

2.3.2.2.2 Hosszirányú stabilitás és trim

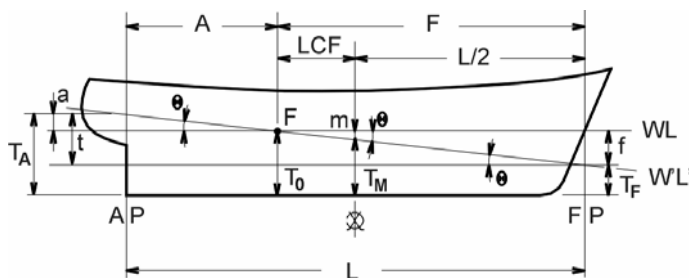
A korábban a keresztstabilitás területén elvégzett vizsgálatok és elemzések természetesen érvényesek a hajó hosszirányú stabilitására is. mindazok az elvek, amelyeket a merülés, megdőlés, súlypont-áthelyeződés, stb. számításánál alkalmaztunk, ezen a területen is érvényesek, az elnevezések természetesen a helyzethez igazodnak. A hajó *hosszirányú stabilitásának* nevezzük a hajónak azt a tulajdonságát, hogy visszatér egyensúlyi helyzetébe, amint azok a külső erők, amelyek olyan nyomatókakat hoztak létre, amelyek hatására a hajó egy keresztirányú tengely körül elfordult bizonyos mértékig, megszűnnek. Az ilyen nyomatókakat *billentő vagy trimmelő nyomatókoknak* nevezzük, és ezek eredménye a hosszirányú billenés, vagy *trimváltozás*. A trimben bekövetkező változást az orrnál és a farnál mérhető merülés-változással mérjük.

2.3.2.2.2.1 Geometria

A hossz- és keresztirányú stabilitás egyetlen lényeges különbsége a méretekben van. A trim tehát a megdőléssel analóg, azonban a kettő mérése különböző. Először tehát a trim és a trimváltozás definícióját kell megfogalmaznunk és mérésének lehetőségét megalapoznunk. A 2.3.2.2.2.1.1 ábrán oldalnézetben látható hajó a trim geometriai jellemzőit mutatja. Természetesen a függőleges méretek túlzottak a szemléletesség érdekében.

Definíciók

Azt a hajót, amelynek merülése a hossz mentén mindenütt azonos, úgy jellemezzük, hogy *egyenes gerinccel* úszik, azaz *trim nélkül*. Ha az orrnál és a farnál mérhető merülés eltérő, a hajónak trimje van. A farnál levő nagyobb merülés a *fartrim*, ez megszokott üzemállapot. Ennek ellenkezője az *orrtrim*. A trim mértéke egyszerűen a farnál és az orrnál mérhető merülés különbsége.



2.3.2.2.2.1.1 ábra A trim geometriája

Az ábrán két azonos vízkişzorítást eredményező vízvonala van megrajzolva: a trimet okozó és az egyenes gerincű úszás vízvonala. Az

ábrán ezek az egyenes úszáshelyzet vízvonalfelületének súlypontjában metszik egymást. Ennél az állapotnál a két vízvonálhoz tartozó vízkişzorítás megegyezik, ezt később látjuk majd be. Az ábrán feltüntetett mennyiségek a következők:

L = a hajó függélyek közötti hossza, amely feltételezés szerint ebben az esetben azonos a merülési mércék távolságával

F = az ábrán F betűvel jelölt vízvonalfelület-súlypont távolsága a mellső függélytől vagy mércétől

A = a vízvonalfelület-súlypont távolsága a hátsó függélytől vagy mércétől

LCF = a vízvonalfelület-súlypont távolsága a fõbordától

BBBZ-kódex

T_F = merülés elől

T_A = merülés hátul

T_M = közepes merülés vagy más néven merülés a főbordán, amely a T_F és T_A átlaga

T_0 = merülés a vízvonalfelület súlypontjánál, más néven egyenes úszásnak megfelelő merülés

t = trim

f = orrmerülés-különbség, amely az egyenes úszásnak megfelelő merülés és a trimmel úszásnál elől mérhető merülés különbsége

a = farmerülés-különbség, amely az egyenes úszásnak megfelelő merülés és a trimmel úszásnál hátul mérhető merülés különbsége

m = merülés-különbség a főbordán, amely az egyenes úszásnak megfelelő merülés és a trimmel úszásnál a főbordán mérhető merülés különbsége

Θ = trimszög.

A trim ugyan megadható szöggként is, de a trim gyakorlati következményei a hajó függéelyeinél kialakuló merülésekkel függnek össze, ezért a trim definíciója a hátul és elől mérhető merülések különbsége.

$$t = T_A - T_F$$

vagy $t = T_F - T_A$

Az első változat fartrimet, a második orrtrimet jelent.

Trimszög

Számos hasonló háromszöget láthatunk a 2.3.2.2.1.1 ábrán, amelyeket a két vízvonal alkot. A *trimszög* tangense tehát a következő alakokban fejezhető ki:

$$\tan \Theta = t/L = f/F = a/A = m/LCF$$

vagy általánosan $\tan \Theta = x/X$, ahol X a hajó adott pontjának távolsága a vízvonalfelület súlypontjától, az x pedig az adott pontnál az egyenes úszásnál és trimmel való úszásnál mérhető merülések különbsége.

A trim fenti képlete akkor igaz, ha minden méretnél azonos mértékegységek használatosak. A *nemzetközi konvenciók* alapján azonban a merülési mércék elkészítése és azok leolvasása során a következő mértékegységeket kell használni.

	<i>Merülés</i>	<i>Trim</i>	<i>Hossz</i>
Amerikai rendszer	láb és hüvelyk	hüvelyk vagy láb és hüvelyk	láb (decimális)
SI rendszer	méter	centiméter	méter

A fenti egyenletekben a félreértések elkerülése végett az ábrán feltüntetett mennyiségeket a nemzetközi konvenciók értelmében, ha lábban vagy méterben

vannak megadva, nagybetűvel jelölik, ha hüvelykben vagy centiméterben, kisbetűvel. Ennek megfelelően az egyenleteket az alábbiak szerint át kell írni.

Amerikai rendszerben:

$$t = T_A - T_F \quad [\text{merülés lábban és hüvelykben, } t \text{ hüvelykben}]$$

$$\tan \Theta = t/12L = f/12F = a/12A = m/12LCF$$

SI rendszerben:

$$t = 100 (T_A - T_F) \quad [\text{merülés méterben, } t \text{ centiméterben}]$$

$$\tan \Theta = t/100L = f/100F = a/100A = m/100LCF$$

Trimváltozás

A hajó rakodása vagy a hajón súlyok áthelyezése miatt bekövetkező trimváltozás mértéke független a hajó merülésétől. A közepes merülésre való tekintet nélkül a trim változása az adott helyzetben mérhető trim és az eredeti trim különbsége. A *trimet* mindig *nagysága és értelme jellemzi* – ami orr- vagy fartrimet jelent. Tehát a trimváltozás számítása egyszerű kivonási művelet. Ennek értelmében plusz vagy mínusz jelet kap aszerint, hogy far- vagy orrtrimről van szó (fartrim plusz, orrtrim mínusz). Ennek értelmében az eredeti trimből levonható. Más szavakkal, ha a változás ugyanolyan értelmű, mint az eredeti trim, akkor az új helyzetben kialakuló trim a kettő különbsége lesz.

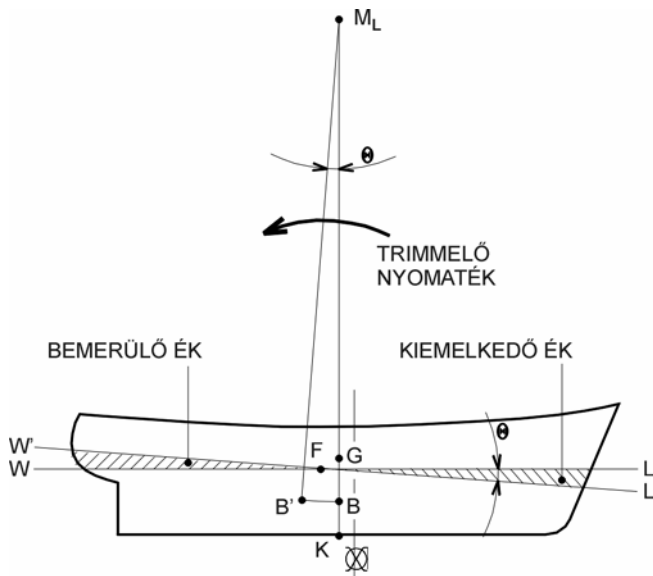
2.3.2.2.2 Mechanika

A trim geometriájának és a trimváltozásnak az alapos megértése hozzásegít bennünket az olyan változások megközelítéséhez, amelyeket a be- és kirakodás, valamint a hajón végzett súlymozgatás okoz. A *trim mechanikája* a trimváltozás fizikai okai és az így létrejövő merülés-változások közötti kapcsolatokat tárja fel.

Hosszirányú stabilitás

A 2.3.2.2.2.1 ábrán látható hajó úszáshelyzete valamilyen erőhatásra hosszirányban megváltozik (trimváltozás), emiatt egyik végén nő, a másikon csökken a merülése. A billenést okozó nyomaték feltételezés szerint a vízkiszorítást nem változtatja meg, a billenési szög pedig nagyon kicsi. A keresztirányú stabilitáshoz hasonlóan a szögeltérés azt okozza, hogy a vízkiszorítás térfogata áthelyeződik egy kiemelkedő éktérfogatóból egy bemerülőbe, a hajó vízkiszorítás-súlypontja pedig köríven mozdul el a *B* pontból a *B'* pontba. A hajó vízkiszorításának megfelelő nagyságú felhajtóerők hatásvonalai, amelyek a trimváltozás előtti és utáni úszáshelyzetben a *B* és a *B'* ponton haladnak át, abban a pontban metszik egymást, amely *hosszirányú metacentrum* néven definiálható (M_L). Ennek a hosszirányú vízkiszorítás-áthelyeződésnek a mechanikája és a jelenség

kapcsolata a hajótest alakjával tökéletesen hasonló a keresztirányú stabilitásnál megismert mechanika jellegével.



2.3.2.2.2.1 ábra Hosszirányú stabilitás

Tehát az alapvető kapcsolatot kifejező egyenlet a következő:

$$BM_L = I_L / \nabla$$

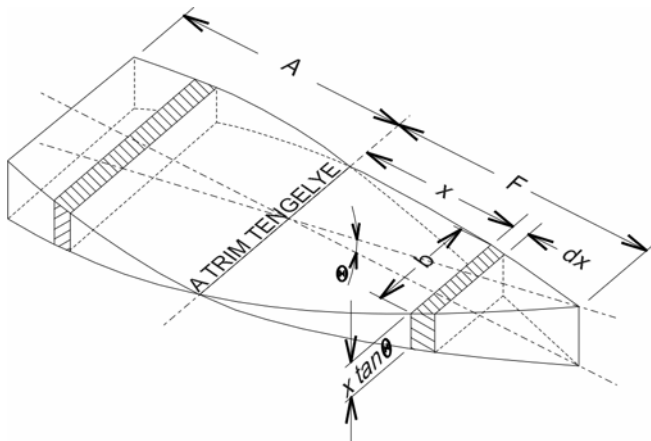
ahol

BM_L = hosszirányú metacentrikus sugár

I_L = a vízvonalfelület hosszirányú inercianyomatéka

∇ = a hajó vízkiszorításának térfogata

A formulában szereplő mennyiségek meghatározása hasonlóan a hajó teljes hosszára elvégzett numerikus integrálással történik, mint a keresztirányú stabilitás esetében, azonban különbségek is vannak, amelyek oka, hogy a hajó mellső és hátsó részének alakja nem szimmetrikus egymáshoz képest, szemben a hajó bal- és jobboldalának szimmetriájával, azon kívül a kiemelkedő és bemerülő térfogatékek mérete is más a hajó teljes vízkiszorításához képest, mint a keresztirányú stabilitás esetében.



2.3.2.2.2.2 ábra A kiemelkedő és bemerülő éktérfogatok geometriája

A trim tengelye. Az ábra szerint, de a hajótestről szerzett ismereteink értelmében is nyilvánvaló, hogy akármilyen kicsi is legyen a trimszög, a kiemelkedő és bemerülő éktérfogat alakja jelentősen eltér egymástól, mivel a hajó hosszirányban nem szimmetrikus. Ahhoz azonban,

hogy a vízkiszorítás ne változzék, térfogatuknak meg kell egyezniük. Ennek az előfeltételnek az a következménye, hogy a hajó *trimelődése* során az a tengely, amely körül a trim létrejön, nem a főbordán helyezkedik el. A trim tengelye valójában a hajó minden merülési értékénél más és más helyen lesz. Helyét úgy tudjuk meghatározni, hogy egyenlővé tesszük a kiemelkedő és a bemerülő ék térfogatát.

Az ékek geometriáját a 2.3.2.2.2.2 ábra mutatja, ahol az x azt a távolságot jelöli, amely a trim tengelye és az egyik ék elemi térfogata között van, a b pedig a vízvonal szélességét az x koordinátánál. Az elemi térfogat magassága $x \tan \Theta$ értékű, ahol a Θ a trimszöget jelöli. Tehát az elemi térfogat (az ábrán vonalkézással jelölve) $b (x \tan \Theta) dx$. Az egész ék térfogata:

$$v = \int b x \tan \Theta dx = \tan \Theta \int b x dx$$

mivel a Θ konstans. Az integrálás intervalluma hosszirányban a billenés tengelyétől a vízvonalfelület mellső végéig tart (F távolság). A másik éktérfogatra ugyanez a definíció érvényes, az ábrán a trim tengelyétől a farig (A távolság) integrálva. A két térfogatot egy egyenlet két oldalán felírhatjuk egymással szemben

$$\tan \Theta \int_{\text{aft}} b x dx = \tan \Theta \int_{\text{fwd}} b x dx$$

$$\text{illetve } \int_{\text{aft}} b x dx = \int_{\text{fwd}} b x dx$$

ahol az integrálás limitje a trim tengelyétől hátra és előre értendő a vízvonalfelület végéig. Mivel a $b dx$ elemi felület a vízvonalfelület része az x koordinátánál, a legutóbbi egyenlet két oldala tulajdonképpen a vízvonalfelület hátsó és mellső részének a trim tengelyére vett nyomatékát jelenti. Ebből arra következtethetünk, hogy a trim tengelye egybeesik azzal a tengellyel, amely körül a vízvonalfelület hosszirányban egyensúlyban van, vagyis a vízvonalfelület súlypontján áthaladó keresztirányú tengellyel. Ezzel eljutottunk egy nagyon fontos következtetéshez, amely szerint *a hajó akörül a keresztirányú tengely körül trimelődik, amely áthalad a vízvonalfelület súlypontján.* A hajóstisztek gyakran nevezik ezt a trim-tengelyt „billenési centrumnak” (tipping center).

A hossz- és a keresztirányú metacentrum összehasonlítása. A másik fő különbség a kereszt- és hosszirányú stabilitás között nem hagyható figyelmen kívül. Ez pedig az, hogy a két metacentrikus sugár (a keresztirányú és a hosszirányú) a vízvonalfelület kereszt- ill. hosszirányú inercianyomatékával arányos. A hajó azonban sokkal hosszabb, mint amilyen széles, a két inercianyomaték tehát nagyságrendileg különböző. A tipikus hajók hossz/szélesség viszonyozsáma 6 és 9 között van. Vegyünk pl. egy egyszerű téglalap alakú vízvonallal rendelkező bárkát, amelynek hossza 7,5-szer nagyobb, mint a szélessége. A bárka vízvonálának hossz- és keresztirányú inercianyomatéka:

$$I_L = BL^3/12 \qquad I_T = LB^3/12$$

A hossz- keresztirányú metacentrikus sugár aránya:

$$BM_L/BM_T = I_L/I_T = BL^3/LB^3 = (L/B)^2$$

tehát a hosszirányú metacentrikus sugár $7,5^2$, azaz 56,25-szor nagyobb lesz, mint a keresztirányú. Ez a nagyságrendi különbség jellemző általában a hajókra is. A hajó

BBBZ-kódex

hosszstabilitása olyan nagy, hogy szinte lehetetlen azt hosszirányban instabillá tenni. A tipikus hajó hosszirányú metacentruma több, mint száz méterrel van a súlypontja felett.

Billentő-nyomaték, trim és merülési értékek

A hajó hosszstabilitásának nagyságrendje kizárja annak veszélyét, hogy a hajó hosszirányban instabillá váljék és felboruljon, ezért a hosszstabilitásnak kizárólag azokra a trimváltozásokra gyakorolt hatásaival foglalkozunk, amelyeket a hajón végzett súlymozgatás, be- és kirakodás okoz. A dőlésszög és trimszög számítási módjának analógiája:

$$\tan \varphi = GG' / GM_T = wd / (\Delta GM_T) \quad \tan \Theta = GG' / GM_L = wd / (\Delta GM_L)$$

ahol φ, Θ = dőlésszög; trimszög változása (nagyon kis szögek)
 wd = dőlést vagy billenést okozó nyomaték (pl. w súly elmozdulása d úton)
 GG' = a súlypont kereszt- ill. hosszirányú elmozdulása a wd nyomaték hatására
 GM_T, GM_L = metacentrikus magasság

A trimszögek a dőlésszögekkel ellentétben mindig kicsik, ezért, bár az egyenlet trimnél is csak kis szögekre érvényes, gyakorlatilag mindig használható. Szemléltetésül vegyünk egy hajót, amelynek hossza 600 láb, és 30 láb mértékű trim jön létre (ez többszöröse egy ekkora hajónál előforduló trimnek). A trimszög tangense $30/600 = 0,05$, a szög tehát kisebb, mint 3 fok.

Ha kombináljuk a korábbi egyenletet a mostanival a trimszög eltüntetése érdekében, amely nem könnyen kezelhető, közvetlenül meghatározhatjuk a billentő-nyomaték által okozott trim- vagy merülés-változást a mellső és a hátsó függélynél.

Amerikai mértékegységekkel:

$$t/12L = wd / (\Delta GM_L) \quad \text{illetve} \quad t = wd / ((\Delta GM_L) / 12L)$$

ami közvetlenül a trimváltozást adja meg hüvelykben, amelyet a wd billentő-nyomaték (láb x long ton) okoz a Δ vízkiszorítású (long ton), GM_L hosszirányú metacentrikus magasságú (láb) és L hosszúságú (láb) hajónál.

Az ennek megfelelő kifejezés SI rendszerben (ahol a trimváltozás centiméter, a billentő-nyomaték metrikus tonna (tömeg) x méter, a vízkiszorítás tömege metrikus tonna, a metacentrikus magasság és hossz pedig méter):

$$t = wd / ((\Delta_m GM_L) / 100L)$$

A mellső és hátsó függélynél keletkező merülés-változások a következő kifejezésekből adódnak:

$$f = (F/L)t \quad \text{illetve} \quad a = (A/L)t$$

Az f és a merülés-változások ellenkező értelműek, egyik helyen nő a merülés, a másikon csökken, az, hogy melyik hol, az a billentő-nyomaték irányától függ.

Példa

Egy tankhajó hossza 1.045 láb, vízkiszorítása tengervízben 305.000 long ton, merülése elől 62'0" (62 láb 0 hüvelyk) és hátul 65'0". A vízkiszorítás súlypont-magassága $KB = 33,0$ láb, rendszersúlypont magassága $KG = 45,0$ láb, a hosszirányú metacentrum magassága a gerinc felett $KM_L = 740$ láb, a vízvonalfelület súlypontja pedig a főborda mögött 15,5 láb távolságra van. Milyen merülések alakulnak ki, ha 2.200 long ton rakományt a #2 raktérből a #5 raktérbe (orrtól a far felé) szivattyúznak át, a távolság 285 láb?

A hosszirányú metacentrikus magasság:

$$GM_L = KM_L - KG = 740 - 45.0 = 695 \text{ láb}$$

A trim:

$$t = wdl((\Delta GM_L)/12L) = 2.200 \times 285 / ((305.000 \times 695)/(12 \times 1.045)) = 37,1 \text{ hüvelyk trimváltozás}$$

Mivel a súly hátrafelé mozgott, a trimváltozás *fartrim*, növeli a merülést hátul és csökkenti elől. A függélyeknél bekövetkező merülés-változás számításához meg kell határozni a vízvonalfelület súlypontjának távolságát a függélyektől.

$$F = L/2 + LCF = 1.045/2 + 15,5 = 538 \text{ láb}$$

$$A = L/2 - LCF = 1.045/2 - 15,5 = 507 \text{ láb}$$

(Ellenőrzésképpen: $A = L - F = 1.045 - 538 = 507$ láb)

$$f = (F/L)t = (538/1.045)37,1 = 0,515 \times 37,1 = 19,1 \text{ hüvelyk} \\ = 1'7,1'' \text{ merülés-csökkenés elől (1 láb 7,1 hüvelyk)}$$

$$a = (A/L)t = (507/1.045)37,1 = 0,485 \times 37,1 = 18,0 \text{ hüvelyk} \\ = 1'6,0'' \text{ merülés-növekedés hátul}$$

(Ellenőrzés: $a = t - f = 37,1 - 19,1 = 18,0$ hüvelyk)

Az f és a értékek számítása azt mutatja, hogy az orrnál nagyobb a trimváltozás, mint a farnál. Ez összhangban van azzal, hogy a vízvonalfelület súlypontja a főborda mögött helyezkedik el, és mindig ott van a kisebb merülés-változás, amelyik függély közelebb van a vízkiszorítás súlypontjához.

Most már kiszámíthatjuk a merüléseket a függélyeknél:

$$T_F = (62'0'') - (1'7,1'') = 60'4,9''$$

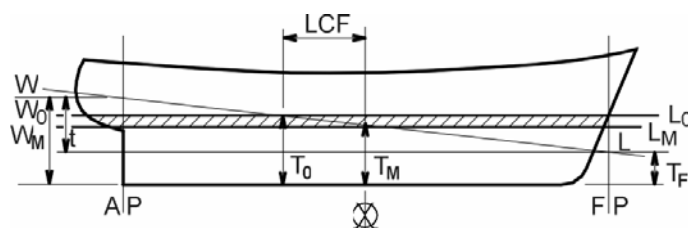
$$T_A = (65'0") + (1'6,0") = 66'6,0''$$

2.3.2.2.2.3 A feltételezések és a pontosság összefüggése

Amikor az előbbi példában szereplőhöz hasonló számításokat végzünk egy szokásos alakú hajó merülési értékeinek meghatározására, a kapott eredmények tartalmaznak bizonyos pontatlanságot, mivel bizonyos dolgokat maguktól értetődőnek tartunk, és azt tételezzük fel, hogy igazak, azonban ez nem így van tökéletesen. Azokat a hidrosztatikus jellemzőket, amelyeket ezekhez a számításokhoz felhasználunk (pl. vízkiszorítás, KM_L , LCF), a szokásos módon szerkesztettek meg, a korábban leírt hajótest-adatokból. A hidrosztatikus jellemzők azonban a hajóra csak akkor igazak, ha az egyenes gerinccel úszik, vagyis trim nélkül. Tehát ezek egy trimmel úszó hajó esetében nem tökéletesen pontosak. Szerencsére a szokásos hajóformáknál, olyan mértékű trim esetén, amely üzemi állapotnak számít, elfogadható az a feltételezés, hogy az egyenes úszási állapotban érvényes hidrosztatikai jellemzők jól leírják a trimmelt hajó állapotát is, mert az elkövetett hiba elhanyagolható. Mindössze két olyan eset létezik, amikor kivételt kell tennünk, egyik, amikor a trim túlzottan nagy, a másik, amikor a vízvonalfelület súlypontja nagyon távol van a főbordától, illetve amikor ez a két eset együtt jár. Az alábbiakból kiderül, hogy szükség esetén a trimmel úszó hajóhoz meghatározható a *korrigált vízkiszorítás* az egyenes úszási helyzetre megszerkesztett jellemző görbék alkalmazásával.

Trimmel úszó hajó vízkiszorítása

Három lehetőség van arra, hogy a *trimmel úszó hajónál* a mellső és a hátsó függélynél mérhető merülésekből határozzuk meg a vízkiszorítást (azzal szemben, amikor a súlyok összegzéséből számítjuk ki), attól függően, milyen pontosságra van szükségünk. A 2.3.2.2.3.1 ábra mutatja a következő gondolatmenethez a merüléseket és egyéb mennyiségeket.



2.3.2.2.3.1 ábra Trimmel úszó hajó vízkiszorításának számítása

A három módszer az alábbi, a következő mindig pontosabb, de bonyolultabb az előzőnél.

- A vízkiszorítás számítását a *közepes merüléshez* (T_M) végezzük el a jellemző görbékből.
- A vízkiszorítás számítását a megfelelő *egyenes úszási állapothoz tartozó merüléshez* (T_0) végezzük el a jellemző görbékből, amely a *vízvonalfelület súlypontjánál mérhető merülés*.
- Integráljuk a trimmel úszó hajó vízvonala alatti bordametszeteket a hajó teljes hosszára, hogy megkapjuk a trimmel úszó hajó *ténylegesen vízbemerült térfogatát*.

Az első módszer a legkevésbé pontos. Csak akkor egzakt, ha a trim zéróval egyenlő, és egy trimmel úszó hajónál majdnem pontos abban az esetben, ha a vízvonalfelület súlypontja (F) a hajóközépnél van. Széles körben elfogadott vélemény azonban, hogy pontossága kielégítő azoknál az üzemeltetői számításoknál, amelyeket a hajót irányító tiszteknek kell elvégezniük, mert a kisebb sebességtartományba tartozó kereskedelmi hajók alakja olyan, hogy kis és átlagos trim esetén a vízvonalfelület súlypontja közel van a főbordához. Nem elfogadható ez a pontosság a nagyobb sebességű hajóknál és azoknál, amelyek fara telt kialakítású (pl. *kompok a farnál elhelyezett rámpával*), ezeknél ugyanis a vízvonal súlypontja jóval a főborda mögött van.

A második módszer a gyors és széles farral rendelkező hajóknál is használható, kivéve az olyan eseteket, amikor a legnagyobb pontosságra van szükség. Annak alapelve ugyanis az, hogy amikor a hajó trimje változik változatlan vízkiszorításnál, a vízvonalfelület súlypontjánál nem változik a merülés. Az ábrán látható tehát, hogy amikor a hajó trim esetén a WL vízvonalon úszik, ugyanakkora a vízkiszorítása, mint az egyenes gerinccel való úzásnál a W_0L_0 vízvonalon. Ez a vízkiszorítás megegyezik két mennyiség összegével, egyik a T_M közepes merülésnél érvényes vízkiszorítás egyenes úzásnál ($W_M L_M$), a másik összetevő pedig annak az $m = T_0 - T_M$ vastagságú korrekciós rétegnek a vízkiszorítása, amelyet az ábrán vonalkázva jelöltünk. A probléma csak annyi, hogy az m és a T_0 meghatározásához már ismerni kell a W_0L_0 vízvonal LCF értékét, ahhoz pedig ismerni kell a T_0 értékét is. A megoldás az lehet, hogy feltételezzük, hogy a két egyenes úzáshelyzethez tartozó vízvonalfelület (W_0L_0 és $W_M L_M$) súlyponthelyzete megegyezik. Ez a közelítés elfogadható, mivel a rétegvastagság általában kicsi. Az eljárás tehát a következő:

1. A közepes merülésnél, amelynek értéke $T_M = (T_F + T_A)/2$, leolvassuk a jellemző görbékről a korrigálatlan vízkiszorítást, az LCF és TPI vagy TPC (egységnyi merülés-változáshoz tartozó vízkiszorítás-változás) értékét.
2. A WL trimszöge alapján a réteg vastagsága $m = (LCF/L)t$ nagyságú. Az m mértékegysége ugyanaz, mint a t trimé, hüvelyk az amerikai és centiméter az SI rendszerben.
3. A korrekciós réteg vízkiszorítása a rétegvastagság és az egységnyi merülés-változáshoz tartozó vízkiszorítás-változás szorzata:

$$d\Delta = m \times TPI \quad (m \text{ hüvelyk, } d\Delta \text{ long ton})$$
 vagy

$$d\Delta_m = m \times TPC \quad (m \text{ cm, } d\Delta_m \text{ metrikus tonna})$$
4. Korrigált vízkiszorítás = Korrigálatlan vízkiszorítás + korrekciós réteg vízkiszorítása.

A trimmel úzás vízvonalaéhoz (WL) tartozó egyenes úzáshelyzet merülése (T_0):

$$T_0 = T_M + m = T_M + (LCF/L)t$$

A 2. és 3. lépés szerinti számítás összevonható egy lépésbe, és akkor megkapjuk a vízkiszorítás-változás a trim függvényében mennyiségét, azaz:

$$d\Delta = (TPI \times LCF/L)t \quad (t \text{ hüvelyk, } d\Delta \text{ long ton})$$

$$d\Delta_m = (TPC \times LCF/L)t \quad (t \text{ cm, } d\Delta_m \text{ metrikus tonna})$$

BBBZ-kódex

A vízkiszorítás korrekciójánál a réteg vízkiszorítása lehet pozitív vagy negatív. Az ábra szerinti szituációban a korrekciós vízkiszorítás pozitív, tehát a trimmel úszó hajó vízkiszorítása nagyobb, mint a közepes merüléshez tartozó vízkiszorítás. A korrekció értelme megváltozik, ha a vízvonalfelület súlypontja a főborda előtt helyezkedik el, vagy ha a trim ellenkező értelmű. Eszerint négy lehetséges variáció létezik.

1. *Fartrim*, LCF a főborda mögött, a korrekció hozzáadandó.
2. *Fartrim*, LCF a főborda előtt, a korrekció levonandó.
3. *Orrtrim*, LCF a főborda mögött, a korrekció levonandó.
4. *Orrtrim*, LCF a főborda előtt, a korrekció hozzáadandó.

Ajánlatos a 2.3.2.2.3.1 ábrához hasonló egyszerű vázlatot készíteni minden hasonló számítás esetén, hogy a korrekció helyes értelmét meg lehessen határozni.

A vízkiszorítás-változás és a trim kapcsolatának jobb megértéséhez egyes esetekben a jellemző görbék között van olyan, amely a $TPI \times LCF/L$ illetve a $TPC \times LCF/L$ értékeit tartalmazza a hajó merülésének függvényében. Ezek megnevezése „*egy hüvelyk fartrimre eső vízkiszorítás növekedés*” illetve „*egy centiméter fartrimre eső vízkiszorítás növekedés*”. A görbék negatív eredményt adnak, ha az LCF súlypont a főborda előtt van, ezért orrtrim esetén az előjelet meg kell fordítani. Ezeknek a görbéknek a használatánál a vízkiszorítás változásának számítása egyszerűen a görbékéből levett érték beszorzása a hajó trimjének értékével.

Nagyon fontos, hogy a kifejezést „vízkiszorítás növekedés a trim függvényében” ne értsük félre. A trim bekövetkezésekor a *vízkiszorítás konstans*, tehát nem változik a trim miatt. A vízkiszorítás növekedése vagy csökkenése csak ahhoz az értékhez képest értelmezhető, amelyet a jellemző görbékéből határozzunk meg a *közepes (a főbordán mért) merülésnél a trimmel úszó hajó esetében*.

Példa

Egy $LBP = 150$ m (függélyek közötti hossz) méretű hajó tengervízben 8,2 m mellső (T_F) és 9,8 m hátsó (T_A) merüléssel úszik. A 9,0 m-es közepes merülésnél (T_M) a jellemző görbékéből leolvasott adatok: $\Delta_m = 20.200$ MT, $TPC = 26,5$ MT/cm és $LCF = 4,3$ m a főborda mögött. Határozzuk meg a trimelt úszáshelyzet vízvonálának megfelelő egyenes úszási helyzetben a merülést és a trim szerint korrigált vízkiszorítást. A trim mértéke:

$$t = T_A - T_F = 9,8 - 8,2 = 1,6 \text{ m} = 160 \text{ cm fartrim}$$

Megfelelő merülés egyenes úszási helyzetben:

$$T_0 = T_M + (LCF/L)t = 9,00 + (4,3/150)1,6 = 9,04 \text{ m}$$

Ebben az esetben a trim értékét méterben kellett behelyettesíteni, hogy összhangban legyen a merülés értékével. A rétegvastagságot hozzá kellett adni a közepes merüléshez, mivel fartrimmel állunk szemben, és az LCF a főborda mögött van. A korrekciós réteg vízkiszorítása:

$$d\Delta_m = (TCP \times LCF / L)t = (26,5 \times 4,3 / 150)160 = 122 \text{ MT}$$

Itt a trimnek centiméterben kell lennie, hogy a *TPC* mértékegységével legyen összhangban.

Végül a vízkiszorítás:

$$\text{trimmel úszó helyzetben a } \Delta_m = 20.200 + 122 = 20.322 \text{ MT}$$

A legpontosabb harmadik módszernél, amely a trimmel úszó hajó vízkiszorításának meghatározására szolgál, tulajdonképpen a numerikus integrálási eljárást egy olyan hajónak a vízbemerült térfogatára kell elvégezni, amely ferde vízvonalon úszik. Az elméleti bordák vízbemerült felületét az ott érvényes merülésig a *Bonjean görbékről* olvassuk le, és ezekkel végezzük el az integrálást ugyanúgy, ahogy az egyenes gerinccel úszó hajó vízkiszorításának számításánál. Ezt a módszert csak akkor használjuk, ha rendkívüli pontosságra van szükség, mint pl. a hajó vízkiszorításának számításnál döntéspanna során, vagy olyankor, ha egy hajónál különlegesen nagy trim előidézésre van szükség, mint pl. a *hajócsavar szemléjét, javítását vagy szerelését* kell vízszint felett elvégezni.

A nyomaték, amely a trimváltozást előidézi

Térjünk vissza a trim és az azt előidézö billentö-nyomaték kapcsolatához:

$$t = wd / (\Delta GM_L / 12L) \quad \text{illetve} \quad t = wd / (\Delta GM_L / 100L)$$

A kifejezés jobboldalán a számlálóban van a *trimváltozást okozó nyomaték*, a nevezőben pedig a hajó jellemzői abban a szituációban, amikor a trimváltozás bekövetkezik. A számláló tehát az *egy hüvelyk vagy centiméter trimváltozást okozó nyomatékot* jelenti, mert ha a trim értéke egy hüvelyk vagy centiméter, a számláló és a nevező értéke megegyezik. Ebből tehát:

$$MT_i = \Delta GM_L / 12L \quad \text{illetve} \quad MT_{cm} = \Delta GM_L / 100L$$

ahol *MT_i* ill. *MT_{cm}* az egy hüvelyk ill. egy cm trimváltozást okozó nyomaték.

Ezeknek a mennyiségeknek a meghatározása megkönnyítheti a munkát, mert függetlenek a billentö-nyomaték nagyságától, és így előre kiszámolhatóak a jellemzők egyikeként, amelyek diagramban vannak ábrázolva, a *trimszámítások* során pedig a jellemző görbékhez hasonlóan használhatóak. Tehát az egyenletet a trimváltozás kiszámításához a következőképpen írhatjuk:

$$t = wd / MT_i \quad \text{illetve} \quad t = wd / MT_{cm}$$

Ennek a trimváltozást okozó nyomatékknak az előre történő kiszámítását azért bonyolítja az a tény, hogy nemcsak a hajó hidrosztatikai tulajdonságaitól függ, hanem a rakodási helyzettől is, hiszen a *GM_L* meghatározásához a *KG* értékét is ismerni kell. Szerencsére

BBBZ-kódex

a KG értéke itt nem annyira fontos, hiszen a tipikus hajó esetében az sokkal kisebb, mint a GM_L . Még a legkülönlegesebb esetben is a KG értéke legfeljebb a hajó oldalmagasságának egyharmada és kétharmada között változik, a GM_L ugyanakkor a hajó hosszának nagyságrendjében van. Tehát nyugodtan meghatározhatunk jó közelítő értékeket az MT_i vagy MT_{cm} értékeire, ha a G súlypont feltételezett helyét kiválasztjuk. A leggyakoribb megközelítés az, hogy azonosnak vesszük a GM_L értékét a BM_L értékével. A feltételezéssel elkövetett potenciális hiba néhány láb vagy méter a többszáz ellenében. Tehát a *trimváltozást okozó megközelítő nyomatók* a következőképpen fejezhető ki:

$$\text{approx. } MT_i = \Delta BM_L / 12L$$

amely tovább egyszerűsíthető, ha figyelembe vesszük, hogy $\Delta = \rho g \nabla$, illetve $BM_L = I_L / \nabla$, ennélfogva

$$\begin{aligned} \text{approx. } MT_i &= \rho g I_L / 12L = I_L / 420L \quad \text{tengervízben} \\ &= I_L / 432L \quad \text{édesvízben} \end{aligned}$$

Az így definiált trimváltozást okozó megközelítő nyomatókat általában a hajó teljes merülési tartományára meghatározzák az üres hajótól a terhelt vízvonalon túl, és a jellemző görbék között tüntetik fel. Viszonylagos pontossága miatt a jelzőt elhagyják, és egyszerűen MT_i néven szerepel. A görbét azonban csak tengervízre szerkesztik meg, kivétel az olyan hajók esete, amelyek édesvízben hajóznak sokat, pl. az amerikai nagy tavakon. A tengerjáró hajóknál a számítást elvégző tisztnek korrigálnia kell a leolvasott MT_i értéket édesvízi körülményekre.

Az SI rendszerben érvényes formulák tömeg-alapúak, így a g hiányzik:

$$\begin{aligned} \text{approx. } MT_{cm} &= \rho I_L / 100L = 1,025 I_L / 100L \quad \text{tengervízben} \\ &= I_L / 100L \quad \text{édesvízben} \end{aligned}$$

2.3.2.2.4 Kis súlyok be- és kirakása

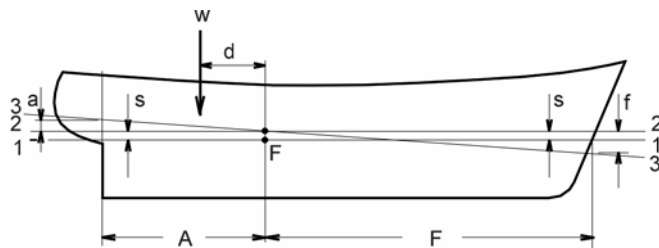
Amikor egy hajóra viszonylag *kisebb súlyú rakományokat be- vagy arról kiraknak*, a vízkiszorításban is bekövetkezik egy bizonyos változás (és így a közepes merülésben is), valamint a trimben is. Ha a vízkiszorítás változása a rakodás során viszonylag kicsi, ami nem okoz nagyobb változást a vízvonalfelület jellemzőiben (TPI , LCF , MT_i), a rakodás utáni merülést meg lehet határozni úgy, hogy egyszerűen még egy lépést adunk az eddigiekben leírt eljáráshoz, amikor a hajón levő súlyok mozgását vizsgáltuk, és először a *párhuzamos bemerülés vagy kiemelkedés* számítását kell elvégeznünk. Ez az eljárás, amelynek neve a *kis súlyok módszere*, úgy modellezi a kis súlyok be- és kirakását, mintha azokat először a vízvonalfelület súlypontjával megegyező helyre rakták volna be vagy onnan ki, majd elmozdították volna tényleges helyükre. A hajó

merülésére gyakorolt végső hatás természetesen ugyanaz, mintha egyenesen a tényleges helyére került volna a súly, az így modellezett eljárás azonban lehetővé teszi, hogy külön foglalkozunk a párhuzamos bemerüléssel és a trimváltozással. Ha a súly berakása a vízvonalfelület súlypontjában történik, nem változik a trim, azonban a hajó teljes hosszán a merülés egyenlő mértékben megnő w/TPI hüvelyk (ill. w/TPC cm) értékkel. A modellezett elmozdítási útvonal az a hosszirányú távolság, amely a vízvonalfelület súlypontja és a berakott súly tényleges helye között van, a trim és a merülési értékek változását pedig a fentiek szerint lehet kiszámítani.

Ha a súlyt nem be-, hanem kirakják, ugyanaz az eljárás, csak a merülés-változások ellenkező értelműek, tehát nem bemerülés következik be, hanem párhuzamos kiemelkedés, a súly elmozdítása pedig tényleges helyzetéből a vízvonalfelület súlypontjába irányul. Ha egynél több súlyt kell mozgatni, be- vagy kirakni, a számítást célszerű táblázatosan elvégezni. Amikor azonban több súllyal végezzük el a számításokat, nem szabad arról megfeledkeznünk, hogy azok összegének is a kis súlyok kategóriájába kell esnie, különben az eljárás korlátait nem vesszük figyelembe. Tehát a súlyok összege sem változtathatja meg túlzottan a vízvonalfelület méretét és alakját. A következő példák a kis súlyok módszerének szemléltetésére szolgálnak.

Példa

Egy darabáru szállító hajó függélyek közötti hossza $LBP = 528$ láb, merülése tengervízben $22'3''$ elöl és $23'6''$ hátul. Határozzuk meg a merülést elöl és hátul azt követően, hogy 450 long ton rakományt beraktak a #5 raktérbe a második fedélzetre. A példát a 2.3.2.2.2.4.1 ábra szemlélteti. Valamennyi példában azt feltételezzük, hogy a mellső és hátsó merülési mérce a függélyeknél (FP és AP) van elhelyezve.



2.3.2.2.2.4.1 ábra

Kezdeti közepes merülés. A #1 vízvonala az ábrán a hajó rakodás előtti kezdeti merüléseinek megfelelő vízvonala. A rakodás előtti közepes merülés:

$$T_A = 23'6,0''$$

$$T_F = 22'3,0''$$

$$\text{Összesen} = 45'9,0''$$

$$T_M = (T_A + T_F)/2 = (45'9,0'')/2 = 22'10,5''$$

Hidrosztatikus jellemzők. A jellemző görbékből a közepes merülésnél a következő adatokat olvastuk le:

$$TPI = 65,1 \text{ long ton per hüvelyk}$$

$$MTI = 1.580 \text{ láb} \times \text{long ton}$$

$$LCF = 273,9 \text{ láb az } FP\text{-től (= } F)$$

A hátsó függély (AP) helye a vízvonalfelület súlypontjától (A):

$$A = 528,0 - 273,9 = 254,1 \text{ láb}$$

(A kérdéses hajó jellemző görbéiben a súlypontok helyének vonatkoztatás az FP . Tehát az LCF ezért megegyezik az F távolsággal, amint az ábráról is látható.)

Párhuzamos bemerülés. Ha a súlyt a vízvonalfelület súlypontjában tették volna le, az párhuzamos bemerülést okozott volna az ábrán #2 vízvonalként jelült úszásvonalig, amely párhuzamos a #1 vízvonallal. Tehát a párhuzamos bemerülés mértéke hüvelykben:

$$s = w/TPI = 450/65,1 = 6,9 \text{ hüvelyk} \quad (\text{elől és hátul hozzá kell adni})$$

Trimváltozás. A hajó rakodási táblázata szerint az 5-ös raktér súlypontja a második fedélzeten 356,5 láb távolságra van az FP helyétől. Tehát a súly képzelte elmozdulása a 273,9 lábra levő vízvonalfelület-súlyponthoz képest:

$$d = 356,5 - 273,9 = 82,6 \text{ láb a far felé}$$

Mivel a mozgás a far felé irányul, ezért a trim változása fartrim értelmű. Az erre vonatkozó egyenlet alapján a trimváltozás:

$$t = wd/MT_i = 450 \times 82,6/1.580 = 23,5 \text{ hüvelyk fartrim}$$

Merülés-változások a trimváltozás miatt. A fartrim miatt a merülés elől f hüvelykkel csökken elől és a hüvelykkel nő hátul:

$$f = (F/L)t = (273,9/528)23,5 = 12,2 \text{ hüvelyk} = 1' 0,2'' \quad (\text{elől levonandó})$$

$$a = (A/L)t = (254,1/528)23,5 = 11,3 \text{ hüvelyk} \quad (\text{hátul hozzáadandó})$$

Az s , f és a jelöli a mellső és a hátsó függélynél keletkező merülés-változásokat hüvelykben. Az alábbi táblázat nagyon jó eszköz ahhoz, hogy a végső merülési értékeket kiszámítsuk. Különösen akkor célszerű ez a formátum, ha lábban és hüvelykben kell számolni, ugyanis nemcsak a jellemző görbéknél használják a hüvelykbeosztást, hanem a merülés-változásokat is általában hüvelykben számolják.

Rakodás utáni merülési értékek

	<i>Hátul</i>		<i>Elöl</i>
Kezdeti merülések	23' 6,0''		22' 3,0''
Párhuzamos bemerülés	+ 6,9''	+	6,9''
	24' 0,9''		22' 9,9''
Trimváltozás	+ 11,3''	-	1' 0,2''
Végső merülések	25' 0,2''		21' 9,7''

Példa

Egy 170,5 m hosszú konténerszállító hajó merülése tengervízben elől 8,80 m és hátul 10,80 m. Milyen merülések alakulnak ki azt követően, hogy 492 metrikus tonna tömegű konténert kiraknak róla 52 m-rel a főborda előtt? A kirakodás előtti közepes merüléshez tartozó hidrosztatikus jellemzők: $TPC = 32,8$ t/cm, $MTcm = 268$ MT-m, $LCF = 4,1$ m a főborda mögött.

A lépések megegyeznek az előző példában látottakkal. A számítás menete hasonló.

Kezdeti közepes merülés

$$T_M = (T_A + T_F) / 2 = (10,80 + 8,80) / 2 = 9,80 \text{ m}$$

Vízvonalfelület súlypontja. Mivel az LCF értéke a főbordától van megadva, a súlypont távolságát a mellső és hátsó függélytől ki kell számítani:

$$F = L/2 + LCF = 170,5/2 + 4,1 = 89,35 \text{ m}$$

$$A = L/2 - LCF = 170,5/2 - 4,1 = 81,15 \text{ m}$$

Párhuzamos kiemelkedés. Mivel a rakományt *kirakják*, a merülési értékek *csökkennek* elől és hátul.

$$s = w/TPC = 492/32,8 = 15 \text{ cm} = 0,15 \text{ m} \quad (\text{levonandó elől és hátul})$$

Trimváltozás

$$d = LCF \text{ távolsága a főbordától} + w \text{ a főbordától} = 4,1 + 52,0 = 56,1 \text{ m}$$

A trimváltozás a *fartrimet növeli*, mert a súly *levétele* a hajóról a vízvonalfelület súlypontja *előtt* történt.

$$t = wd/MTcm = (492 \times 56,1) / 268 = 103 \text{ cm} = 1,03 \text{ m fartrim}$$

Merülési értékek változása

$$f = (F/L)t = (89,35/170,5)1,03 = 0,54 \text{ m} \quad (\text{levonandó elől})$$

$$a = (A/L)t = (81,15/170,5)1,03 = 0,49 \text{ m} \quad (\text{hozzáadandó hátul})$$

Merülési értékek kirakodás után

	Hátul	Elől
Kezdeti merülések	10,80 m	8,80 m
Párhuzamos kiemelkedés	- 0,15	- 0,15
	10,65	8,65
Trimváltozás	+ 0,49	- 0,54
Végső merülések	11,14 m	8,11 m

A kis súlyok módszerének általánosítása

Az előzőekben bemutatott számítások, amelyek célja kis súlyok be- és kirakása miatt a hajó bármely pontján a merülési értékekben bekövetkező változások meghatározása, közvetlenül is elvégezhetőek úgy, hogy kombináljuk a lépéseket egy komplex képletben. Ilyen módon tetszőleges X helyen a w súly berakása miatt bekövetkező merülés-változás a 2.3.2.2.4.2 ábra szerint a következő:

$$dT_X = s + x = w/TPI + (X/L)t = w/TPI + (X/L) (wd/MTi)$$

illetve

$$dT_X = s + x = w/TPC + (X/L)t = w/TPC + (X/L) (wd/MTcm)$$

ahol dT_X = merülés-változás (hüvelyk vagy cm) X távolságra (láb vagy m) a vízvonalfelület súlpontjától

s = párhuzamos bemerülés vagy kiemelkedés (hüvelyk vagy cm)

x = merülés-változás X helyen a trimváltozás miatt (hüvelyk vagy cm)

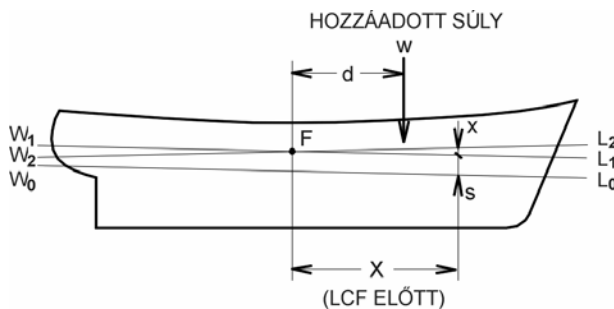
w = a hozzáadott vagy eltávolított súly vagy tömeg

d = a w súly vagy tömeg távolsága LCF helyétől (láb vagy m)

W_0L_0 = rakodás előtti vízvonal

W_1L_1 = elképzelt vízvonal a párhuzamos bemerülés után de trimváltozás előtt

W_2L_2 = végső vízvonal



2.3.2.2.4.2 ábra Merülésváltozás bármely ponton

A fenti egyenletben az összegzés az algebra szabályait követi, az egyes összeadandók előjele attól függ, hogy a súly hozzáadott (+) vagy elvett (-) jellegű, illetve, hogy d és X a

víz kiszorítás súlypontja mögött vagy előtt van. Például az s értéke negatív kirakott súly esetén, az x pedig negatív lesz az ábra szerint, ha a vizsgált hely nem a súlypont előtt, hanem mögött van. Az ábrához hasonló vázlatot minden esetben készíteni kell, mivel több kombinációs lehetőség is van a pozitív és negatív merülés-változásokra, a hibákat pedig feltétlenül el kell kerülni.

A számítás különleges esete, amikor egy bizonyos ponton kell a merülést adott értékkel megváltoztatni úgy, hogy súlyokat hozzáadunk, elveszünk vagy áthelyezünk. Ilyen esetekben a dT_X értéke van megadva, és az egyenletet w -re (pl. mennyi ballasztot kell felvenni egy adott tankba ahhoz, hogy hátul a merülés a megadott értékű legyen) vagy d -re kell megoldani (hova tegyük a 100 tonnás rakományt, hogy elérjük a kívánt merülés-változást). A legtöbb esetben a mellső vagy hátsó merülési mérce értékét kell adott értékkel megváltoztatni, ilyenkor az x és X helyett f és F vagy a és A írható, ahogy a 2.3.2.2.1.1 ábrán definiáltuk.

Példa

Egy áruszállító hajónak át kell haladnia egy csatornán, amelyben tengervíz van. A hajó hossza 528 láb, merülése elől 28'0" és hátul 29'6". A csatorna zsilipjében a maximális megengedett merülés 29'0". A parancsnoknak ezt ballaszttal kell biztosítania, amelyet a #1 tankba vesznek fel. Három kérdésre kell megtalálni a választ.

1. Hány long ton ballasztra van szükség?
2. Van-e elég hely a #1 testtankban?
3. Kielégítő lesz-e a végső merülés?

Az általános kifejezés alkalmazása ebben a speciális esetben rámutat, hogy a követelmény a *farnál* a merülés *csökkentése* hat hüvelykkel (29'6" értékről 29'0" értékre). Mivel ezt úgy érik el, hogy elől felvesznek ballasztot, a párhuzamos bemerülés a merülést *növelni* fogja mindenütt s hüvelykkel, a trimváltozás pedig *csökkenteni* fogja a merülést hátul a hüvelykkel. Az egyenlet tehát:

$$s - a = -6,0$$

$$w/TPI - (A/L)(wd/MTi) = -6,0$$

A hajó jellemző görbéiből meghatározható adatokhoz ki kell számítani a közepes merülést ballasztolás előtt

$$T_M = (T_F + T_A)/2 = (28'0" + 29'6")/2 = (57'6")/2 = 28'9"$$

A 28'9" értékű közepes merüléshez tartozó jellemző értékek:

$$TPI = 69,4 \text{ long ton per hüvelyk}$$

$$MTi = 1.870 \text{ láb-long ton}$$

$$LCF = F = 280,5 \text{ láb}$$

$$A = L - F = 528 - 280,5 = 247,5 \text{ láb}$$

A hajó tanktáblázatából a #1 testtank kapacitása 137,4 long ton tengervíznél, súlypontja (LCG) pedig 40,3 lábbal van a mellső függély mögött. A trimváltozás karja (*d*) a tank súlypontjának távolsága a vízvonalfelület súlypontjától:

$$d = 280,5 - 40,3 = 240,2 \text{ láb}$$

A trimváltozás orrtrim jellegű lesz, mivel a farnál kell csökkenteni a merülést. A *w* vagy *d* kiszámítására szolgáló egyenlet:

$$w/TPI - (A/L)(wd/MTi) = -6,0$$

$$w(1/TPI - (Ad/L MTi)) = -6,0$$

$$w(1/69,4 - (247,5 \times 240,2)/(528 \times 1.870)) = -6,0$$

$$w(0,01441 - 0,06021) = -6,0$$

$$-0,04580w = -6,0$$

$$w = 6,0/0,04580 = 131,0 \text{ long ton}$$

A párhuzamos bemerülés és a trimváltozás ezzel kiszámítható:

$$s = w/TPI = 131,0/69,4 = 1,9 \text{ hüvelyk} \quad (\text{hozzáadandó})$$

BBBZ-kódex

$$t = wd/MT_i = (131,0 \times 240,2)/1,870 = 16,8 \text{ hüvelyk orrtrim}$$
$$f = (F/L)t = (280,5/528)16,8 = 8,9 \text{ hüvelyk} \quad (\text{hozzáadandó})$$
$$a = (A/L)t = (247,5/528)16,8 = 7,9 \text{ hüvelyk} \quad (\text{levonandó})$$

Merülési értékek ballasztolás után:

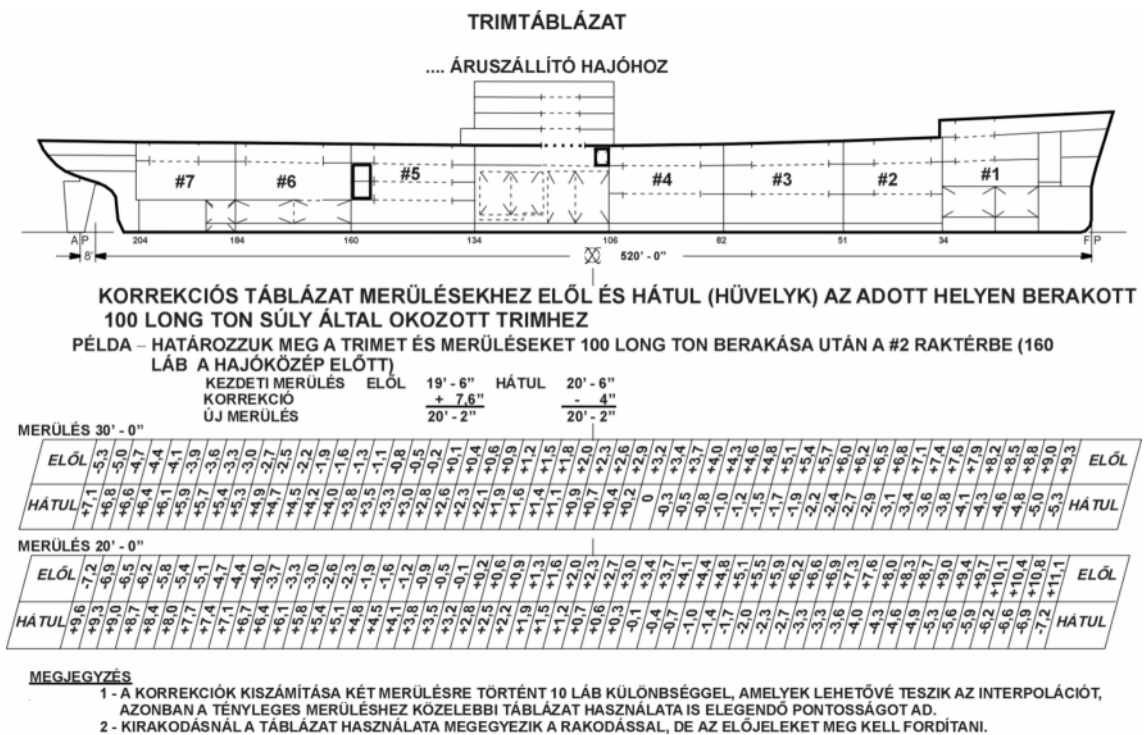
	Hátul		Elöl
Kezdeti merülések	29' 6,0"		28' 0,0"
Párhuzamos bemerülés	+ 1,9"	+	1,9"
	29' 7,9"		28' 1,9"
Trimváltozás	- 7,9"	+	8,9"
Végső merülések	29' 0,0"		28' 10,8"

Tehát a kérdésekre adható válaszok.

1. A ballaszt súlya 131 long ton.
2. A tank befogadó képessége 137,4 long ton, ami elegendő.
3. A merülés elöl 28' 10,8", a szintén megfelelő, mert kisebb, mint a 29' 0" limit.

Trimtáblázat

A hajótervezők által készített segédlet, amelynek neve *Trim és stabilitási könyv*, amelynek célja, hogy a hajó vezetésével megbízott tisztek ki tudják számítani a hajó stabilitását és trimjét minden út alkalmával, tartalmazzák általában az úgy nevezett *trimtáblázatot* vagy *trimdiagramot*. A következő 2.3.2.2.2.4.3 ábra erre mutat példát. A táblázatból kiolvashatók a merülés-változások hüvelykben a mellső és a hátsó merülési mércén, amelyet egy adott nagyságú súly (rendszerint 100 long ton súly vagy MT tömeg) berakása a hajó adott hosszirányú koordinátájú helyén előidéz. Az értékeket leginkább a hossz mentén egyenletes beosztásban kijelölt pontokra adják meg, pl. 10-lábanként. A táblázat közvetlenül a hajó oldalnézete alatt van elhelyezve, amelyen fel van tüntetve a tankok és rakterek helye, hogy minden berakott tételt grafikusan is lokalizálni lehessen. A táblázatban levő értékeket a korábban látott egyenlet segítségével számolják ki, ahol a w értéke mindig 100 tonna, a d kar pedig megfelel annak a távolságnak, amely a súlytételt választja el az adott rakodási állapotban feltételezett vízvonalfelület súlyponttól. Mivel a táblázatban levő merülés-változások az eredeti közepes merüléstől függenek (hiszen az LCF , TPI és MT_i értékei a merüléssel változnak), a táblázatokat két vagy több közepes merüléshez is elkészítik. A kívánt pontosságtól függően vagy a tényleges közepes merüléshez legközelebbi táblázat értékei használhatóak, vagy pedig két táblázatból kell interpolálni. Az ábra példaszámítást is mutat. Mivel a tisztek is kényelmesek, szeretik használni a trimtáblázatokat, mert egyszerűbbek, mint a fentiekben leírt kis súlyok módszere (amelyen egyébként maguk a táblázatok is alapulnak). Ez igaz mindaddig, amíg csak egy-két tételről van szó. Ha azonban számos súly ki- és berakása történik, egy táblázatos számítást érdemes végigcsinálni.



2.3.2.2.2.4.3 ábra Trimtáblázat áruszállító hajóhoz

2.3.2.2.2.5 Nagyobb terhek be- és kirakása

Ha nem csupán kisebb súlyok be- és kirakódása történik, hanem olyan nagyobbaké, amelyeknél a bekövetkező merülés-változások olyan változást idéznek elő a vízkiszorításban és a közepes merülésben, amikor a hajótest hidrodinamikai jellemzői (*LCF*, *MTi*, *TPI*) már nem vehetők konstansnak a merülés-változások során, a kis súlyok módszere nem alkalmazható. Ezen kívül a párhuzamos bemerülés meghatározására a tonna vízkiszorítás-növekedés per hüvelyk merülés-növekedés (*TPI*) jellemző nem kielégítően pontos, mert amint a merülés jelentősen megváltozik, nem igaz többé, hogy a párhuzamos bemerülés rétege függőleges határoló falakkal bír. Ezeknek a pontatlanságoknak az elkerülése érdekében olyan megközelítést kell alkalmaznunk, amely meghatározza a vízkiszorítást és a hajó rendszersúlypontjának helyét hosszirányban a rakodás előtt és után, és ezt az információt mindkét állapotban a merüléssel hozza kapcsolatba. A *nagy súlyok módszere* úgy is ismert, mint a trim számításának *LCG módszere* vagy *teljes hajó módszere*.

Az eljárás akkor érthető meg legjobban, ha három részre osztjuk a következőképpen.

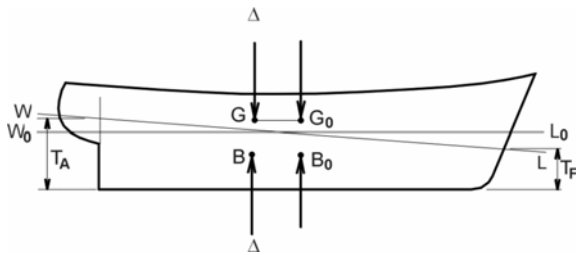
1. Rakodás előtt ismert a merülés elöl és hátul, meghatározzuk a vízkiszorítást és a rendszersúlypont hosszirányú helyét (*LCG*).
2. Hozzáadjuk a kezdeti vízkiszorításhoz (Δ) és a hajó súlyának hosszirányú nyomatékához ($\Delta \times LCG$) algebrai értelemben (előjelek figyelembe vétele nélkül) a rakományváltozás miatti súlyokat és nyomatékokat, és ebből meghatározzuk a rakodás utáni végső vízkiszorítást és rendszersúlypontot (*LCG*).

3. A végső vízkiszorítás és súlyponthelyzet ismeretében meghatározzuk a megfelelő merüléseket elöl és hátul.

Első pillantásra nyilvánvaló, hogy az 1. és a 3. lépés hasonló, a 3. lépés szerinti eljárás az 1. fordítottja. A 2. lépés pedig egy közönséges súly- és nyomatékszámítás, amely mind az egész hajót, mind az új rakományt magában foglalja.

1. lépés: a vízkiszorítás és LCG meghatározása a merülési értékekből. A vízkiszorítást a rakodást megelőző állapotban a korábban látott módon határozzuk meg. Ha a trim kicsi, a vízvonalfelület súlypontja pedig közel van a főbordához, a közepes merüléshez a jellemző görbékből leolvasott vízkiszorítás eléggé pontos lesz anélkül, hogy a trim miatt korrigálni kellene a vízkiszorítás értékét. Az LCG értékének meghatározásához tételezzük fel, hogy a hajó a rakodás előtti helyzetben egyenes gerinccel úszott, ahogy a 2.3.2.2.2.5.1 ábra mutatja az egyenes úszáshoz tartozó W_0L_0 vízvonalat.

Rendszersúlypontja ebben a referenciaállapotban G_0 -ban lenne, vagyis közös függőlegesen egyenesen az egyenes úszáshoz tartozó vízkiszorítás-súlyponttal B_0 . Ehhez a vízvonalhoz a vízkiszorítás-súlypont hosszirányú koordinátája (LCB_0) a jellemző görbékből leolvasható.



2.3.2.2.2.5.1 ábra A trimmel úszó hajó rendszersúlypontjának hosszirányú helyzete

A tényleges trimmelt állapot, az ábrán WL jelzésű vízvonalon, feltételezhetően egy w mértékű trimmelő nyomaték

eredménye, amely előidézte a rendszersúlypont eltolódását G_0 -ból G -be, amelyet a következőképpen lehet kifejezni:

$$GG_0 = wd/\Delta = \text{trimmelő nyomaték} / \text{vízkiszorítás}$$

amely a valóságban megfigyelhető trimet okozza:

$$t = T_A - T_F = \text{a hátul és elöl mért merülések különbsége}$$

Mínt hogy a trim ismert, ki tudjuk számítani a trimmelő nyomatéket más módon is:

$$t = wd/MT_i \quad \text{tehát a trimmelő nyomaték} \quad wd = t \times MT_i$$

A két kifejezés összevonásával:

$$\Delta \times GG_0 = t \times MT_i \quad \text{vagy} \quad GG_0 = t \times MT_i / \Delta$$

ahol a GG_0 a trimmel úszó hajó tényleges rendszersúlypontjának hosszirányú távolsága az egyenesen úszó hajó vízkiszorításának súlypontjától. Az MT_i értékét a jellemző görbékből leolvashatjuk annál a merülésnél, amelynél a Δ vízkiszorítást meghatároztuk, azaz a vízvonalfelület súlypontjában (LCF) érvényes merülésnél, ha a vízkiszorítást

korrigáltuk a trimhez, vagy a közepes merülésnél, ha a korrekciót mellőzni lehetett. Tehát a trimmel úszó hajó rendszersúlypontjának hosszirányú helye (LCG):

$$LCG = LCB_0 + GG_0$$

Ez algebrai összeg, bármelyik tag lehet pozitív vagy negatív, ha az LCB_0 a főbordától van megadva, a trim értelmétől függően. Természetesen fartrim esetén G a B_0 mögött van, illetve orrtrimnél előtte.

Példa

A korábbi példákban már előforduló áruszállító hajó tengervízben úszik, merülése elől $19'2''$ és $23'8''$ hátul.

Határozzuk meg a hajó rendszersúlypontjának hosszirányú helyét (LCG) lábban a mellső függélytől.

Először is számítsuk ki a közepes merülést és a trimet.

$$\begin{aligned} T_A &= 23'8'' \\ T_F &= 19'2'' \\ T_A + T_F &= 42'10'' & T_M &= (T_A + T_F)/2 = 21'5'' \\ T_A - T_F &= 4'6'' & t &= T_A - T_F = 4'6'' = 54 \text{ hüvelyk fartrim} \end{aligned}$$

A jellemző görbékből $T = 21'5''$ merülésnél:

$$\begin{aligned} \Delta &= 14.330 \text{ long ton} \\ LCB_0 &= 265,45 \text{ láb a mellső függély (FP) mögött (zéró trimnél)} \\ MTi &= 1.530 \text{ láb-long ton} \end{aligned}$$

A hosszirányú távolságot G és B_0 között a következőképpen számítjuk ki:

$$GG_0 = t \times MTi / \Delta = 54 \times 1.530 / 14,330 = 5,77 \text{ láb, a } G \text{ a } B_0 \text{ mögött}$$

Mivel fartrimről van szó, a G az egyenes úszási helyzetben érvényes B_0 vízkiszorítás-súlypont *mögött* kell, hogy legyen. Tehát a rendszersúlypont helye hosszirányban:

$$LCG = LCB_0 + GG_0 = 265,45 + 5,77 = 271,22 \text{ láb az FP mögött.}$$

2. lépés: a végső vízkiszorítás és LCG meghatározása. Az előző lépésben meghatározott vízkiszorításból és súlyponthelyzetből (LCG) kiindulva elvégezzük a súlyok és hosszirányú trimmelő nyomatékok számítását valamennyi be- és kirakott illetve elmozdított tétel és azok hosszirányú súlyponthelyzetének figyelembevételével. A végső vízkiszorítás egyszerűen az összes súly összege, a végső rendszersúlypont-helyzet (LCG) pedig a teljes hosszirányú nyomaték és a végső vízkiszorítás hányadosa. A számítás során ügyelni kell arra, hogy a súlytételek súlyponthelyzetének viszonyítási tengelye valamennyi esetben ugyanaz legyen.

Példa

BBBZ-kódex

Az előző példában szereplő áruszállító hajó a következő berakodási műveleteken esik át:

320 long ton a #2 raktérbe a kettősfenékre,
355 long ton a #2 raktérbe a 3. fedélzetre,
640 long ton a #3 raktérbe a 3. fedélzetre,
386 long ton a #3 raktérbe a 2. fedélzetre,
652 long ton a #4 raktérbe a 3. fedélzetre,
448 long ton a #5 raktérbe a 2. fedélzetre,
685 long ton a #6 raktérbe a 3. fedélzetre,
422 long ton a #6 raktérbe a 2. fedélzetre,
355 long ton a #7 raktérbe a 3. fedélzetre.

Határozzuk meg a hajó vízkiszorítását és rendszersúlypontját a rakodás befejezése után. Az előző példa szerint a hajó rakodás előtt 14.330 long ton súlyú vizet szorított ki, és súlypontja a mellső függély mögött volt $LCG = 271,22$ láb távolságra. A berakodott tételek súlypontját a hajó rakodási táblázatából vettük ki. A számítást a következő táblázat mutatja.

<i>Súly</i>	<i>LCG az FP-től</i>	<i>Nyomaték</i>
14.330	271,22	3.886.582,6
320	106,2	33.984,0
355	105,3	37.381,5
640	161,6	103.424,0
386	161,3	62.261,8
652	221,9	144.678,8
448	356,5	159.712,0
685	415,5	284.617,5
422	416,5	175.763,0
355	469,4	166.637,0
<hr/>	<hr/>	<hr/>
18.593	271,88	5.055.042,2

Berakodás után tehát a hajó vízkiszorítása 18.593 long ton és az $LCG = 271,88$ láb a mellső függély mögött.

3. lépés: a merülési értékek meghatározása a vízkiszorításból és LCG hosszirányú súlyponthelyzetből

Ez a lépés az 1. lépést fordítja meg. Az értékek természetesen mind különböznek az 1. lépésben szereplő mennyiségektől, mert a közepes merülésben jelentős változás következett be. A jellemző görbékkel való leolvasás kiinduló adata a 2. lépésben meghatározott vízkiszorítás, amelynél a következő jellemzőket olvassuk le.

Közepes merülés = T_0

Vízkiszorítás súlypontjának helyzete egyenes úszásnál és T_0 merülésnél = LCB_0

Egy hüvelyk trimet okozó nyomaték = MT_i

Vízvonalfelület súlypontjának helyzete = LCF

Azt a valószínűtlenül ritka esetet kivéve, amikor a 2. lépésben meghatározott LCG pontosan megegyezik az itt leolvasott LCB_0 értékkel, a hajó trimmel fog úszni, hogy a trim miatt elmozduló LCB egy vonalba kerüljön az LCG -vel. Tehát a referenciának tekintett egyenes gerincű úszáshelyezettel szemben van egy adott trimmelő kar, amelyet az 1. lépésnél használt egyenletből határozunk meg, de most a GG_0 kifejezésével, amely a hosszirányú távolság a tényleges rendszersúlypont (G) és az egyenes úszáshoz tartozó B_0 vízkiszorítás-súlyponttal azonos függőlegesen levő egyenes úszáshoz tartozó rendszersúlypont (G_0) között:

$$GG_0 = LCG - LCB_0$$

Ezúttal is ügyelni kell a mennyiségek előjelére, amiben a megszokott vázlat jó szolgálatot tesz, hogy amennyiben a főborda a referenciatengely, akkor lehessen látni az attól hátra illetve előre eső pontokat. A vázlat a trim értelmét is mutatja: ha a G a B_0 mögött van, fartrim jön létre, ha viszont előtte, orrtrim alakul ki. A következő művelet a trim kiszámítása:

$$t = \Delta GG_0 / MT\bar{i}$$

A merülés-változások számítása során azokat az általános formulákat használjuk, amelyeket a kis súlyok módszerénél írtunk fel:

$$f = (F/L)t$$

és $a = (A/L)t = t - f$

ahol F és A a mellső és a hátsó merülési mércék távolsága a vízvonalfelület súlypontjától. Végül a merülési értékek:

$$T_F = T_0 \pm f$$

$$T_A = T_0 \pm a$$

ahol a \pm jel azt jelenti, hogy figyelembe kell venni, far- vagy orrtrim jön létre.

Példa

Határozzuk meg az előző két példában szereplő hajó merülését elől és hátul az előző példa szerinti rakodási állapotban.

A hajó jellemző görbéiben az előző példa eredményeként kapott végső 18.593 long ton vízkiszorításból indulunk ki. A következő mennyiségeket olvassuk le:

$$T_M = 26'9''$$

$$LCB_0 = 267,70 \text{ láb az } FP \text{ mögött (zéró trimnél)}$$

$$MT\bar{i} = 1.758 \text{ láb-long ton}$$

$$LCF = F = 278,15 \text{ láb az } FP \text{ mögött}$$

Tehát $A = 528 - 278,15 = 249,85$ láb

BBBZ-kódex

A GG_0 trimmelő kar a tényleges rendszersúlypont (LCG) és az egyenes úszáshoz tartozó vízkiszorítás-súlypont (LCB_0) hosszirányú távolsága:

$$GG_0 = LCG - LCB_0 = 271,88 - 267,70 = 4,18 \text{ láb (} G \text{ a } B_0 \text{ mögött)}$$

A trim a $26'9''$ merüléshez tartozó egyenes gerincű úszásnál:

$$t = \Delta GG_0 / MT_i = 18.593 \times 4,18 / 1.758 = 44,2 \text{ hüvelyk}$$

Fartrimről van szó, mivel a G a B_0 mögött van. Az egyenes úszáshoz képesti merülés-változások elöl és hátul:

$$f = (F/L)t = (278,15/528)44,2 = 23,3 \text{ hüvelyk} = 1'11,3'' \text{ (levonandó)}$$
$$a = (A/L)t = (249,85/528)44,2 = 20,9 \text{ hüvelyk} = 1'8,9'' \text{ (hozzáadandó)}$$

Merülések rakodás után:

	Hátul	Elöl
Közepes merülés rakodás után	26° 9,0''	26° 9,0''
Trimváltozás	+ 1° 8,9''	- 1° 11,3''
Végső merülések	28° 5,9''	24° 9,7''

A nagy súlyok módszere a trim és merülési értékek meghatározásához ugyanolyan pontos kis súlyok esetében is, és az összes hajó rakodási számításaihoz használható. A hajókon megtalálható standard trim- és stabilitási segédletekben foglalt nyomtatványok arra szolgálnak, hogy a fent leírt eljárás 2. és 3. lépésének megfelelő számításokat el lehessen végezni. Az első lépés egyedi, mivel nem lehet előre listázni minden súlyt, amit be- vagy kiraknak, beleértve az üres hajót is, tehát azt az adott szituációnak megfelelően kell elvégezni.