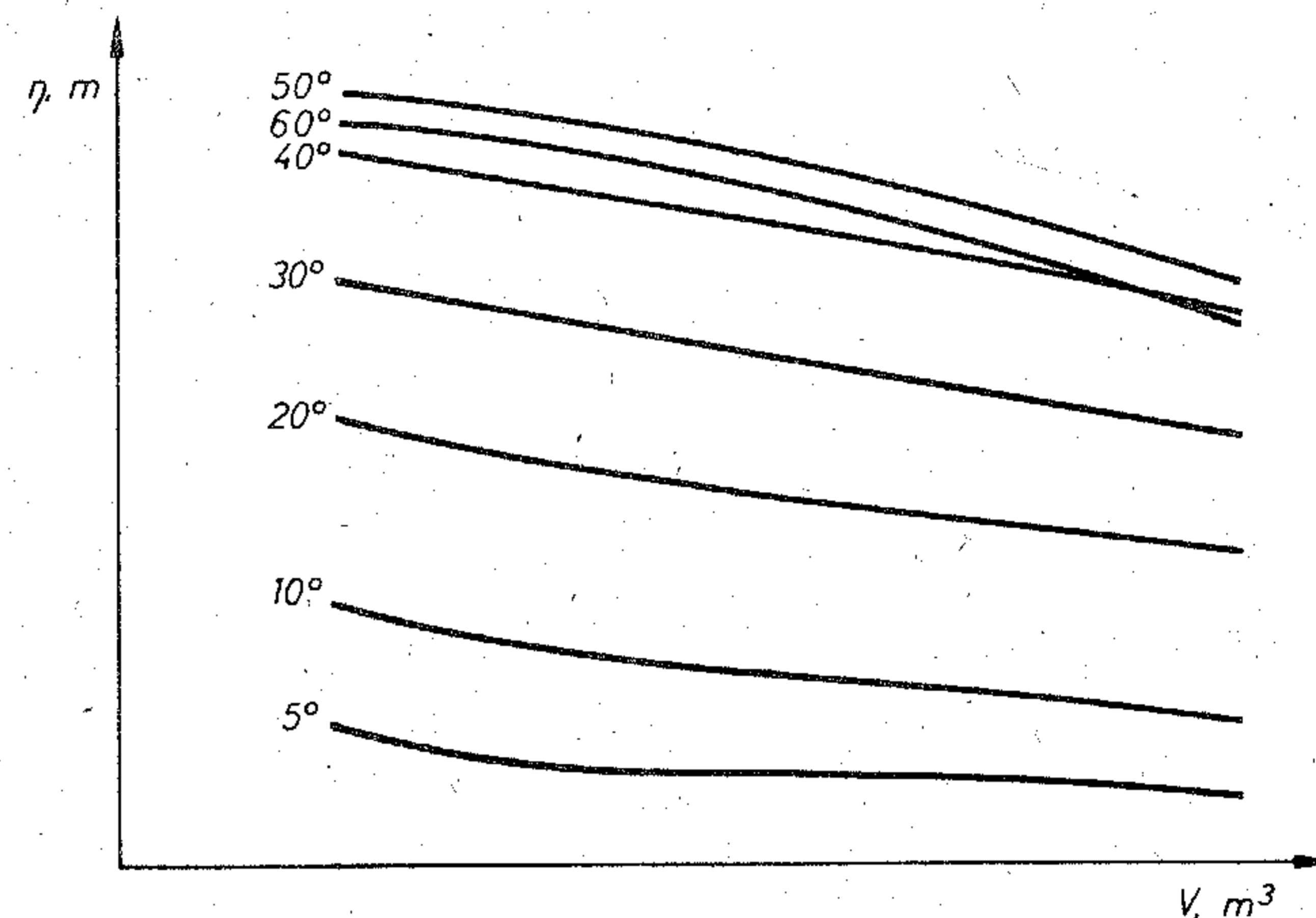
Kiegészíthetjük a diagramot a $0,1 \cdot \sin \varphi$ többszöröseivel s ezek negatív értékeivel rajzolt további görbékkel ($0,2 \cdot \sin \varphi$; $0,3 \cdot \sin \varphi$; $-0,1 \cdot \sin \varphi$; $-0,2 \cdot \sin \varphi$, stb.). Így egy segédkörbe sereget kapunk, melynek segítségével bármilyen súlyponthelyzetnél (metacentrikus magasságnál) megállapíthatjuk a stabilitási kar nagyságát a dőlésszög függvényében. Ezekkel a segédkörbékkel kiegészített diagramot nevezzük általános Reed-diagramnak. Ha a hajó metacentrikus magassága eltér (pl. $0,2$ m-rel kisebb, mint amelynél a k értékeket kiszámolták) akkor a megfelelő vízkiszorításhoz tartozó görbe és a megfelelő ($0,2 \cdot \sin \varphi$) segédkörbe között lemérhető távolság a stabilitás karja.

Ilyen általános Reed-diagramokat láthatunk az 5. fejezetben (19-22. melléklet). A dőlésszög tengelyén olyan skálát alkalmaztak, melynél a $c \cdot \sin \varphi$ görbék egyenesek. A $c \cdot \sin \varphi$ segédkörbék paramétere az a metacentrikus magasság, melynél a segédkörbétől mérve kapjuk a stabilitás karját.

Általánosan használható stabilitási diagram az úgynevezett "pantokarénák" is. A stabilitási kar helyett a 4.17 ábra szerint értelmezett η karokat ábrázolják. A stabilitási kar tetszőleges súlyponthelyzetnél számítható:

$$k = \eta - \overline{KG} \cdot \sin \varphi \quad (4.10)$$

Pantokarénákat mutat a 4.18 ábra. Az η karokat a vízkiszorítás függvényében ábrázolják állandó dőlésszögeknél.



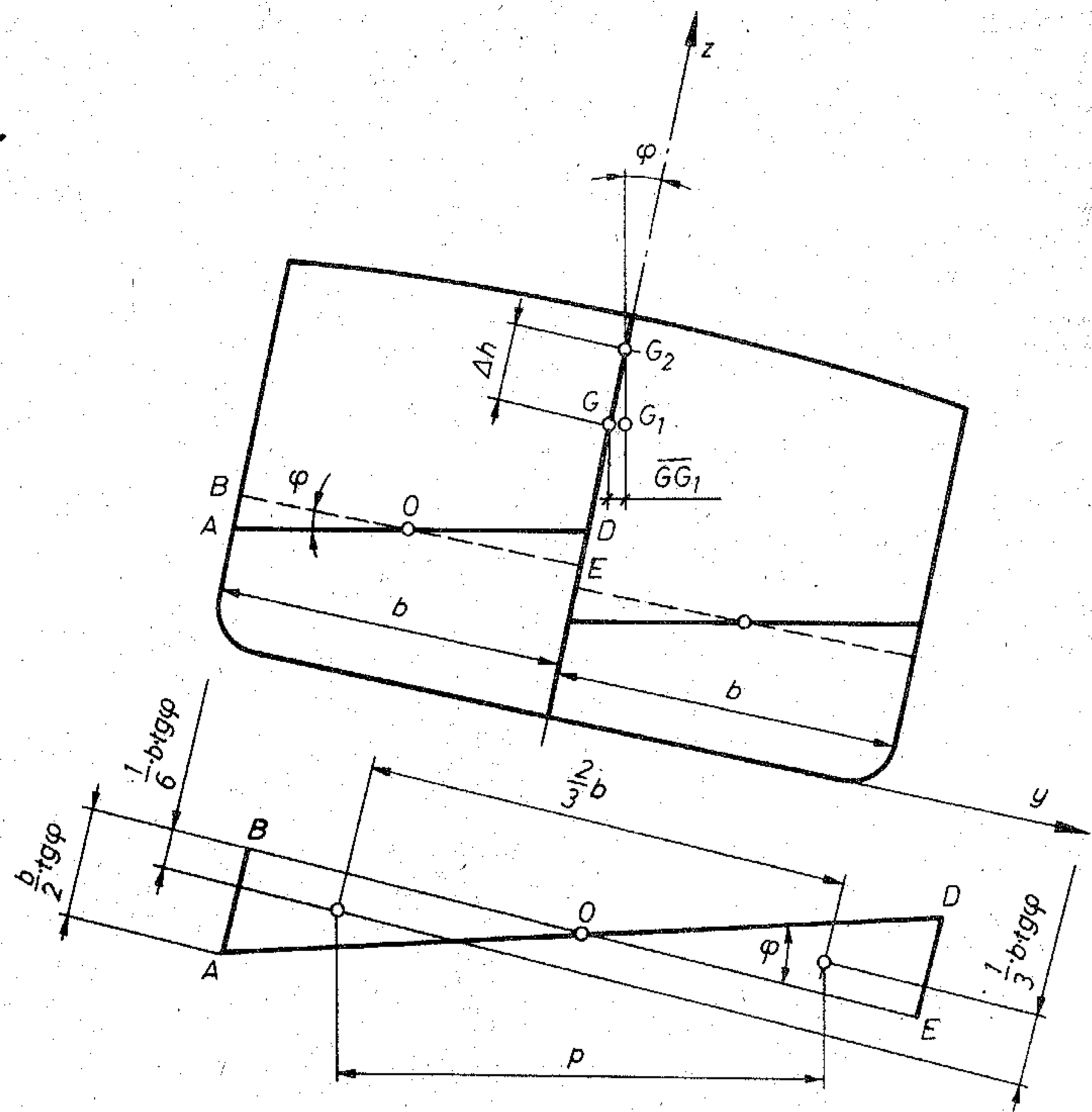
4.18 ábra
Pantokarénák

4.4.5 A szabad felszínű folyadékrakomány hatása a stabilitásra nagy dőlésnél

A 3.5 fejezetben megvizsgáltuk kis dőlésszögeknél a szabad felszínű folyadék hatását. Az ott alkalmazott egyszerűsítések nagyobb dőlésszögeknél pontatlanságot okozhatnak.

A hajóban kialakított tankok többségének az oldalfala függőleges. Ilyen tankokat láthatunk a 4.19 ábrán. A hajó megdőlése esetén a tankokban lévő folyadék felszíne vízszintes marad, azaz a hajóhoz képest φ szöggel elbillen. A dőlés előtt az ABO háromszög keresztmetszetű éktestben lévő folyadék átfolyik az ODE háromszög keresztmetszetű helyre. A háromszögek területe:

$$\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{b}{2}\right)^2 \cdot \operatorname{tg} \varphi = \frac{b^2}{8} \operatorname{tg} \varphi$$



4.19 ábra

Szabad felszínű folyadékraakomány hatása a stabilitásra

Ha a tank hosszúsága l , akkor az átömlött folyadék tömege:

$$m_f = \rho_f \cdot l \cdot \frac{b^2}{8} \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

A két éktest súlypontjának távolsága y irányban $\frac{2}{3} b$; z irányban $\frac{1}{3} b \cdot \operatorname{tg} \varphi$.
A φ szöggel megdőlt helyzetben a két súlypont távolságának vízszintes vetülete:

$$p = \frac{2}{3} \cdot b \cdot \cos \varphi + \frac{1}{3} \cdot b \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \sin \varphi = \frac{2}{3} \cdot b \cdot (\cos \varphi + \frac{1}{2} \operatorname{tg} \varphi \cdot \sin \varphi)$$

Ezzel a tömeg nyomatékváltozása:

$$m_f \cdot p = \rho_f \cdot \frac{2 \cdot b^3}{8 \cdot 3} (\operatorname{tg} \varphi \cdot \cos \varphi + \frac{1}{2} \operatorname{tg}^2 \varphi \cdot \sin \varphi) = \rho_f \cdot \frac{\ell b^3}{12} (1 + \frac{1}{2} \operatorname{tg}^2 \varphi) \sin \varphi$$

A tartályban lévő folyadék felszínének másodrendű nyomatéka a terület súlypontján átmenő tengelyre

$$J_f = \frac{\ell b^3}{12}$$

Igy a nyomatékváltozás:

$$m_f \cdot p = \rho_f \cdot J_f \cdot (1 + \frac{1}{2} \operatorname{tg}^2 \varphi) \sin \varphi$$

A folyadék átömlése miatt a hajó eredő tömegközéppontja a G pontból a G_1 pontba kerül. A súlypont elmozdulásának a vízszintes vetülete (a felszín elbillenése miatt bekövetkező nyomatékváltozások összege valamennyi tankban, osztva a hajó teljes tömegével):

$$\overline{GG}_1 = \frac{\sum m_f \cdot p}{m} = \frac{(1 + \frac{1}{2} \operatorname{tg}^2 \varphi) \cdot \sin \varphi \cdot \sum \rho_f \cdot J_f}{\rho \cdot V}$$

Az eredő súlyerő hatásvonala a hajó középsíkját a G_2 pontban metszi. Azaz a súlypont oldalirányu \overline{GG}_1 elmozdulása azonos változást okoz, mint ha Δh -val magasabbra került volna a súlypont:

$$\Delta h = \overline{GG}_2 = \frac{\overline{GG}_1}{\sin \varphi} = (1 + \frac{1}{2} \operatorname{tg}^2 \varphi) \frac{\sum \rho_f J_f}{\rho \cdot V} \quad (4.11)$$

Például a függőleges oldalfalú hajók stabilizáló nyomatékának a (4.8) kifejezését az alábbiak szerint kell módosítanunk:

$$M_{st} = \rho g V (\overline{MG} - \Delta h + \frac{1}{2} r_o \operatorname{tg}^2 \varphi) \cdot \sin \varphi$$

Hasonló módon bizonyítható, hogy az összefüggés érvényes nem csak téglalap, hanem bármilyen alakú felszín esetében. A különféle síkidomok másodrendű nyomatékának számítási képleteit a 3.3 táblázatban találjuk.

4.5 A stabilitás különleges esetei

4.5.1 A lékesedett hajó stabilitása

A 3.7 pontban vizsgáltuk a lékesedett hajó úszási helyzetét, s ennek során a kezdeti stabilitását. A lékesedett hajó nagy dőlésszögekre érvényes Reed-diagramját az alábbi módon határozhatjuk meg:

A (3.7.6) összefüggésekkel meghatározott merülési értékekhez tartozó közepes merüléshez kiolvassuk a hajó vízkiszorítását a jellemző görbékből, s a továbbiakban ezt vesszük alapul, így az általános Reed-diagramban is ezen vízkiszorítás értékének megfelelő görbét vesszük figyelembe.

A súlypont helyzetének meghatározásánál a lékesedett térben lévő vizet szabad felszíni folyadékrakománynak tekintjük. Így a súlypont magassági koordinátája (z_G) helyett

$$z'_G = z_G + \Delta h,$$

illetve a $h = \overline{MG}$ metacentrikus magasság helyett a

$$h' = h - \Delta h$$

értékkel számolunk, ahol a (3.7.2) és a (4.4.11) összefüggések egybevetésével:

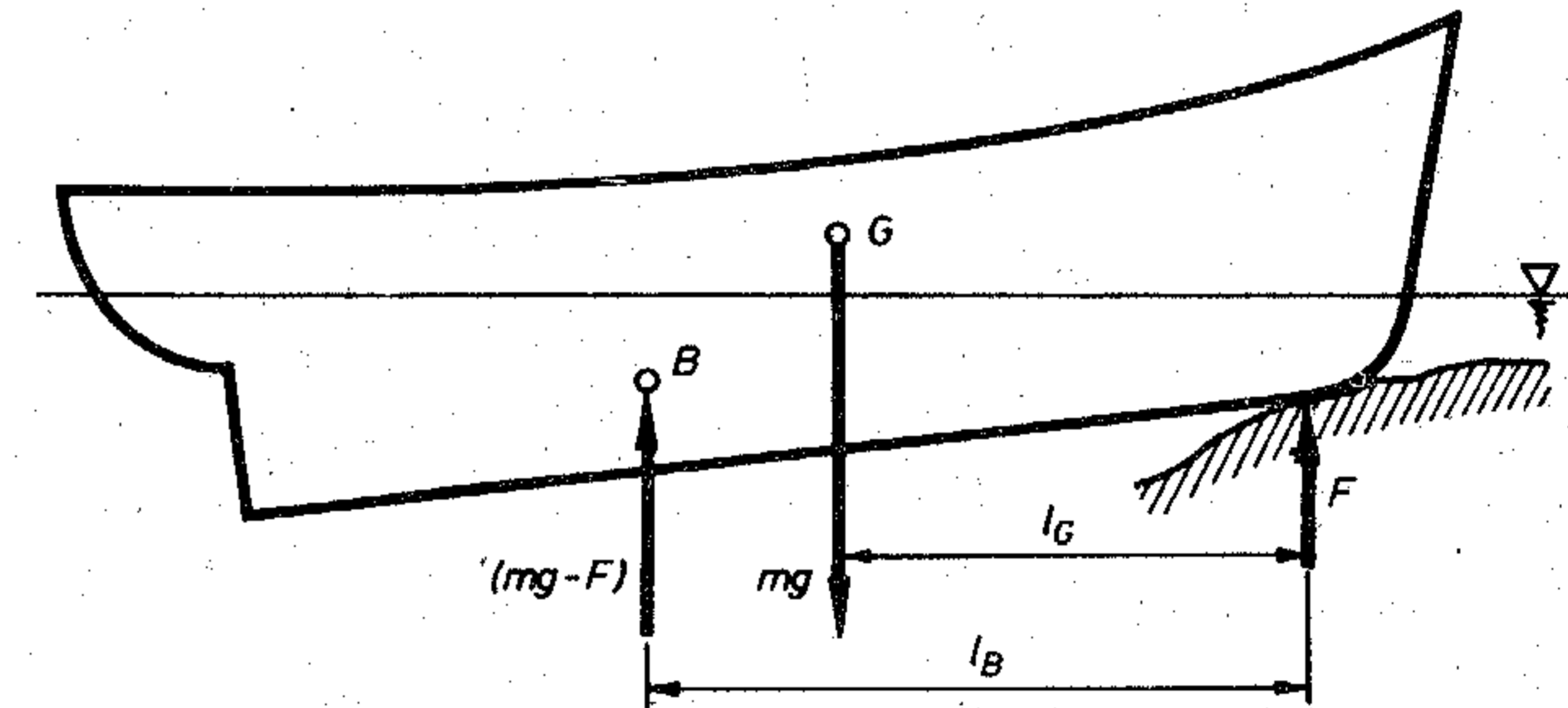
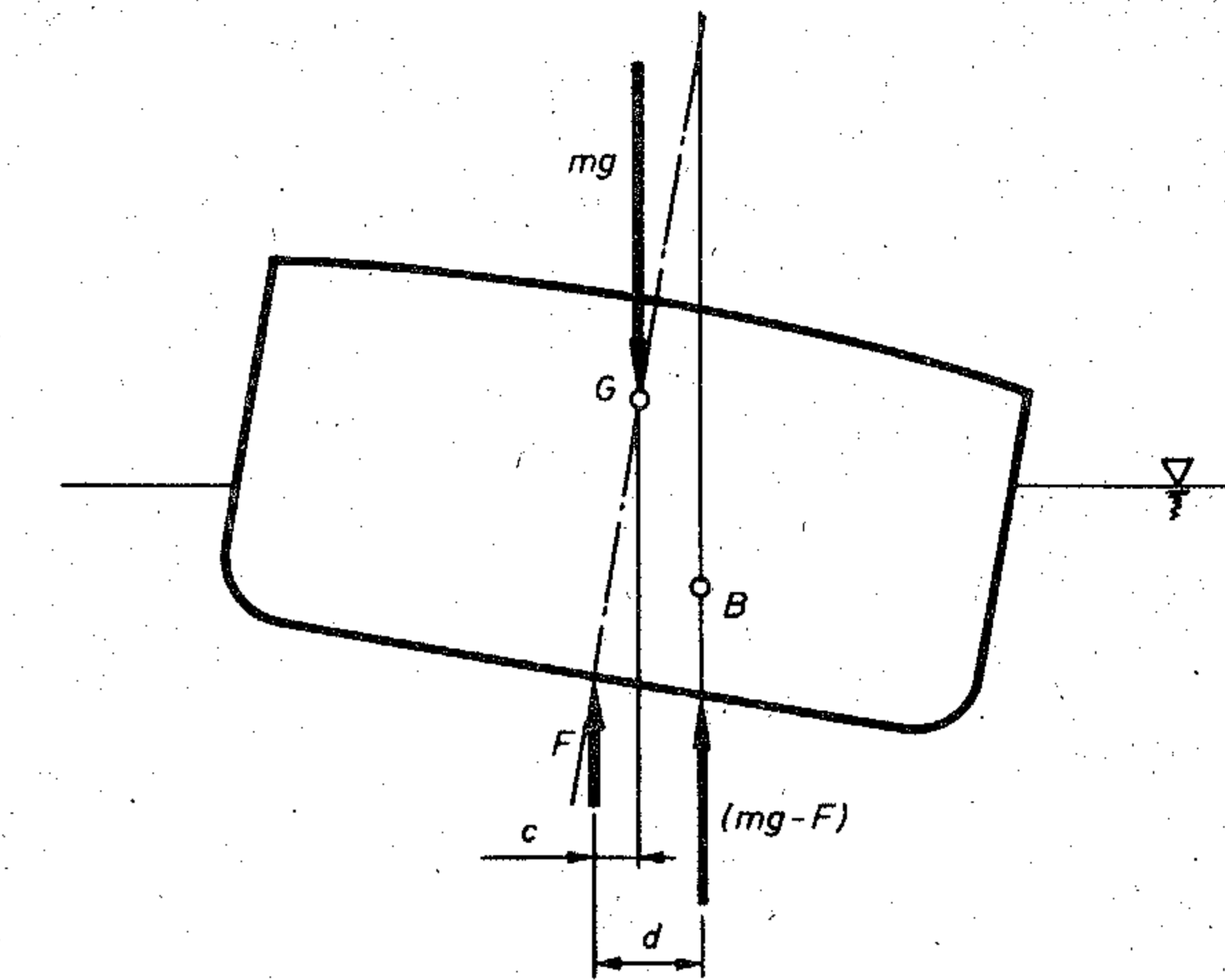
$$\Delta h = \left(1 + \frac{1}{2} \cdot \text{tg}^2 \varphi\right) \cdot \frac{\Delta J_B}{V} \quad (4.5.1)$$

4.5.2 Zátonyra futott hajó stabilitása

Ha a hajó zátonyra futott, vagy egyéb helyzetben (pl. dokkolás, vagy vízrebocsátás során) valamely pontja szilárd talajra támaszkodik, a stabilitás vizsgálata során a súlyerőn és a felhajtóerőn kívül a támaszerőt is figyelembe kell venni.

A 4.20 ábrán a hajó orra a talajra támaszkodik. A támaszerőt F -fel jelöltük. Az ábra felső képe szerint az eredő stabilizáló nyomatékokat határozzuk meg oly módon, hogy összegezzük a B pontra számított nyomatékokat:

$$M_{st} = mg \cdot (d - c) - F \cdot d$$



4.20 ábra

Feltámaszkodó hajó stabilitása

ahol $c = z_G \cdot \sin \varphi$ és kis dőlésszögeknél $d = (z_d + r_o) \cdot \sin \varphi$. Így a kezdeti (kis szögekre érvényes) stabilitás képlete:

$$M_{st} = mg \cdot (r_o - z_G + z_d) \cdot \sin \varphi - F(z_d + r_o) \cdot \sin \varphi \quad (4.5.2)$$

A kifejezés első tagja a szabadon úszó hajó stabilizáló nyomatéka. Így a zátonyra futott hajó stabilitása az

$$F \cdot (z_d + r_o) \cdot \sin \varphi \quad (4.5.3)$$

értékkel kisebb mint a szabadon úszó hajóé.

Az F erő nagyságát a zátonyra futott hajó orr- és far-merülésének függvényében a 3.3.5 pontban ismertetett módszerrel, vagy a hajó trimmgörbéjéből is meghatározhatjuk. Például a 3.8 ábrán bemutatott trimmgörbéből a T_A és T_F merülésekhez kiolvashatjuk a hajó vízkiszorításának Δ tömegét. A támaszerő

$$F = mg - \Delta \cdot g$$

ahol m a hajó tömege.

Vizsgáljuk meg, hogy a stabilizáló nyomaték csökkenése közelítőleg mekkora metacentrikus magasság-csökkenéssel egyenértékű. A metacentrikus magasság a kezdeti stabilitás képletéből:

$$h = \overline{MG} = \frac{M_{st}}{mg \cdot \sin \varphi}$$

Így a (4.5.3) összefüggés szerinti stabilizáló nyomaték csökkenés

$$\Delta h = \frac{F \cdot (z_d + r_o)}{mg}$$

a metacentrikus magasság csökkenésével egyenértékű.

A 3.3.5 fejezetben közölt példában meghatároztuk egy zátonyra futott hajó úszási helyzetét. Nézzük meg, milyen metacentrikus magasság-csökkenéssel számolhatunk a zátonyra futott hajónál. A 3,98 m közepes merülésnél a jellemző görbékből:

$$z_d = 2,13 \text{ m}; \quad J_B = 5480 \text{ m}^4.$$

A hajó teljes súlya $2390 \cdot g = 23446 \text{ kN}$, a támaszerő 2240 kN .

A vízkiszorítás
$$V = \frac{23446 - 2240}{1,025 \cdot g} = 2109 \text{ m}^3$$

a metacentrikus sugár
$$r_o = \frac{5480}{2109} = 2,57 \text{ m}$$

Így a metacentrikus magasság-csökkenése:

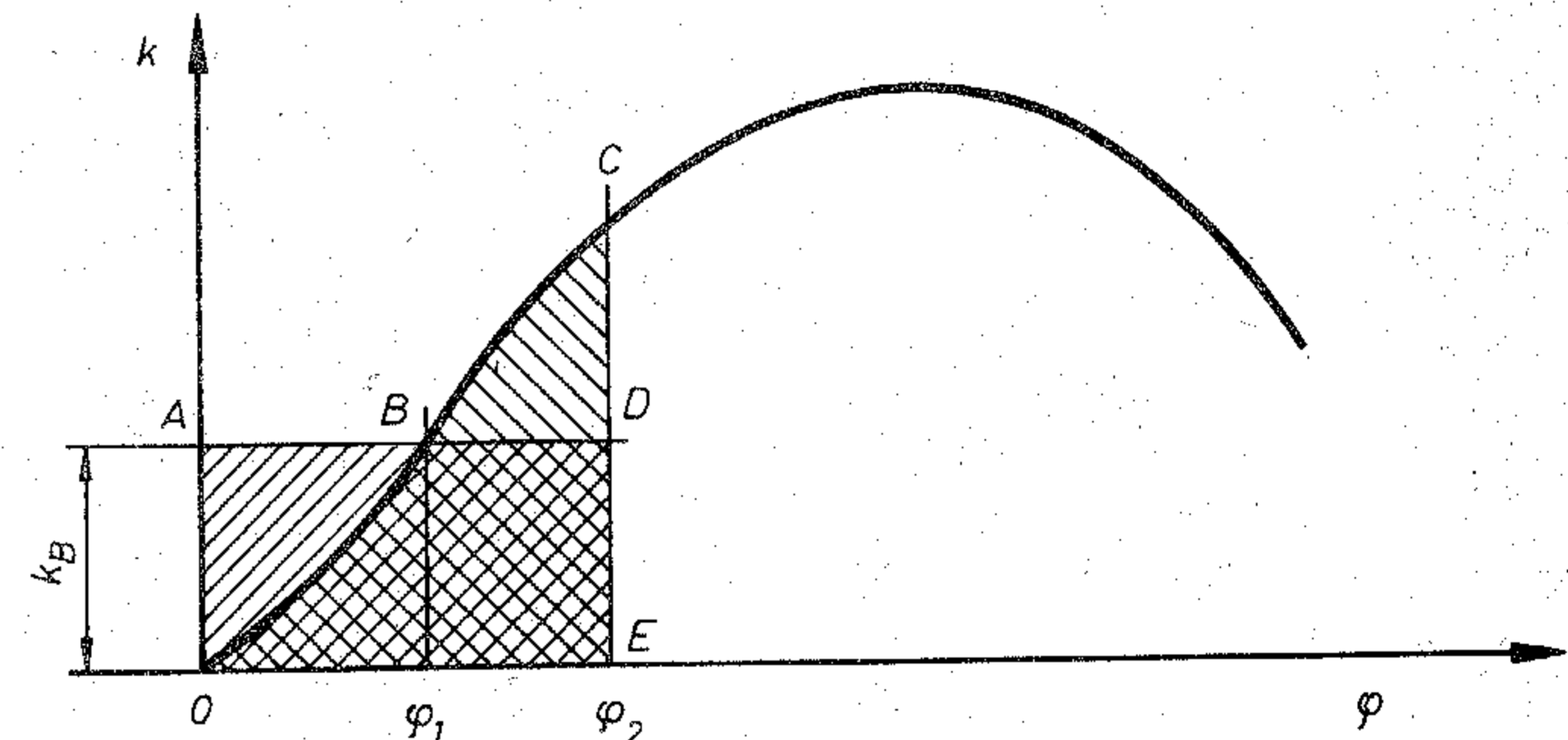
$$\Delta h = \frac{2240}{23446} (2,13 + 2,57) = 0,45 \text{ m}$$

4.6 A megdőlés folyamata. Dinamikai stabilitás

4.6.1 A nyomaték hatására bekövetkező legnagyobb kibillenés meghatározása

A 4.21 ábrán egy hajónak a vizsgált állapotra érvényes súlypont-helyzethez és vízkiszorításhoz tartozó Reed-diagramját láthatjuk. Ha a hajóra egy állandó nagyságú M_B billentőnyomaték hat (például a hajó állandó erősségű oldalszélben halad), a hajó megdől. A billentőnyomatékkal a megdőlt helyzetben fellépő stabilizáló nyomaték tart egyensúlyt. A Reed-diagramban az M_{st} stabilizáló nyomaték helyett a stabilitás karját ábrázolják:

$$k = \frac{M_{st}}{\varrho \cdot g \cdot V}$$



4.21 ábra

A legnagyobb kibillenés szögének meghatározási elve

Így az egyensúlyi helyzet megállapításához az M_B billentőnyomaték karját kiszámítjuk:

$$k_B = \frac{M_B}{\varrho \cdot g \cdot V}$$

Ezt az értéket az ábrába felmérve leolvashatjuk, hogy φ_1 dőlésszögnél lesz azonos a két nyomaték, azaz a hajó az egyensúlyi helyzetben φ_1 szöggel megdőlve úszik.

Ezek után vizsgáljuk meg, hogyan alakul a hajó dőlése a nyomaték kialakulásakor. Például abban az esetben, ha a hajó széllel szemben halad és 90° -kal elfordul, vagy védett, szélárnyékos helyről hirtelen oldalszélbe kerül. Mindkét esetben a billentő nyomaték észlelése, illetve kialakulása pillanatában a hajó még vízszintesen úszik. A hajóra csak az $M_B = \rho \cdot g \cdot V \cdot k_B$ billentő nyomaték hat. Ennek hatására a hajó a hossz-tengelye körül billenni kezd. A billenő mozgás szöggyorsulása

$$\varepsilon = \frac{M_B}{\theta}$$

ahol θ a hajó tehetetlenségi nyomaték a billenés tengelyére.

Amint a hajó megdőlt, a stabilizáló nyomaték is kifejlődik. A $0 < \varphi < \varphi_1$ dőléseknél a hajóra ható eredő nyomaték a billentő és a stabilizáló nyomaték különbsége. Így a szöggyorsulás:

$$\varepsilon = \frac{M_B - M_{st}}{\theta} = \frac{\rho \cdot g \cdot V \cdot (k_B - k)}{\theta} > 0$$

Az ε értéke állandóan csökken, de az egyensúlyi helyzetig (φ_1 dőlésszögig) pozitív értékű. Az egyensúlyi helyzetben a gyorsulás zérus, de a billenés szögsebessége maximális. Így a hajó tovább billen.

A $\varphi_1 < \varphi < \varphi_2$ szakaszon a stabilizáló nyomaték nagyobb, mint a billentő nyomaték. Így a szöggyorsulás

$$\varepsilon = \frac{\rho \cdot g \cdot V \cdot (k_B - k)}{\theta} < 0$$

negatív értékű. A hajó fordulásának szögsebessége tehát csökken, és φ_2 dőlésnél megáll a hajó mozgása.

A φ_2 dőlésszög nagyságát a nyomatékok munkáinak vizsgálata alapján állapíthatjuk meg. A nyomaték által végzett munka:

$$W = \int_0^\varphi M \cdot d\varphi$$



Az M_B billentő nyomaték nagysága állandó, így az integrál jele elé kiemelhető:

$$W_B = M_B \cdot \int_0^\varphi d\varphi = M_B \cdot \varphi = \rho \cdot g \cdot V \cdot k_B \cdot \varphi \quad (4.6.1)$$

A stabilizáló nyomaték munkája:

$$W_{st} = \int_0^\varphi M_{st} \cdot d\varphi = \int_0^\varphi \rho \cdot g \cdot V \cdot k \cdot d\varphi = \rho \cdot g \cdot V \cdot \int_0^\varphi k \cdot d\varphi \quad (4.6.2)$$

A hajó addig billen, amíg a billentő nyomaték munkája és a stabilizáló nyomaték munkája azonos lesz:

$$W_B = W_{st}$$

$$\rho \cdot g \cdot V \cdot k_B \cdot \varphi_2 = \rho \cdot g \cdot V \cdot \int_0^{\varphi_2} k \cdot d\varphi$$

$$k_B \cdot \varphi_2 = \int_0^{\varphi_2} k \cdot d\varphi \quad (4.6.3)$$

Tehát a két munka annál a φ_2 dőlésnél lesz azonos, melynél a $k_B \cdot \varphi_2$ téglalap területe azonos a stabilitási kar görbéje alatti területtel. A két területnek közös része az OBDEO terület. Így a két terület azonosságának feltétele, hogy az OAB terület azonos legyen BCD területtel.

Az előzőek alapján belátható, hogy az OAB terület a gyorsító nyomaték ($M_B - M_{st}$) munkájával, a BCD terület pedig a lassító nyomaték munkájával arányos.

A hajó billenése a φ_2 szög elérésekor megáll. Ebben a helyzetben a stabilizáló nyomaték nagyobb, így a hajó visszafelé kezd billenni. A billenés szögsebessége a φ_1 dőlésig nő, majd csökken.

Ha csillapítás nem jelentkezne, a hajó visszabilenene eredeti úszási helyzetébe (esetünkben $\varphi = 0$) s a jelenség állandóan ismétlődne, amíg a billentő nyomaték változatlan. Azaz a hajó a nyugalmi helyzete körül leng. A csillapítás hatására a lengés amplitudója csökken, végül a hajó φ_1 szöggel dőlve egyensúlyi helyzetben úszik.

A kis dőlésszögek tartományában, amíg a (4.1) jelű kezdeti stabilitási képlettel számítható a stabilizáló nyomaték, a stabilizáló nyomaték karja:

$$k = \overline{MG} \cdot \varphi$$

ahol \overline{MG} a kezdeti metacentrikus magasság.

A k értékét helyettesítsük be a (4.6.3) képletbe:

$$k_B \cdot \varphi_2 = \int_0^{\varphi_2} \overline{MG} \cdot \varphi \cdot d\varphi$$

$$k_B \cdot \varphi_2 = \overline{MG} \cdot \frac{\varphi_2^2}{2}$$

Így kis szögeknél a legnagyobb kibillenés egyszerűen számítható:

$$\varphi_2 = 2 \frac{k_B}{\overline{MG}} \quad (4.6.4)$$

Az egyensúlyi helyzetben, φ_1 dőlésnél a két nyomaték, azaz a két nyomatéki kar egyenlő:

$$k_B = \overline{MG} \cdot \varphi_1$$

amiből

$$\frac{k_B}{\overline{MG}} = \varphi_1$$

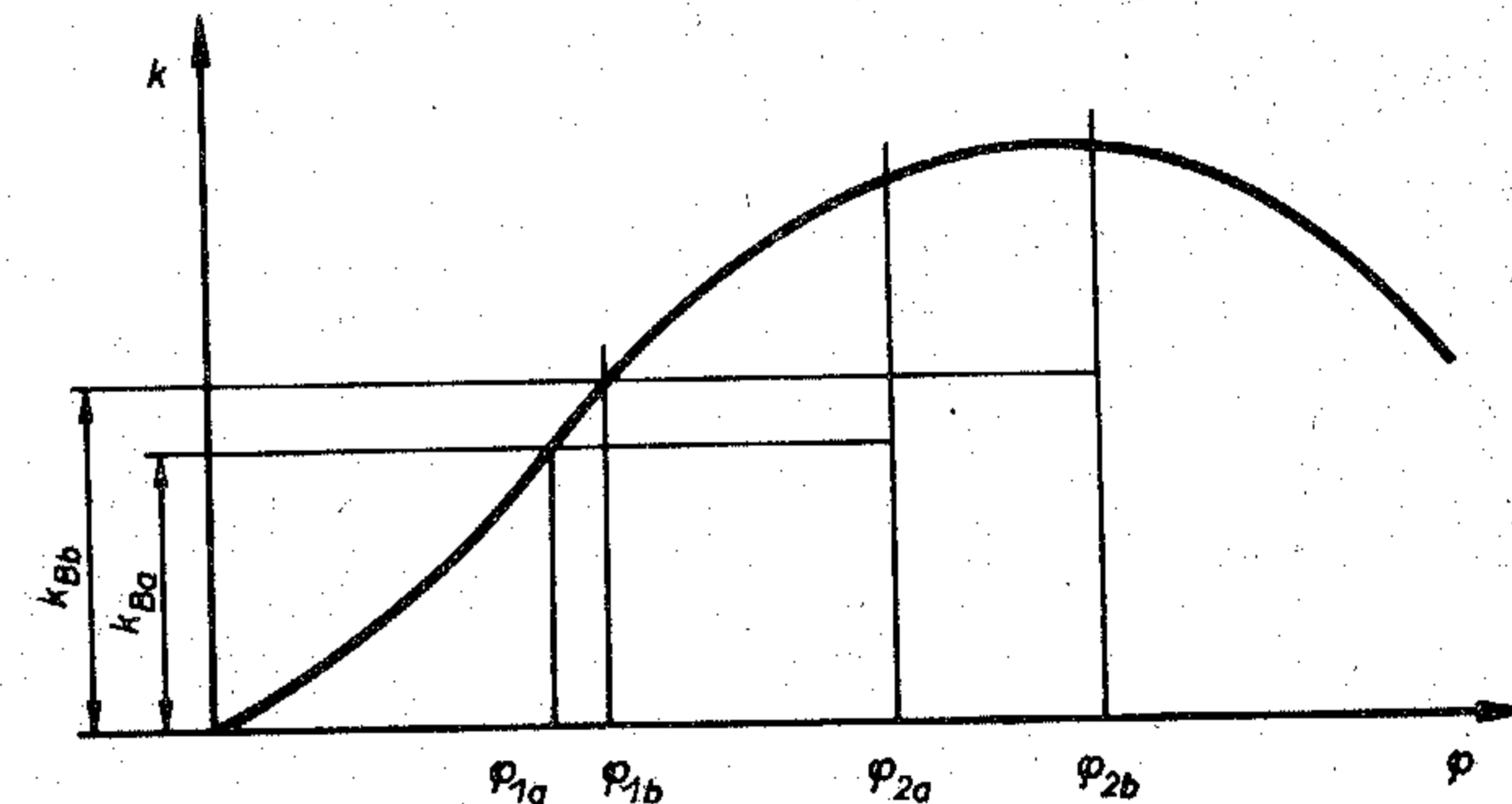
A nyert értéket a (2.5.4) egyenletbe helyettesítve:

$$\varphi_2 = 2 \cdot \varphi_1 \quad (4.6.5)$$

4.6.2 Billentő nyomatékok hatásának vizsgálata különféle jellegzetes esetekben

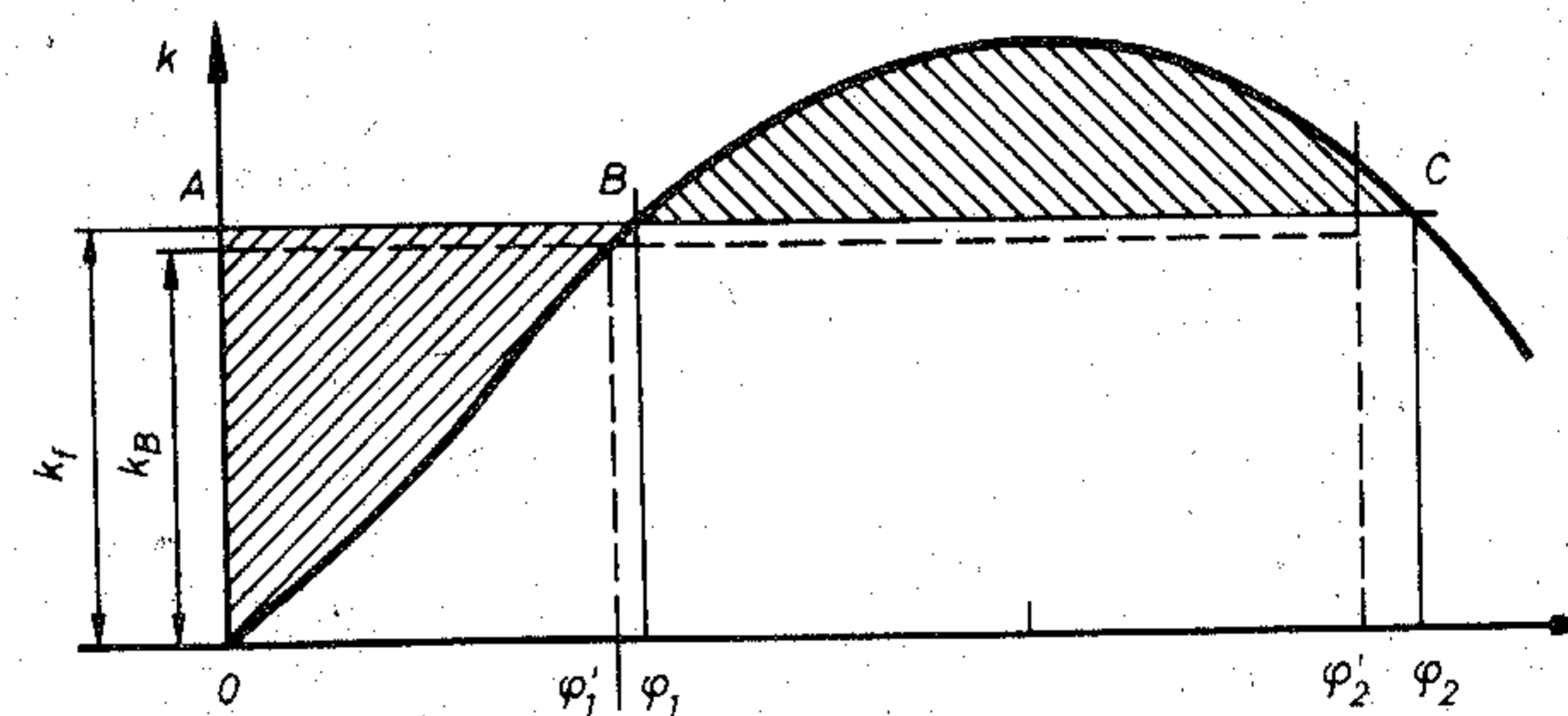
Kiseb nyomatékoknál, amíg a stabilitási görbe durva közelítéssel egyenesnek tekinthető, a billentő nyomaték hatására bekövetkező legnagyobb kibillenés (φ_2) durván kétszerese az egyensúlyi helyzet φ_1 dőlésszögének (pl. a 4.21 ábrán vizsgált esetben).

Nagyobb nyomatékoknál a legnagyobb kibillenés több mint kétszerese is lehet az egyensúlyi helyzet dőlésének (pl. a 4.22 ábrán a φ_{2b} szög),



4.22 ábra

A legnagyobb kibillenés szögének meghatározása különféle nyomatékok hatására



4.23 ábra

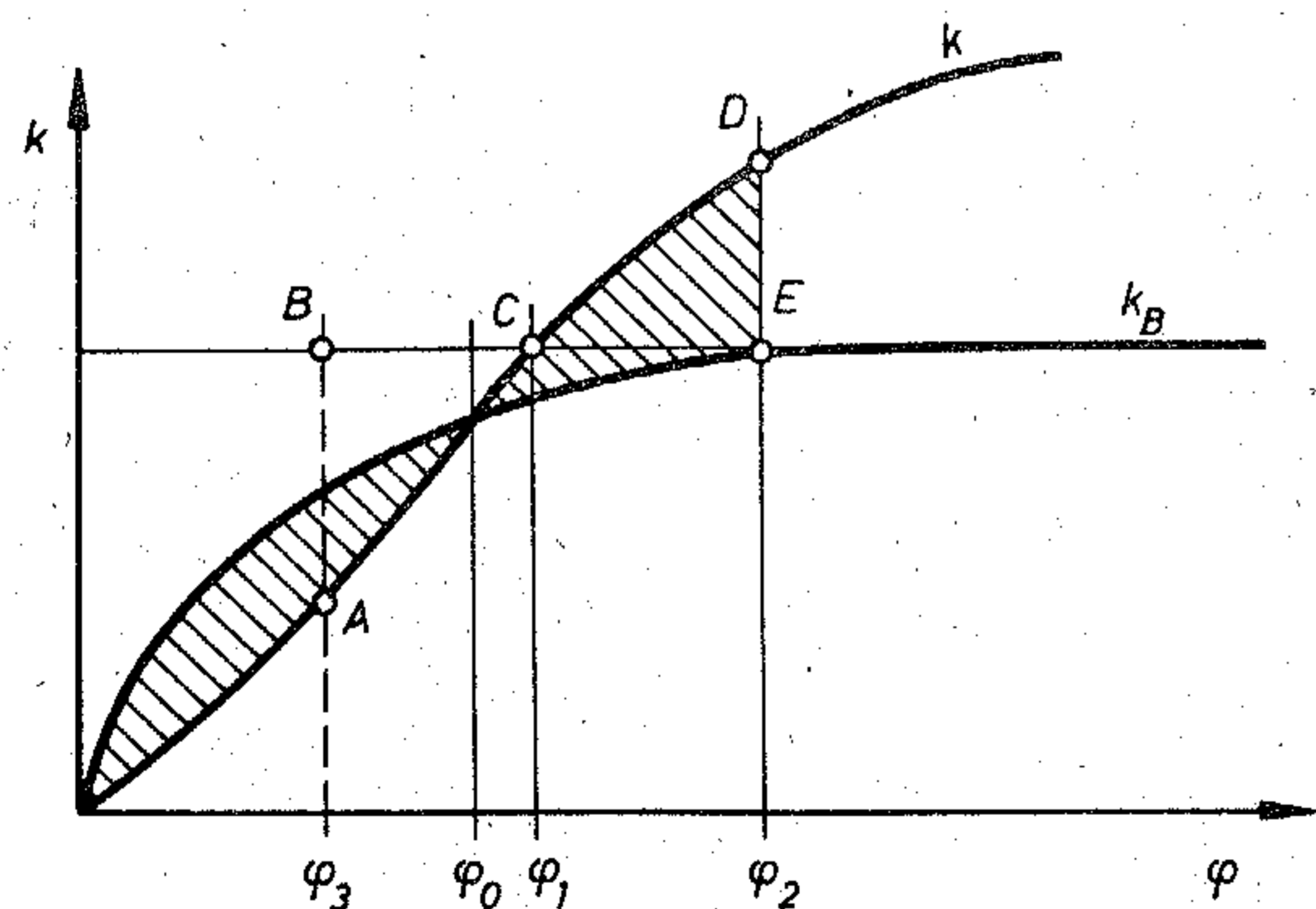
A felborító nyomaték

A billentő nyomaték nagyságát növelve eljutunk egy olyan határ-helyzetig (4.23 ábra), mely esetben a gyorsítási munkát (OAB terület) a lassítási munka (BC pontok közötti vonalkázott terület) még éppen fedezi. Ennél nagyobb hirtelen fellépő nyomaték a hajót felborítja. Ezt a határnyomatékot nevezzük a hajó felborító nyomatékának:

$$M_f = \rho \cdot g \cdot V \cdot k_f \quad (4.6.6)$$

A felborító nyomaték hatására bekövetkező legnagyobb kibillenési helyzetben a hajó egyensúlyi helyzetben van. Így a hajó nem billen vissza, hanem φ_2 dőlésszöggel úszik. Ebben a helyzetben azonban a hajó úszási helyzete labilis. A legkisebb többlet nyomaték hatására a hajó felborul, mivel a C ponttól jobbra a stabilizáló nyomaték kisebb, mint a billentőnyomaték.

A felborító nyomatékot megközelítő billentő nyomaték is veszélyes. A 4.23 ábrán szaggatott vonallal jelölt k_B nyomatéki karhoz tartozó φ_2' szögnél igen kicsi a stabilizáló nyomaték karja és a k_B közötti különbség. Emiatt egyrészt nagyon kis többlet nyomaték a hajó felborulását okozhatja, másrészt a φ_2' szöggel megdőlt helyzetbe került hajó nagyon kis szöggyorsulással kezd visszafelé billenni. A φ_2' helyzetből φ_1' helyzetig billenés ideje lényegesen hosszabb, mint a $\varphi_1'-0$ közötti billenés ideje.



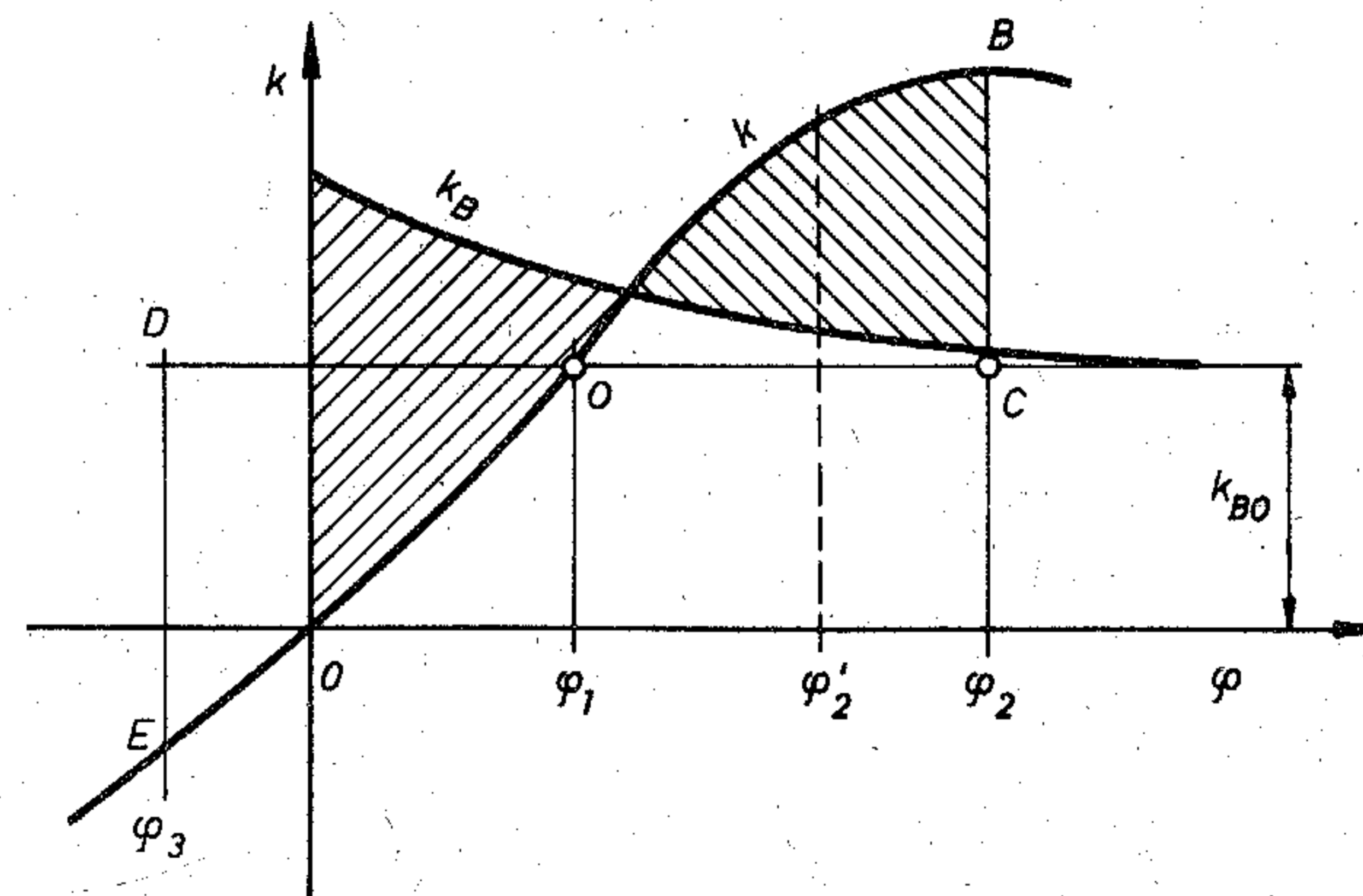
4.24 ábra

Folyamatosan növekvő billentőnyomaték hatása

A 4.21 - 4.23 ábrákban vizsgált esetekben a hajóra ható billentő nyomaték az időben változatlan nagyságú. A 4.24 ábrán olyan esetet látunk, amelynél a billentő nyomaték az idő függvényében folyamatosan növekedik, amíg a k_B karral jellemezhető végleges értékét eléri. Ilyen

eset lehetséges, amikor a széllel szemben haladó hajó elfordul, s a szél egyre növekvő szögben oldalról kezd fujni.

A 4.24 ábrán a φ_0 -nál kisebb dőlésnél a $k_B > k$, így a hajó gyorsulva billen. A φ_0 -nál nagyobb dőléseknél lassul a billenés. A legnagyobb kibillenés szöge φ_2 , a gyorsítási és lassítási munkával arányos vonalkázott területek egyenlősége alapján határozható meg. Tegyük fel, hogy amikor a hajó dőlése elérte a φ_2 szöget, a billentő nyomaték már a végleges, állandó értékű. Így a hajó visszafelé billenése során a φ_1 szögig gyorsul. A legnagyobb visszabillenés (φ_3) az ABC és a CDE területek egyenlőségéből határozható meg.

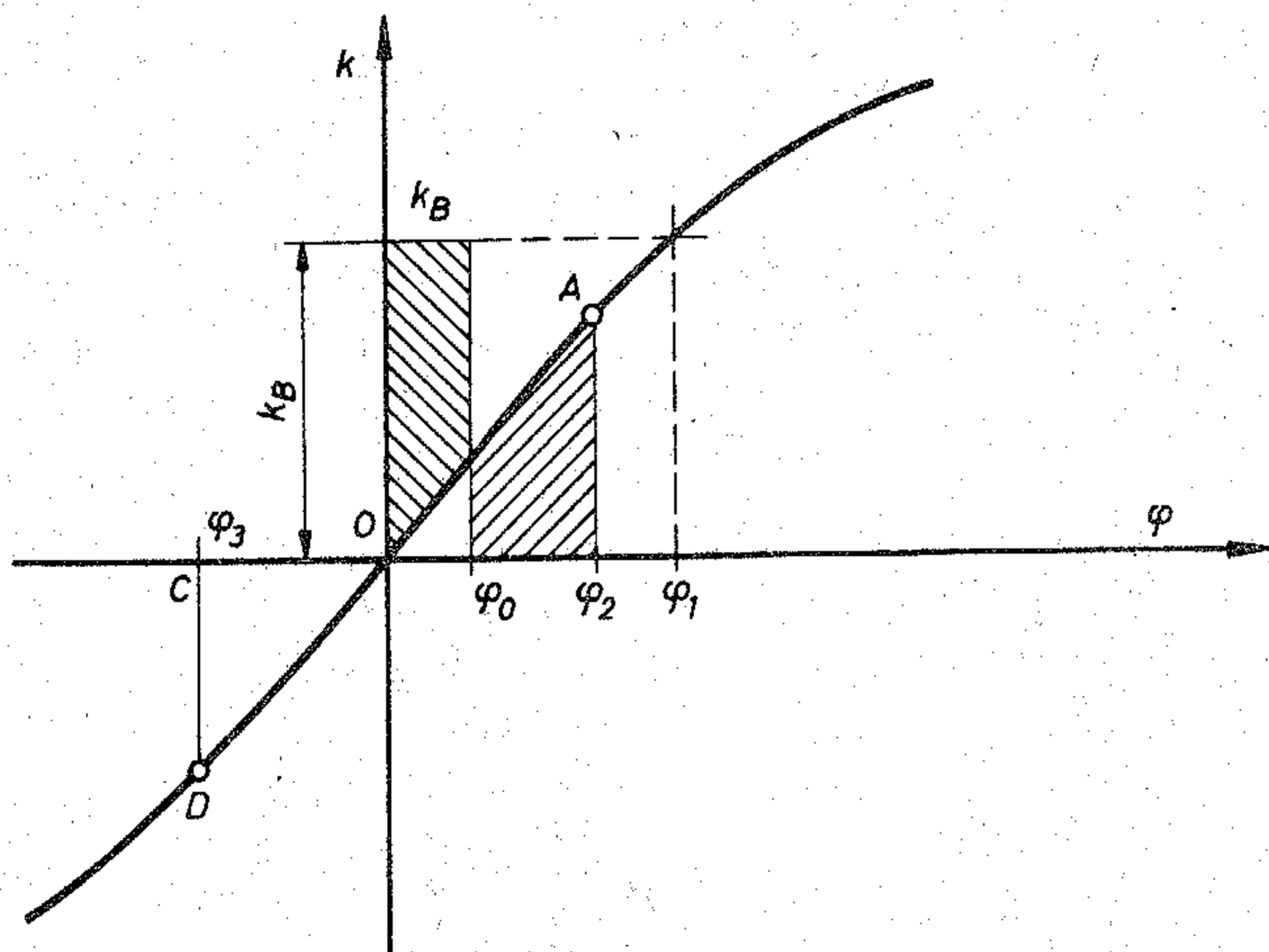


4.25 ábra

Folyamatosan csökkenő billentőnyomaték hatása

A 4.25 ábrán olyan billentő nyomatékot ábrázoltunk (k_B), mely kezdetben nagy, majd rövid idő alatt lecsökken egy kisebb, állandó értékre (k_{B0}). Ilyen nyomaték például a hirtelen szélrohamok által okozott billentő nyomaték. A legnagyobb kibillenés szöge itt is a gyorsítási és a lassítási munkákkal arányos, bevonalkázott területek egyenlőségéből határozható meg. Ha a billentő nyomaték elérte végleges értékét, akkor a

hajó a φ_1 egyensúlyi helyzet körül leng. Csillapítás nélkül a legnagyobb kilengések szöge φ_2 és φ_3 . Az ábrán bejelöltük a φ_2' szöget is, mely akkor lenne a legnagyobb kibillenés szöge, ha a nyomaték a kezdettől fogva a k_{B0} karnak megfelelő, állandó értékű lenne.



4.26 ábra

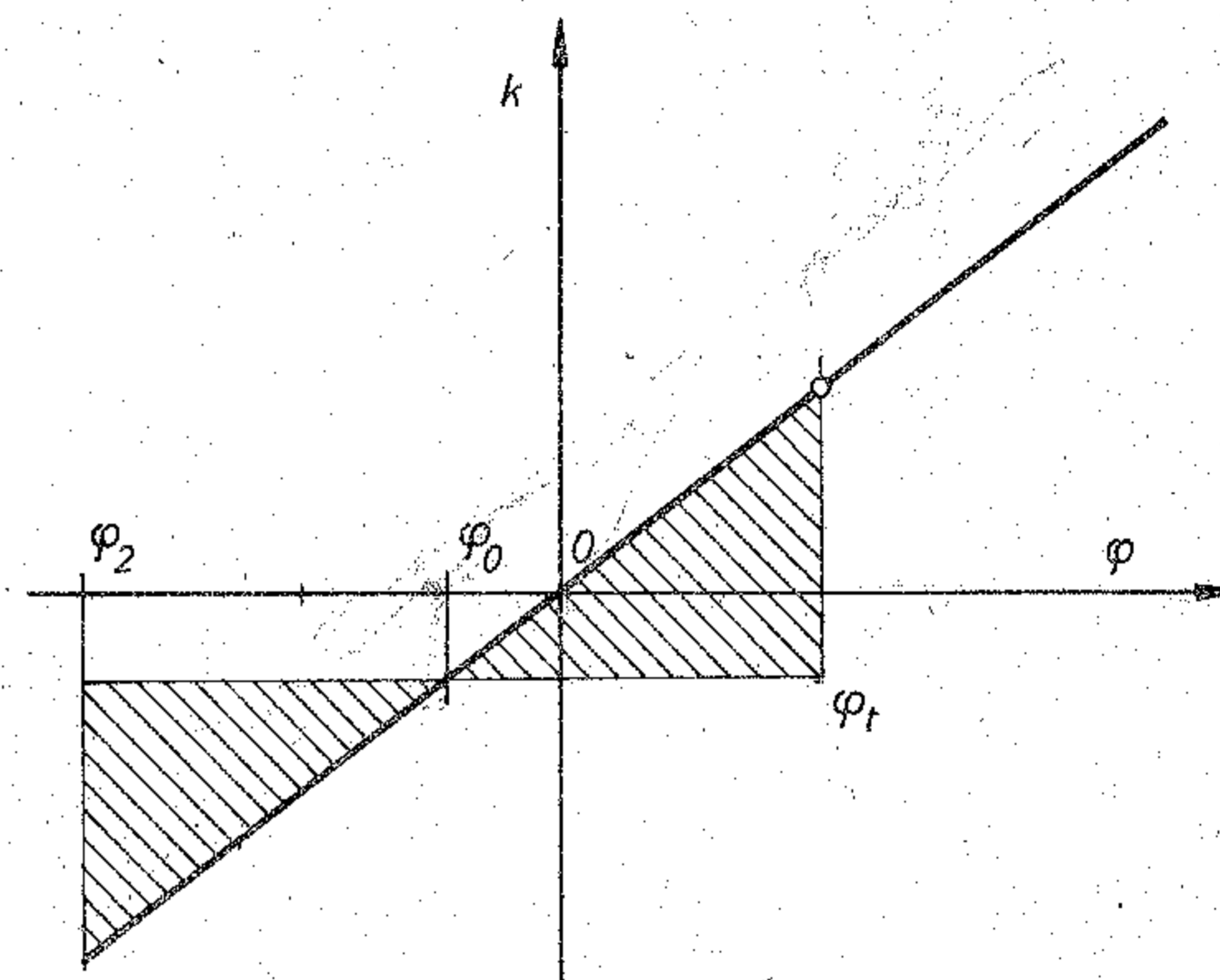
Rövid ideig tartó billentőnyomaték hatása

A 4.26 ábrán olyan esetet ábrázoltunk, melynél a billentő nyomaték rövid ideig tart, majd megszűnik. Például beugrunk egy csónakba, de a széléről rövid idő alatt továbblépünk a csónak középvonalába, vagy a hajót oldalirányból egy kötél megrántja és az elszakad vagy éppen a hajó megbillenése miatt meglazul.

A 4.26 ábrán a hajóra hirtelen ható billentő nyomaték (k_B) akkor szűnik meg, amikor a hajó a φ_0 dőlésszöggel billent meg a gyorsuló mozgása során. A gyorsítási munkával és a lassítási munkával arányos bevonalkázott területek egyenlősége alapján megállapítható legnagyobb kibillenési szög (φ_2) kisebb, mint ami állandóan ható nyomatéknál következne. A vizsgált esetben a φ_2 még annál a φ_1 szögnél is kisebb, melynél a tartósan ható billentő nyomaték esetén a hajó egyensúlyi helyzetben lenne.

A 4.27 ábrán egy úszódaru billenését vizsgáljuk abban az esetben, ha teheremelés közben a teher leszakad. Az ábrán a teher nélküli daru stabilitási karjának görbét ábrázoltuk. Az úszódaru teher nélkül φ_0

(negatív) szöggel, teherrel φ_t szöggel megdőlve úszik. A teher leszakadásának pillanatában az úszódaru még φ_t szöggel dől. A stabilizáló nyomaték hatására gyorsulva billen φ_0 dőlésszögig, majd a $\varphi_0 - \varphi_2$ szakaszon lassul a billenés szögsebessége. A φ_2 legnagyobb kitérés a vonalkázott területek egyenlőségéből határozható meg.



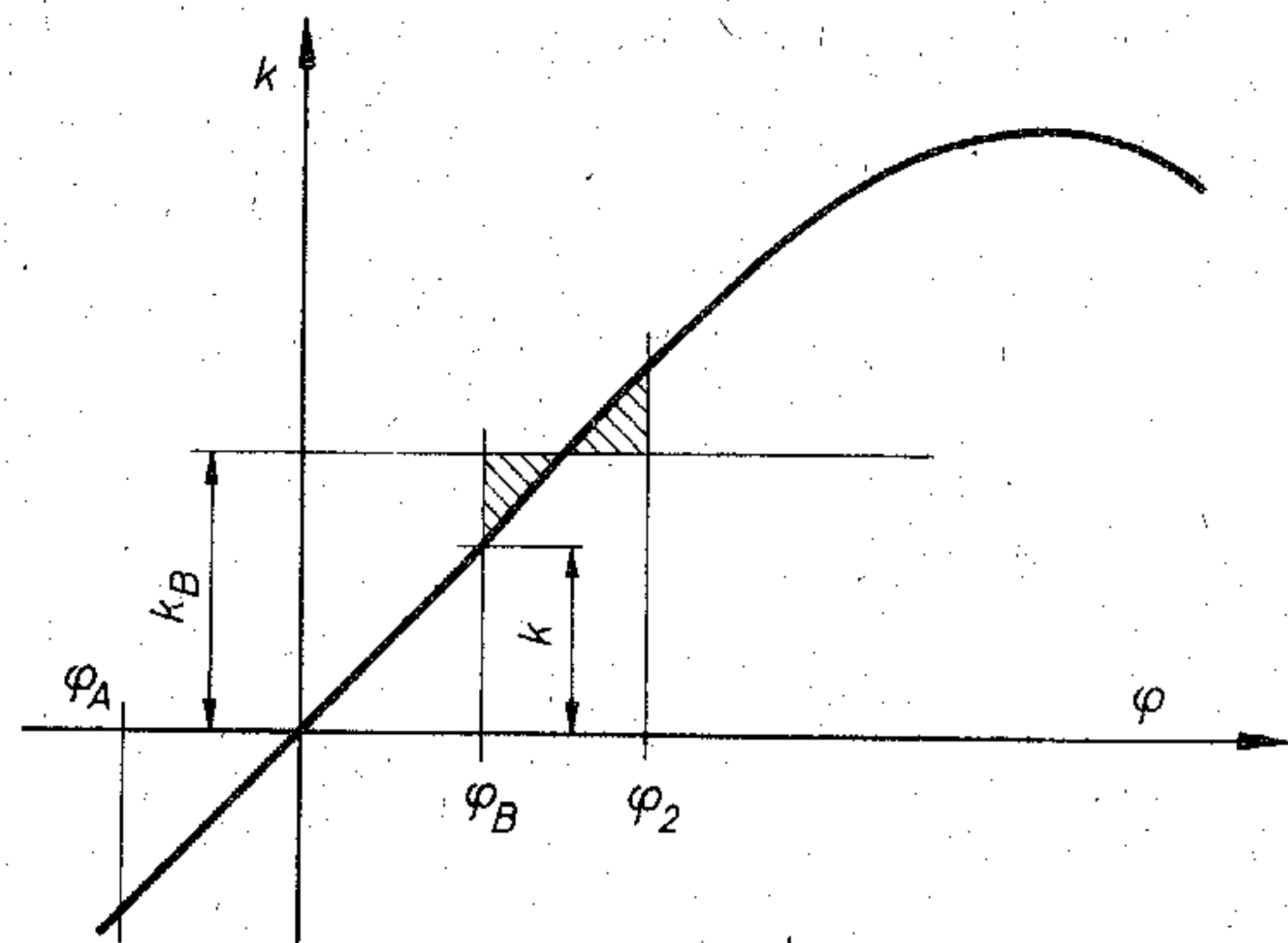
4.27 ábra

Oldalra kinyúló darun függő teher leszakadásának hatása

A következő két ábrán egyensúlyban lévő, de billenő lengést végző hajót vizsgálunk. A hajó lengése során a legnagyobb dőlések szöge φ_A és φ_B . A 4.28 ábrán azt az esetet ábrázoltuk, amikor a φ_B dőlésszöggel megdőlt hajóra hirtelenül egy billentő nyomaték hat, amely a dőlést növeli.

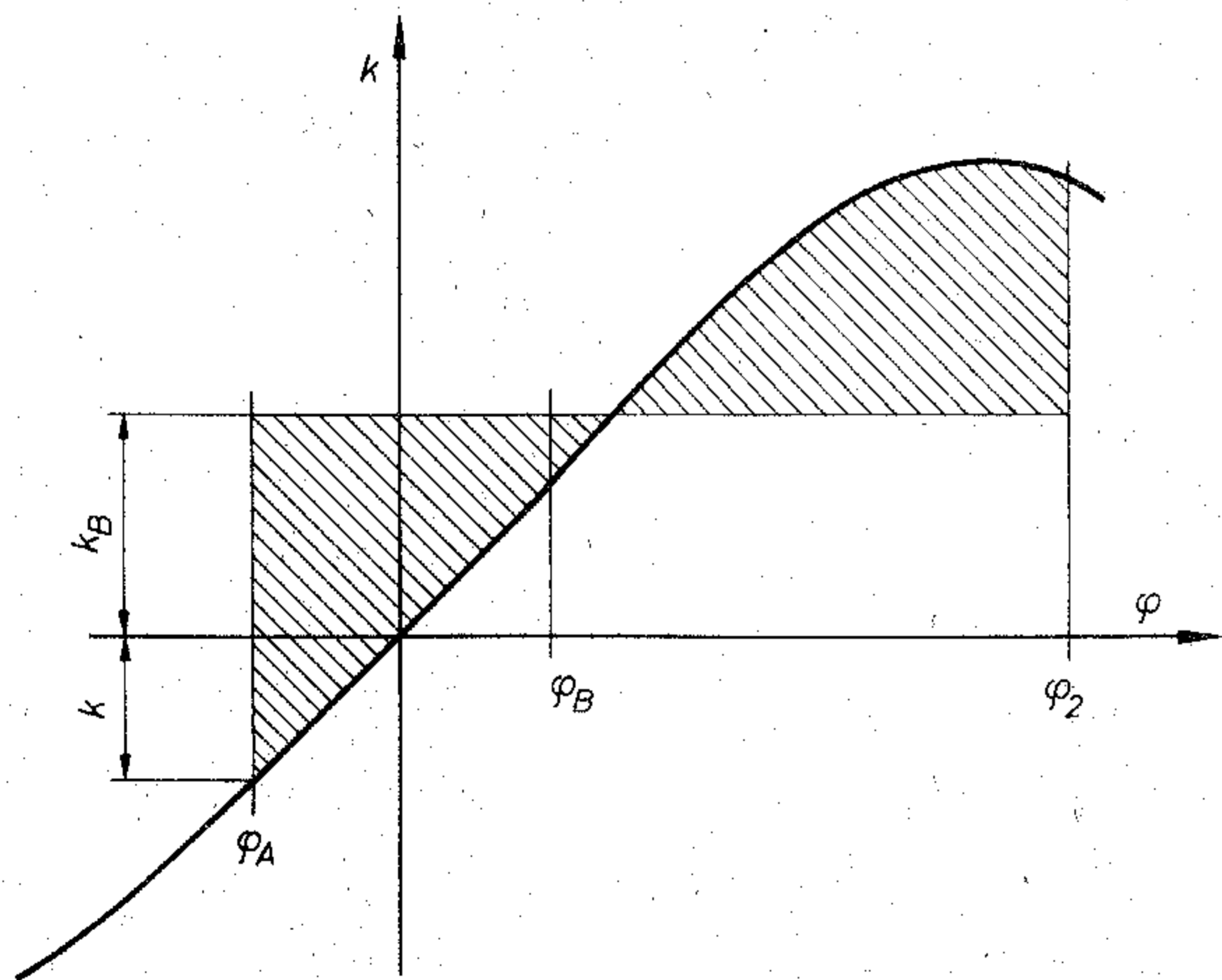
A φ_B dőlésnél a hajóra ható stabilizáló nyomaték ellenkező előjelű, így a hajót gyorsító eredő billentő nyomaték karja: $k_B - k$ nagyságu. Ennek ismeretében a φ_2 legnagyobb szögkitérés meghatározható a munkaterületek egyenlőségével.

A 4.29 ábrán azt az esetet láthatjuk, amikor a φ_A dőlésszöggel megdőlt hajóra hirtelenül a dőlést csökkentő irányú billentő nyomaték hat. A φ_A dőlésnél a hajóra ható stabilizáló nyomaték azonos irányú, mint a billentő nyomaték. Így az eredő billentő nyomaték karja: $k_B + k$ nagyságu. Az ábrán látható, hogy az így létrejövő legnagyobb kibillenés szöge nagyobb mint az előző esetben.



4.28 ábra

Lengő mozgást végző hajóra ható billentőnyomaték hatása I.



4.29 ábra

Lengő mozgást végző hajóra ható billentőnyomaték hatása II.

4.6.3 A dinamikai stabilitási görbe

A 4.6.1 fejezetben megállapítottuk, hogy a hirtelen fellépő billentő nyomaték hatására bekövetkező legnagyobb kibillenésnél a billentő nyomaték és a stabilizáló nyomaték munkája egyenlő.

A (4.6.3) egyenlet szerint a két munka egyenlősége a nyomatéki karokkal is felírható:

$$k_B \cdot \varphi_2 = \int_0^{\varphi_2} k \cdot d\varphi$$

A φ_2 szögnek a Reed-diagram alapján való meghatározásához területeket kellett kiegyenlítenünk. Egyszerűbben kaphatjuk meg a legnagyobb kibillenés szögét, ha elkészítjük a Reed-diagram integrálját, azaz ábrázoljuk a φ dőlésszög függvényében az

$$l = \int_0^{\varphi} k \cdot d\varphi$$

értékeket. Ezt a görbét nevezzük a hajó dinamikai stabilitási görbéjének.

A 4.30 ábrán egymás alatt láthatjuk egy hajó $k(\varphi)$ görbéjét és $l(\varphi)$ görbéjét. Ahol a k görbének (a statikai stabilitási görbének) maximuma van, ott az l görbének (a dinamikai stabilitási görbének) inflexiója van. Az l görbének a maximuma a k görbe zérus értékénél van.

A billentő nyomaték munkájával arányos $k_B \cdot \varphi$ függvényt egy egyenessel ábrázolhatjuk. Az egyenes felrajzolásához a $\varphi = 1$ (ivmértékben mért szög) értéknél a k_B értéket felmérjük s a nyert végpontot az origóval összekötjük.

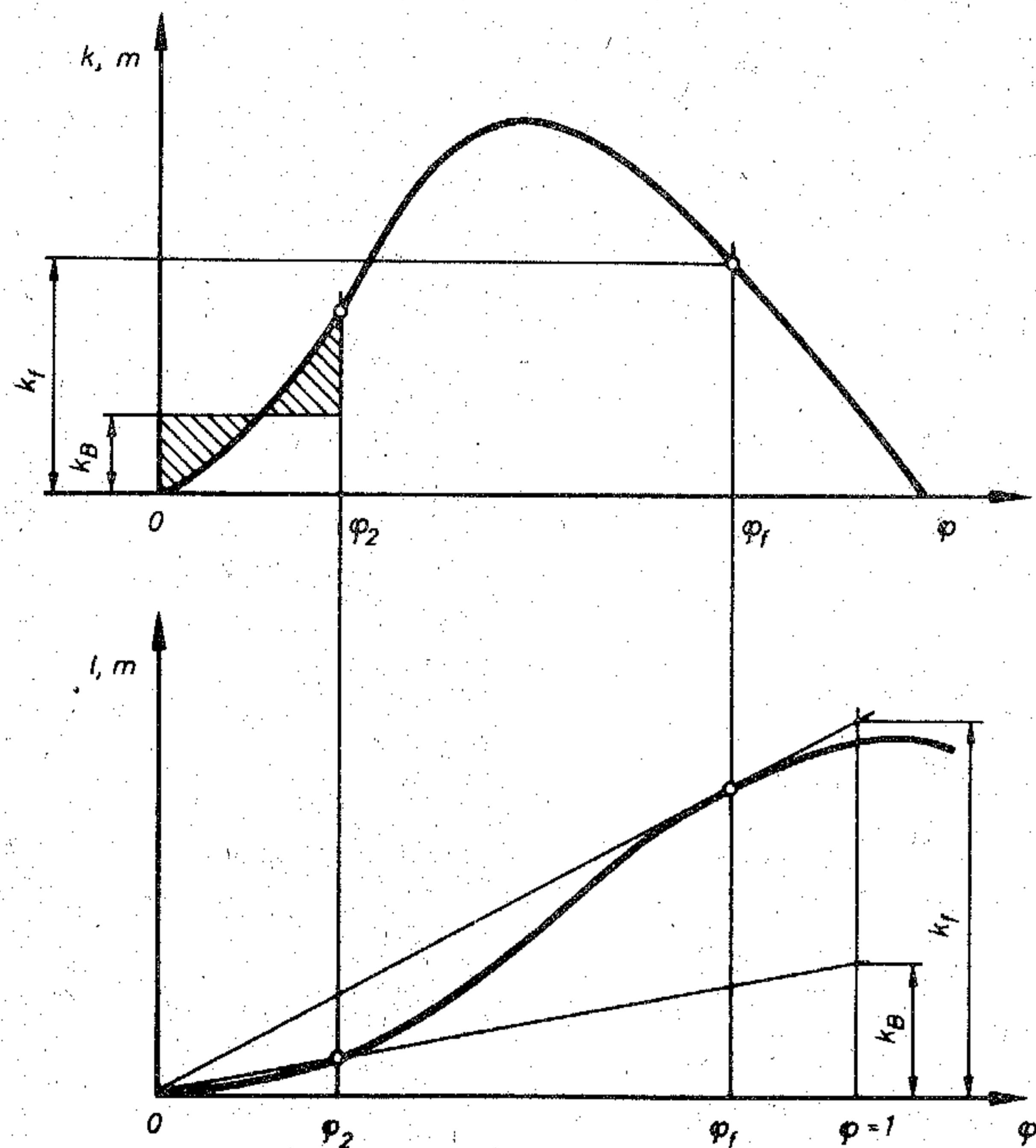
Ahol az egyenes a görbét metszi, annál a szögnél

$$k_B \cdot \varphi = l = \int_0^{\varphi} k \cdot d\varphi$$

Tehát a metszéspont meghatározza a legnagyobb kibillenés szögét.

A dinamikai stabilitási görbéhez a kezdőpontból húzható érintő ki-metszi a $\varphi = 1$ függőlegesen azt a k_f értéket, melyből a (4.6.6) kép-

lettel kiszámíthatjuk a "felborító" nyomatékot. Ennél nagyobb nyomaték a hajót felborítaná. k_f -nél nagyobb karhoz tartozó egyenes sehol nem metszheti az $l(\varphi)$ görbét, a billentő nyomaték által végzett munka mindenütt nagyobb a stabilizáló nyomatékénál.



4.30 ábra

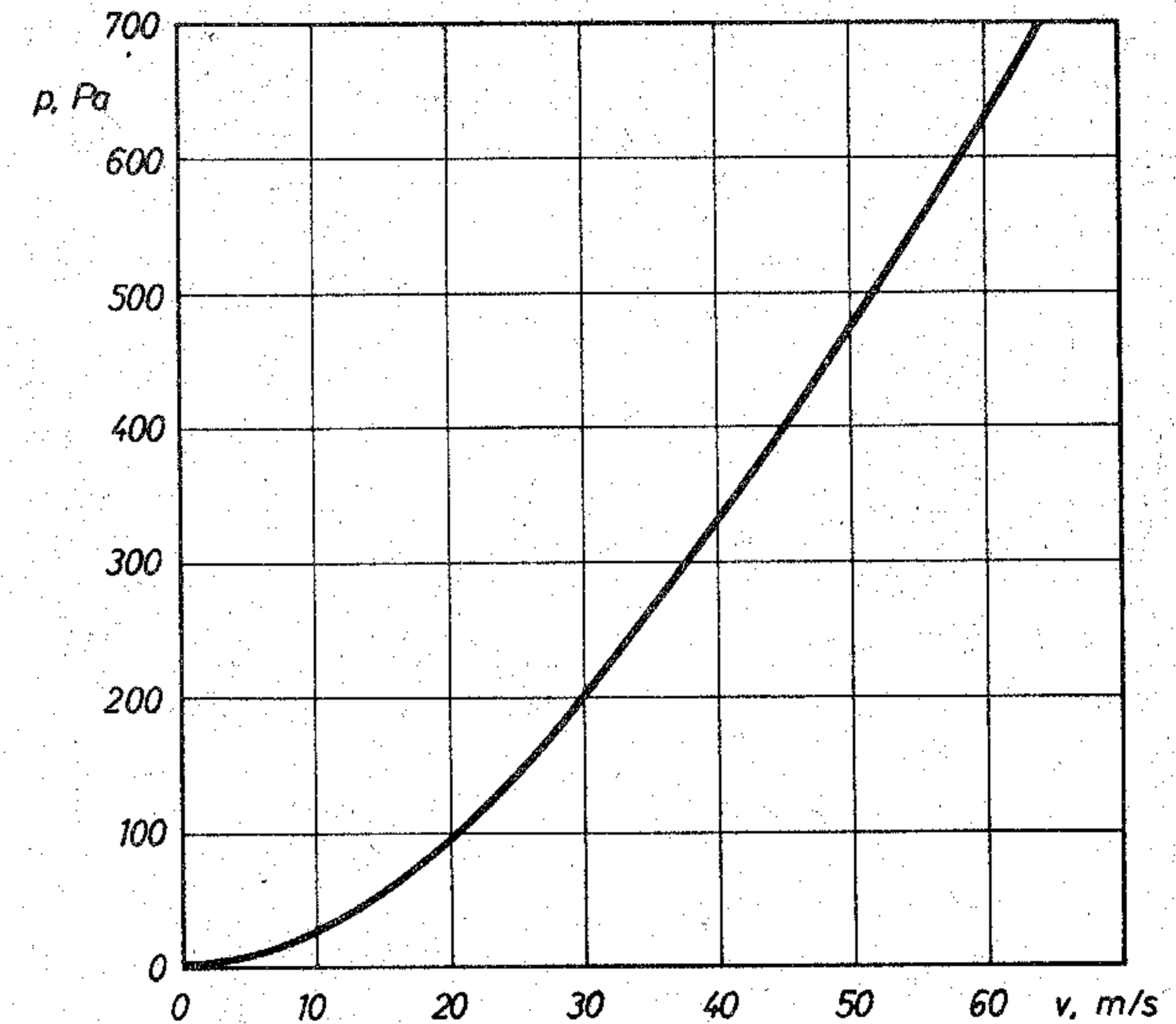
A statikai és a dinamikai stabilitási görbe

4.7 üzem közben várható billentőnyomatékok

A hajók kielégítő stabilitásának meghatározásához szükségünk van a hajó üzeme közben várható legnagyobb billentő nyomatékok nagyságára.

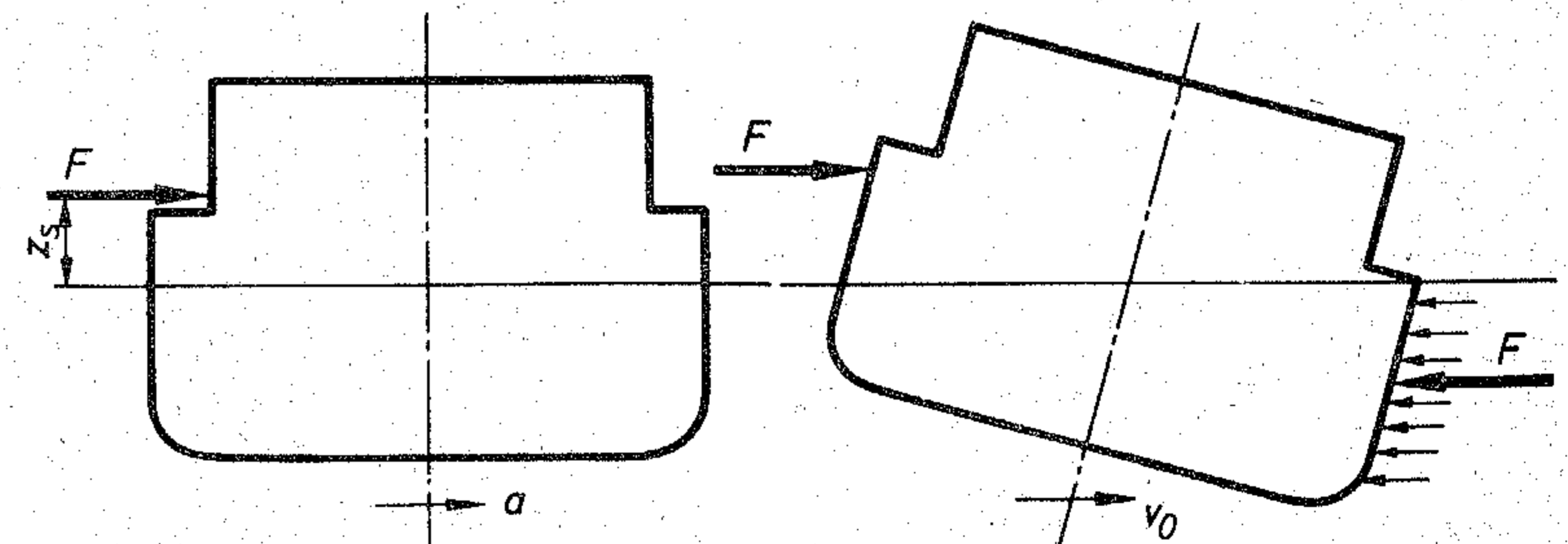
Ha a hajó szélben halad és a szél iránya eltér a hajó hossz tengelyének irányától, a hajóra oldalirányú erő hat. A szél miatt a hajó két oldalán nyomáskülönbség alakul ki. A nyomások különbsége, röviden a

"szélnyomás" a hajó hossz tengelyére merőleges relatív szélesebségtől függ. Közelítő, tájékoztató értékét a 4.31 ábrából vehetjük.



4.31 ábra

A szélnyomás közepes értéke a relatív szélesebség függvényében



4.32 ábra

A hajó billenése oldalszélben

A szélnyomás a hajó víz feletti része oldalirányú vetületének a területével szorozva megadja az oldalirányú szélterőt. A szélnyomásból adó-

dó eredő erő hatásvonala a szélnek kitett felület súlypontján halad át (a 4.32 ábrán a víz felett z_s magasságban).

A szél erő hatására a hajó oldalirányban gyorsul. Amint a hajó oldalirányú sebességgel csúszni kezd, a vízben ellenállás erő keletkezik, a gyorsulást csökkenti. A hajó oldalirányú sebessége addig növekedik, amíg a víz ellenállása azonos lesz a szél erővel. A vízben keletkező ellenállás eredője a hajó víz alatti része oldalirányú vetületének (a hajó "laterál" felületének) a súlypontján halad át. A laterál felület súlypontja jó közelítéssel a merülés felének megfelelő mélységben van.

Így a hajóra ható nyomaték:

$$M_{sz} = F \cdot (z_s + 0,5 \cdot T)$$

A szél által okozott nyomaték tehát nem azonnal alakul ki, és a billenés során a szélnek kitett felület alakja változik. Ennek ellenére a nyomatékot állandó értékűnek tekintjük és a vízszintes úszásnál mérhető oldalirányú vetülettel számolunk a szél által okozott billentőnyomaték meghatározásánál.

Ha a hajó görbevonalú pályán halad (fordulásnál), akkor centrifugális erő lép fel, amelynek hatásvonala a tömegközépponton (a hajó alapvonala felett z_G magasságban) halad át. Az oldalirányú szél erőhöz hasonlóan a centrifugális erő is oldalirányú gyorsulást okoz. A kialakult oldalirányú csúszás során a vízben keletkező ellenállás erő azonos a centrifugális erővel. Hatásvonala közelítőleg a merülés felében van.

Így a fordulás során fellépő billentő nyomaték:

$$M_f = \frac{\rho \cdot V \cdot v^2}{R} \cdot (z_G - \frac{T}{2}) \quad (4.7.1)$$

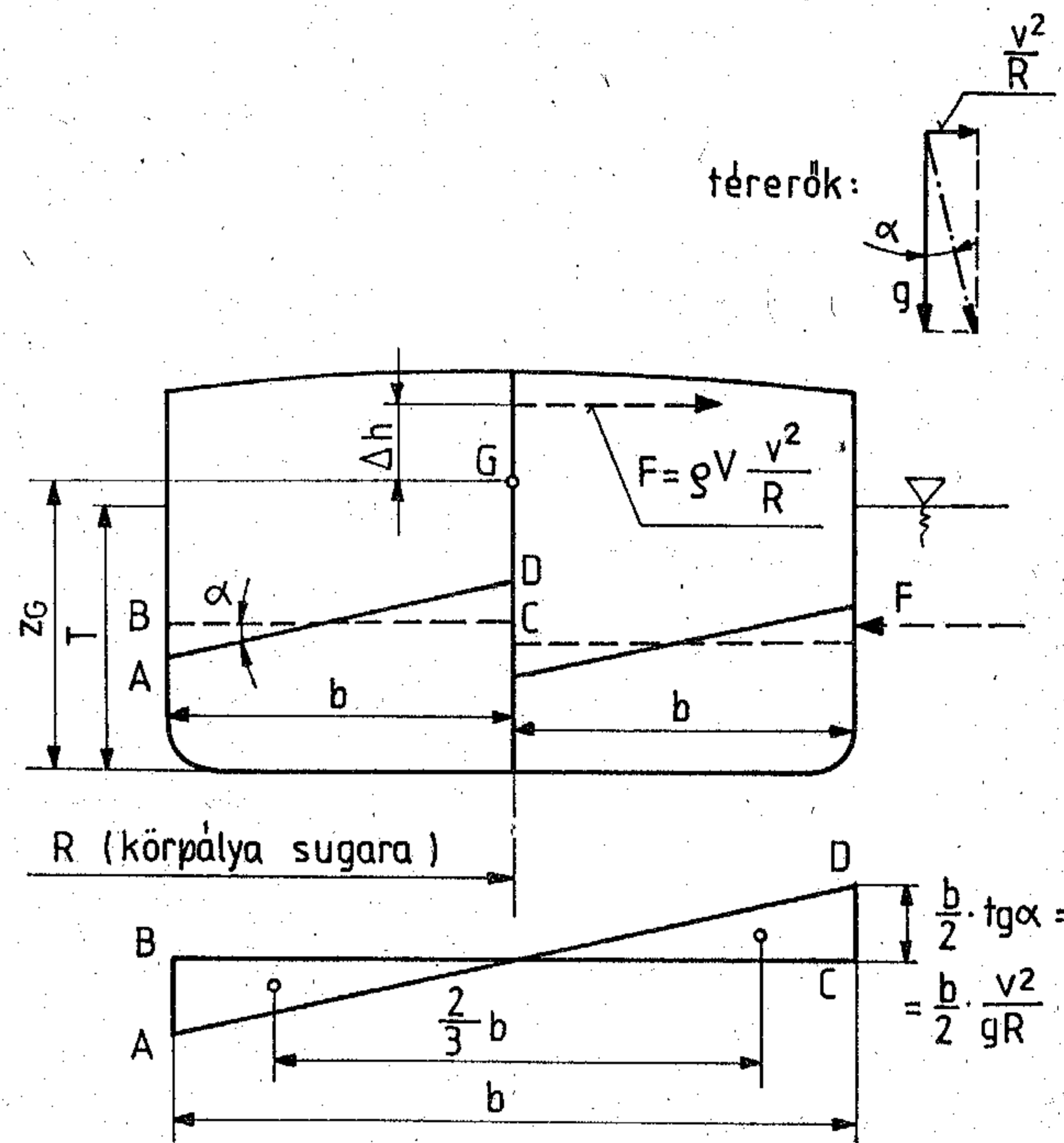
ahol R a fordulási kör sugara.

Ha a hajón szabad felszínű folyadék van, akkor ennél nagyobb billentőnyomaték keletkezik. A 4.32-A ábrán R sugarú köríven v sebességgel haladó hajó keresztmetszetét látjuk. A hajó az ábrázolt pillanatban kezdte meg görbevonalú pályáját, jelenleg még vízszintesen úszik.

A körpályán haladó hajón a tömeg egységére ható függőleges g gravitációs és a $\frac{v^2}{R}$ centrifugális térerő eredője a függőlegessel

$$\alpha = \arctg \frac{v^2}{gR}$$

szöget zár be. A folyadékok felszíne mindig merőleges az eredő térerő irányára, így jelen esetben a vízszintessel α szöget zár be. Ha a pálya R sugarát a tartály egész szélességében azonosnak tekintjük, akkor a tartályban lévő folyadék felszíne egy α hajlásszögű sík felület.



4.32-A ábra

A körpályán való haladás miatt az ℓ hosszúságú tartályban elmozdult folyadék súlya

$$\rho_f g \cdot \ell \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{b}{2}\right)^2 \cdot \frac{v^2}{gR} = \rho_f \ell \cdot \frac{b^2}{8} \cdot \frac{v^2}{R}$$

A hajó összes tartályában a folyadék elmozdulása miatt keletkező billentő nyomaték

$$M_t = \sum \left(\rho_f \ell \cdot \frac{b^2}{8} \cdot \frac{v^2}{R} \cdot \frac{2}{3} \cdot b \right) = \sum \left(\rho_f \frac{b^3 \ell}{12} \cdot \frac{v^2}{R} \right) = \frac{v^2}{R} \cdot \sum \rho_f J_f$$

ahol J_f a tartályokban lévő folyadék felszínének a másodrendű nyomatéka a billenési tengellyel párhuzamos súlyponti tengelyére.

Az M_t nyomaték hozzáadódik a (4.7.1) szerinti M_f nyomatékhoz. Így ha a hajón szabad felszínű folyadék van, akkor a fordulás során keletkező eredő billentő nyomaték

$$M'_f = \rho \frac{Vv^2}{R} \left(z_G - \frac{T}{2} \right) + \frac{v^2}{R} \sum \rho_f J_f = \rho V \frac{v^2}{R} \left(z_G - \frac{T}{2} + \frac{\sum \rho_f J_f}{\rho V} \right)$$

Az összefüggésből látható, hogy a szabad felszínű folyadék elmozdulásának a hatása olyan, mintha a centrifugális erő a súlypont felett

$$\Delta h = \frac{\sum \rho_f J_f}{\rho V}$$

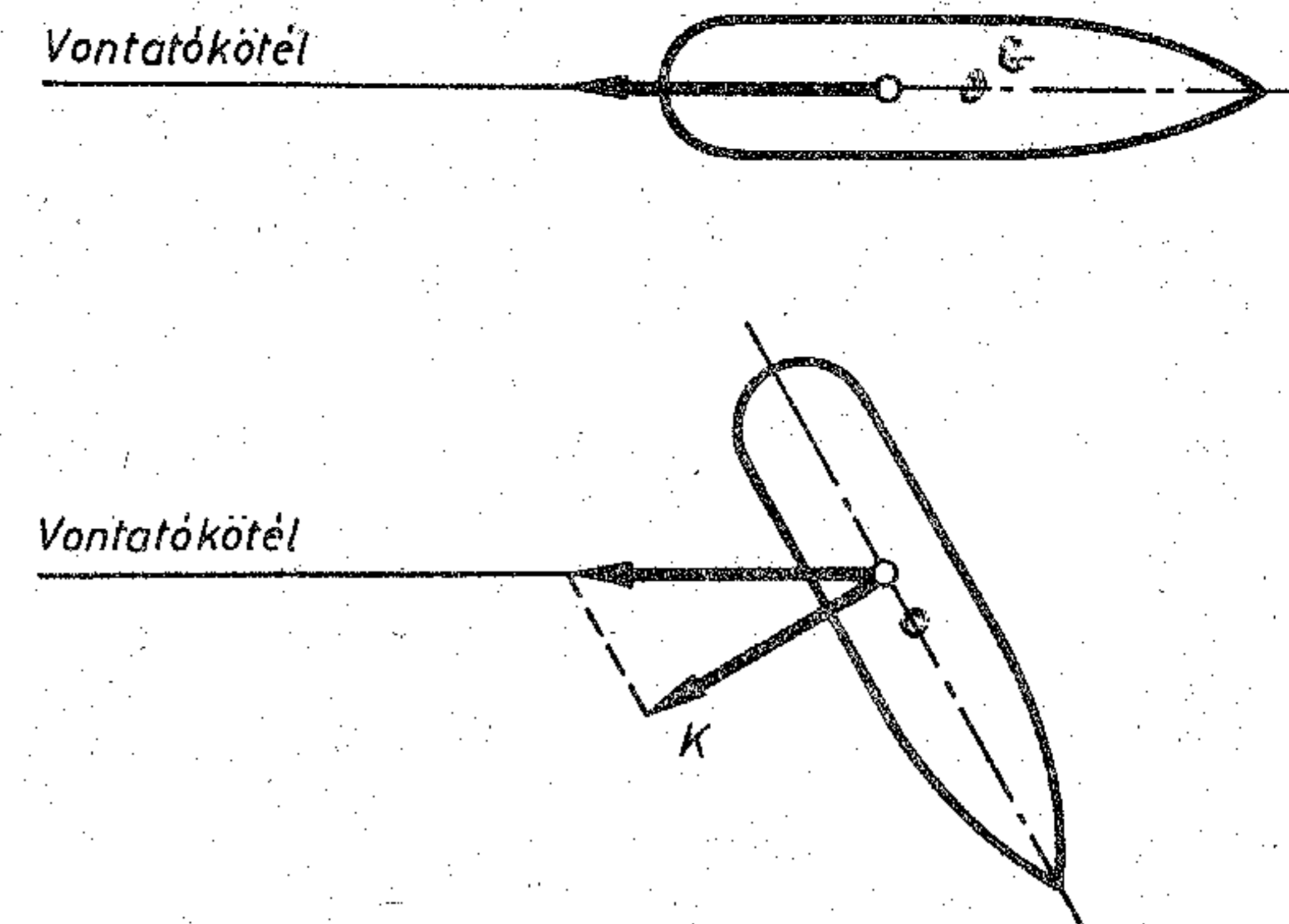
távolsággal magasabban keletkezne, azaz a centrifugális erő nyomatékának a meghatározásánál úgy kell eljárunk, mintha a hajó súlypontja Δh -val magasabban lenne.

Ha a hajó a fordulás során meg is billen, akkor természetesen a 3.5 és a 4.4.5 pontok szerint a stabilizáló nyomaték meghatározásánál (felírásánál) is Δh -val magasabban kell figyelembe venni a hajó súlypontját.

A 4.33 ábra két képén egy vontatóhajó felülnézetét vázoltuk. A vontató kötelet nem rögzíthetik a hajó faránál, mert akkor a vontató kormányozhatatlan lenne. A vontató kötélt általában a vontatóhajó súlypontja mögött, attól nem távol elhelyezett vontatóhoroghoz kapcsolódik. Emiatt könnyen előfordulhat, hogy egy hibás kormánymozdulat hatására a vontatóhajó az ábra alsó képén látható módon hirtelen kifordul. Newton törvényének megfelelően a vontatmány és a vontató súlypontja változatlan irányú és nagyságú sebességgel mozog tovább, így a kötélt sem lazul meg, s a kötélerő változatlanul az előző állapotnak megfelelő vontatóerő. A kötélt a vontatóhajót oldalirányban húzza, ami az előzőekben tárgyaltakhoz hasonlóan egy billentő nyomatékot eredményez:

$$M_k = K \cdot \left(z_k - \frac{T}{2} \right) \quad (4.7.2)$$

ahol K a kötélerőnek a hajó hossz tengelyére merőleges vetülete; z_k a kötélhorog magassága az alapvonal felett; T a hajó merülése.



4.33 ábra
A vontatókötél oldalirányú rántása

Utasszállító hajóknál nagy billentő nyomatékot okozhat az utasoknak a hajó egyik oldalára tömörülése. Többfedélzetes hajónál általában az a legkedvezőtlenebb, ha az utasok a legfelső fedélzeten tömörülnek a hajó egyik oldalán. Ez esetben a hajó súlypontja magasabban van (a metacentrikus magasság kisebb), mintha az alsóbb fedélzeten lennének az utasok.

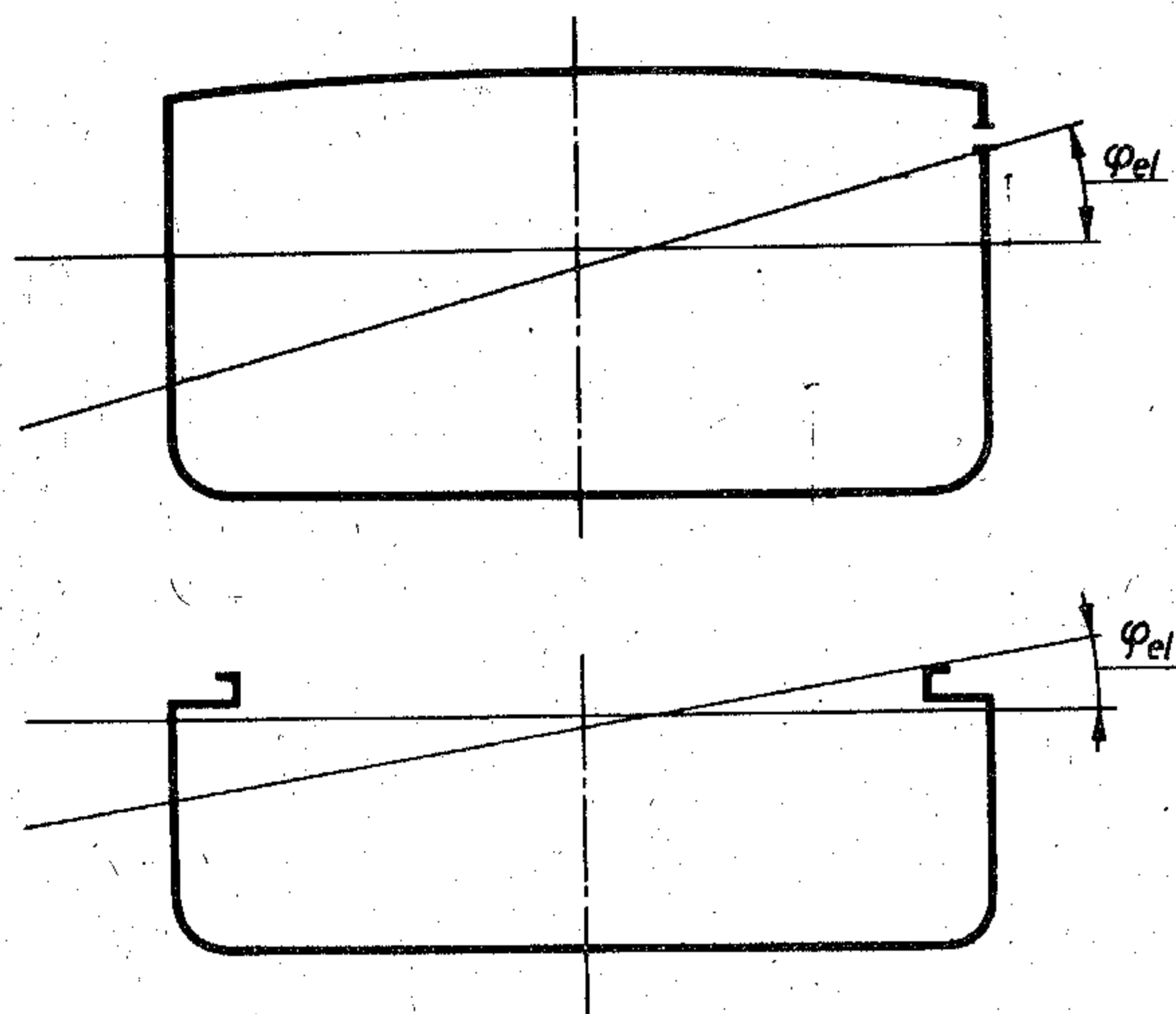
Előfordulhat azonban az is, hogy a legnagyobb dőlés akkor adódik, ha az utasok részben a legfelső fedélzeten, részben az alatta levőn vannak. Ilyenkor nagyobb lesz a metacentrikus magasság, mint az előző esetben, de a billentő nyomaték is nagyobb, és utóbbinak a növekedése nagyobb is lehet a metacentrikus magasság növekedésénél.

Az utasok tömörülésénél általában négyzetméterenként 6 embert számítanak. Ha a személyszállító hajó stabilitási tulajdonságai indokoltá teszik, korlátozzák a legfelső fedélzet használatát. Az utasoknak az egyik oldalról a másikra szaladását is korlátozni szokták. A fedélzeti ülések, átjárók célszerű elrendezésével az utasok csak lassabban haladhatnak át, így nem okoznak hirtelen nyomatékváltozást, ami szerencsétlen esetben a 4.29 ábra kapcsán vizsgált dőlés kialakulásához vezethet. (Az utasok megijedve a φ_A -val jelölt dőléstől, hirtelen átszaladnak a hajó kiemelkedő oldalára, és így a stabilizáló nyomatékkal azonos irányú billentő nyomatékot okoznak).

A felsorolt nyomatékok együttesen is felléphetnek. Például személyszállító hajóknál az utastömörülés és az üzemi sebességgel kezdett fordulás okozta billentő nyomatékok összege, vagy az egyoldalú utastömörülés és a szélnyomás által okozott billentő nyomaték összege közül a nagyobbat tekintik mértékadó nyomatéknak. Vontatóhajóknál a széllokés és a vontatókötél oldalirányú rántásának összegét tekintik mértékadó nyomatéknak. A mértékadó nyomatékok meghatározási módját a hatósági előírások részletesen megadják.

4.8 A kielégítő stabilitás biztosítása

Egy hajó stabilitását akkor tekinthetjük kielégítőnek, ha az üzem közben, a legkedvezőtlenebb esetben fellépő nyomaték kisebb a hajó felborító nyomatékánál (4.6.2 fejezet), vagy nem okoz olyan dőlést, amely a biztonságot egyéb módon veszélyezteti.



4.34 ábra
Az elárasztási szög

A hajó veszélybe kerül, ha a dőlés során a hajó valamely nyílásának (ablak, ajtó, raktárnyílás, buvónyílás) alsó vagy külső éle a víz felszínét érinti. Ezt a dőlésszöget elárasztási szögnek (φ_e) nevezik (4.34 ábra).

Személyszállító hajóknál, komphajóknál 10–12° dőlésnél (ún. "pá-nik"-szög) a berendezési tárgyak, a komphajókon elhelyezett járművek megcsúszhatnak és a személyek, járművek épségét veszélyeztetik, vagy növelik a billentő nyomatékot. Személyhajóknál az sem engedhető meg, hogy a billenés során a fedélzet széle a vízbe kerüljön.

Az összes belvizi hajóknál veszélyes az a dőlés is, amelynél a fedélzet széle a víz alá kerül, vagy a hajó medervonala (a fenék és az oldal síkjának a metszsvonala) a vízből kiemelkedik.

A felsorolt veszélyes helyzetet jelentő dőlésszögek közül a legkisebbet tekintjük mértékadónak (φ_m).

Tengeri hajóknál egyéb veszélyek elkerülése érdekében (hullámzó vízfelszínen kialakuló lengések, stb.) további követelményeket kell kielégítenie a hajó stabilitásának. Például: a hajó statikai stabilitási görbéjének a maximuma 25°-nál nagyobb dőlésnél legyen; a stabilitás terjedelme legalább 60° legyen; a stabilitás karja 30° dőlésnél legalább 0,20 m legyen stb.

A hatósági előírások (nálunk a KPM Hajózási Felügyelet Előírásai) részletesen felsorolják az egyes hajótípusoknál a kielégítő stabilitás feltételeit.

A hajók tervezése során biztosítják az építendő hajó megfelelő stabilitását. Olyan hajóknál, melyeknek terhelése változó, a hajógyár megadja, hogy különféle merüléseknél (vízkiszorításoknál) milyen magasan lehet a hajó és a rakomány eredő tömegközéppontja, azaz mekkora lehet a kezdeti metacentrikus magasság legkisebb értéke.

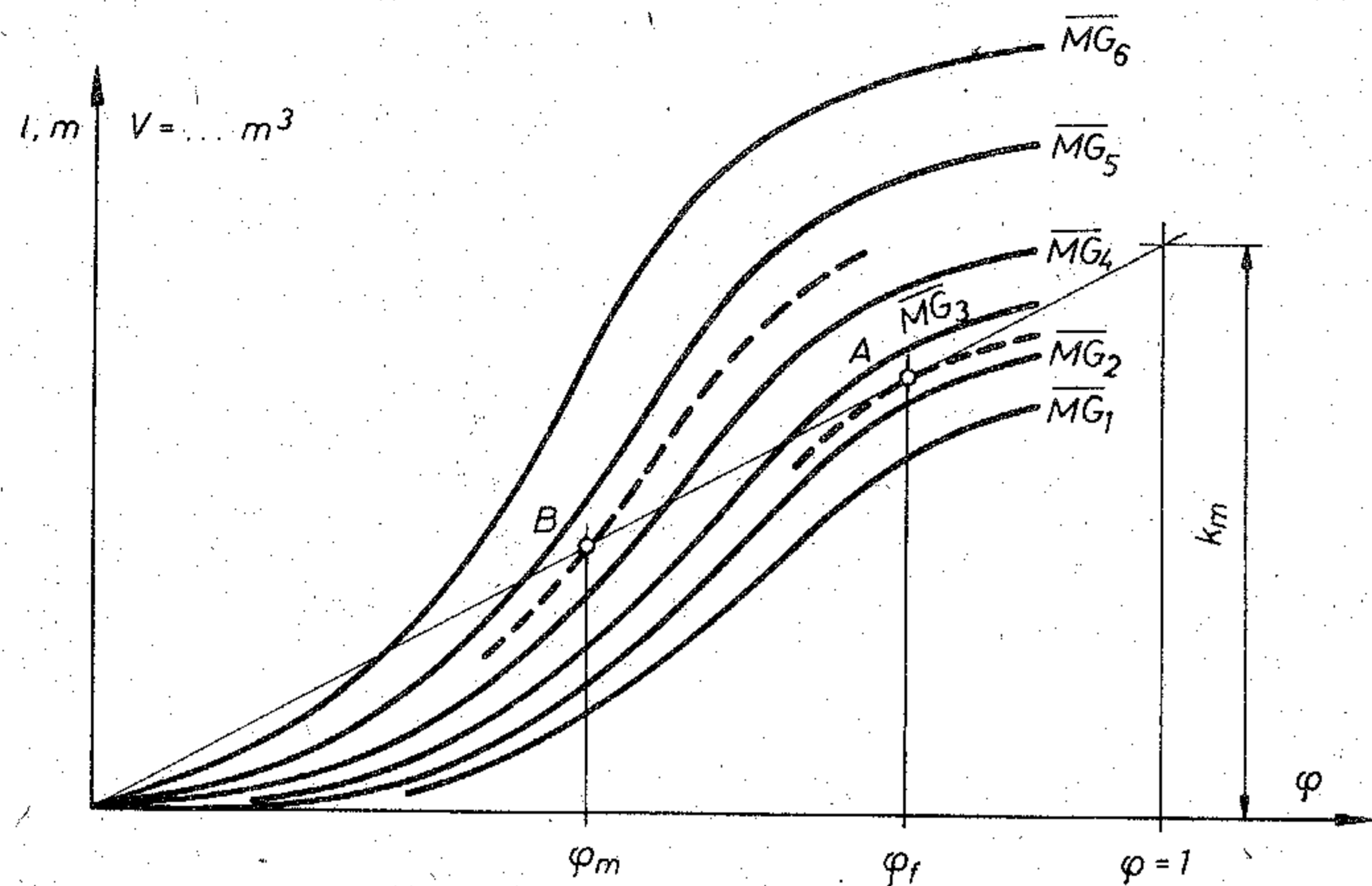
Példaként nézzük meg, hogyan lehet megállapítani a felborulás és a veszélyes megdőlés elkerülése érdekében szükséges minimális metacentrikus magasság nagyságát.

Különféle vízkiszorításnál eltérő egy hajó megengedett legkisebb metacentrikus magassága. Ezért a számításokat több vízkiszorításra végzik el. Minden egyes vízkiszorításnál többféle metacentrikus magassághoz meghatározzák a hajó Reed-diagramját, majd a dinamikai stabilitás görbéjét (4.35 ábra).

A hajó típusától és a hajózási körzettől függően meghatározzák az M_m mértékadó billentőnyomatékot. A mértékadó nyomaték karját,

$$k_m = \frac{M_m}{\rho \cdot g \cdot V}$$

értékét felméri a $\varphi = 1$ függőlegesére. A nyert pontot az origóval összeadjuk. A különböző \overline{MG} értékhez tartozó görbék között interpolálva kikeresik azt a görbét, melyet a behuzott ferde egyenes érint (az ábrán az \overline{MG}_2 és \overline{MG}_3 közötti szaggatott vonal). Ha az érintési ponthoz (A) tartozó φ_f szög kisebb, mint a φ_m (a legkisebb szög mellynél veszélyes helyzet következhet be), akkor az \overline{MG}_2 és \overline{MG}_3 között integrált érték a megengedhető legkisebb metacentrikus magasság.



4.35 ábra

Egy hajó dinamikai stabilitási görbéi azonos vízkiszorításnál és különféle súlyponthelyzeteknél

Ha a $\varphi_f > \varphi_m$ (általában ez az eset várható), akkor a φ_m szögnél függőlegest húzunk, A mértékadó nyomaték egyenesével való metszéspontot az ábrán B-vel jelöltük. Interpolálással megkeressük azt az \overline{MG} értéket, melynek görbéje ezen a ponton halad át (az ábrán az \overline{MG}_4 és az \overline{MG}_5 görbék között). Ez a megengedhető legkisebb \overline{MG} érték.

A további feltételeket kielégítő minimális \overline{MG} értékeket is meghatározzák minden felvett vízkiszorításnál. Végül minden vízkiszorításhoz rendelkezésre áll a különféle feltételek kielégítéséhez szükséges legkisebb metacentrikus magasság. Ezek közül minden vízkiszorításnál a legnagyobbat választva nyerjük a hajó üzemében megengedhető \overline{MG} értéket.

Amint a 4.4 ábra baloldali képén látható, a hajó metacentrikus magassága:

$$\overline{MG} = r - a = \left(\frac{J}{V} + z_d \right) - z_G = \left(\frac{J}{V} + z_d \right) - \frac{M_z}{\rho \cdot g \cdot V} \quad (4.8.1)$$

ahol $M_z = \sum m_i \cdot z_i$

m_i a hajó és a rakomány egyes részének tömege

z_i a résztömegek súlypontjának magassága az alapvonal fölött.

A (4.8.1) összefüggésben a hajó egy-egy vízkiszorításánál (közepes merülésénél) a V , J , z_d értéke állandó. Így a hajó metacentrikus magassága az M_z függvényében meghatározható és görbesereggel ábrázolható. Ilyen görbesereget láthatunk a 24. mellékletben.

Ezen a diagramon feltüntetjük az egyes vízkiszorításoknál a megengedhető \overline{MG}_{\min} értékeket is. A 24. melléklet a 3.8.5.-3.8.12 példákban is szereplő hajó metacentrikus magasságait mutatja. Például 2000 Mg tömegű vízkiszorításnál, ha az $M_z = 8000 \text{ Mg} \cdot \text{m}$, akkor a metacentrikus magasság 0,76 m. A megengedhető minimális érték (fedélzeti rakomány nélküli esetben), $\overline{MG}_{\min} = 0,27 \text{ m}$.

4.9 Lengések

4.9.1 Lengésfajták

A hajóra periodikusan ható, ismétlődő vagy hirtelen fellépő egyetlen erőhatás is lengéseket okozhat. A hajó lengéseit két csoportra oszthatjuk:

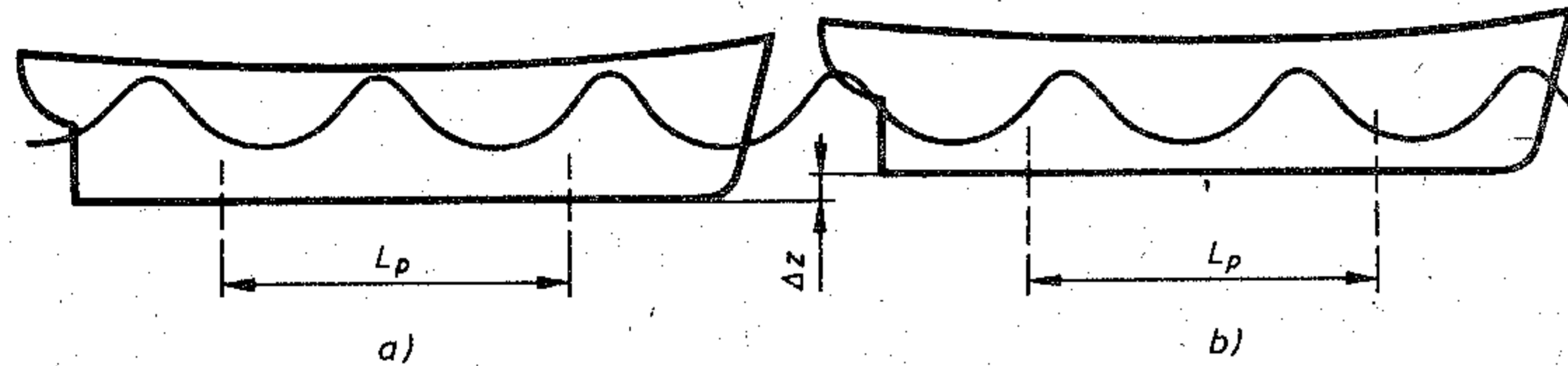
1. A súlyponton áthaladó tengely körüli forgó lengések;
 - a) hossz tengely körüli billenő lengés, amit dülöngélésnek, ringásnak is neveznek;
 - b) keresztirányú tengely körüli bólintó lengések;
 - c) függőleges tengely körüli lengések (csellengés), amelynek során a haladó hajó S vonalú pályát ír le.
2. Alternáló lengések,
 - a) függőleges irányban végzett ún. merülő lengés;
 - b) hosszirányú elmozdulásokból adódó hosszlengések.

A lengéseket leggyakrabban a víz felszínén kialakult hullámok hozzák létre. Ha a hajó hullámos vízen halad és a haladási iránya nem merőleges a hullámhegyek gerincvonalára, vagy nem párhuzamos azokkal, akkor valamennyi felsorolt lengésjelenség egyidejűleg kialakulhat.

A ferdén érkező hullámok oldalirányú lökéseknek adnak, amelyek dülöngélést eredményeznek. A hajó orr-része váltakozva hullámhegyre vagy hullámvölgyre kerül, ami bólintó lengéseket eredményez. A ferdén érkező hullámhegyek nem azonos időpontban érkeznek a hajó orrához és a farához. Így a csellengés is kialakul.

A felszíni hullámozás a víz felszínén lévő vízrészecskék körpályán ke-

ringésének következménye (6.4.1 fejezet). Így a hullámhegyen ellenkező irányú vízsebesség van, mint a hullámvölgyben. Ha a hajó orr-része hullámhegyen, farrésze hullámvölgyön van, akkor a hajó orr-része az egyik, farrésze a másik irányba mozdul. Ez a hatás periodikusan változó, így szintén a csellengés kialakulásához vezet.



4.36 ábra
Merülő lengések keletkezése

A 4.36 ábrán a hullámos vízben haladó hajót két helyzetben ábrázoltuk. A hajó L_p hosszúságú hengeres középrészénél a baloldali helyzetben egy hullámhegy, a jobboldali helyzetben két hullámhegy van. Az utóbbi esetben a hajó följebb emelkedik. Amint a hullámok tovább haladnak fél hullámhossznyi távolsággal, a hajó vízkiszorítása csökkenne, ezért a hajó lejjebb mozdul. De a mozgás nem áll meg az egyensúlyi helyzetben, hanem annál tovább merül a hajó. Így a felhajtóerő még nagyobb mértékben nő, azaz nagy gyorsulással felfelé mozdul a hajó. Ennek eredményeként nagy amplitudójú függőleges lengés alakulhat ki.

A felsorolt ötféle lengés közül a legnagyobb amplitudójú az első csoportból a billenés, a második csoportból a merülő lengés.

4.9.2 Oldalirányú billenő lengések

A hajó biztonságát legjobban az oldalirányú billegés veszélyezteti. Túl nagy amplitudók alakulhatnak ki, a legnagyobb kibillenés elérheti az ún. elárasztási szöget, azaz víz ömölhet be a hajóba, vagy a hajó felborul. Még a kisebb amplitudójú lengések is veszélyesek lehetnek: A rakomány megcsúszhat, a hajó emiatt megdőlni és a lengéseket nem a vízszintes helyzete, hanem megdőlt helyzete körül végzi. Azonban nemcsak az amplitudó nagysága miatt kerülhet veszélybe a hajó. Ha a lengés ideje kicsi, azaz a lengés gyors, igen nagy gyorsulások léphetnek fel, melyek nagy tömegereket okozhatnak. A raktárakban elhelyezett rakomány összenyomódhat, ládák széttörhetnek. A váltakozó irányú tömegereket a hajótest szerkezeti elemeiben periodikusan ismétlődő, váltakozó

igénybevételeket okoznak, melyek igen hamar fáradásos törést eredményezhetnek.

Ebből a szempontból az egyik legkényesebb része a hajónak a hajó géptere. A nagyméretű gépek (pl. egy folyami vontató diesel-motorja 10-20000 kg tömegű) a vékony lemezekből készült fenéklemeléshez vannak rögzítve (pl. folyami vontatókon 4-5 mm vastag lemezek).

A motor súlypontjában ható tömegere a motort kiszakíthatja a fenéklemelésből, ill. töréseket, repedéseket okozhat a fenékszerkezetben, ami a hajó elsüllyedését okozhatja.

Hasonlóan veszélyes törések, repedések következhetnek be a kétcsavaros hajók tengelybakjainál. A lengés tengelytől (a hajó tömegközéppontján áthaladó hosszirányú tengelytől) távol elhelyezett hajócsavar és tengelyrendszer tömege aránylag nagy. Így a lengések során fellépő tömegereket jelentős nagyságúak.

Mind Ezeket egybevetve a lengések annál kevesebb veszélyt okoznak, minél kisebb az amplitudójuk és minél lassabbak, azaz minél nagyobb a lengésidejük.

A hajó oldalirányú billenő lengéseire felírhatjuk a mozgásegyenletet:

$$\Theta \cdot \frac{d^2\varphi}{dt^2} + M_{st} = 0 \quad (4.9.1)$$

ahol Θ a hajó tehetetlenségi nyomatéka

φ a szögkitérés

$\frac{d^2\varphi}{dt^2}$ a szöggyorsulás

M_{st} a stabilizáló nyomaték.

A $\Theta = \rho \cdot V \cdot i^2$ helyettesítéssel élve (ahol i a hajó inerciasugara) és a stabilizáló nyomatékot a kis szögekre érvényes

$M_{st} = \rho \cdot g \cdot V \cdot \overline{MG} \cdot \varphi$ értékkel figyelembe véve:

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \frac{g \cdot \overline{MG}}{i^2} \varphi = 0$$

A nyert összefüggés a más, hasonlóan egyszerű lengésjelenségeket is leíró mozgástörvény. Tehát a hajó lengése is ún. harmonikus lengőmozgás, melynek vetítő szögsebessége:

$$\omega = \sqrt{\frac{g \cdot \overline{MG}}{i^2}}$$

Így a lengésideje

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2 \cdot \pi \cdot i}{\sqrt{g \cdot \overline{MG}}} \quad (4.9.2)$$

A (4.9.1) mozgásegyenlet felírásakor a csillapítást elhanyagoltuk. A csillapítás, a többi hasonlóan egyszerű lengéshez hasonlóan elsősorban a lengés kitérését csökkenti a lengésidőt kevésbé befolyásolja, csupán kis mértékben növeli.

A (4.9.2) kifejezésből láthatjuk, hogy nagy \overline{MG} metacentrikus magasság, azaz nagy stabilitás esetén a hajó lengésideje túl kicsi, veszélyes lehet a tömegerők szempontjából. Ezért a hajó tervezése során arra törekednek, hogy a hajó stabilitása még éppen kielégítő legyen, de ne legyen "biztonságosan" nagyobb.

Hasonlóan kell eljárni a tengeri áruszállító hajók rakodási tervének elkészítése során is. A gyors (kemény) lengések elkerülése érdekében nem célszerű a 4.8 fejezetben ismertetett megengedhető metacentrikus magasságnál lényegesen nagyobbat biztosítani.

A hajó inerciasugara a (4.9.2) képletből az \overline{MG} metacentrikus magasság és a lengésidő pontos ismerete alapján meghatározható. A lengésidő mérésére néhány embert a hajó fedélzetének egyik oldalára állítunk. Sípszóra átrohannak a másik oldalra s ott maradnak, amíg a hajó arra felé billen. A mélypont elérésekor - ismét egyszerre, vezényszóra - viaszszaladnak. Néhány átszaladással a hajó lengésbe hozható. A lengések idejének mérése alatt már senki nem mozoghat a hajón. Célszerű 5-10 lengés idejét mérni, mert egy lengés idejének mérésénél nagy hibát követhetünk el. Nehéz a stopperóra indításának megfelelő időlési állapottal azonos állapotot megállapítani a stopperóra leállításához.

Ha néhány terhelési esetre (tömegeloszlásra) ismerjük az i inerciasugar értékét, akkor a lengésidő mérésével kísérletileg megállapíthatjuk a hajó metacentrikus magasságát:

$$\overline{MG} = \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot i}{T} \right)^2 \cdot \frac{1}{g}$$

Az i durva közelítése: Üres hajónál

$$i = \frac{1}{\sqrt{12}} \sqrt{B^2 + D^2}$$

homogén rakománnyal telerakott hajónál

$$i = \frac{1}{\sqrt{12}} (B + D)$$

4.9.3 A hullámozás gerjesztő hatása az oldalirányú lengésekre

A 6.4.1 fejezet első összefüggése szerint a víz-felszíni hullámok terjedési sebessége:

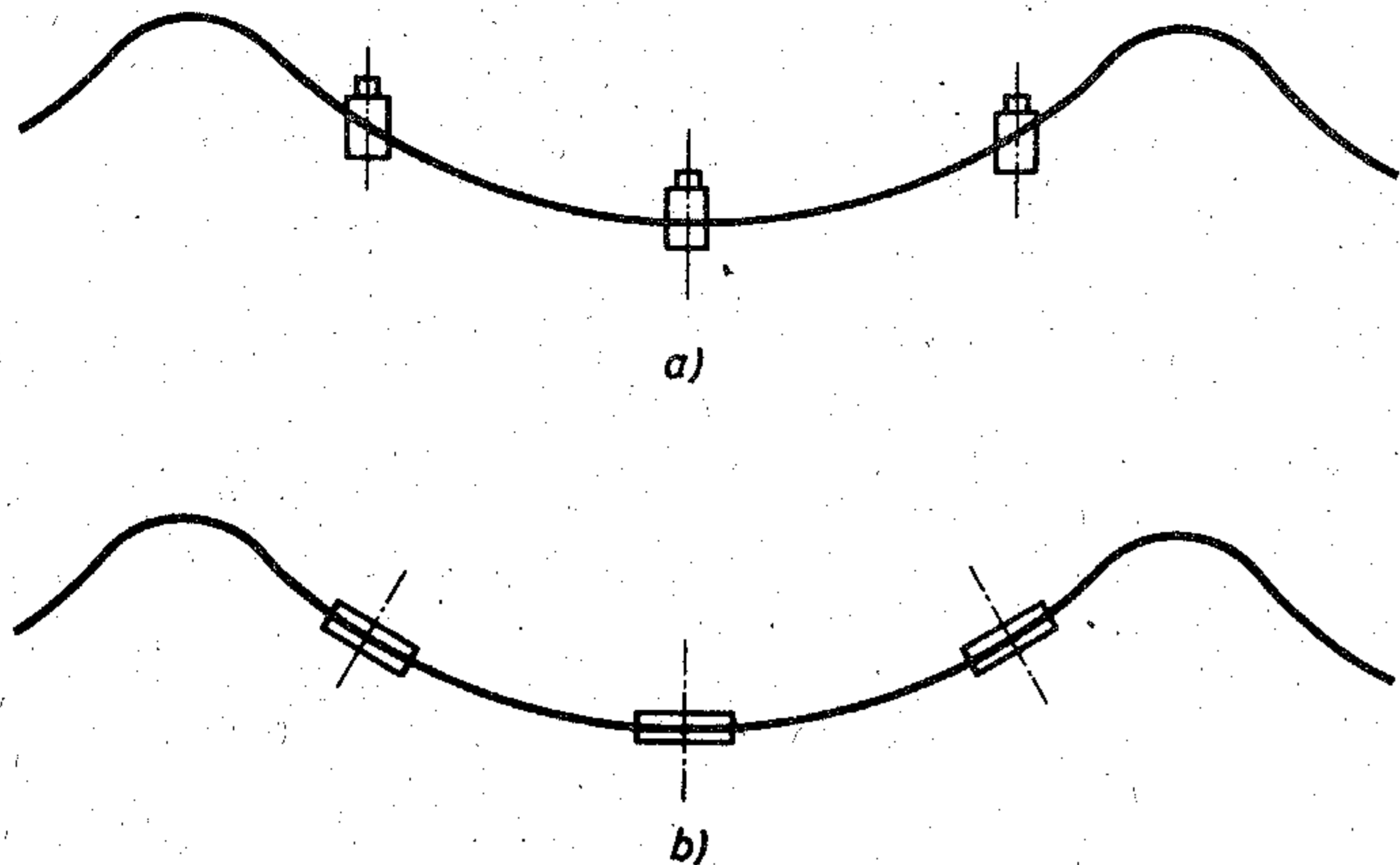
$$c = \sqrt{\frac{g \cdot L_w}{2\pi}} \quad (4.9.3)$$

ahol L_w a hullám hosszúsága. A hullámozás lengésideje:

$$t = \frac{L_w}{c} = \sqrt{\frac{2\pi L_w}{g}} \quad (4.9.4)$$

A hajónak a hullámozás által gerjesztett oldalirányú lengéseire felírható differenciál egyenlettel bizonyítható, hogy ha a hajó lengésideje (T) a hullám lengésidejéhez viszonyítva:

1. $\frac{T}{t}$ nagy érték, akkor a hullámozás nem gerjeszti a hajót. A (4.9.2) képlet szerint a T nagy, ha a hajónak nagy az inerciasugara és kicsi a metacentrikus magassága. A keskeny, magas személyhajók megközelítik ezt az esetet (4.37 ábra a képe).
2. $\frac{T}{t} \leq 1$ azaz a hajó lengésideje a kisebb. Kis lengésideje van a lapos, széles úszóműveknek. Ezek nem is végeznek önálló lengéseket (4.37 ábra b. képe).



4.37 ábra

Nagy és kis lengésidejű hajó azonos hullámokon

3. Ha a $\frac{T}{t}$ értéke egyhez közel áll, ("rezonancia") a hullámozás hatására igen nagy amplitudóval leng a hajó, fel is borulhat. Ezen jelenség kialakulása elkerülhető a hajó irányváltoztatásával. A hajó irányának megváltoztatásával a hullámozás látszólagos sebessége változik. A (4.9.3) képlet abban az esetben érvényes, ha a hajó haladási irányára merőlegesen érkezik a hullám, vagy a hajó áll. Ha a hajó haladási iránya és a hullám haladási iránya közötti szög α , akkor a hullám relatív terjedési sebessége: $c' = c - v \cdot \cos \alpha$ és ezzel a hullámozásnak a haladó hajón észlelt lengésideje:

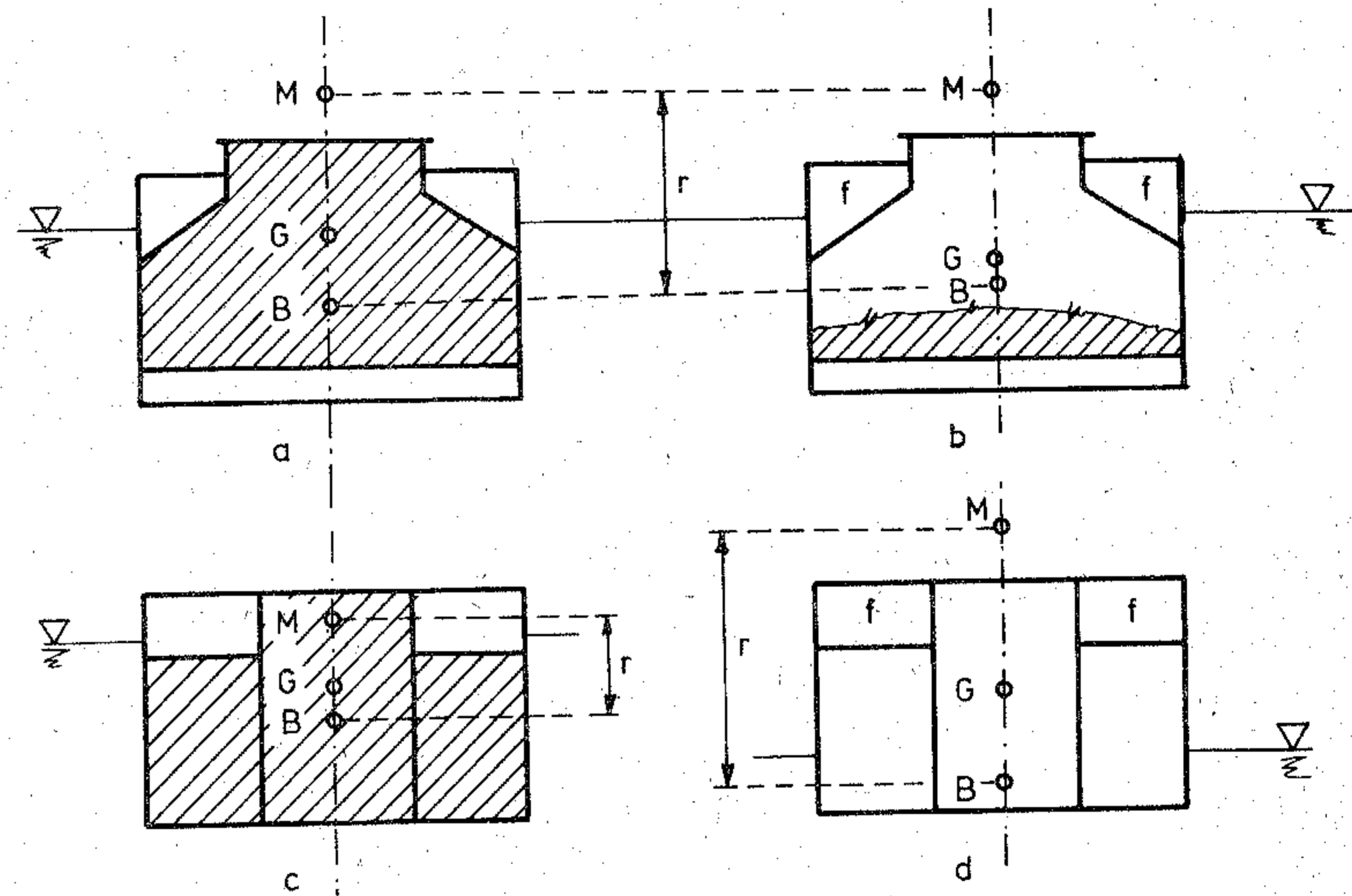
$$t' = \frac{L}{c'}$$

4.9.4 A lengésidő növelése

Vannak hajók, melyek nagyon eltérő sűrűségű rakománnyal közlekednek. Például az egyik úton gyapotot, másik úton vasércet, vagy az egyik úton olajat szállít és visszafelé üresen megy.

A 4.38 ábrán keresztmetszetben, vázlatosan felrajzoltuk a példaként említett kétféle hajót a két-két esetben. Az a, és b képen ábrázolt hajó mindkét esetben azonos súlyú rakománnyal szállít, így merülése, metacentrikus sugara (r) azonos. Azonban a b képen a nagyobb sűrűségű, tehát a hajó raktárainak alján csak kis térfogatot kitöltő rakomány miatt a hajó

G súlypontja alacsonyabban van (az \overline{MG} metacentrikus magasság nagyobb). Így a hajó lengésideje túlságosan kicsi lenne. Ezért az f-fel jelzett felső ballaszt-tankjait vízzel feltöltik olyan mértékben, hogy a súlypont megfelelően feljebb kerüljön.



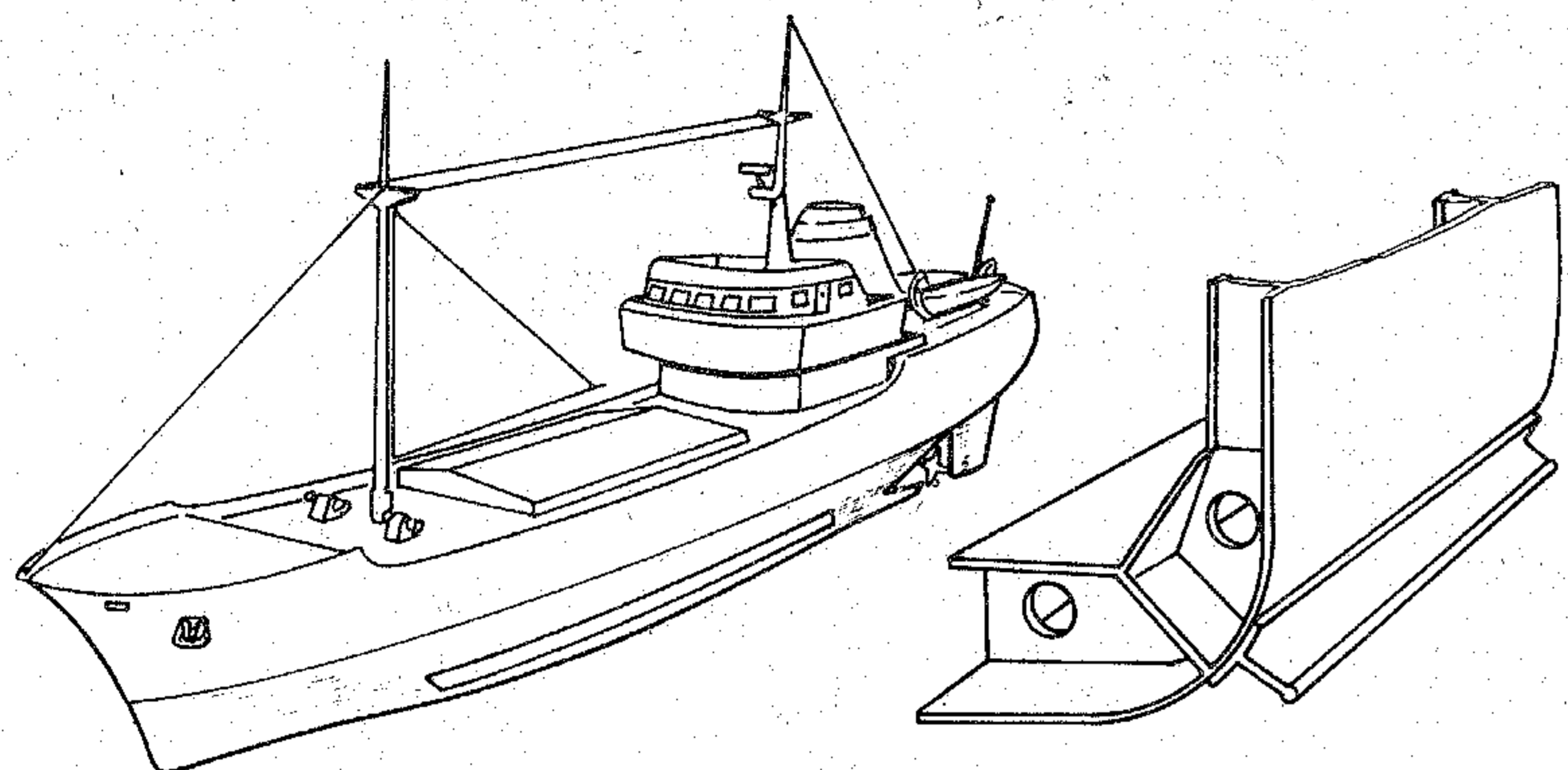
4.38 ábra

Ömlesztett rakományt szállító hajó különféle átlagos sűrűségű rakománnyal; tankhajó terhelten és üresen

Az alsó két képen ábrázolt hajó merülése a két esetben eltérő, így a V vízkihasználás lényegesen kisebb a d esetben, amikor a hajó üresen úszik. A vízvonalterület és annak J másodrendű nyomatéka közel azonos. Így az $r = \frac{J}{V}$ metacentrikus sugár, továbbá emiatt az \overline{MG} távolság lényegesen nagyobb üresen, mint rakott állapotban. Ezért üresen haladó tankhajókon az f jelű magasan kialakított tankokat vízzel feltöltik és ezzel az \overline{MG} távolságot csökkentik. Így lényegesen javítható a hajó lengési tulajdonsága.

4.9.5 A lengés amplitudójának csökkentése. Lengéscsillapítás

A lengések amplitudóját lengéscsillapítókkal csökkenthetjük.



4.39 ábra
Lengéscsillapító gerinc

Csaknem valamennyi tengeri és nagyobb tavakon közlekedő hajót lengéscsillapító gerinccel látnak el (4.39 ábra). A hajó mindkét oldalán, a medersori lemezelés közepén hosszirányú, merevített lemezcsíkot hegesztenek fel. A hajótestből kiálló lemezcsík fékezi a hajó billegését.

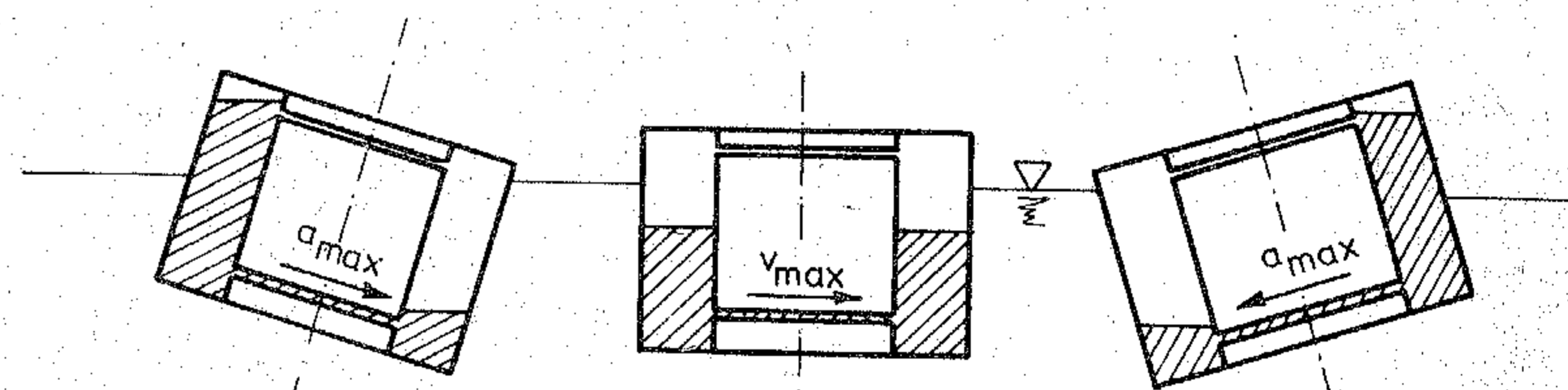
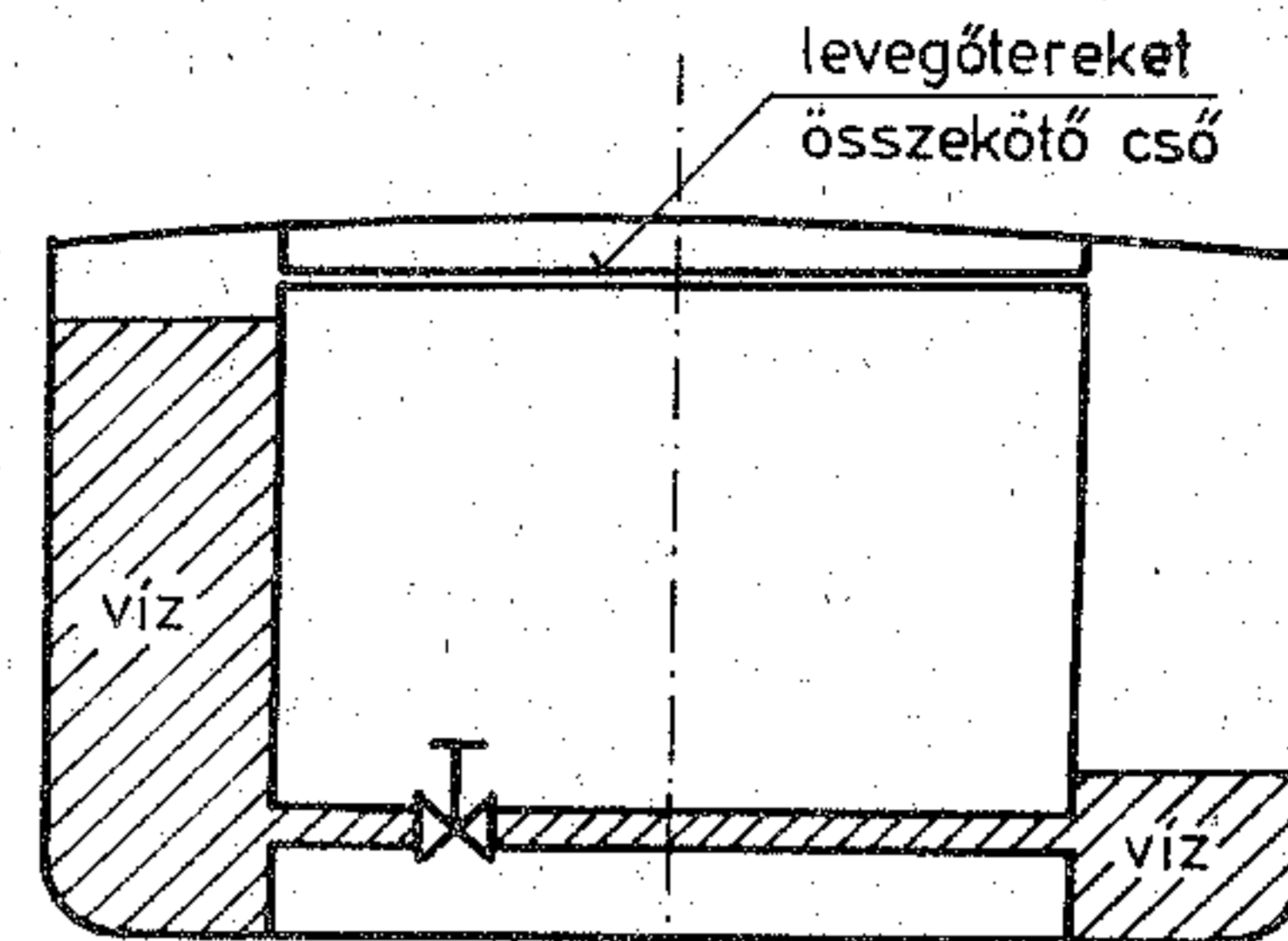
Elsősorban a vasúti és a közúti járműveket szállító komphajóknál alkalmazzák a 4.40 ábrán látható lengéscsillapítót. A hajó mindkét oldalán, a hajó hosszának 15-20 %-ban egy-egy nagyméretű víztartályt alakítanak ki. A tartályokat csövek kötik össze.

Ha a komphajó erős oldalszélben halad, igen nagy dőléssel haladna, mivel általában igen magas felépítménnyel van ellátva. A gyors ki- és behajózás lehetővé tétele érdekében nem lehet olyan rögzítéseket alkalmazni, melyek a hajó nagyobb dőlése esetén is megakadályozhatnák a járművek oldalirányú elmozdulását vagy felborulását. A gépjárművek általában minden rögzítés nélkül állnak a kompon. A vasúti kocsikat esetleg a kapcsolóikkal a hajótér padlózatán elhelyezett horgokhoz rögzítik.

A 4.40 ábra felső képén látható módon a baloldali tartályt teljesen feltöltik, a jobboldali üres vagy kevés víz marad benne. Így a képen ábrázolt hajóra az óramutató járásával ellenkező nyomaték hat, ami egy balról fújó szél billentőnyomatékát kiegyensúlyozhatja, vagy a szél által okozott megdőlést csökkentheti.

A 4.40 ábra három alsó képén a két tartály össze van kötve. Ezáltal egy lengőrendszert alkot. Ezen rendszerben a lengés ideje a víz mennyiségétől és a méretektől függ. Egy adott hajónál tehát megfelelő mennyiségű víztöltéssel a lengőrendszer lengésidejét a hajó lengésidejével azonos értékűre lehet szabályozni. Az előző fejezetben láttuk, hogy a hajó lengésideje is állandó értékű. Ha a két lengésidő azonos, a hajó ol-

dalirányú billenő lengése során a 4.40 ábra alsó három képén látható módon alakul a tartályokban a víz helyzete.

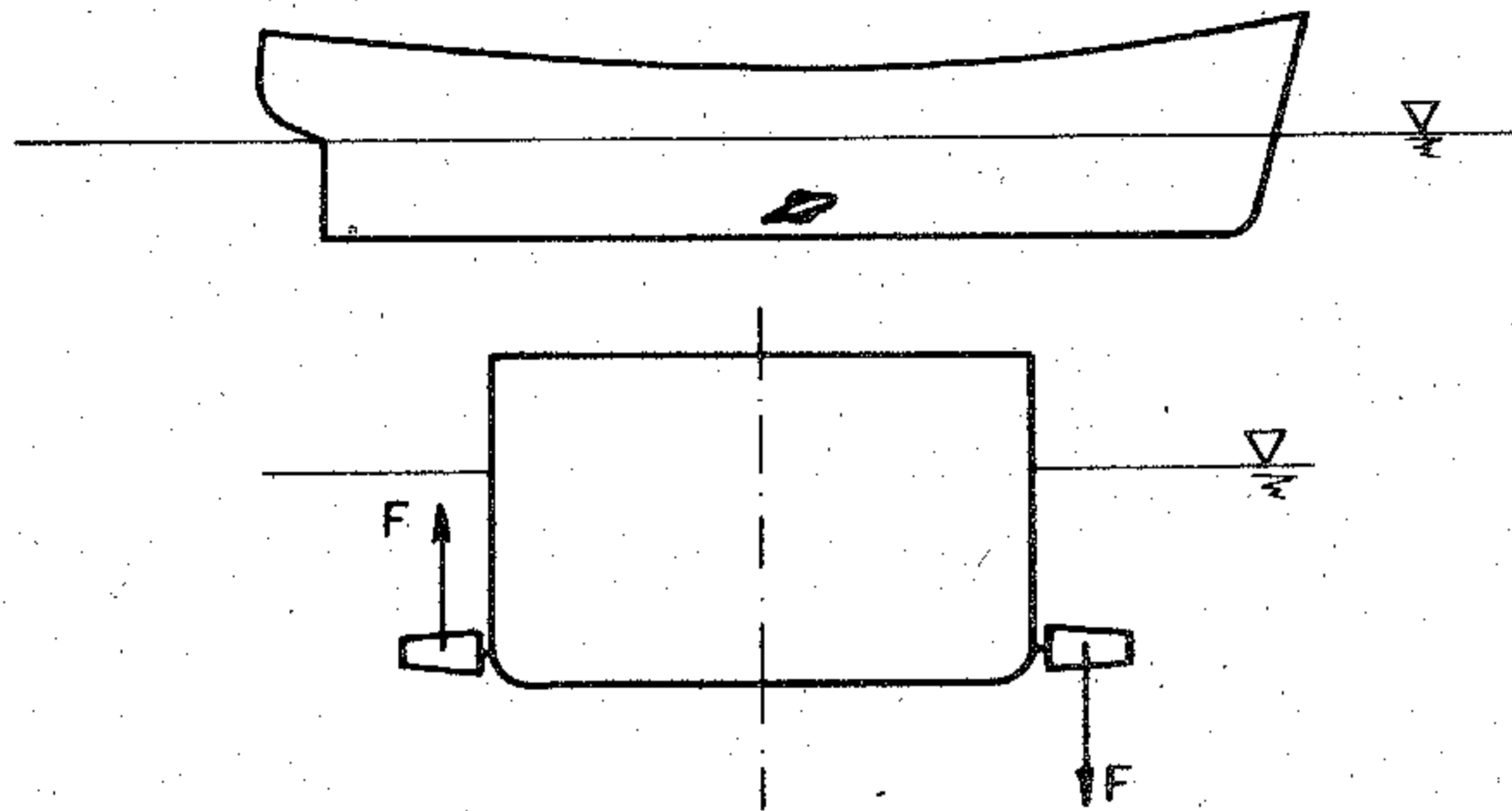


4.40 ábra
Folyadékös lengéscsillapító

A baloldali képen a hajó jobbra dől. A víz a baloldali tartályban van, az összekötő csőben áll a víz, de a gyorsulás értéke éppen maximális. Ennek hatására a víz elindul a jobboldali tartályba. Amíg a hajó a vízszintes úszási helyzetét el nem éri, addig gyorsulva áramlik a víz az összekötő csővön. Kellő mennyiségű víztöltés esetén középhelyzetben azonos lesz a vízszint mindkét tartályban, de a víz maximális sebességgel áramlik jobbra. A hajó balra billenése során az áramlás folyamatosan lassul és a hajó maximális kibillenésekor a jobboldali képen látható viszonyok alakulnak ki. Ezután a jelenség az ellenkező irányban megismétlődik. Tehát a víz mindig a hajó kiemelkedő oldalára kerül és így visszabilentő nyomatékot okoz; A lengés nagyságát csökkenti.

Hasonló elven működő lengéscsillapítókat építenek oly módon is, hogy az ömlesztett rakományt szállító hajók két oldalán elhelyezett magastankokat a raktárnyílások között, a fedélzet alatt összekötik és nem töltik fel teljesen a tankokat. Ilyen magastankokat láthatunk a 4.38 ábra felső két képén. Ez esetben az alábbi javító hatásokat érhetjük el:

1. A tankban levő víz emeli a hajó rendszersúlypontjának helyzetét, azaz csökkenti az MG távolságot; Nő a lengésidő.
2. A szabad felszíni folyadék rontja a hajó stabilitását, azaz tovább növeli a lengésidőt.
3. A 4.40 ábra alsó képsorához hasonló mozgásokat végző víztömeg pillanatnyi elhelyezkedése a hajó megdőlését, azaz a lengések amplitudóját csökkenti.



4.41 ábra
Szárnyas lengéscsillapító

Ritkábban alkalmaznak olyan lengéscsillapítót is, amelynél a hajó közepén, a medersor környékén jobbra és balra egy-egy szárny áll ki a hajóból (4.41 ábra). A szárnyaknak az állásszöge állítható. Oldalirányú szél esetén úgy állítják be a szárnyakat, hogy a relatív vízsebesség által előidézett felhajtóerő az egyik oldali szárnyon felfelé mutató, a másik oldali szárnyon lefelé mutató erőt hoz létre, ami visszabillentő nyomatékot eredményez.

A hajó lengése esetén vezérléssel (pl. pörgettyűs vezérművel) a szárnyak állásszögét a hajó lengésidejének megfelelően változtatják. Így a keletkező nyomatékok a hajó kilengését csökkentik.

A kapitányi tájékoztató az áruszállító hajók rakodási tervének elkészítéséhez szükséges segédleteket tartalmazza. A hajót a hajó úszása szempontjából az alábbi követelményeknek megfelelően kell megrakni:

1. A stabilitás kielégítő legyen.
2. Az uszási helyzet vízszintes legyen, illetve kis merüléseknél a hajócsavar és a kormány a víz alatt legyen.
3. Nagy merüléseknél az előírt szabadoldal maradjon.

A tájékoztató összeállítására az egyes diagramok, nomogramok típusára nincs szabvány, így az egyes országok hajógyárai egymástól eltérő módon készítik a kapitányi tájékoztatót.

A bevezetőben közlik a hajó fontosabb méreteit és adatait, s tájékoztatást adnak az egyes diagramok, nomogramok használatának módjáról.

A rakodási terv készítéséhez leggyakrabban használt mellékletek a hajó néhány jellegzetes terhelésének adatait tartalmazzák. Példaként az 1-16. mellékletekben a 3.8 fejezet példáiban is szereplő hajó tipikus terhelési eseteit láthatjuk. Ezek:

1. A hajó üresen, teljes felszereléssel, töltött csővezetékekkel, üres tankokkal (1.-2. melléklet).
2. A raktárakban homogén eloszlású rakomány, teljes készlet és üzemanyagmennyiség, maximális merülésnél (3.-4. melléklet)
3. Az előző terhelési eset rakományával, 10 % készlettel és üzemanyaggal (út végi állapot) (5.-6. melléklet).
4. Üres hajó, teljes készlettel és üzemanyaggal (út elején), (7.-8. melléklet).
5. Üres hajó, 10 % készlettel és üzemanyaggal (út végén) (9-10. melléklet).
6. Teljes merülésig terhelt hajó, a raktárakban homogén eloszlású rakománnyal, a fedélzeten 150 Mg farakománnyal, teljes készlettel és üzemanyaggal (út elején). (11-12. melléklet).
7. Az előző terhelési eset rakományával, 10 % készlettel és üzemanyaggal (út végén) (13.-14. melléklet).

8. Üres rakterek, fedélzetén 120 Mg rakomány, 10 % készlettel és üzemyanaggal (15.-16. melléklet).

A jellegzetes terhelési esetek egyes elemeit felhasználhatjuk más rakodási állapot vizsgálatához, továbbá összehasonlíthatjuk a más rakodási állapot során számított eredményeket a példa esetekével és végül példaként használhatjuk azokat.

A rakodási terv készítése során szükségünk van a különféle tankok adataira. Ezeket táblázatban közlik, léptékhelyes, magyarázó ábrával (17. és 18. melléklet).

A 18. melléklet táblázatából kiolvashatók az egyes tankok térfogata és a térfogat súlypontjának helyzete a főbordától és az alapvonaltól. Ezen kívül a teljesen feltöltött tankban lévő anyag tömege és annak nyomatóka a főbordára. Az utolsó oszlopból a tankban levő szabad felszíni folyadéknek a stabilitást csökkentő hatása határozható meg. Amint a (4.3) jelű képletekből látszik, a hatás egyenértékű azzal, mintha a hajó eredő

súlypontja $\Delta h = \frac{\rho_f \cdot J_f}{\rho \cdot V}$ távolsággal magasabbra került volna.

Így a tömegnek az alapvonalra számított nyomatókváltozása:

$$\Delta M_z = \Delta h \cdot \rho \cdot V = \rho_f \cdot J_f$$

Ezek az értékek szerepelnek a táblázat utolsó oszlopában. A metacentrikus magasság meghatározásához (számítással, vagy a 24. mellékletből) a valódi M_z érték helyett $M_z = M_z + \Delta M_z$ értékkel kell számolnunk.

A hajó általános stabilitási diagramját a könnyebb áttekintési lehetőség biztosítására több részre osztva szokás közölni (19-22. melléklet).

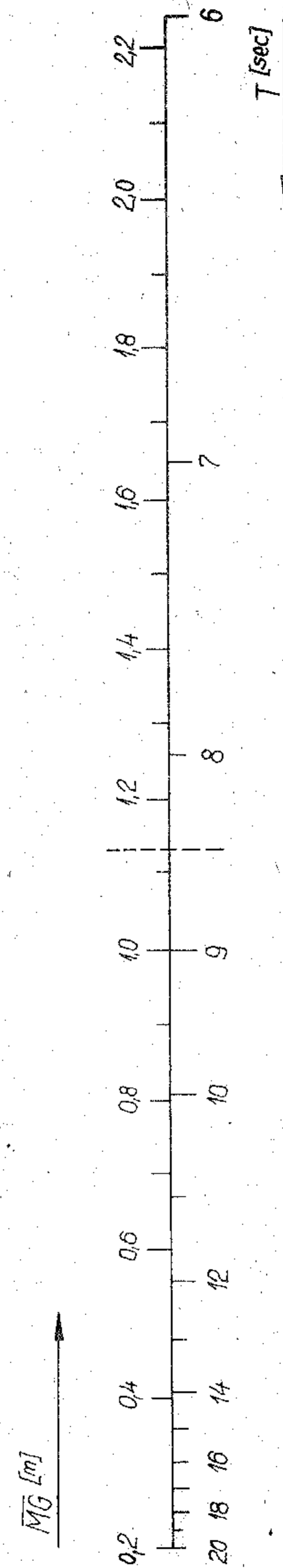
A hajó merülési táblázata (23. melléklet) a közepes merülés, a vízkiszorítás és a trimm összetartozó értékei mellett megadja az 1 cm merülésváltozást okozó rakomány tömegét is a merülés függvényében.

A 4.8 fejezetben tárgyalt metacentrikus magasságok diagramját a 24. mellékletben láthatjuk. A számított metacentrikus magasság ellenőrzési lehetőségének biztosítására közölni szokták azt a közelítő nomogrammot (5.1 ábra), amelyből a hajó mért lengésidejéhez leolvashatjuk a hajó metacentrikus magasságának közelítő értékét.

A 25. mellékletben a 3.3.3 fejezetben ismertetett nomogrammot látjuk, melynek segítségével meghatározhatjuk a hajó trimmjét.

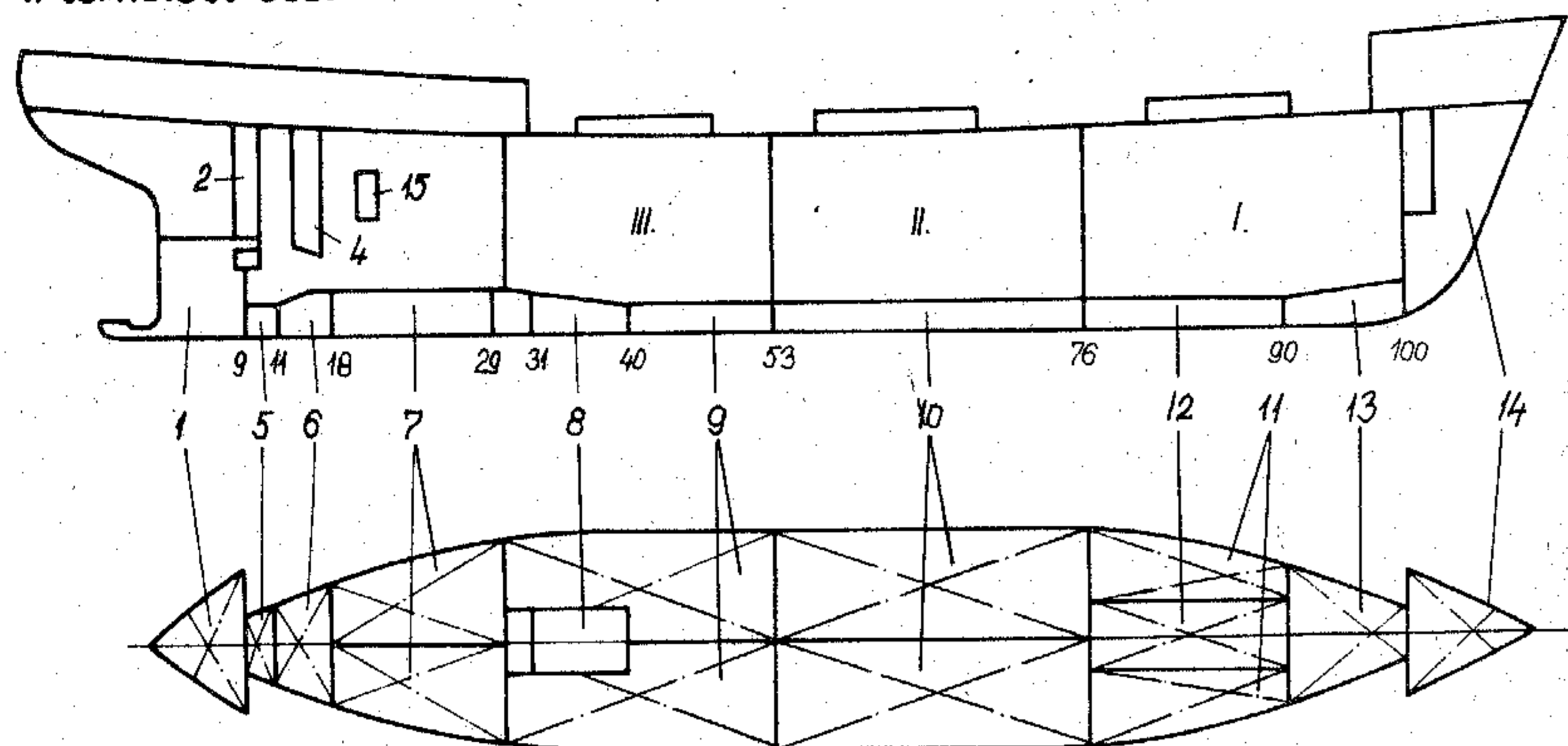
A 26. melléklet a rész-rakományok súlypont helyzetének megállapítását teszi lehetővé. A léptékben készült vázlaton bejelöljük, hogy milyen magasságig töltöttük fel a teret homogén rakománnyal. Az f görbén leolvashatjuk, hogy mennyi a berakott rakomány térfogata. A c görbén ezt a térfogatot jelző számot megkeresve megkapjuk a súlypont magassági helyzetét és a vízszintes és függőleges skálára vetítve leolvashatjuk a súlypont távolságát a főbordától és az alapvonaltól.

A 27. melléklet a hajó jellemző görbéi.



5.1 ábra
A metacentrikus magasság és a lengésidejé összetartozó értékei

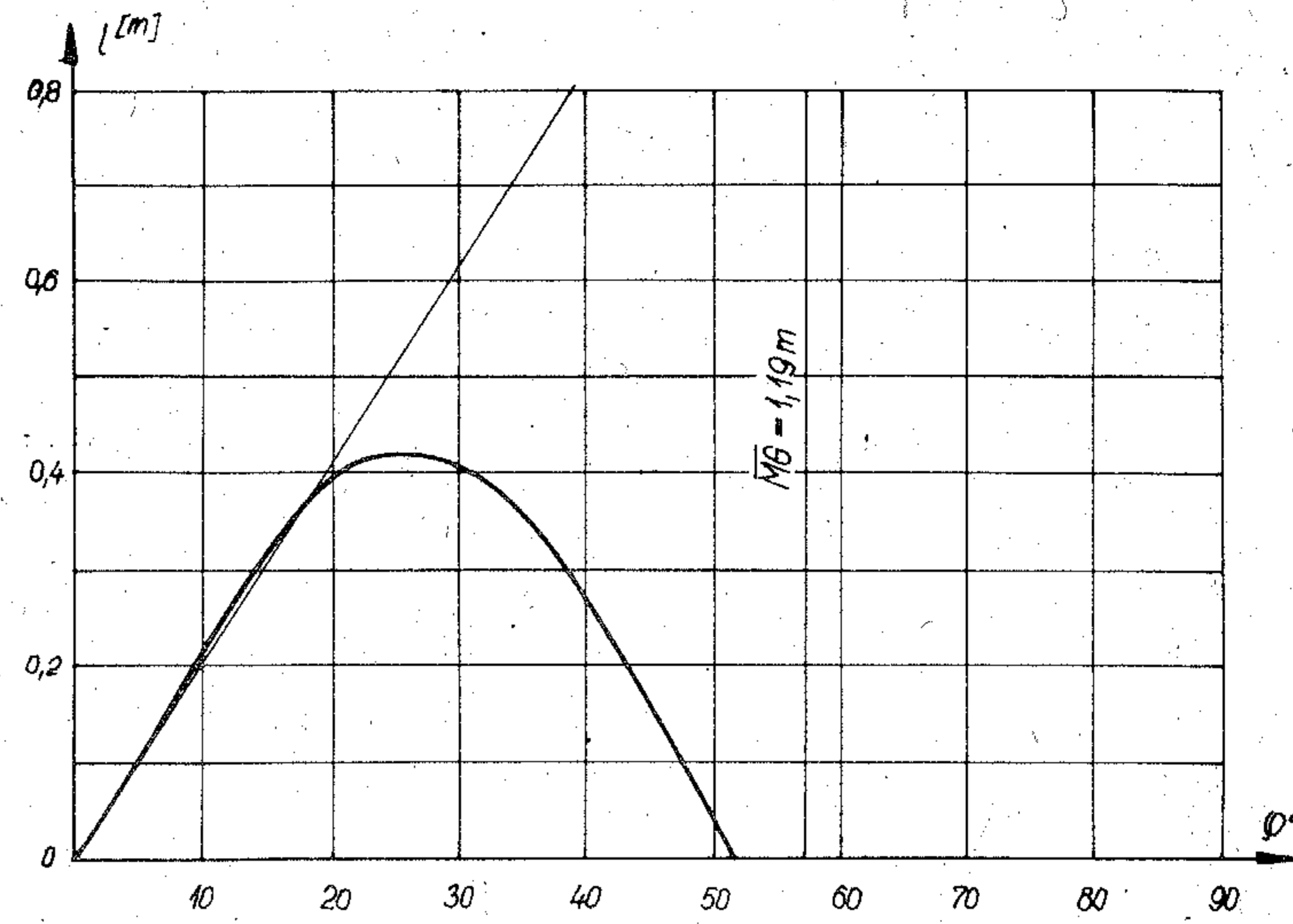
1. terhelési eset



1. sz. melléklet

Megnevezés	Tömeg Mg	z_G m	M_z Mg. m
Üres hajó	916.32	5.09	4665
Összesen	916.32	5.09	4665

$\overline{MG} = 1.19 \text{ m}$
 $\overline{MG}_{\min} = 1.90 \text{ m}$
 $T_{\text{far}} = 3.55 \text{ m}$
 $T_{\text{orr}} = 1.25 \text{ m}$
 A hajót üres állapotban ballasztolni kell

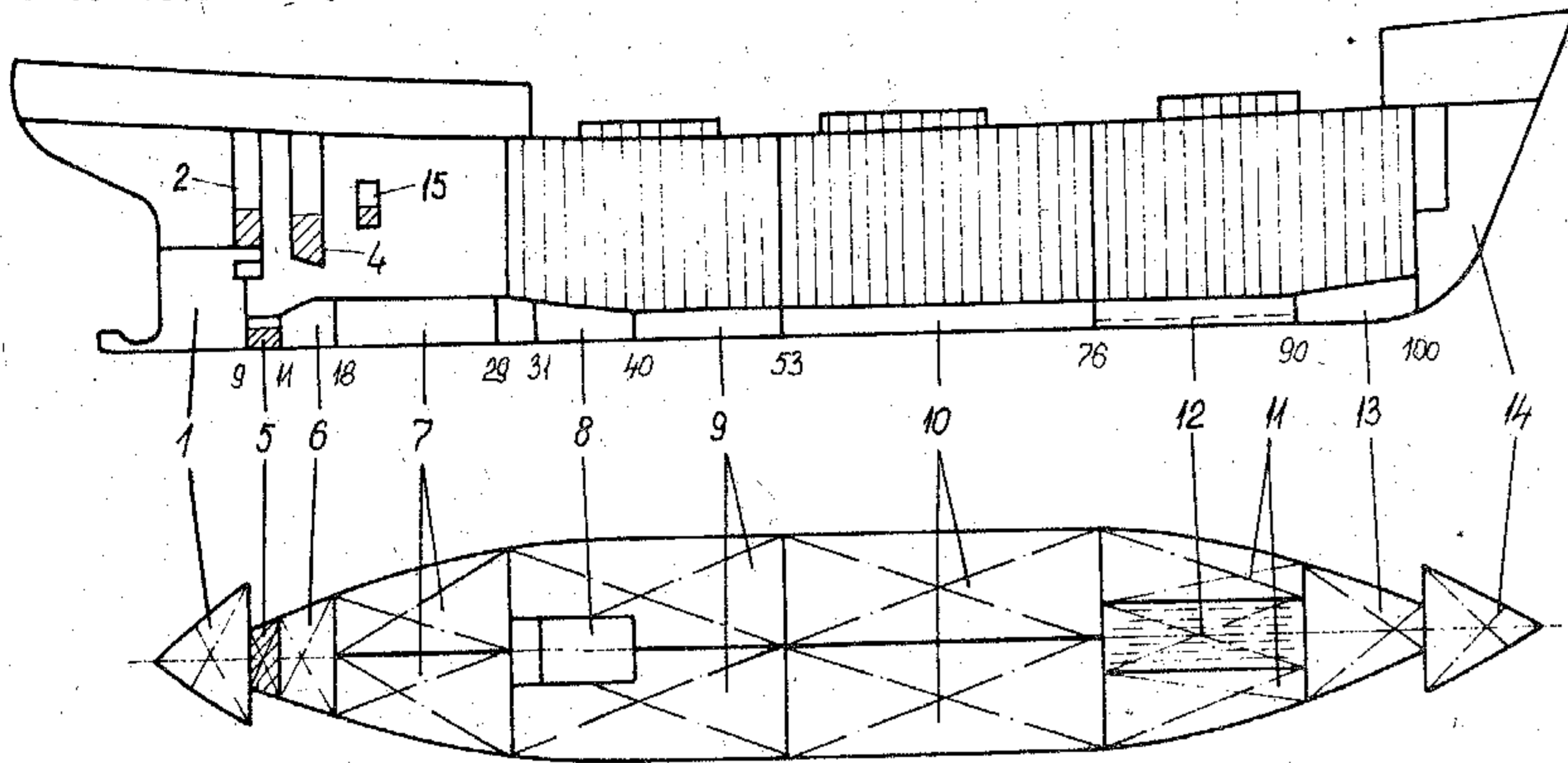


1. Terhelési eset

2. sz. melléklet

Tank száma	Tank helye	Tömeg Mg	M_z Mg. m

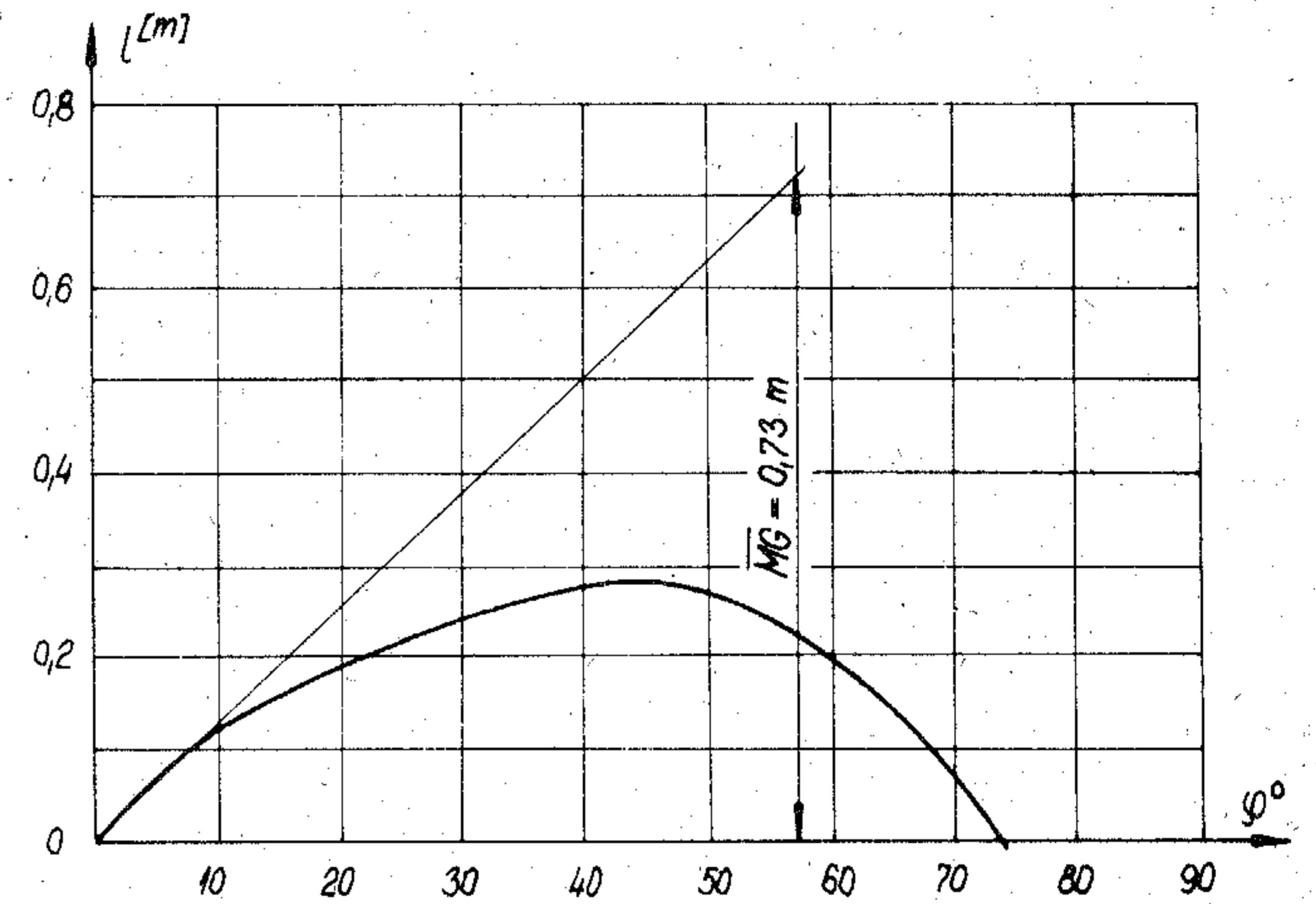
3. terhelési eset



5.sz. melléklet

Megnevezés	Tömeg Mg	z_G m	M_z Mg. m
Üres hajó	916.32	5.09	4665.0
Személyzet	4.00	9.00	36.0
Leltár	0.35	5.00	1.8
Tiszta víz 12-ben	3.82	0.10	0.4
Ivóvíz 2-ben	1.27	3.75	4.8
Üzem olaj 4-ben	7.66	3.90	29.9
Kenőolaj	0.26	4.05	1.0
Használt olaj 5-ben	1.00	0.30	0.3
Teher	1534.00	3.57	5476.4
Szabad folyadék	-	-	79.0
Összesen	2468.68		10294.0

$\overline{MG} = 0,50 \text{ m}$
 $\overline{MG}_{\min} = 0,40 \text{ m}$

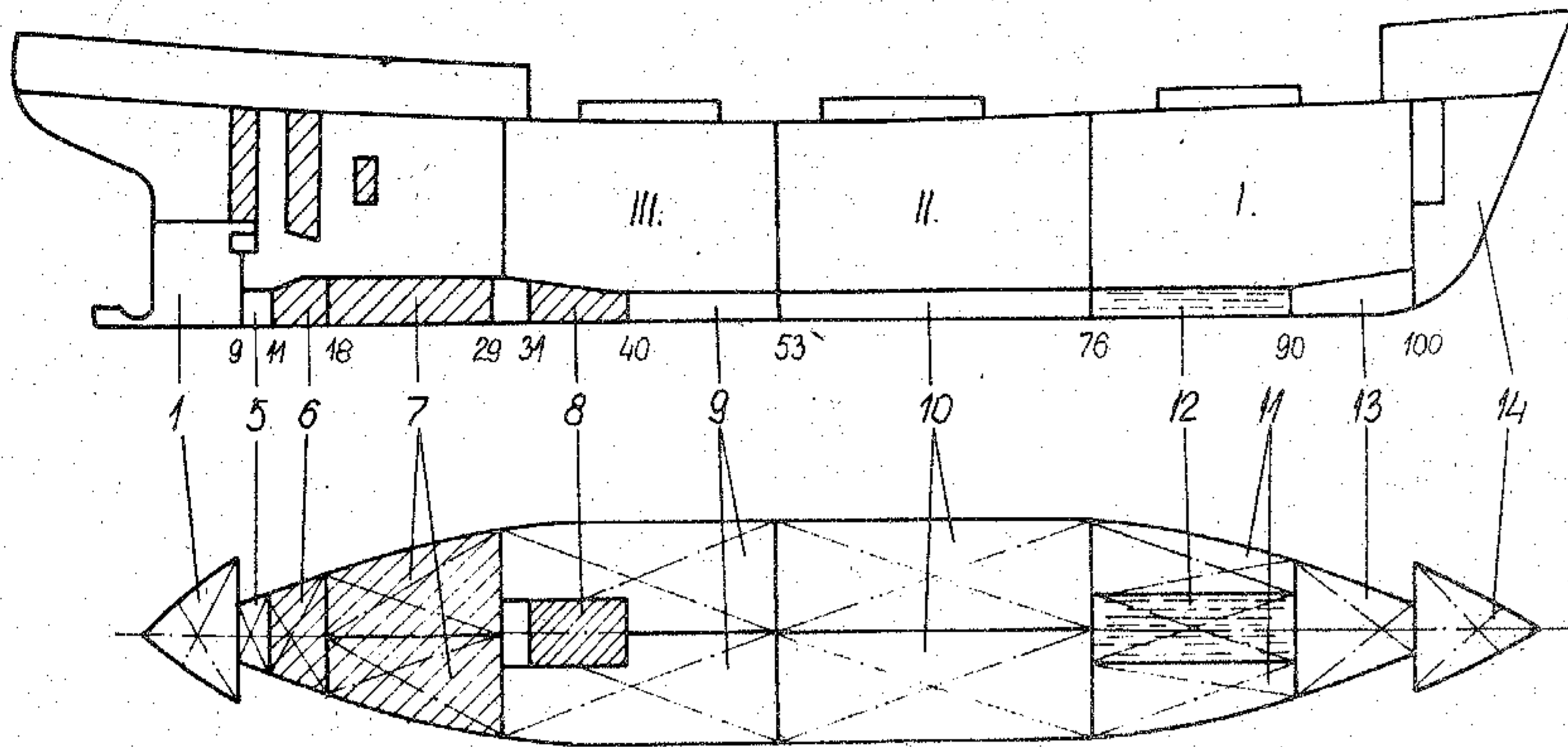


3 terhelési eset

6.sz. melléklet

Tank száma	Tank helye	Tömeg Mg	M_z Mg. m
1	0-10	22.80	56.09
9	29-53	84.80	37.09
$\overline{MG} = 0.73 \text{ m}$ $\overline{MG}_{\min} = 0.53 \text{ m}$ $T_{\text{far}} = 4.71 \text{ m}$ $T_{\text{orr}} = 4.53 \text{ m}$			
Hajó		2468.68	10 294.0
Hajó + ballaszt		2577.0	10 387.0

4. terhelési eset



4. terhelési eset

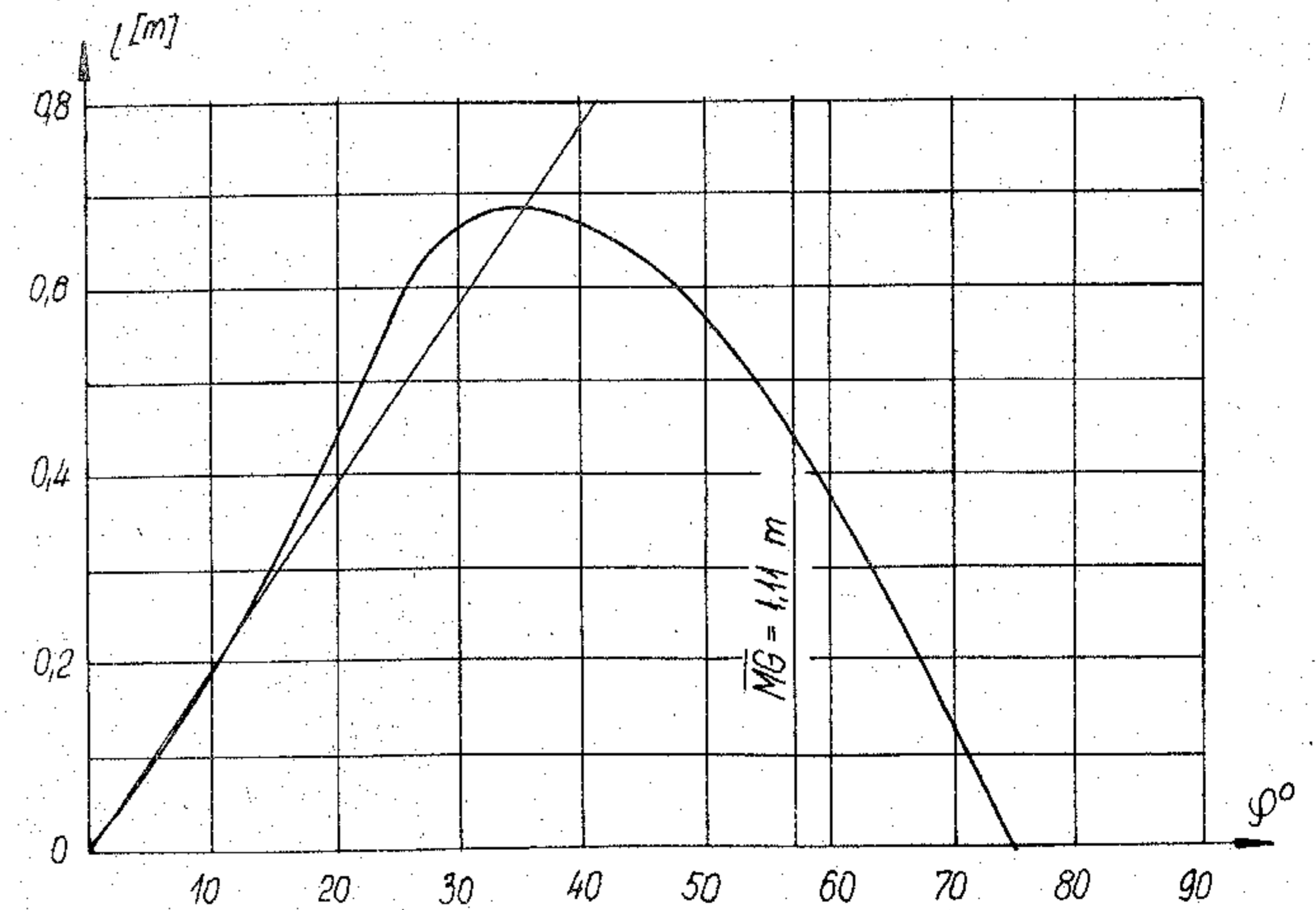
7.sz. melléklet

Megnevezés	Tömeg Mg	z_G m	M_z Mg.m	
Üres hajó	916.32	5.09	4665.0	
Személyzet	4.00	9.00	36.0	
Leltár	3.50	5.00	17.5	MG=1,02 m
Tiszta víz 12-ben	38.20	0.49	18.7	
Ivóvíz	12.70	4.72	59.9	MG _{min} =1,35 m
Üzem olaj 4-ben	13.60	4.54	61.7	
Kenőolaj	2.55	4.55	11.6	
Üzemolaj 6-ban	10.90	0.63	6.9	
Üzemolaj 7-ben	37.20	0.62	23.1	
Üzemolaj 8-ban	14.90	0.44	6.5	
Szabad folyadék	-	-	115.0	
Összesen	1053.87		5022.0	

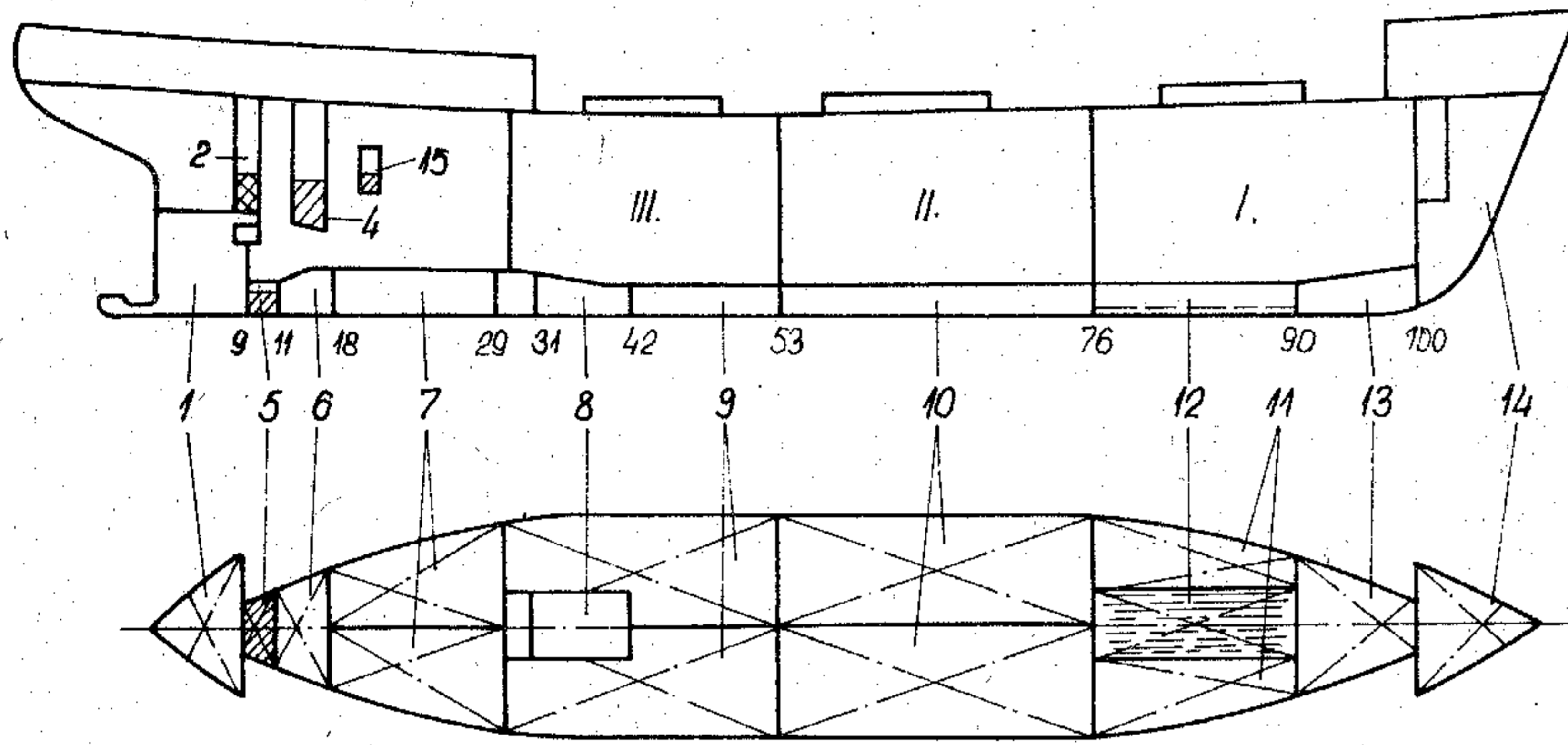
4 terhelési eset

8.sz. melléklet

Tank száma	Tank helye	Tömeg Mg	M_z Mg.m	
14	100-	66.30	297.26	$\overline{MG} = 1.11 \text{ m}$
13	90-100	26.30	19.20	$\overline{MG}_{\min} = 0.73 \text{ m}$
11	75-90	26.60	15.96	$T_{\text{far}} = 3.45 \text{ m}$
10	53-75	100.40	42.16	$T_{\text{orr}} = 1,57 \text{ m}$
Hajó		1053.87	5022.0	
Hajó + ballaszt		1274	5397	



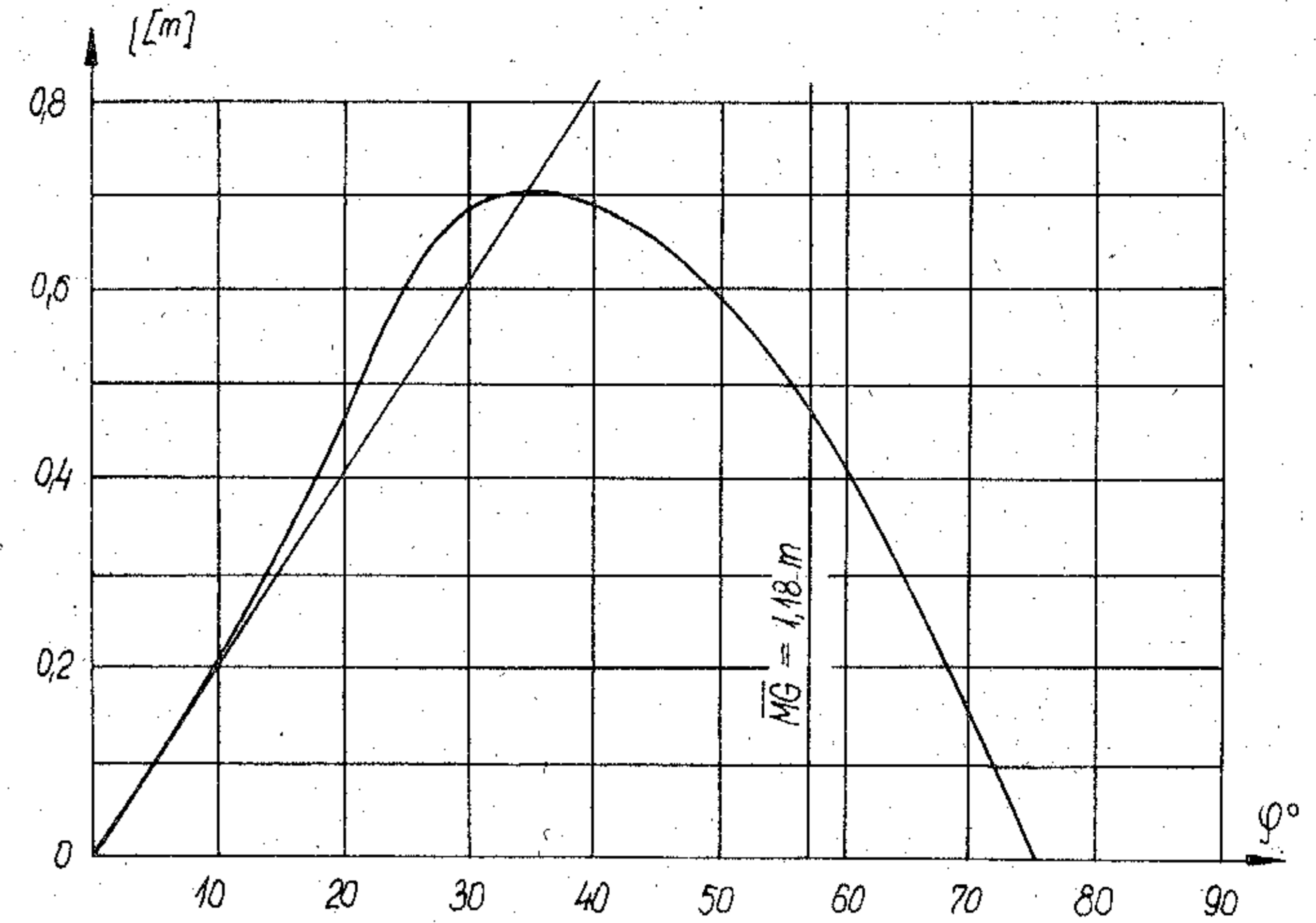
5. terhelési eset



9.sz. melléklet

Megnevezés	Tömeg Mg	z_G m	M_z Mg.m
Üres hajó	916.32	5.09	4665.0
Személyzet	4.00	9.00	36.0
Leltár	0.35	5.00	1.8
Tiszta víz 12-ben	3.82	0.10	0.4
Ivóvíz	1.27	3.75	4.8
Üzem olaj 4-ben	7.66	3.90	29.9
Kenőolaj	0.26	4.05	1.0
Háznált olaj	1.00	0.30	0.3
Szabad folyadék	-	-	79.0
Összesen	935.0		4818.0

$\overline{MG} = 0,98 \text{ m}$
 $\overline{MG}_{\min} = 1,80 \text{ m}$



5 terhelési eset

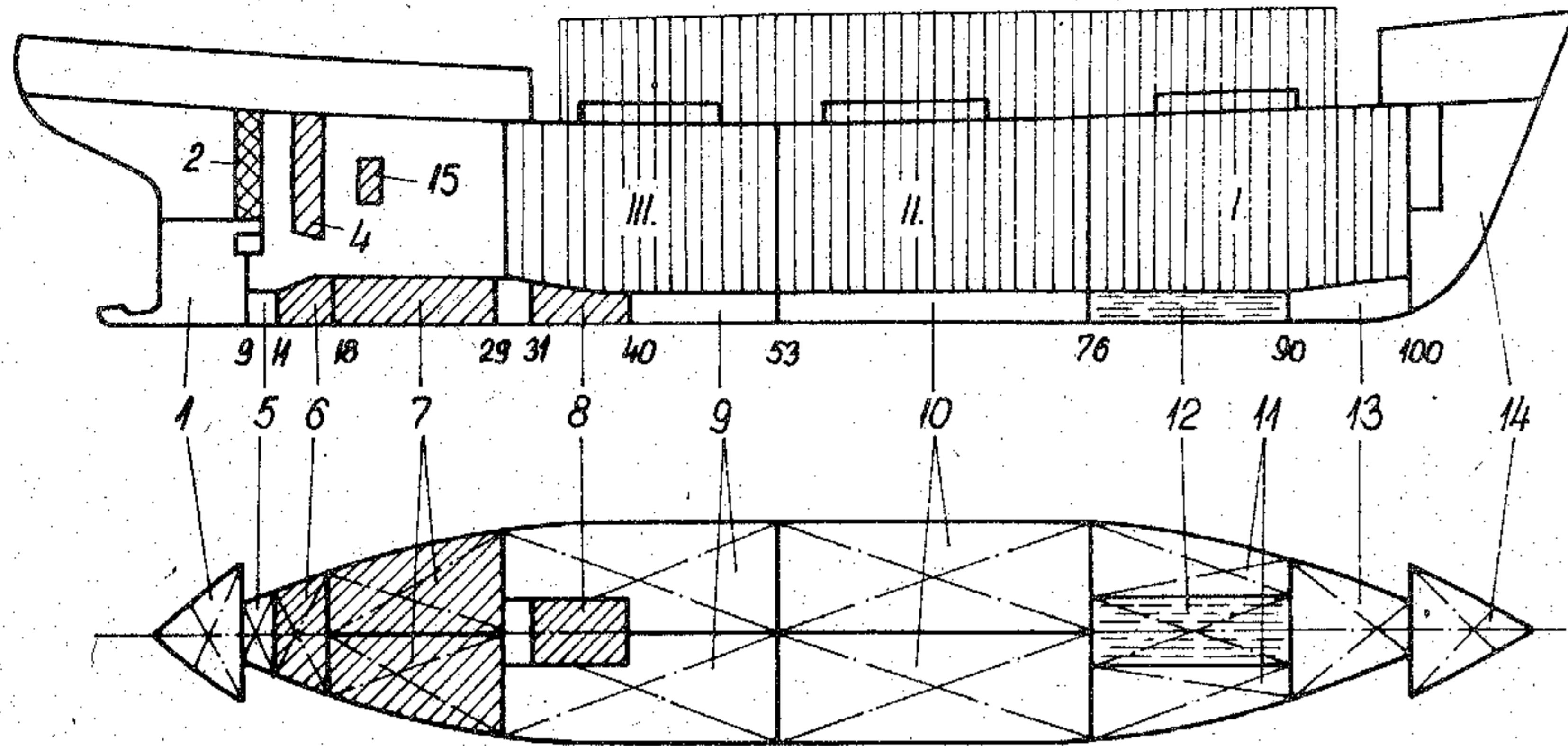
10.sz. melléklet

Tank száma	Tank helye	Tömeg Mg	M_z Mg.m
14	100-	66.50	297.3
13	90-100	26.30	19.2
11	75-90	26.60	16.0
10	53-75	100.40	42.2
9	29-53	84.80	37.3
Hajó		935.0	4848.0
Hajó + ballaszt		1239.0	5230.0

$\overline{MG} = 1.18 \text{ m}$
 $\overline{MG}_{\min} = 0,80 \text{ m}$
 $T_{\text{far}} = 3.26 \text{ m}$
 $T_{\text{orr}} = 1.64 \text{ m}$

6. terhelési eset

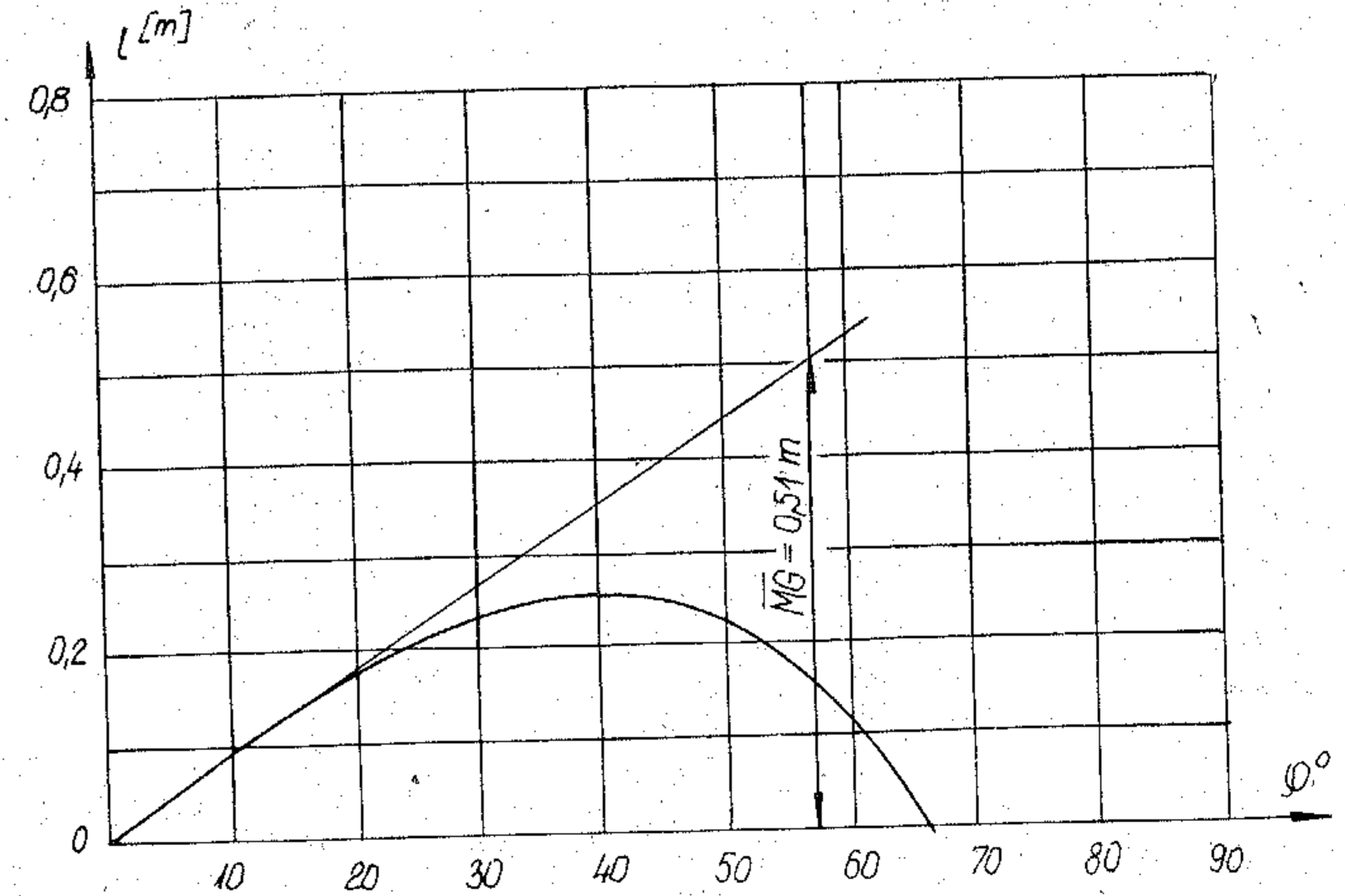
6 terhelési eset



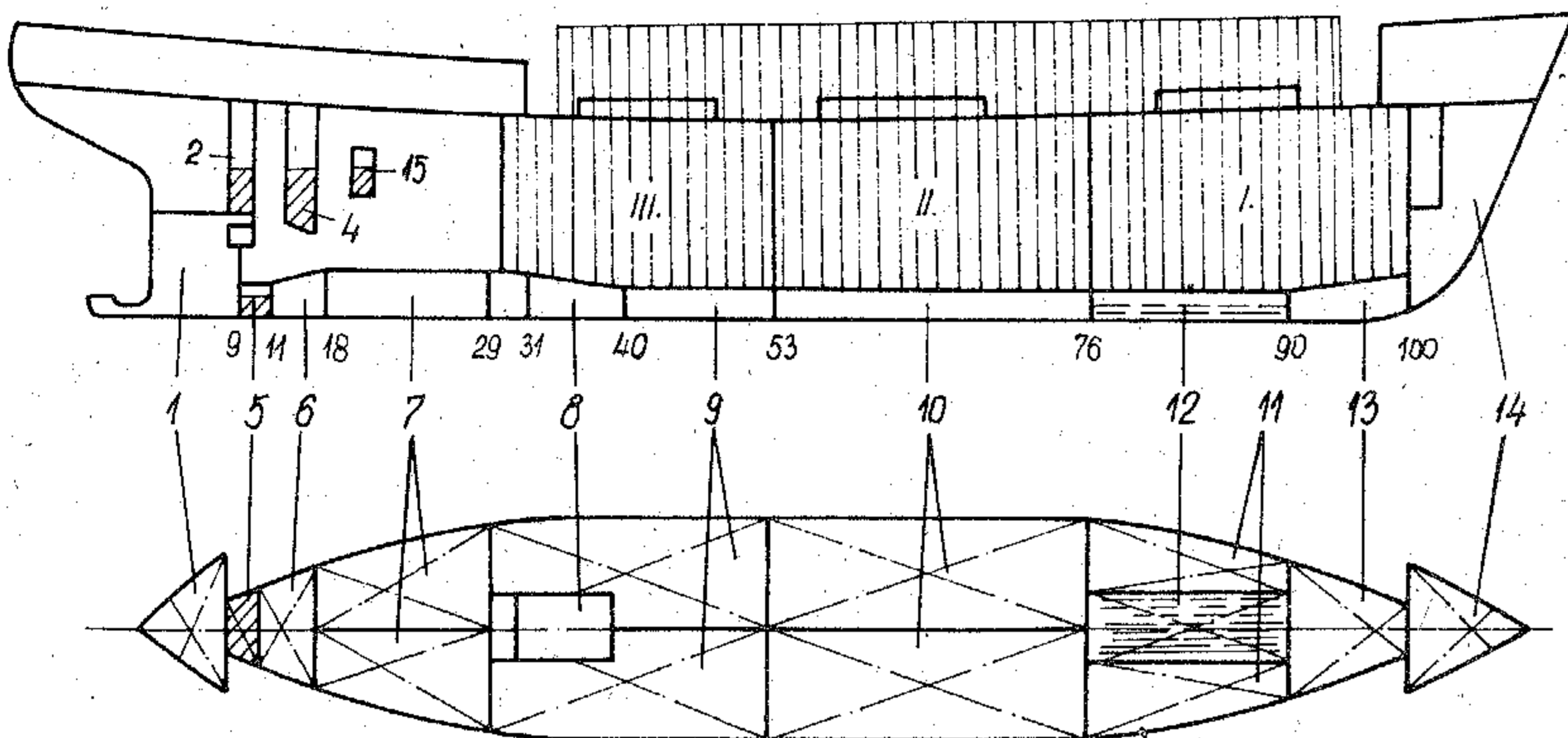
Tank száma	Tank helye	Tömeg Mg	M_z Mg.m	
10	53-75	100.40	42.2	$MG = 0,51 \text{ m}$
				$MG_{\min} = 0,40 \text{ m}$
				$T_{\text{far}} = 4,21 \text{ m}$
				$T_{\text{orr}} = 4,19 \text{ m}$
Hajó		2204.0	9567.0	
Hajó+ballaszt		2304.0	9696.0	

11.sz. melléklet

Megnevezés	Tömeg Mg	z_G m	M_z Mg.m	
Üres hajó	916.32	5.09	4665.0	
Személyzet	4.00	9.00	36.0	
Készlet	3.50	5.00	17.5	
Tiszta víz 12-ben	38.20	0.49	18.7	
Ivóvíz	12.70	4.72	59.9	$\overline{MG} = 0.35 \text{ m}$
Üzemolaj 4-ben	13.60	4.54	61.7	$\overline{MG}_{\min} = 0,37 \text{ m}$
Kenőolaj	2.55	4.55	11.6	
Üzemolaj 6-ban	10.90	0.63	6.9	
Üzemolaj 7-ben	37.20	0.62	23.1	
Üzemolaj 8-ban	14.20	0.44	6.5	
Teher a raktárakban	1000.00	3.57	3570.0	
Teher a fedélzeten	150.00	7.10	1065.0	
Szabad folyadék	-	-	115.0	
Összesen	2203.87		9657.0	



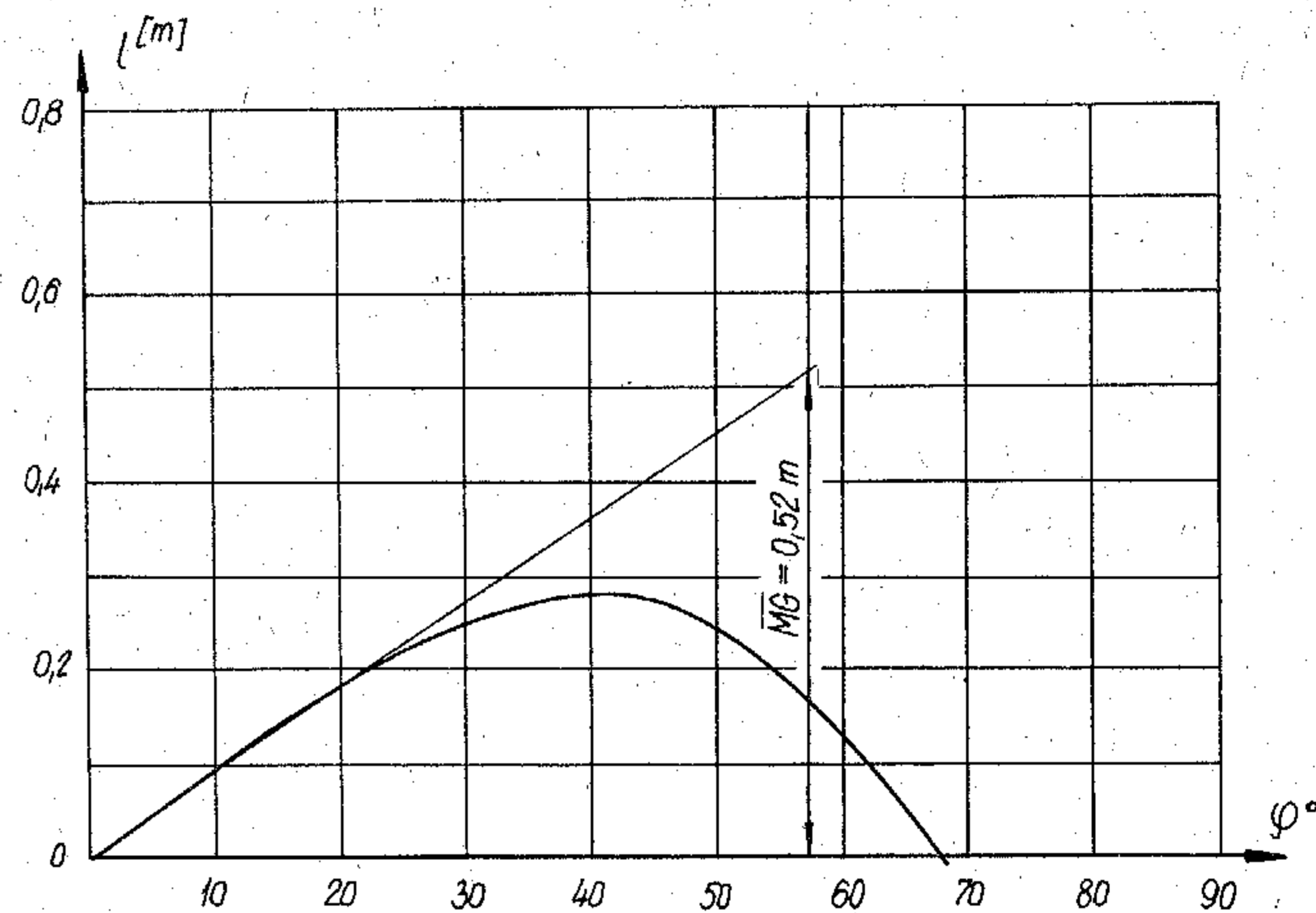
7. terhelési eset



13.sz. melléklet

Megnevezés	Tömeg Mg	z_G m	M_z Mg. m
Üres hajó	916.32	5.09	4665.0
Személyzet	4.00	9.00	36.0
Készlet	0.35	5.00	1.8
Tiszta víz 12-ben	3.82	0.10	0.4
Ivóvíz	1.27	3.75	4.8
Üzemolaj 4-ben	7.66	3.90	29.9
Kenőolaj	0.26	4.05	1.0
Használt kenőolaj	1.00	0.30	0.3
Teher a fedélzeten	120.00	6.80	816.0
Szabad folyadék	-	-	79.0
Összesen	1054.68		5634.0

$\overline{MG} = 0,30 \text{ m}$
 $\overline{MG}_{\min} = 1,50 \text{ m}$



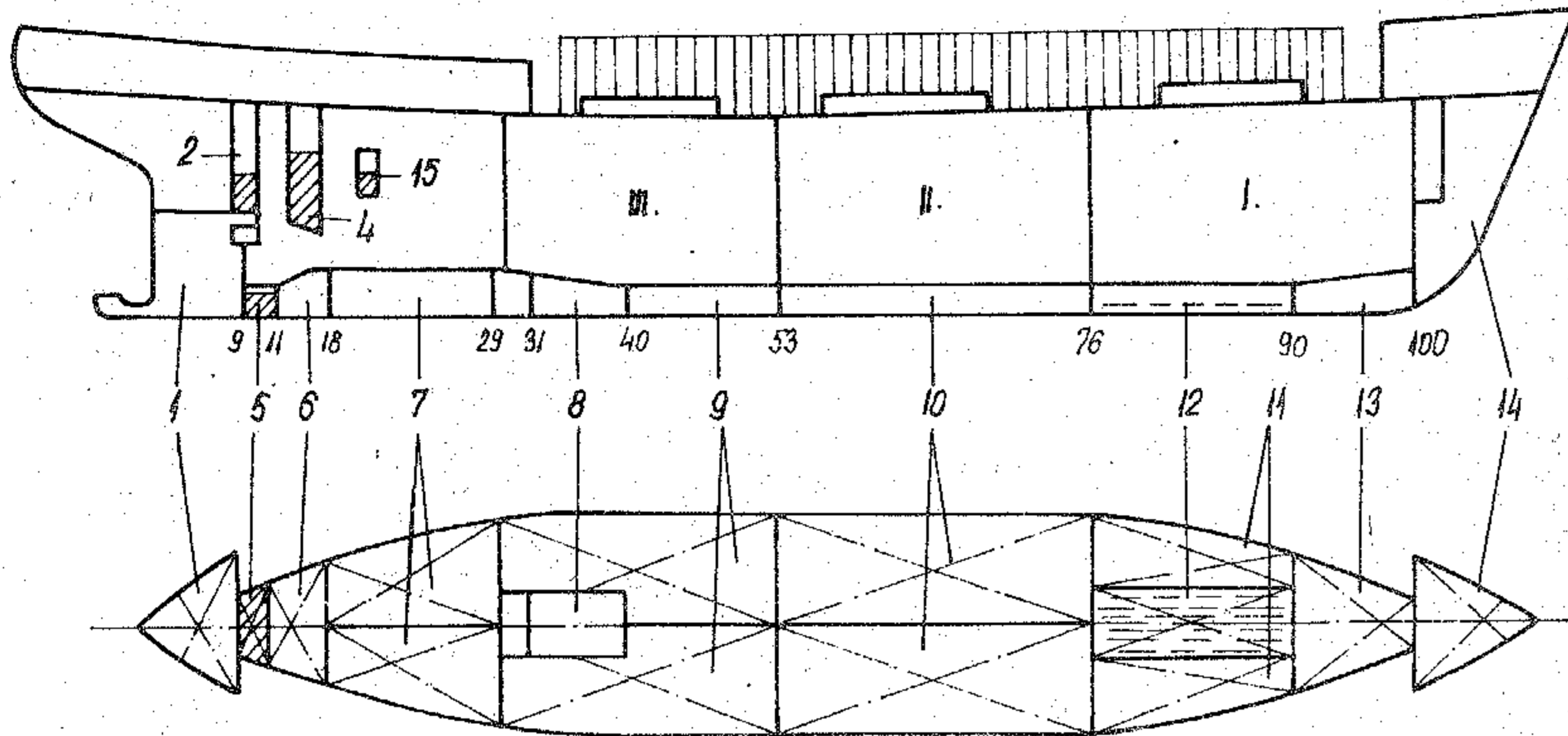
7. terhelési eset

14.sz. melléklet

Tank száma	Tank helye	Tömeg Mg	M_z mg. M
9	29-53	84.80	37.3
10	53-75	100.40	42.2
Hajó		2084.70	9435.0
Hajó + ballaszt		2270.00	9533

$\overline{MG} = 0,52 \text{ m}$
 $\overline{MG}_{\min} = 0,39 \text{ m}$
 $T_{\text{far}} = 4,23 \text{ m}$
 $T_{\text{orr}} = 4,03 \text{ m}$

8. terhelési eset



15.sz. melléklet

Megnevezés	Tömeg Mg	z_G m	M_z Mg.m
Üres hajó	916.32	5.09	4665.0
Személyzet	4.00	9.00	36.0
Készlet	0.35	5.00	1.8
Tiszta víz	3.82	0.10	0.4
Ivóvíz	1.27	3.75	4.8
Üzemolaj 4-ben	7.66	3.90	29.9
Kenőolaj	0.26	4.05	1.0
Használt kenőolaj	1.00	0.30	0.3
Teher a raktárakban	1000.00	3.57	3570.0
Teher a fedélzeten	150.00	7.10	1065.0
Szabad folyadék	-	-	79.0
Összesen	2084.68		9453.0

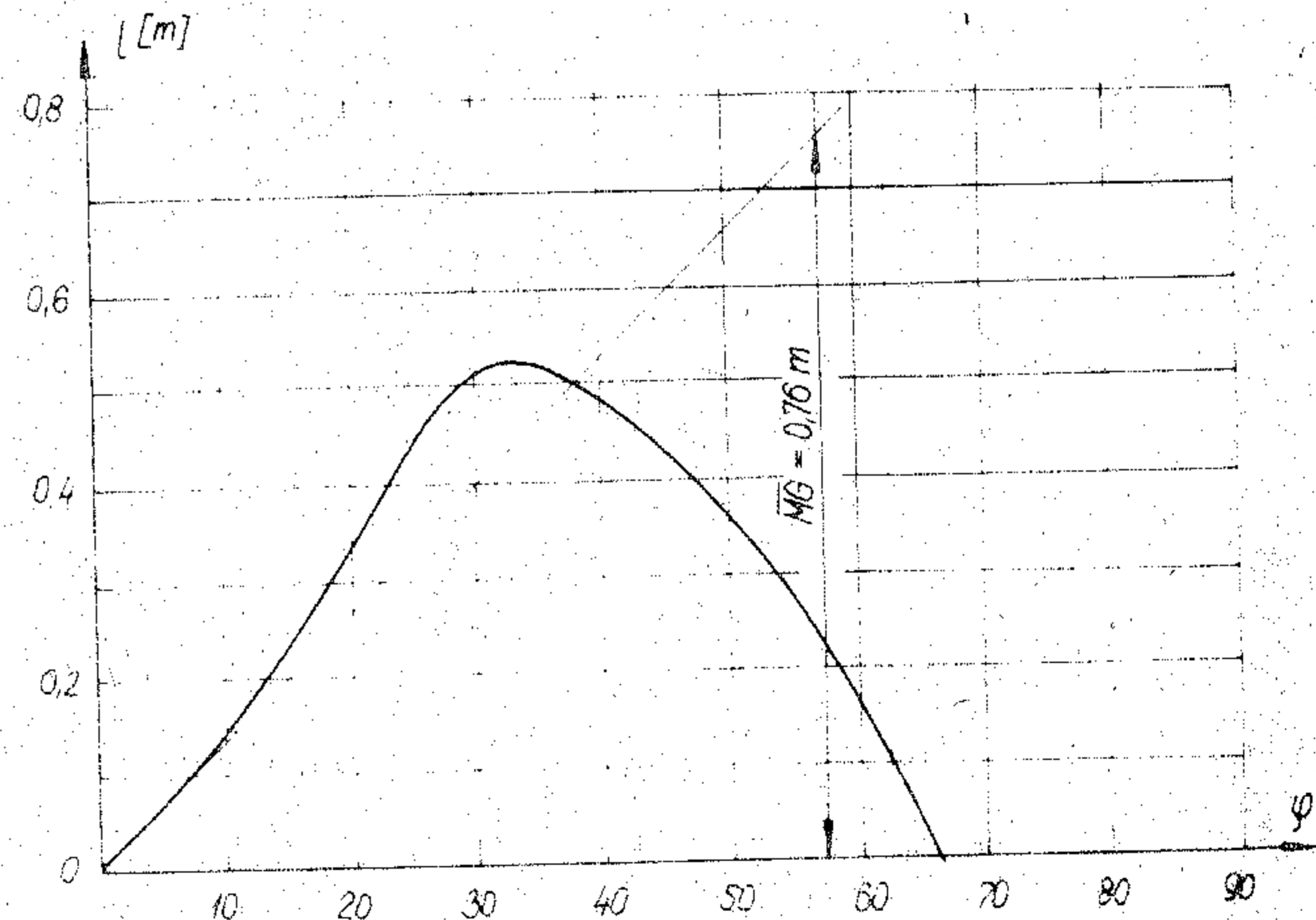
$\overline{MG} = 0.13 \text{ m}$
 $\overline{MG}_{\min} = 0.36 \text{ m}$

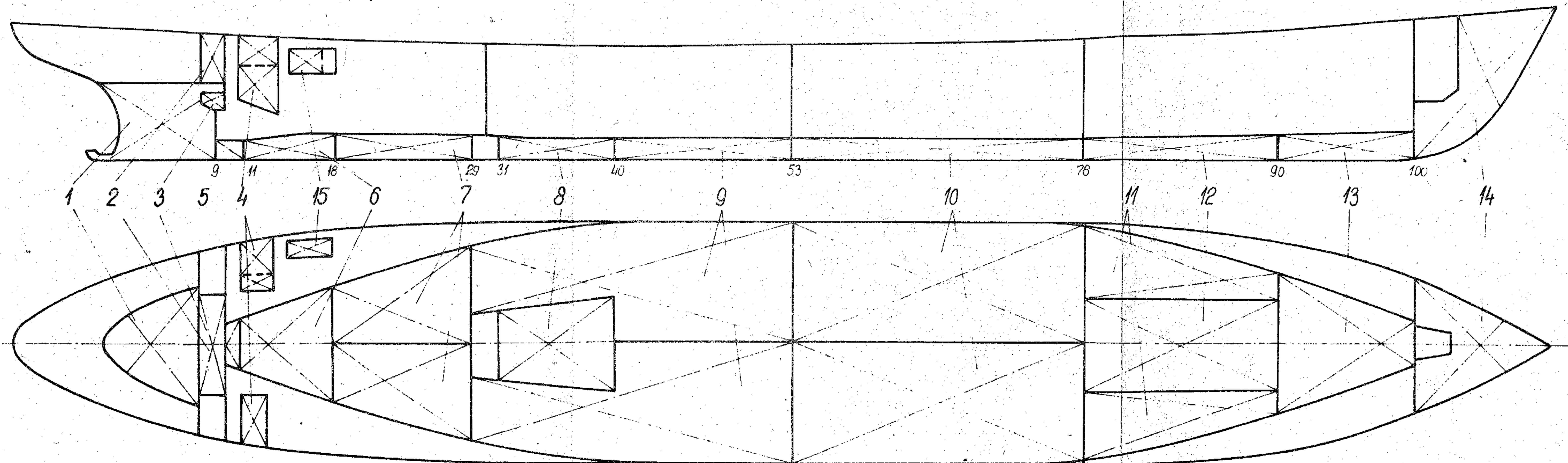
8 terhelési eset

16.sz. melléklet

Tank száma	Tank helye	Tömeg Mg	M_z Mg.m
14	100-	66.50	297.3
13	90-100	26.30	19.2
11	75-90	26.60	16.0
10	53-75	100.40	42.2
9	29-53	84.80	37.3
Hajó		1055.0	5634.0
Hajó + ballaszt		1359.0	6046.0

$\overline{MG} = 0.76 \text{ m}$
 $\overline{MG}_{\min} = 0.71 \text{ m}$
 $T_{\text{far}} = 3.28 \text{ m}$
 $T_{\text{orr}} = 2.04 \text{ m}$



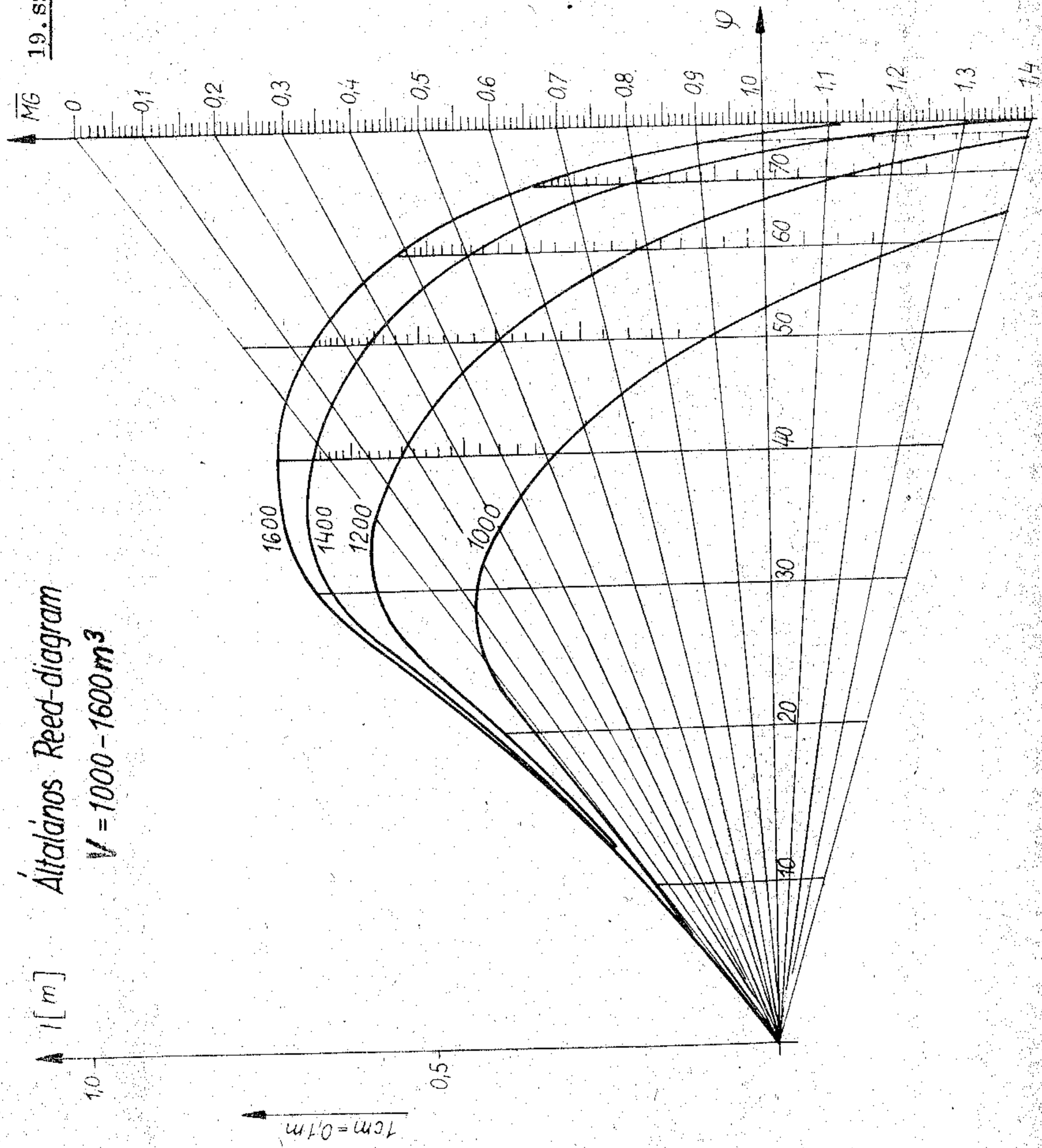


18.sz. melléklet

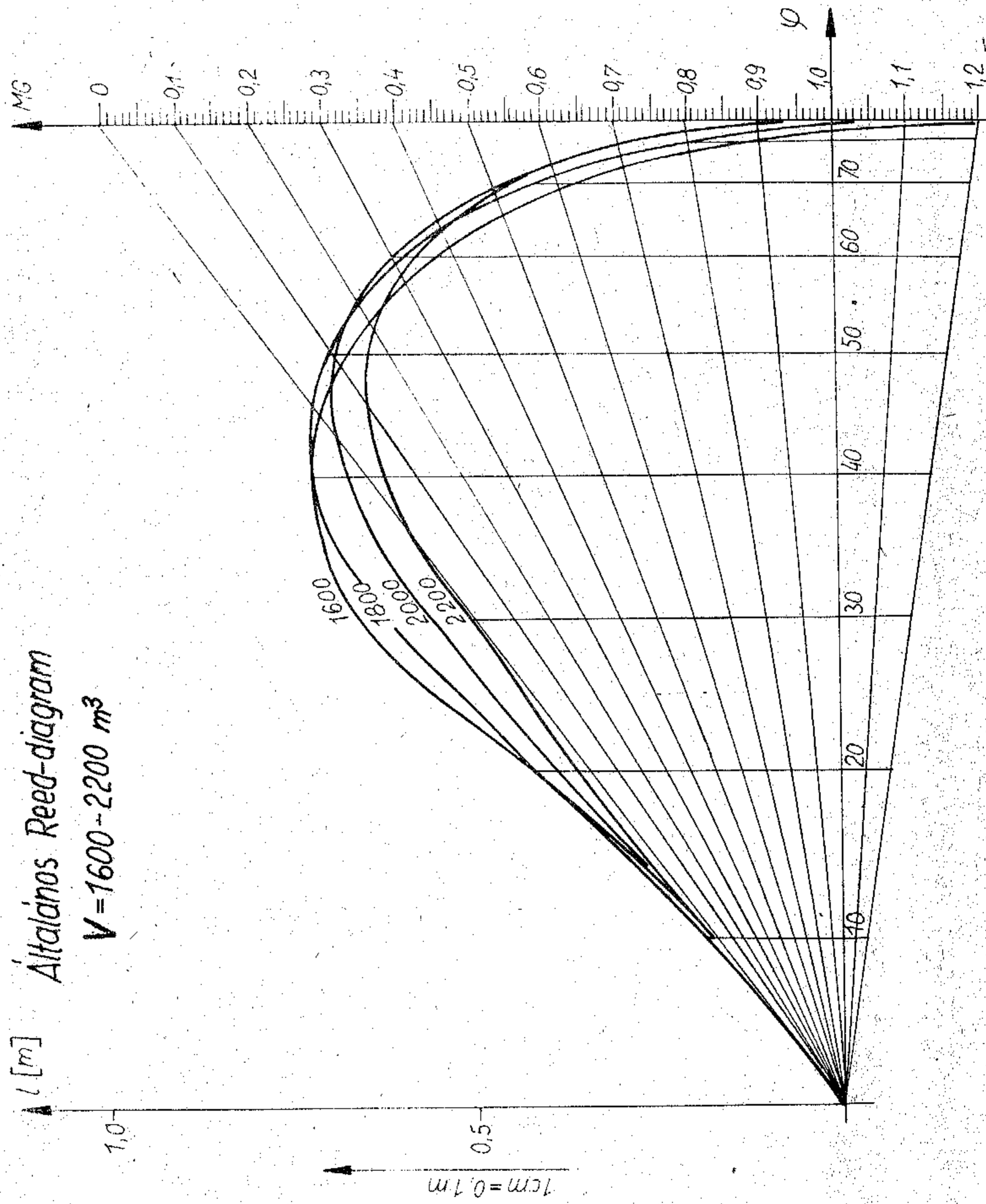
Tankok táblázata

Sor-szám	Tank	Oldal	Borda-szám	Térfogat [m ³]	Tömeg Mg	Súlypont a főbordától m	Súlypont az alaponál felel m	Nyomaték a főbordára Mg.m	Σ f J Mg . m	
1	Édes víz		0-10	22.2	22.2	-29.39	2.46	54.61	7	
2			8-10	12.7	12.7	-28.10	4.72	59.94	9	
12			75-90	38.2	38.2	17.67	0.49	18.72	66	
9	Ballaszt	Bal	29-53	41.4	42.4	- 6.89	0.44	18.65	119	
9		Jobb	29-53	41.4	42.4	- 6.89	0.44	18.65	119	
10		Bal	53-75	49.0	50.2	6.00	0.42	21.08	166	
10		Jobb	53-75	49.0	50.2	6.00	0.42	21.08	166	
11		Bal	75-90	13.0	13.3	16.85	0.60	7.98	6	
11		Jobb	75-90	13.0	13.3	16.85	0.60	7.98	6	
13			90-100	25.7	26.3	24.54	0.73	19.20	43	
14			100-	64.9	66.5	30.54	4.47	297.34	15	
4	Üzem olaj	Bal	11-14	9.1	7.6	-25.80	4.54	34.50	1	
4		Jobb	11-13	7.2	6.0	-26.20	4.54	27.24	1	
6			11-18	13.0	10.9	-24.52	0.63	6.86	12	
7		Bal	18-29	22.2	18.6	-18.81	0.62	11.53	18	
7		Jobb	18-29	22.2	18.6	-18.81	0.62	11.53	18	
8			31-40	17.7	14.9	-11.60	0.44	6.55	29	
5		Kenő olaj		9-11	2.0	-	-27.50	0.50	-	1
15				14-18	3.0	2.55	-23.78	4.55	11.60	1
3	Fekálta		8-10	2.15	2.15	-28.20	2.70	-	-	
	Σ								797	

Általános Reed-diagram
 $V = 1000 - 1600 \text{ m}^3$



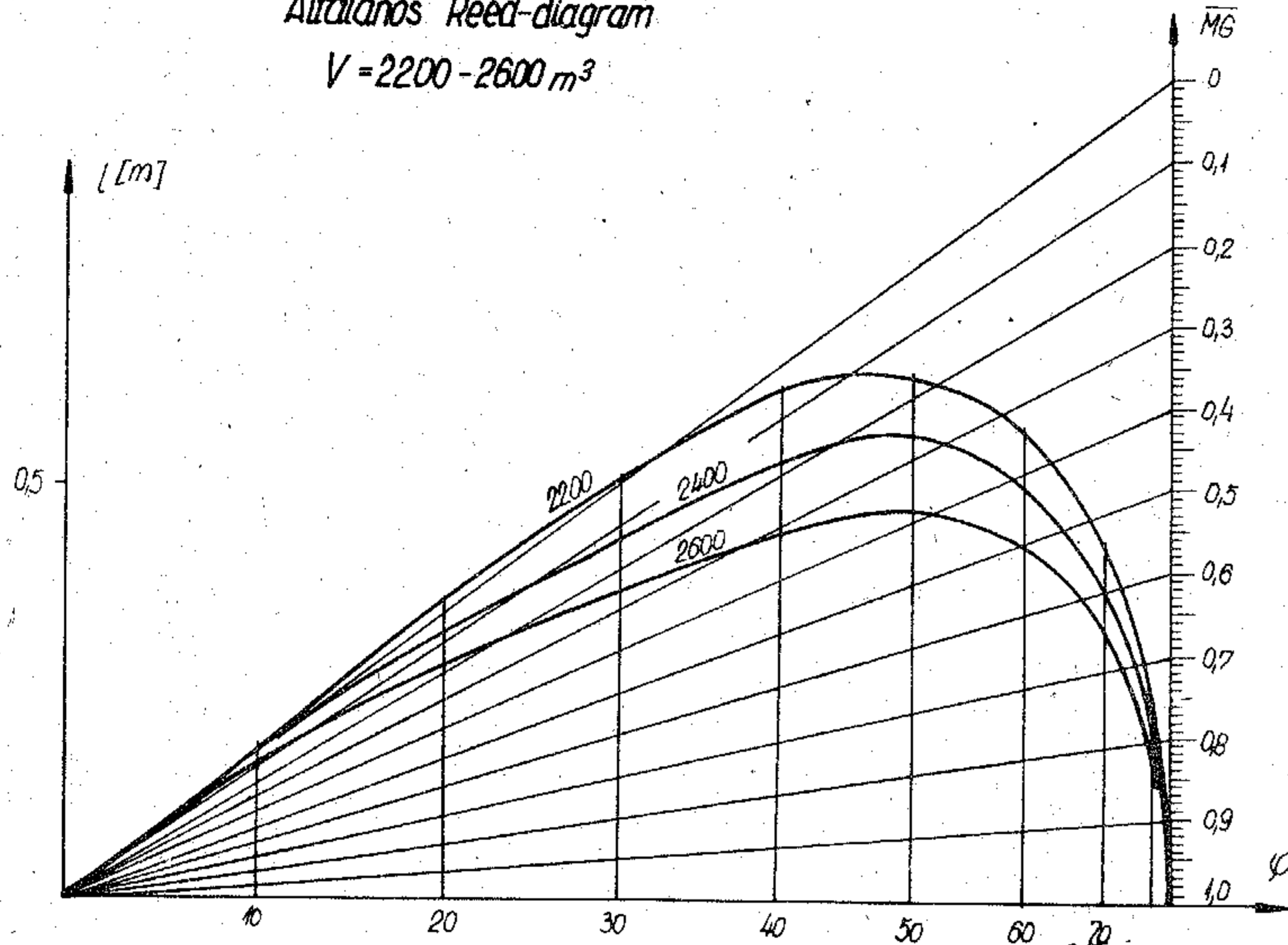
Általános Reed-diagram
 $V = 1600 - 2200 \text{ m}^3$



21.sz. melléklet

Általános Reed-diagram

$V = 2200 - 2600 \text{ m}^3$

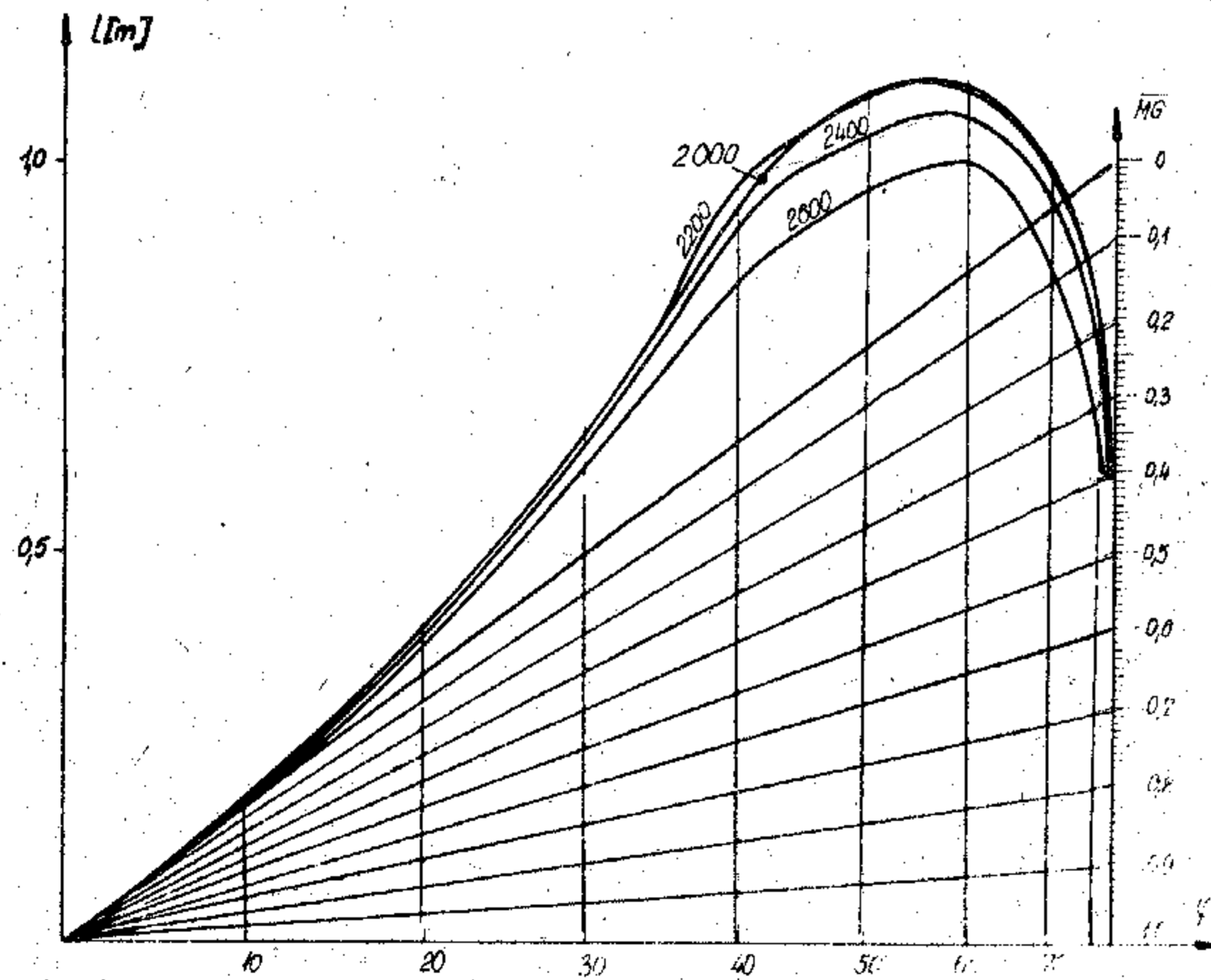


22.sz. melléklet

Általános Reed-diagram

fedélzeti farakomány

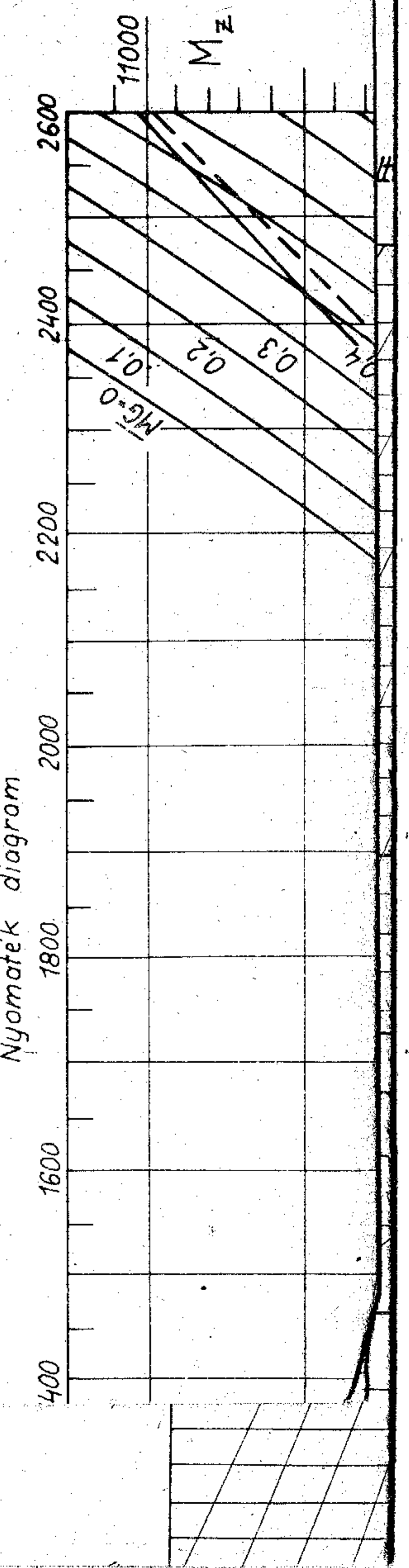
$V = 2000 - 2600 \text{ m}^3$



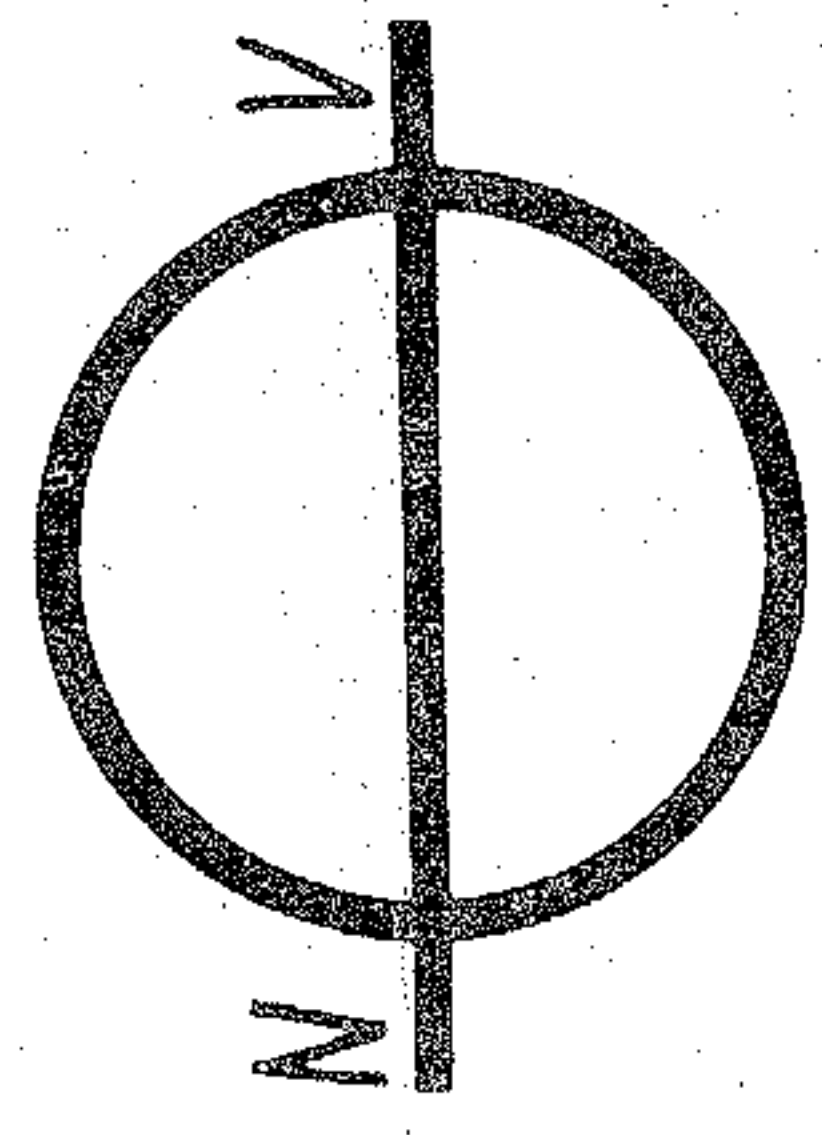
nyoi



Nyomatek diagram



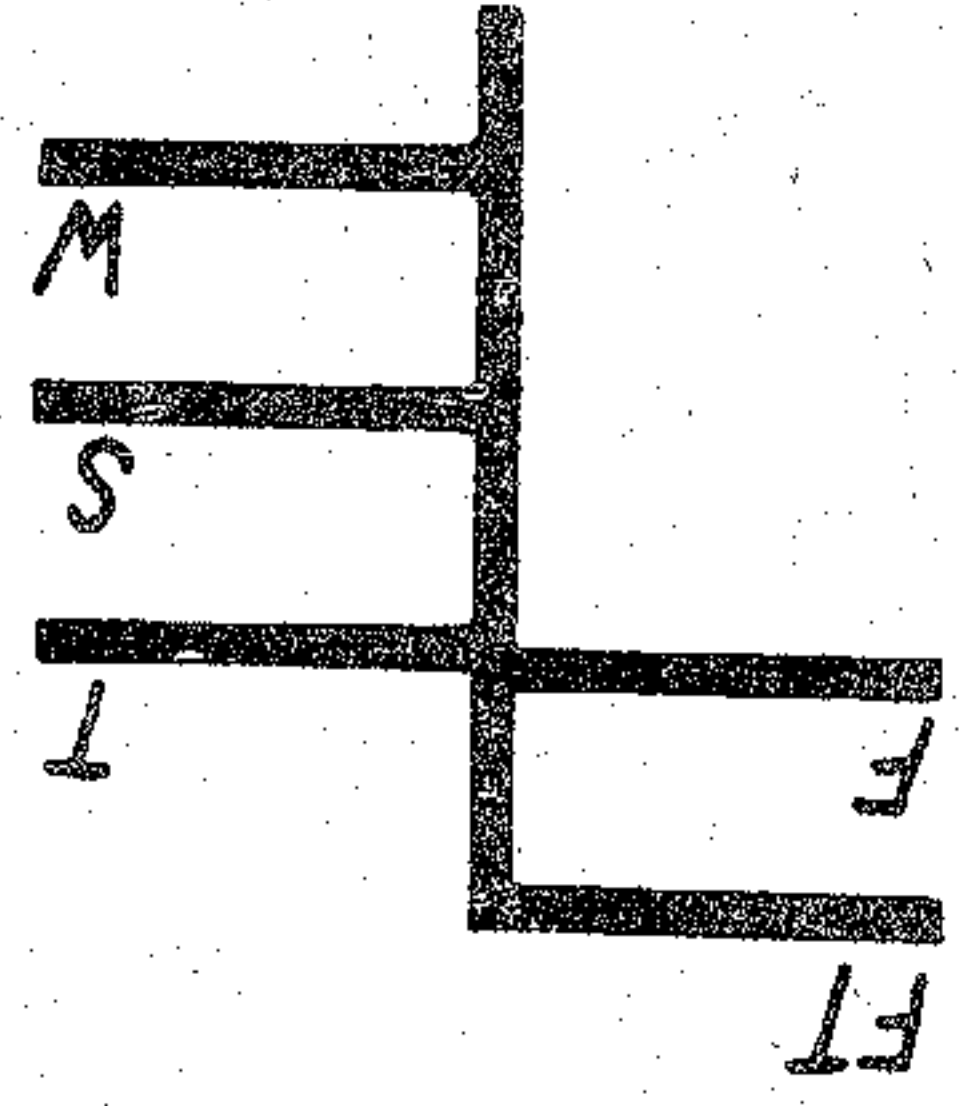
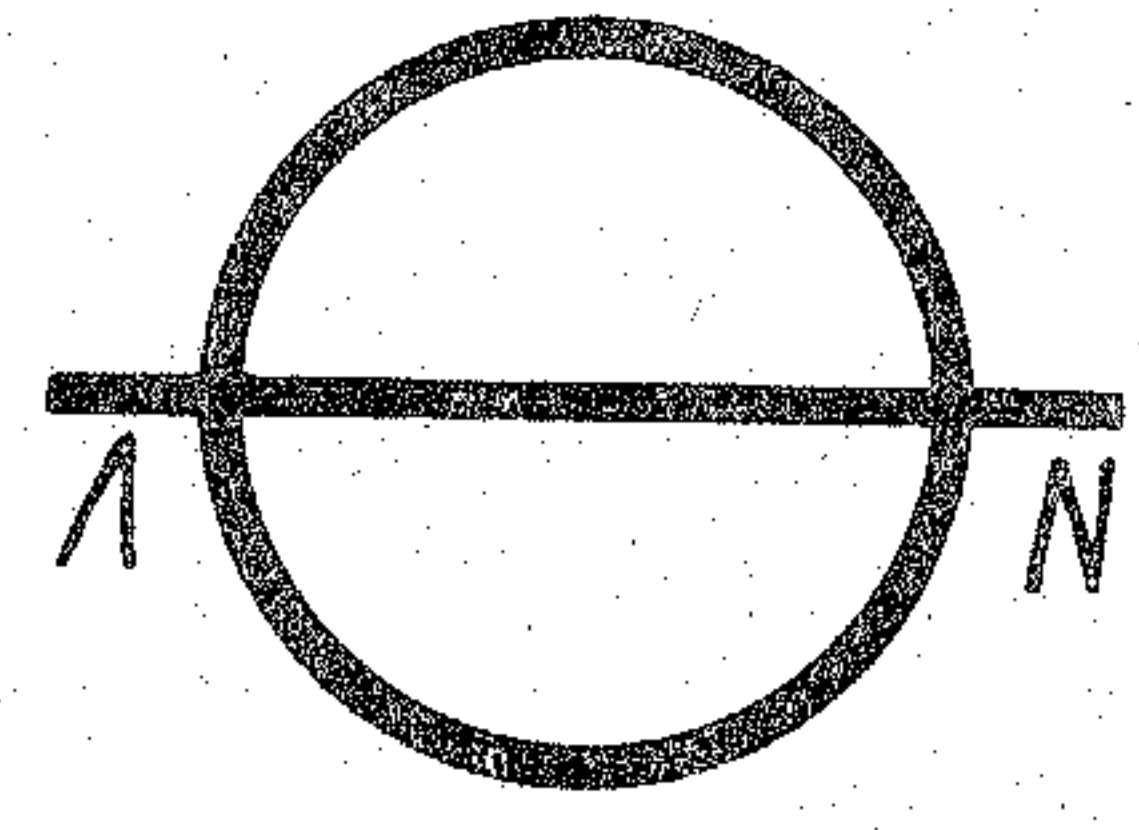
FT
F

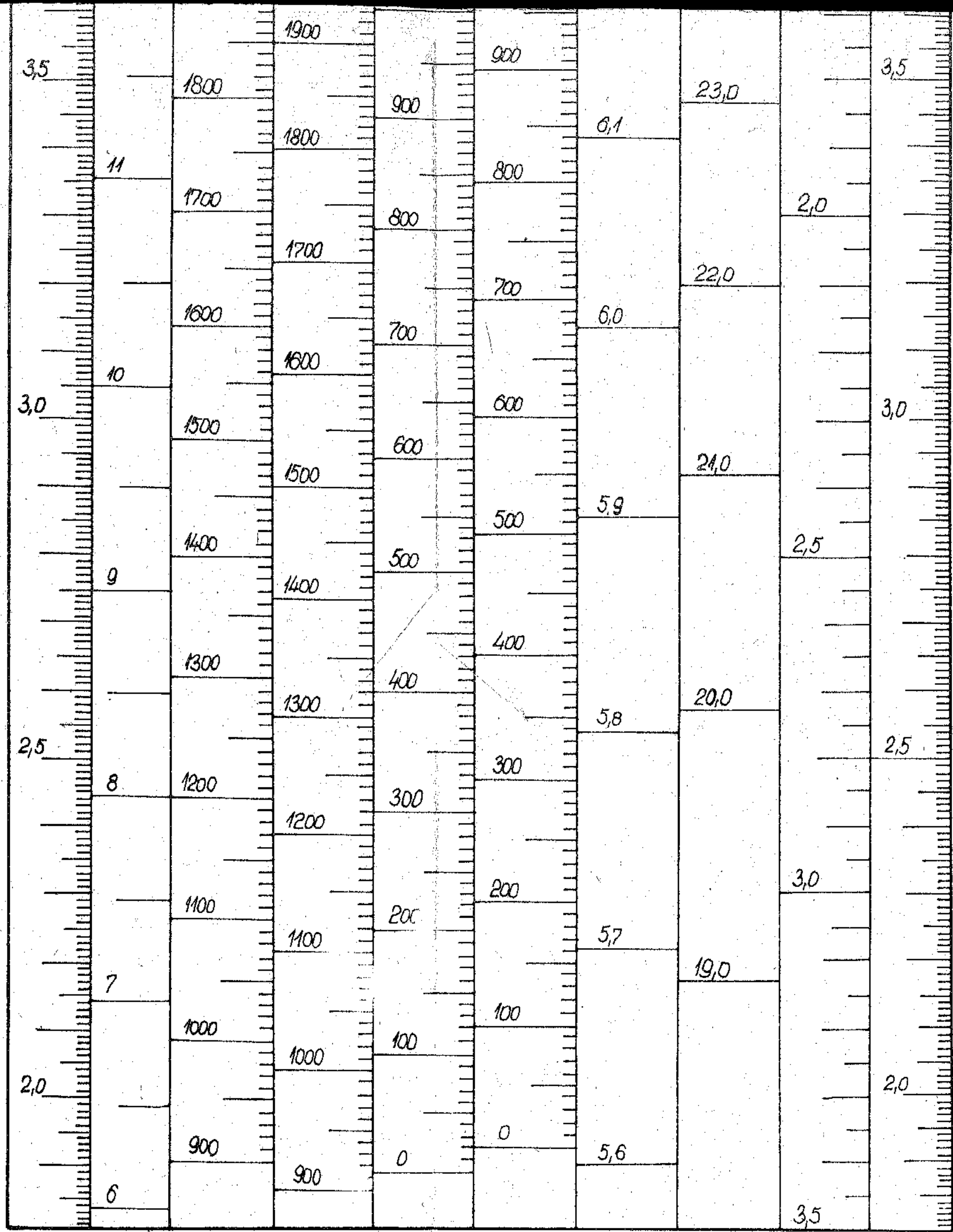


Mertu	Mertu	lab	Edes. viz	Tenger viz	Edes viz	Tenger viz	(1016 kg-ban)	1cm lest	1cm tert	Mg/cm	Mg/cm	m	Szo	m
50	15	2800	2800	2800	1600	1600	1600	290	290	28,0	28,0	50	20	50
4,5	14	2700	2700	2700	1500	1500	1500	0,5	0,5	27,0	27,0	4,5	10	4,5
4,0	13	2600	2600	2600	1400	1400	1400	0,4	0,4	26,0	26,0	4,0	15	4,0
3,5	12	2500	2500	2500	1300	1300	1300	6,3	6,3	25,0	25,0	3,5	2,0	3,5
3,0	11	2400	2400	2400	1200	1200	1200	6,2	6,2	24,0	24,0	3,0	2,5	3,0
2,5	10	2300	2300	2300	1100	1100	1100	6,1	6,1	23,0	23,0	2,5	3,0	2,5
2,0	9	2200	2200	2200	1000	1000	1000	5,9	5,9	22,0	22,0	2,0	3,0	2,0
2,0	8	2100	2100	2100	900	900	900	5,8	5,8	21,0	21,0	2,0	3,0	2,0
2,0	7	2000	2000	2000	800	800	800	5,7	5,7	20,0	20,0	2,0	3,0	2,0
2,0	6	1900	1900	1900	700	700	700	5,6	5,6	19,0	19,0	2,0	3,0	2,0

Terhelési skála

Merülés	m	lab	Edes víz	Tenger víz	Edes víz	Tenger víz	Mg/cm	Mg/cm	Mg/cm	m
Merülés	42		1900							
	43		2000							
	44		2100							
	45		2200							
	46		2300							
	47		2400							
	48		2500							
	49		2600							
	50		2700							
			2800							
			2900							
			3000							
			3100							
			3200							
			3300							
			3400							
			3500							
			3600							
			3700							
			3800							
			3900							
			4000							
			4100							
			4200							
			4300							
			4400							
			4500							
			4600							
			4700							
			4800							
			4900							
			5000							
			5100							
			5200							
			5300							
			5400							
			5500							
			5600							
			5700							
			5800							
			5900							
			6000							
			6100							
			6200							
			6300							
			6400							
			6500							
			6600							
			6700							
			6800							
			6900							
			7000							
			7100							
			7200							
			7300							
			7400							
			7500							
			7600							
			7700							
			7800							
			7900							
			8000							
			8100							
			8200							
			8300							
			8400							
			8500							
			8600							
			8700							
			8800							
			8900							
			9000							
			9100							
			9200							
			9300							
			9400							
			9500							
			9600							
			9700							
			9800							
			9900							
			10000							

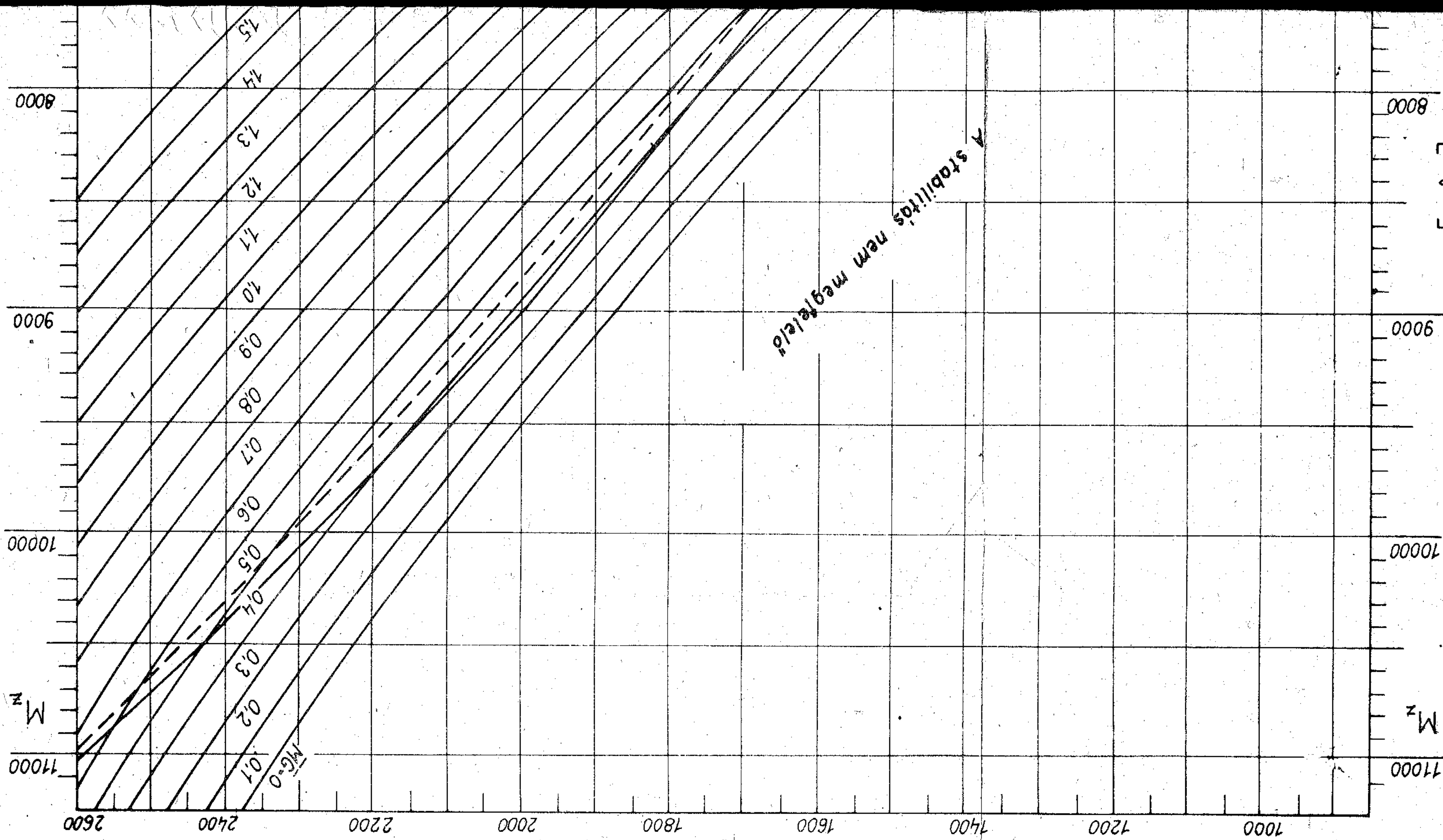




nyomaték [Mg·m]

8000
9000
10000
11000

M_z

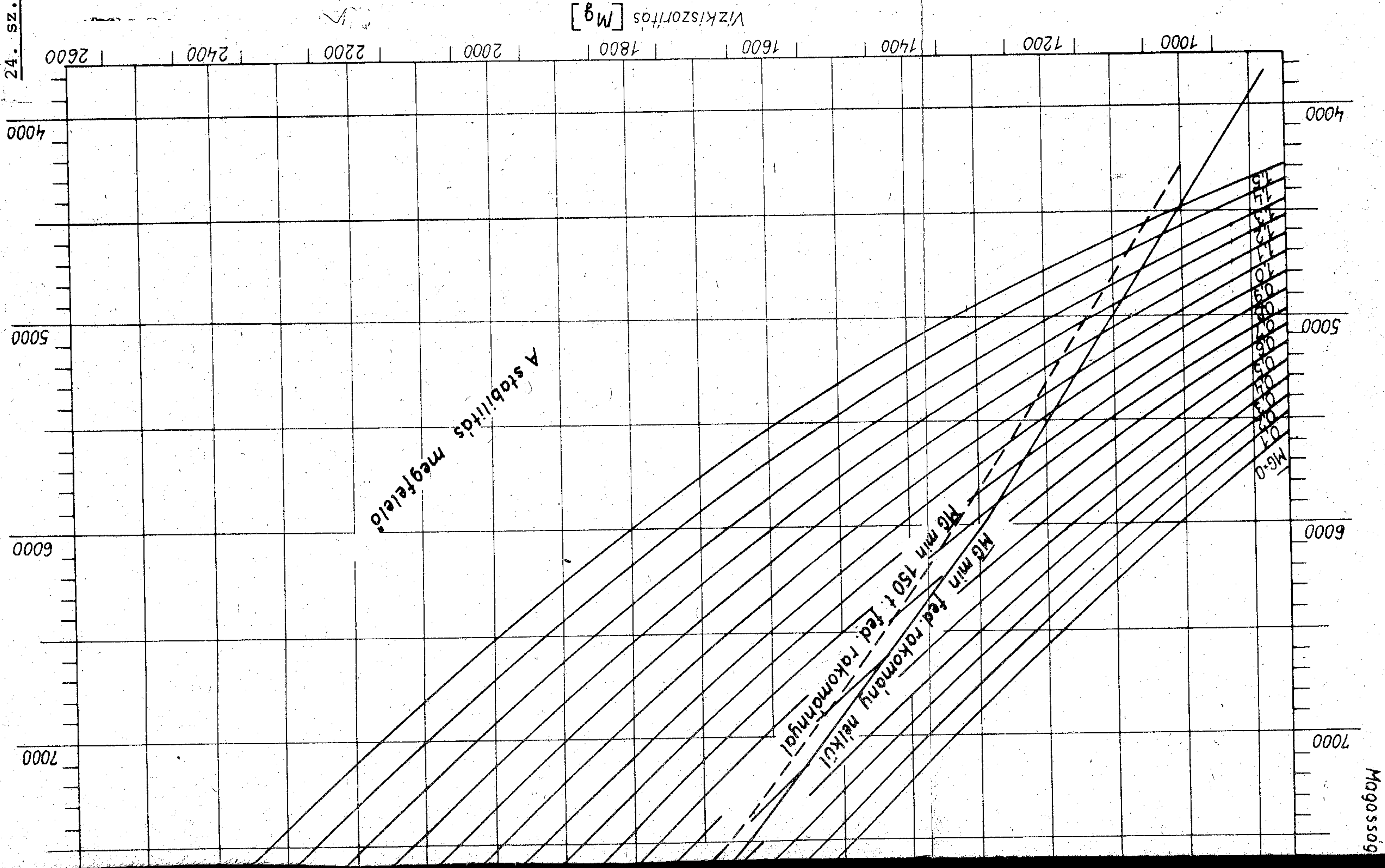


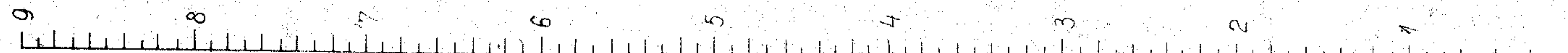
A stabilitás nem megfelelő

Nyomaték diagram

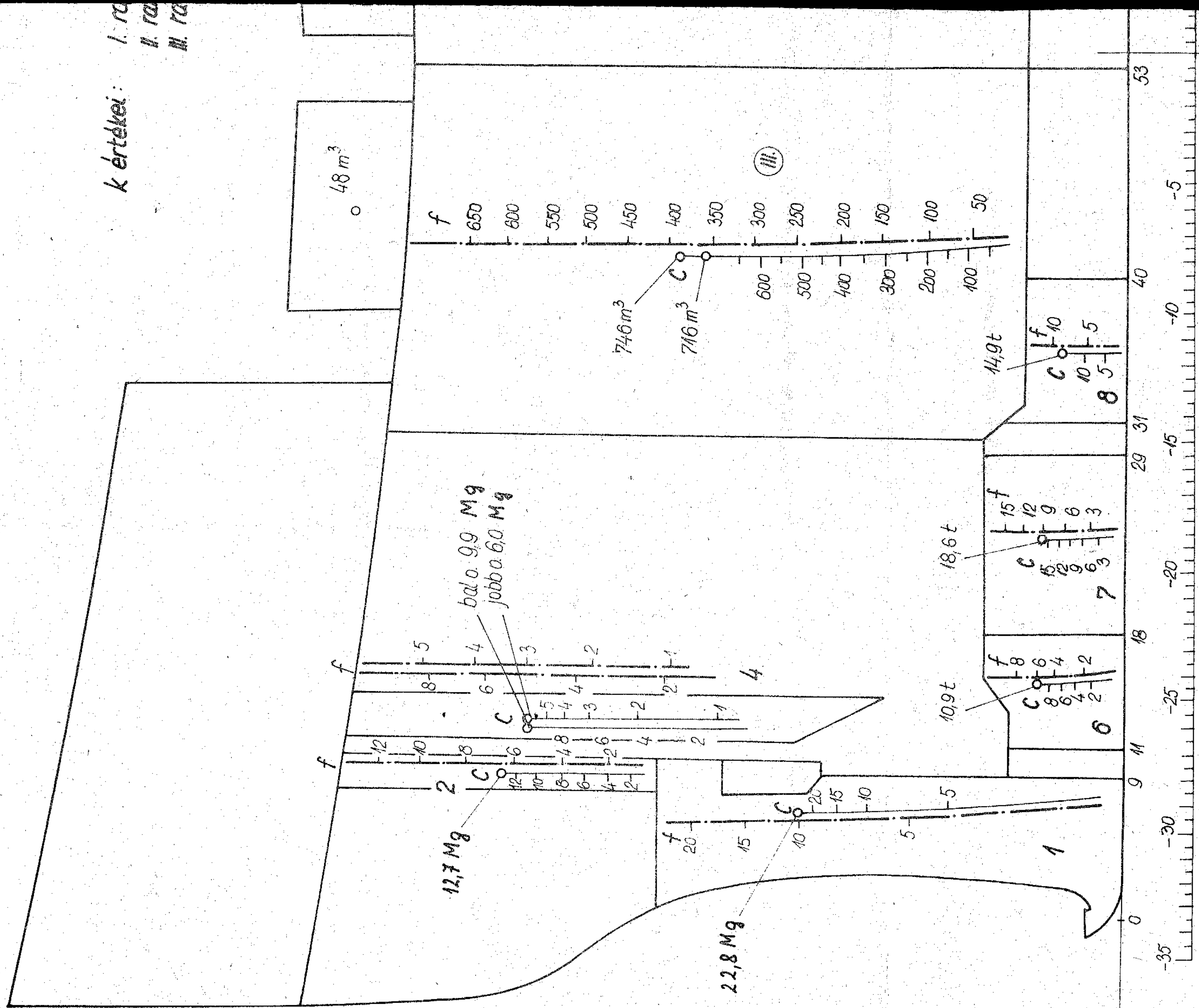
M_z

11000
10000
9000
8000



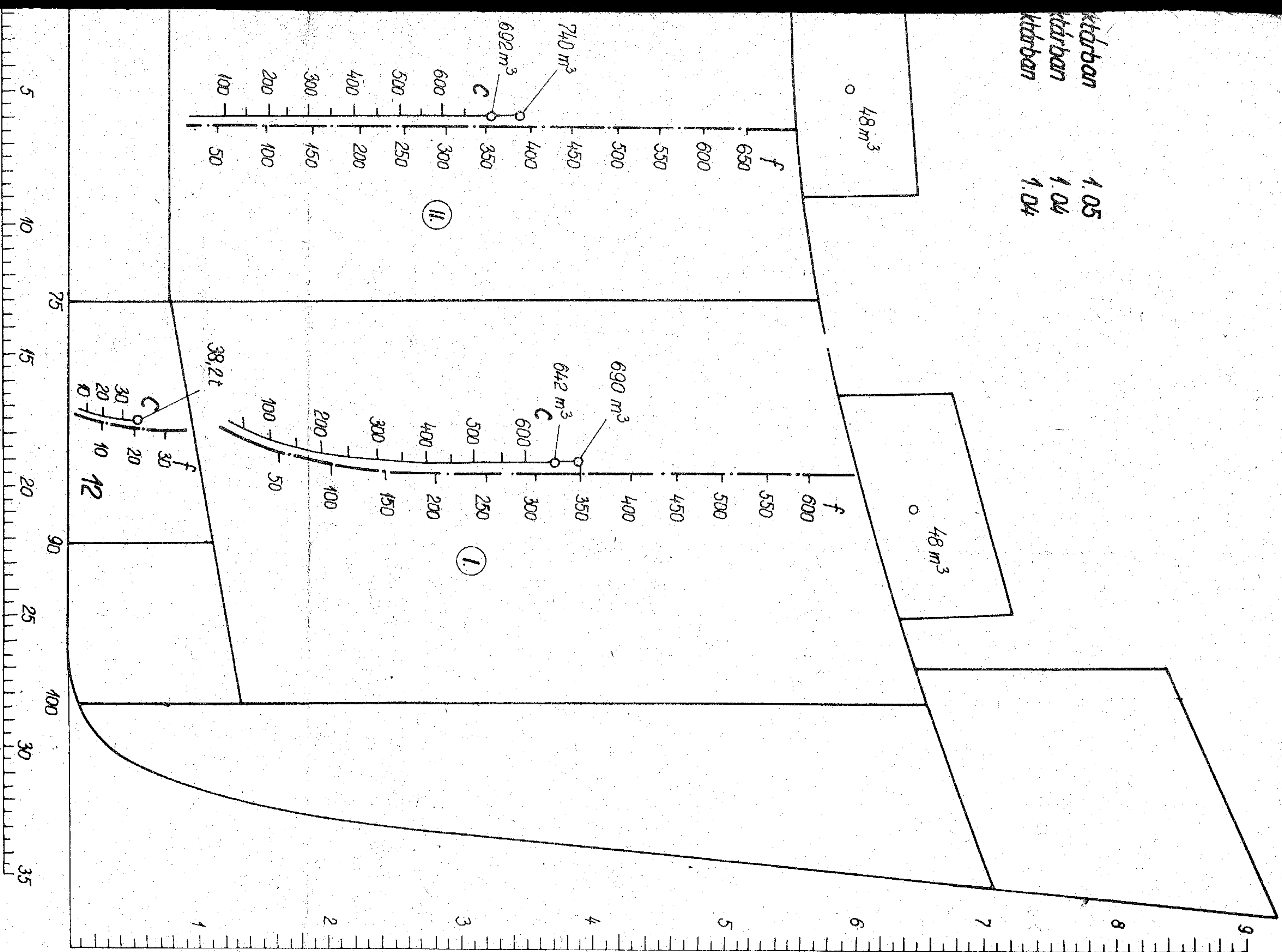


k értékei: I. ra.
II. ra.
III. ra.



méter

A hajó tereinek térfogata (V) és sú-
A berakható ömlesztett rakomány té-

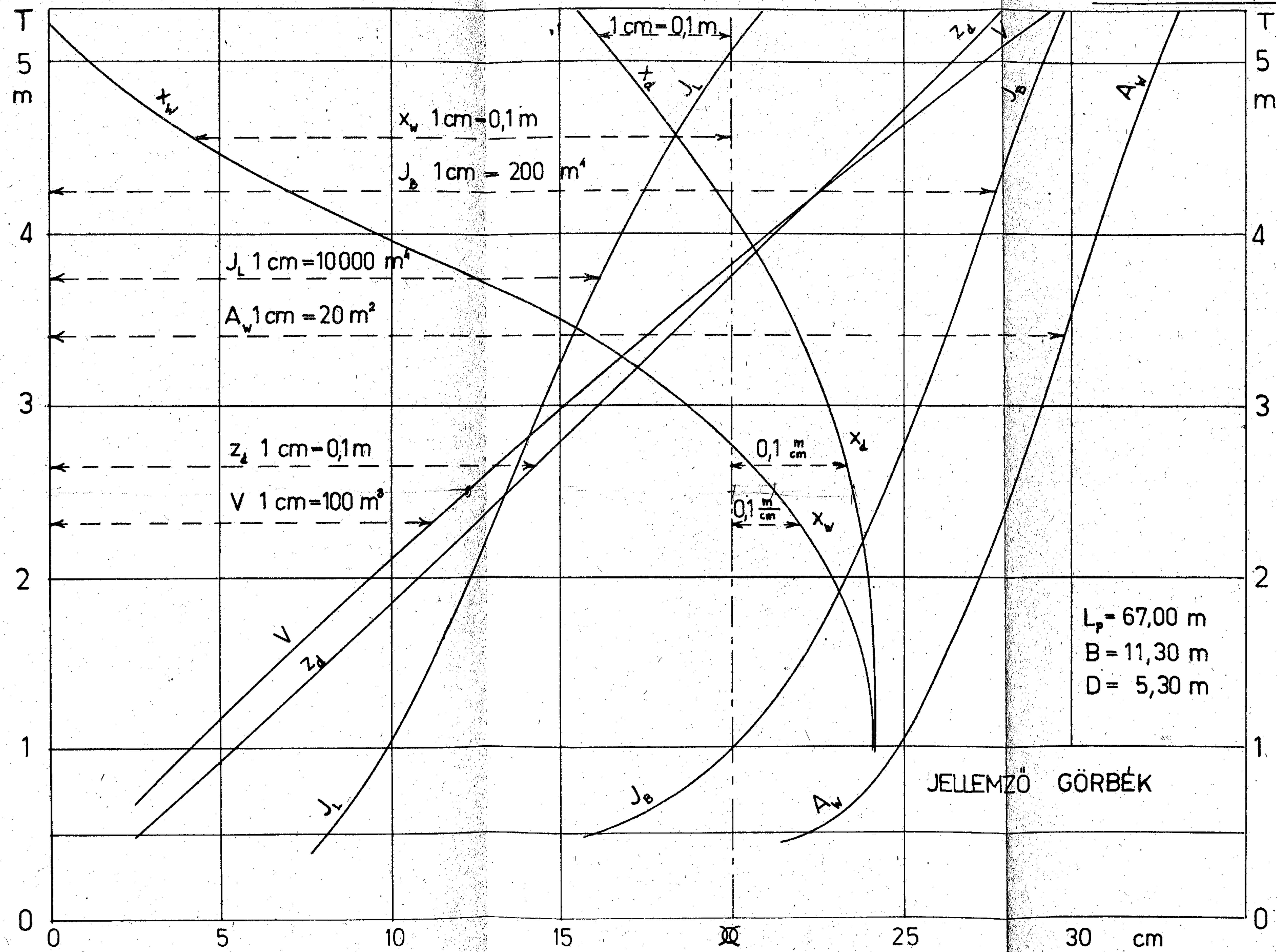


kőbarban 1.05
 kőbarban 1.04
 kőbarban 1.04

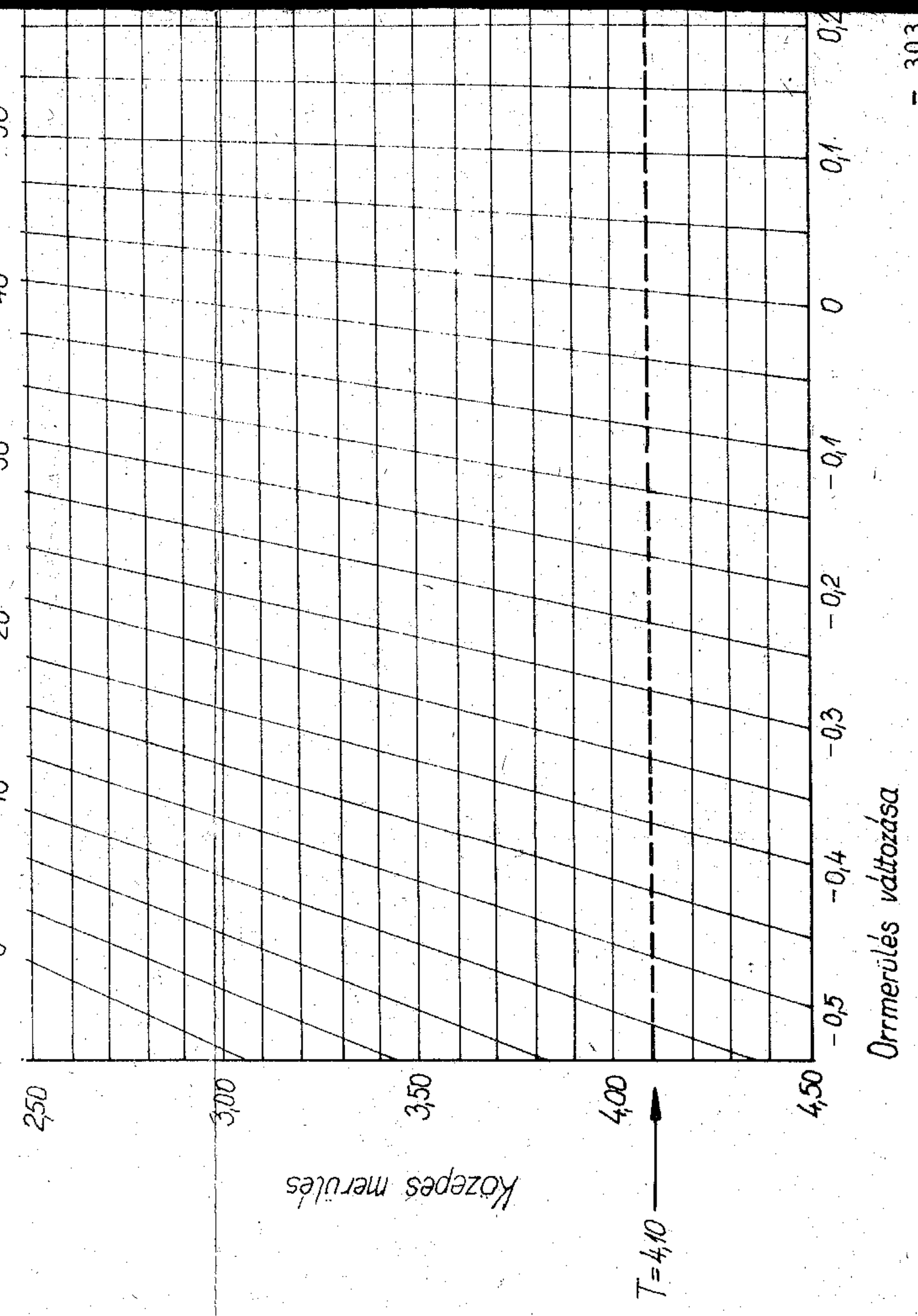
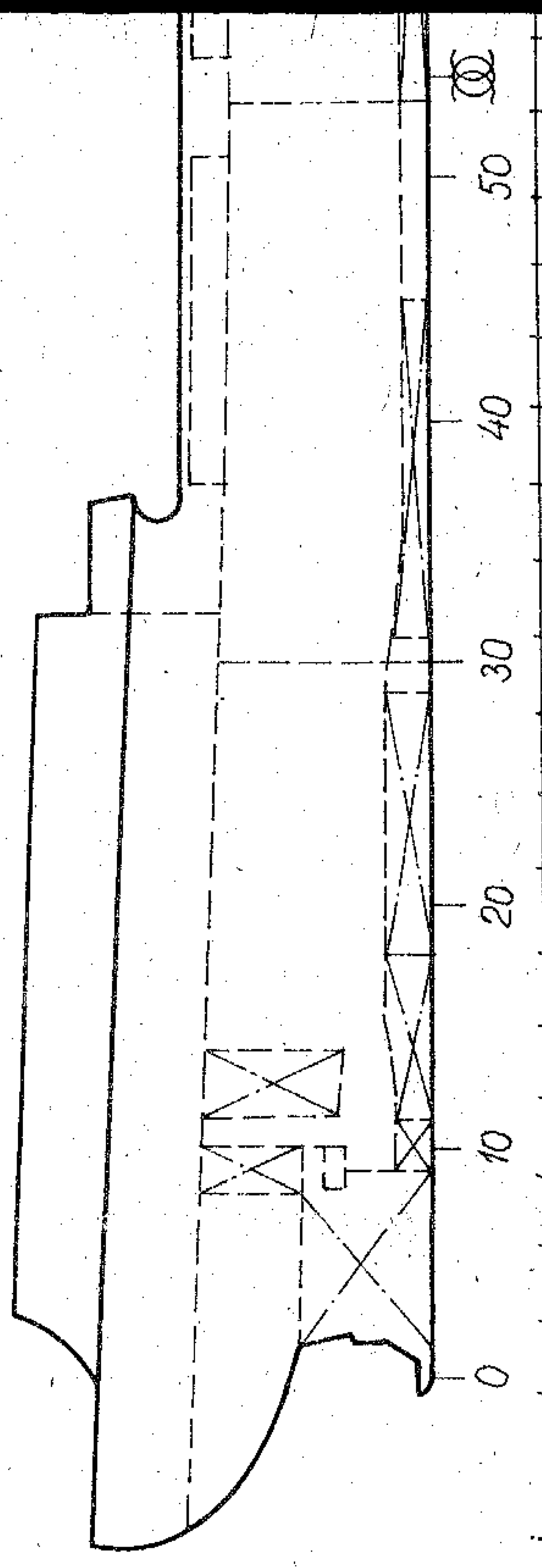
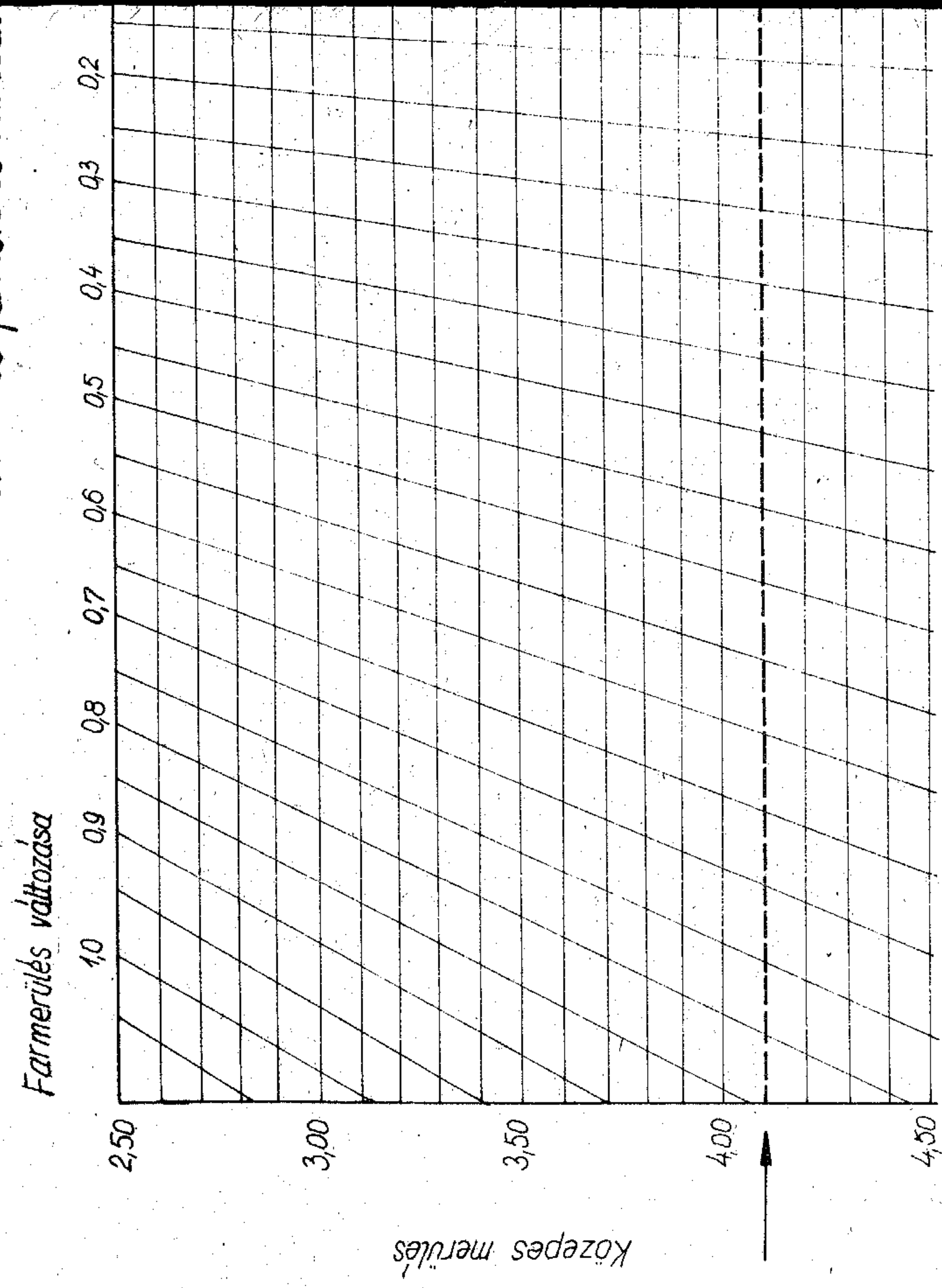
éteri

nyújtásnak helye

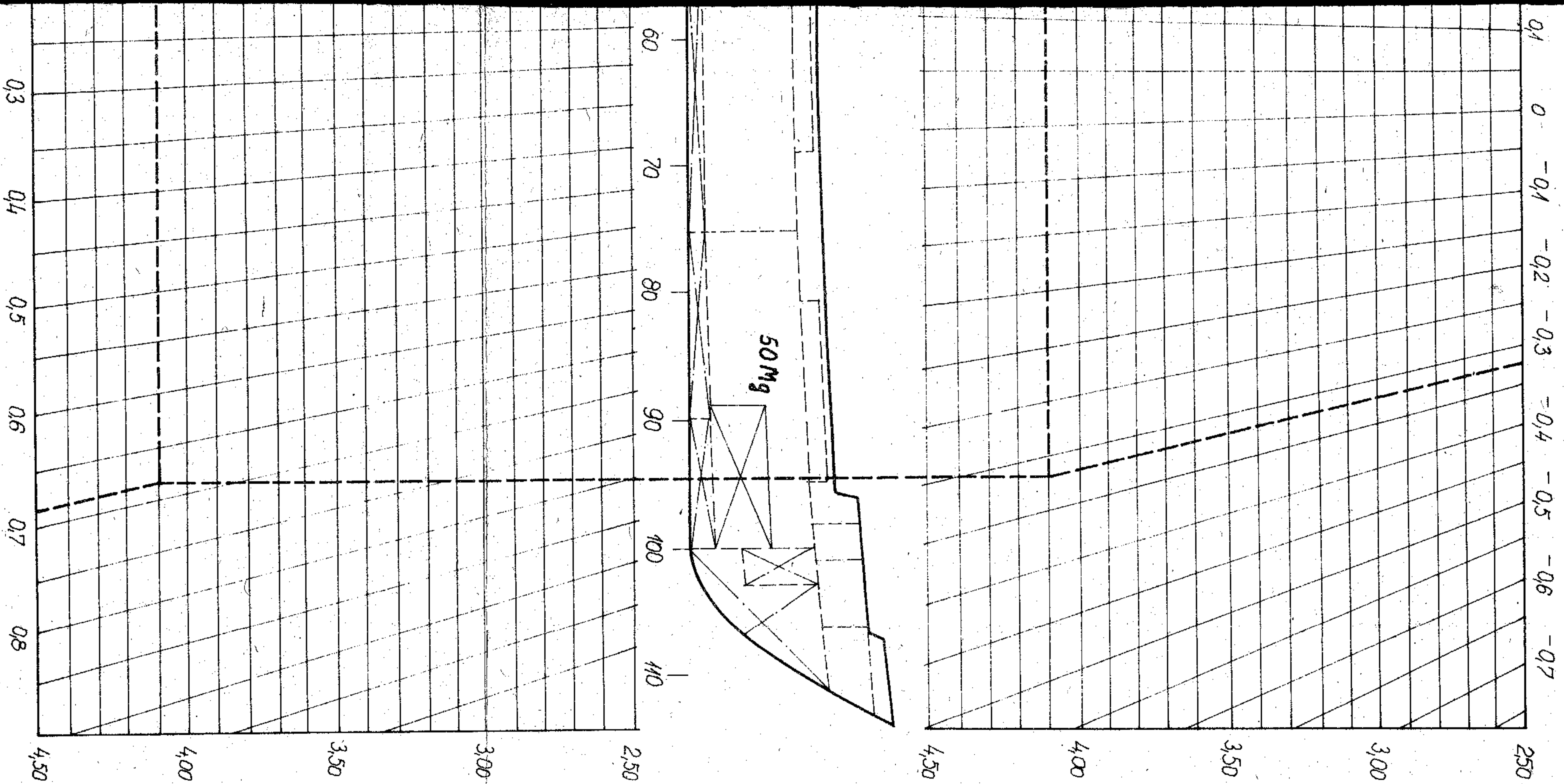
rfogata: $V_0 = k \cdot V$



Orr- és farmerülés változása



100 Mg teher hatásvára



Példa:

Merülések rakodás előtt

$$T_{\text{par}} = 4,40 \text{ m}$$

$$T_{\text{orr}} = 3,80 \text{ m}$$

$$\bar{T}_x = 4,10 \text{ m}$$

50 Mg rakomány

merülés változás hátul:

$$-0,32 \cdot \frac{50}{100} = -0,16 \text{ m}$$

merülés változás elöl:

$$+0,68 \cdot \frac{50}{100} = +0,34 \text{ m}$$

$$T_{\text{par}} = 4,40 - 0,16 = 4,24 \text{ m}$$

$$T_{\text{orr}} = 3,80 + 0,34 = 4,14 \text{ m}$$