
2.3.2.3 Lékszámítás

Ha egy hajó kifut a kikötőből, főleg a nyílt tengerre, vállalja annak veszélyét, hogy valamilyen módon víz jut a hajóterbe. Minden évben számos kereskedelmi hajó süllyed el és vész el, mert ütközés vagy zátonyra futás miatt elegendő víz tud bejutni a hajótestbe ahhoz, hogy már nem maradjon úszóképes. Akkor is, ha a statisztika az évente elvesztett hajók számát a világ aktív kereskedelmi flottájához képest csak a százalék töredékére teszi, a tengerészeti hatóságok és szakemberek közössége, akik felelősek az életek, hajók és rakomány megóvásáért, kötelességének érezte, hogy aggódásának úgy adjon hangot, hogy számtalan tanulmányban, nemzetközi konferenciákon és a kiadott rendelkezésekben foglalta össze, mit kell tenni ahhoz, hogy a katasztrófa valószínűsége kisebb legyen akkor is, ha a hajó sérülést szenved. Ez a fejezet azokat a vizsgálatokat tartalmazza, amelyek a hajótest vízzel való *elárasztásának* okaira és hatásaira koncentrálnak, valamint arra, hogyan lehet a hajótestet a legjobban felosztani *önálló vízmentes terekre* annak érdekében, hogy a hajó elvesztésnek veszélyét minimálisra lehessen csökkenteni lékesedés esetén.

2.3.2.3.1 Lékesedés

A vízzel elárasztott hajótest viselkedése sokban emlékeztet a folyékony rakomány szállítására szolgáló hajóknál tapasztalható jelenségekre. Azonban a különbségek azok, amelyek miatt a *lékesedés* jelenségét elkülönülten kell vizsgálni.

2.3.2.3.1.1 A vízbejutás (elárasztás) okai

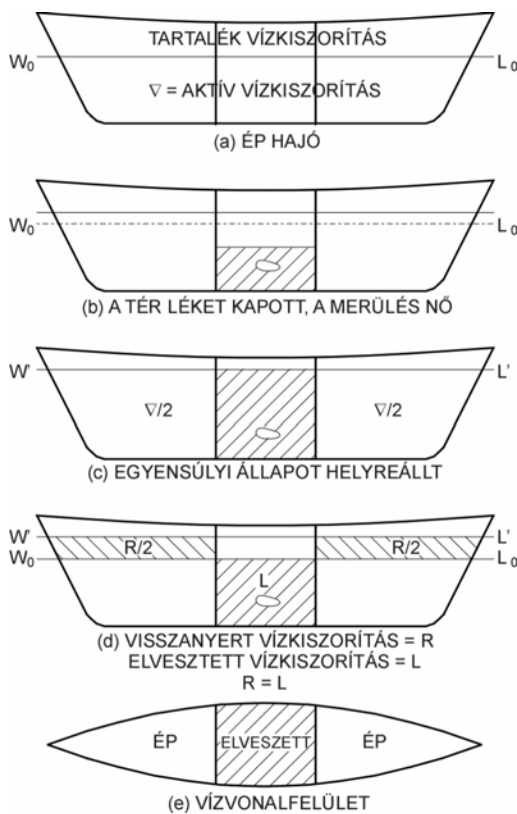
A *víz hajótestbe történő bejutásának* leggyakoribb két oka a hajók összeütközése a zátonyra futás. A mozgó hajó tehetetlensége (inerciája) hatalmas – tömeg szorozva a sebességgel – még akkor is, ha a hajók lassabban haladnak a többi járműnél, mivel a mozgó tömeg igen nagy. Tehát amikor nekiütközik egy másik hajónak vagy egy álló műtárgynak, amilyen egy móló vagy egy hídláb, vagy pedig, ha sziklás területen fut zátonyra, nem tud azonnal megállni. A hajó héjlemezelése deformálódik és kiszakad, a test terei pedig megtelnek vízzel. Más esetek is léteznek, amelyek során a hajótest vízmentessége sérül, pl. belső robbanás, a vasszerkezet valamelyik elemének törése, amely léket nyit, az utóbbi időben pedig a világméretű terrorizmus akciói nemzetközi vizeken, nemcsak hadihajók ellen. Az utóbbi esetet kivéve szinte minden emberi hibára vezethető vissza, pl. a navigáció során, a gépek helytelen működtetésénél vagy a nem megfelelő karbantartásban elkövetett mulasztásokra.

A vízmentes terek elárasztása úgy is előfordulhat, hogy a hajótest nem sérül meg a vízvonal alatt. Ilyen eset fordulhat elő viharos időben a fedélzeti nyílásokon át bejutó vízzel, amelyet *beszivárgás* néven ismerünk, vagy akkor, ha a hajón keletkező tűz eloltásához használt víz túlzott mennyiségű, de nem ritka az sem, hogy a csőrendszerek záró-szerelvényeinek helytelen nyitásokor jut be a külső víz a hajótestbe. A hajó ilyen esetekben másképpen viselkedik, mint amikor a *héjlemezen keletkezett léken* át a külső víz akadálytalanul bejuthat. Ilyenkor a hajótest érintetlen, a hajó jellemzőit az általános stabilitási, trim és geometriai számítási elvek szerint határozhatjuk meg, amelyeket az

ép hajótest vizsgálatánál láthattunk.

2.3.2.3.1.2 Az elárasztás hatásai

Mi történik a hajóval akkor, amikor a héjlemez megsérül a vízvonallal, és a víz beáramlik a léken egy *vízmentes térbe*? Tipikus esetben számos változás következik be, más lesz a merülés, a szabadoldal és a trim értéke, illetve a kereszt- és hosszstabilitás is megváltozik. Ezeknek a vizsgálata külön- külön a 2.3.2.3.1.2.1 ábra szerint történhet, amely a lehető legegyszerűbb esetet ábrázolja, ami bekövetkezhet egy feltételezett hajóval, ahol az orr és a far alakja megegyezik, tehát nemcsak kereszt-szimmetriával bír, valamint a fedélzetig kialakított *vízmentes keresztválaszfalak* elrendezése is szimmetrikus. Az ilyen válaszfalakat *térelválasztó válaszfalak* néven ismerjük, mivel vízmentes terekre osztják fel a hajótestet.



2.3.2.3.1.2.1 ábra Az elárasztás hatásai

A legfelső olyan fedélzet neve, amelyet a vízmentes válaszfal érint, tehát amely lezárja a válaszfalat felülről, *válaszfalfedélzet*. Az (a) részleten egyenes gerinccel W_0L_0 vízvonalon úszó ép hajótest stabil egyensúlyi állapotban van. A vízkiszorítás térfogata (∇) *aktív vízkiszorítás* néven van megjelölve. A *tartalék vízkiszorítás* a terek vízmentes térfogata a vízvonallal felett a válaszfalfedélzetig, mert ha a hajó valamelyik vízmentes tere léket kap, és emiatt a hajó mélyebbre merül a vízben, ezek a térfogatrészek, kivéve az *elárasztott teret*, az aktív vízkiszorítás részévé válnak. Ha a középső tér kap léket, amint a (b) részlet mutatja, a tér elárasztott része már nem járul hozzá a vízkiszorítással együtt járó felhajtóerőhöz, a merülésnek emiatt meg kell növekednie, hogy kiegyenlítse a felhajtóerő veszteséget. A lék miatti elárasztás a (c) részlet szerint akkor áll meg, amikor a léket

kapott tér előtti és mögötti aktív vízkiszorítás összege megegyezik a hajó sérülés előtti ∇ vízkiszorításával, az egyensúly pedig a $W'L'$ vízvonalon áll helyre. A hajótestbe beáramló víz a *külső víztér* (tenger vagy folyó) részeként van figyelembe véve (a másik nézet szerint súlya hozzáadódik a hajó súlyához), így a hajó úszásához szükséges felhajtóerő nem változik.

Azzal sem követünk el hibát, ha azt mondjuk, hogy a hajó elárasztott állapotában akkor áll helyre az egyensúly, amikor az elárasztás miatt kieső vízkiszorítást a tartalék

vízkişzorítás azonos mértékben helyettesíti. Az ábra (d) részlete ezt szemlélteti. A *lékesedett tér* térfogata az ép hajó eredeti vízvonalaig (W_0L_0) az *elvesztett vízkişzorítás*. Általában a korábbi aktív vízkişzorítás minden olyan része, amely elárasztódik, elvesztett vízkişzorításnak tekinthető. Az ép hajó WL vízvonala és a lékesedett állapot $W'L'$ vízvonala közötti vízkişzorítás-térfogat a lékesedett téren kívül a *visszanyert vízkişzorítás*. Általában a korábbi tartalék vízkişzorítás minden olyan része, amely lékesedett állapotban, amikor az új egyensúlyi állapot kialakult, aktív vízkişzorításnak tekinthető. Tehát mondhatjuk úgy is, hogy akkor áll helyre az egyensúlyi állapot, amikor a visszanyert vízkişzorítás megegyezik az elvesztett vízkişzorítással, amint az ábra (d) részlete mutatja. Nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy az elárasztott tér felső része nem tartozik az elvesztett vízkişzorításhoz, hiszen nem volt része az eredeti aktív vízkişzorításnak, de a visszanyert vízkişzorításba sem tartozik bele, mivel az új egyensúlyi állapot beálltakor el van árasztva. Ennek alapján egyértelmű, hogy az a hajó, amely nincs külön terekre osztva vízmentes válaszfalakkal, el kell, hogy süllyedjen, ha bárhol a vízvonala alatt léket kap, mivel nem képes visszanyert vízkişzorítás képzésére. Az ábra (e) részlete jól szemlélteti a lékesedett állapotban érvényes vízvonalfelületet. A szabadon beáramló környezeti víz a vízvonalfelületnek az elárasztott térben levő részét hatástalanná tette, ami csökkenti a vízvonalfelület területét (A_W) és kereszt- és hosszirányú inercianyomatékát (I_T és I_L). Tehát a hajó TPI ill. TPC , valamint BM_T és BM_L értékei mind csökkennek. A következőkben részletesen megvizsgáljuk a lékesedésnek ezeket a hatásait.

Az elárasztás hatása a merülésre és a szabadoldalra

A hajó egy terének elárasztása általában azt okozza, hogy a hajó mélyebbre merül, és így a szabadoldal csökken. Az egyetlen kivétel ez alól, ha a lékesedett tér meg van töltve folyadékkal az egyensúlyi úszáshelyzet vízvonalaánál magasabban. Ilyen esetben a merülés inkább csökken, mivel a folyékony rakomány helyett a léken szabadon áramló vízzel kell számolni. Minden más esetben növekszik a merülés mindaddig, amíg az egyensúly helyre nem áll, vagy amíg a léken beáramló víz be nem hatol a többi vízmentes térbe. Ha az ép hajó szabadoldala annyira kicsi, hogy a *lékesedett állapot vízvonala* eléri a válaszfalfedélzetet, a teljes tartalék vízkişzorítás elfogy, a hajó pedig elsüllyed. Amikor egy hajó nem azért süllyed el, mert felborul hirtelen megdőlés vagy negatív stabilitás miatt, hanem azért, mert nincs elegendő tartalék vízkişzorítása, azt *elmerülés (foundering)* néven emlegetjük. A nemzetközi rendelkezések, amelyek a *minimális engedélyezett szabadoldalról* intézkednek, részben azon alapulnak, hogy elegendő tartalék vízkişzorítást biztosíthassanak az elmerülés megakadályozásához.

Az elárasztás hatása a stabilitásra

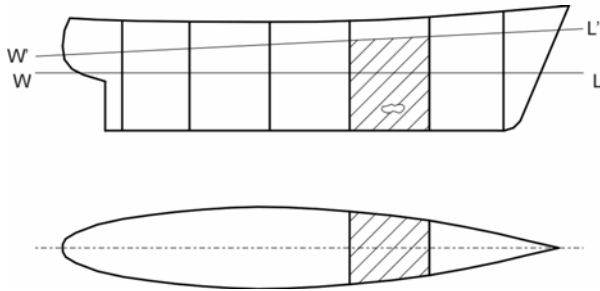
A szokásos alakú hajóknak mind a kereszt-, mind a hosszirányú stabilitása lecsökken, amikor valamelyik nagyobb tér elárasztódik. Ahogy az előző ábra (e) részletében láttuk, a legfőbb oka a stabilitás változásának az, hogy csökken a vízvonalfelület inerciája, vagyis a BM értéke. Ezzel szemben a merülés növekedésével feljebb kerül (a gerinchez képest) a vízkişzorítás súlypontja. A KB értékének növekedése a BM csökkenését bizonyos mértékben kiegyenlíti, ezért vannak olyan hajóformák, amikor még kis

mértékben növekszik a hajó stabilitása. A szokásos esetekben azonban, különösen, amikor a lékesedett tér a hajó hengeres középrészén van, a keresztirányú stabilitás csökkenése jelentős lehet, és ez veszélyes. Amikor a keresztirányú stabilitás negatív értékbe megy át, az *felborulást (capsizing)* eredményez. Ez akkor is megtörténhet, ha a lékesedés maga nem okoz kitérítő nyomatékokat, de a GM_T értéke negatív lesz, és a szabadoldal annyira lecsökken, hogy a legkisebb lógási szögnél is *bemerül a válaszfalfedélzet széle*. A hajózó tisztek nem engedhetik meg, hogy a maradék stabilitást olyan kis értékűre hagyják lecsökkenni, amikor a felborulás nagy valószínűséggel bekövetkezik; az ilyen helyzet veszélyességét nem lehet túlértékelni.

Az előző egyszerű eset kapcsán nem lehetett szemléltetni az elárasztás két további hatását, mivel az ott ábrázolt hajó mindkét irányban szimmetrikus volt. A lékesedés általában a trimben is változást idéz elő, mert az nagyon ritka eset, hogy a léket kapott tér olyan helyen legyen, ami kizárólag párhuzamos bemerülést okoz. Ha emellett az elárasztott tér a hajó szimmetriasíkjára sem szimmetrikus, a beáramló víz a hajónál megdőlést is okozni fog.

Az elárasztás hatása a trimre

A léken át beáramló víz nemcsak merülés-növekedést, tehát bemerülést okoz, hanem a trim értékét is megváltoztatja. A 2.3.2.3.1.2.2 ábra azt mutatja, amint egy hajónál a hajó mellső részén levő teret elárasztó víz addig növeli az orrtrimet, amíg a hajótest ép víz alatti részének vízkiszorítás-súlypontja a hajó rendszersúlypontjával közös függőleges egyenesre nem kerül. Ha az egyensúlyi állapot nem tud azt megelőzően helyreállni, hogy a trimmel úszó hajó úszásvonala a válaszfalfedélzet egy részét bemerítene, a fedélzeten levő nyílásokon át a hajótest ép tereibe is bejut a víz (a fedélzeti zárószervezetek ugyanis csak időjárásállóak, de nem vízmentesek), a hajó pedig az egyre nagyobb vízbejutás miatt el fog süllyedni.



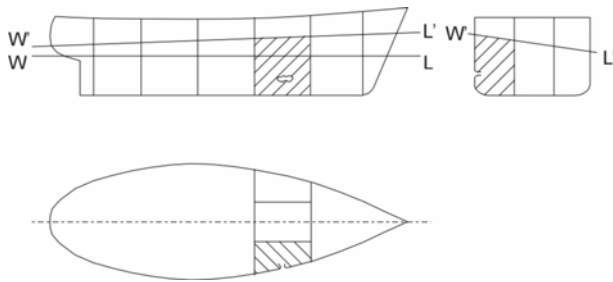
2.3.2.3.1.2.2 ábra Az elárasztás miatti trim

Amint egyre több vízmentes tér árasztódik el, a vízvonalfelület hosszirányú inerciájának csökkenése jelentősen csökkenti a hosszirányú stabilitást és azzal együtt az egységnyi

trimet előidéző nyomaték értékét, a hajó pedig a legstabilabb helyzetet fogja elfoglalni (amikor a gerinc függőleges), és *orral előre elsüllyed (plunge)*. Az ilyen módon történő elsüllyedés általában hosszabb időt vesz igénybe ahhoz képest, amennyi idő alatt egy felboruló hajó süllyed el.

Az elárasztás hatása a megdőlésre

A hajó helyzete bármelyik tér elárasztása esetén nagyon veszélyes, de ha a léket kapott tér távol esik a szimmetriasíktól, és egyidejűleg bemerülést, trimet és megdőlést is okoz, amint azt a 2.3.2.3.1.2.3 ábra mutatja, az a legveszélyesebb helyzet.



2.3.2.3.1.2.3 ábra Az elárasztás általános esete trimmel és megdőléssel

A sérült hajó megdőlése addig nő, amíg a hajótest ép víz alatti részének vízkiszorítás-súlypontja a hajó rendszersúlypontjával közös függőleges egyenesre nem kerül. A

mélyebb oldalon a szabadoldal gyorsan csökken, és amennyiben az elárasztott tér nagy, a megdőlt állapotban az egyensúlyi helyzet nem tud azt megelőzően kialakulni, hogy a fedélzet széle bemerülne. Egy ilyen kétes állapotban levő hajó ugyan úszóképes maradhat egy ideig, mert a fedélzet vízmentes, azonban, mivel a hullámok átcsapnak a fedélzeten, a hajó pedig állandóan billeg, csak idő kérdése, hogy a nem vízmentes fedélzeti nyílásokon elegendő víz hatoljon be a további terek elárasztásához, ami elkerülhetetlenül a hajó elsüllyedését okozza. A mi a legnagyobb veszélyt jelenti, az a tény, hogy amint az elárasztás fokozódik, a hajó keresztirányú stabilitása is változik, általában csökken. A negatív metacentrikus magasság az excentrikus elárasztás által okozott megdőléssel kombinálva azt eredményezheti, hogy a hajó egyik pillanatról a másikra felborul.

2.3.2.3.2 Vízmentes válaszfalak kiosztása

Az előzőekben bemutatott példákban azt tételeztük fel, hogy a hajótest vízmentes terekre van felosztva vízmentes keresztválaszfalakkal, amelyek konstrukciója biztosítja a víz átáramlásának megakadályozását egyik téréből a másikba, mivel a válaszfal felső szélét a fedélzet jelenti. Tehát ezek szilárdságának elegendőnek kell lennie ahhoz, hogy akkor is vízmentesek maradjanak, amikor akkora víznyomás terheli őket, hogy a válaszfal egyik oldalán a tér egészen a válaszfalfedélzetig fel van töltve vízzel, a másikon pedig semmi sem tart ellent a nyomásnak, mert a tér üres. Az nyilvánvaló, hogy az olyan hajó, amely nincs vízmentes terekre felosztva, mindenképpen el fog süllyedni, amint a héj bárhol megsérül, mert egyáltalán nem lennének ép terek, amelyek vízkiszorítást tudnának biztosítani. Tehát mindegyik hajónál szükség van valamilyen mértékű térfelosztásra, hogy úszóképes maradjon a héjlemez sérülése esetén, amely a víz beáramlását a hajótestbe lehetővé teszi.

Már sok évvel ezelőtt felismerték a hajótervezők, hajótulajdonosok, biztosító társaságok és tengerészeti hatóságok, hogy szükség van a vízmentes válaszfalak valamilyen kiosztására ahhoz, hogy a hajó úszóképes maradjon sérülés esetén. A felismerés azonban még nem volt elég. A kritikus kérdés a következőképpen hangzik: „Hány válaszfalra van szükség és mennyire közel kell azokat egymáshoz elhelyezni?” A nyilvánvaló válasz: „Amennyire és amilyen sűrűn kell őket elhelyezni ahhoz, hogy a lehető legnagyobb sérülés esetén is a hajó úszóképes maradjon.” Ez azonban olyan követelményt támaszt, amit nem lehet kielégíteni. Az elsüllyeszthetetlen hajó megvalósíthatatlan (hacsak nem a víznél könnyebb anyagból épül), ugyanis minél

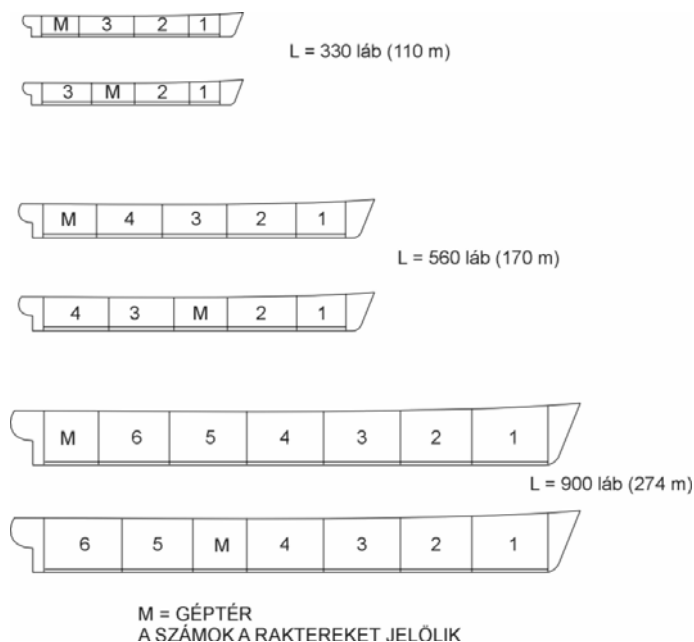
BBBZ-kódex

közelebb kerülnek a válaszfalak egymáshoz, annál nagyobb annak a valószínűsége, hogy egynél több tér is megsérül, és így számos szomszédos tér árasztódik el. Bármilyen válaszfal kiosztást választunk, mindig lehetséges olyan helyen történő és olyan mértékű sérülés, amely elegendő számú tér elárasztásával a hajó elsüllyedését okozza. Ezen kívül nyilvánvaló, hogy nagyszámú kis tér kialakítása esetén a hajón nehézkessé vagy lehetetlenné válik a rakomány kezelése, sőt, a terekbe való bejutás is. Tehát a válaszfalak kiosztásánál az a feladat, hogy olyan megoldást lehessen találni, amely elfogadható fokú biztonságot nyújt anélkül, hogy azzal ésszerűtlenül csökkenne a gazdaságosság vagy a használhatóság.

2.3.2.3.2.1 Vízmentes válaszfalak kiosztására vonatkozó követelmények

A hajóosztályozó intézetek voltak az első olyan hatósági intézmények, amelyek követelményeket dolgoztak ki a vízmentes válaszfalak kiosztására. Ezeknek a követelményeknek az alapja nemcsak a lékesedés, hanem a keresztzilárdság is. A szabályok az összes osztályozó intézetnél hasonlóak.

A *kollíziós válaszfal* az orrban van elhelyezve valamennyi hajónál. Mivel szinte minden ütközésnél (kollízió) legalább az egyik hajónál (amelyik ütközik) az orrész megsérül, statisztikailag a hajó legelöl található része, az orr a leghajlamosabb a megrongálódásra.



2.3.2.3.2.1.1 ábra Tipikus vízmentes válaszfal kiosztás áruszállító hajóknál

A kollíziós válaszfalnak az orrtökéhez eléggé közel kell lennie ahhoz, hogy korlátozza a beáramló víz mennyiségét, vagyis akadályozza meg, hogy a trim veszélyesen nagy legyen, de elég messze is ahhoz, hogy az ütközésnél maga ne sérüljön meg. Az előírások szerint távolsága a mellső függély mögött legalább $0,05L$ (5%-a a vízvonalhossznak) kell, hogy legyen, személyhajóknál ez

$0,05L$ plusz 10 láb (3,05 méter), de az összes többi hajótípusnál nem lehet messzebb, mint $0,08L$. A kollíziós vagy orrkamra válaszfal különlegesen szilárd konstrukciójáról a hajótest szerkezetének ismertetése tartalmaz többet.

Szükség van hasonló módon a farnál a *farkkamra válaszfalra* is, amelynek magába kell fogadnia a *hajócsavar tengely* vagy *tengelyek tönkcsövét*. Így azt lehet megakadályozni, hogy a hajócsavart ért sérülés miatt nagyobb mennyiségű víz jusson a hajóba. Erre a válaszfalra az egyetlen konkrét előírás, hogy a *tengelykilépés* előtt kell kialakítani.

2.3 GEOMETRIAI TERVEZÉS

2. kiadás 2009.

2.3.2.3 LÉKSZÁMÍTÁS

Géptéri válaszfalak elhelyezése kötelező a géptér két végénél, hogy a géptér külön vízmentes térben legyen kialakítva. Ezek nemcsak lékesedésnél választják le a gépteret, hanem *tűzvédelmi ernyőként* is szerepet játszanak. Amennyiben *far-géptér* van a hajón, a hátsó géptéri válaszfal és a farkamra válaszfal azonos.

Raktéri válaszfalak. Az orr- és farkamra, illetve a géptér válaszfalain kívül a rakterek között további vízmentes válaszfalakat osztanak ki. Ezeknek a további válaszfalaknak a számát és helyét az osztályozó intézetek, nemzetközi konvenciók és nemzeti szabványok szabják meg, esetleg a *Nemzetközi Tengerhajózási Szervezet* (International Maritime Organization, *IMO*) ajánlásai. A hajóhossz növekedésével a válaszfalak száma is nagyobb. A 2.3.2.3.2.1.1 ábra az amerikai osztályozó intézet (*American Bureau of Shipping, ABS*) irányelvein alapuló tipikus válaszfal kiosztást mutat áruszállító hajóknál. Az ábrán három hossz-kategória látható, mindegyiknél két géptéri elrendezési változat.

2.3.2.3.2.2 A jellemzők kiszámítása a sérülés bekövetkezése után

A vízmentes válaszfalak kiosztása csak az első dolog, amit a hajótervezőnek meg kell tennie annak az elemzésnek a során, amelynek segítségével meghatározhatja azt a *biztonsági tényezőt*, amely a hajó úszóképes állapotban maradását fejezi ki azt követően, hogy léket kapott és elárasztódott. A tényleges vízmentes terek, tankok és egyéb helyiségek ismeretében számításokat kell végezni a hajó merülésének, trimjének, dőlésének és stabilitásának meghatározására, amelynél a hajó visszanyeri egyensúlyi helyzetét az egyes terek és helyiségek elárasztása után. A hajóra vonatkozó számos nemzetközi és nemzeti előírás meghatározza azt a feltételezett sérülési mértéket, annak helyét a hajón, valamint a biztonság szükséges mértékét azt követően, hogy a hajó a sérült állapotban visszanyerte egyensúlyi helyzetét.

2.3.2.3.2.2.1 Az elárasztott terek kitöltési tényezője

A lékesedési számítások nem adhatnak pontos merülési és stabilitási értékeket az adott tér elárasztása után, mert nagyon sok bizonytalanság fordul elő a *valóságos lékesedési szituációknál*, amelyeket csak becsülni lehet a lehetséges károk elemzése során. Amellett, hogy a *sérülés tényleges mértékét* (hossza, magassága, vízbeeresztő képessége) és annak helyét nehéz előre megbecsülni, az is kérdéses, hogy valójában mennyi víz tud behatolni az elárasztott térbe, amely már tartalmaz rakományt, gépeket, folyadékokat, lakótéri felszereléseket vagy bármilyen más anyagokat. A behatoló víz térfogatának (v_w) és a tér köbözési térfogatának (v_c) hányadosát a tér *kitöltési tényezőjének* (μ) nevezzük.

$$\mu = v_w/v_c$$

A számítások során a μ tizedes tört alakjában van kifejezve (pl. 0,85), amikor azonban az értékeket táblázatba foglalják, százalékban adják meg (pl. 85% vagy egyszerűen 85-

ös kitöltési tényező).

A szokásos terekhez meghatározták a körülbelüli kitöltési tényezőket, amelyek attól függenek, milyen mértékben vannak a terek eredetileg telerakva. A következő táblázat azokat a gyakorlatban vagy elméleti számítások segítségével meghatározott értékeket tartalmazza, amelyek a lékesedési számítások során ajánlhatóak. Érdeemes azt is megfigyelni, hogy az üres terek sem 100%-osak, mivel maga a vasszerkezet is kitölti a tér bizonyos részét.

<i>A tér és tartalmának megnevezése</i>	<i>Kitöltési tényező, %</i>
Üres tér	95
Száraz rakomány vagy készletek	60
Lakóterek	95
Gépterek	85
Konténer rakterek (a konténerek megtelnek vízzel)	70
RO/RO rakterek (kereskes járművek)	90
Bárkaszállító hajó rakterei (a bárkák megtelnek vízzel)	76
Bárkaszállító hajó rakterei (a bárkák nem telnek meg vízzel)	30

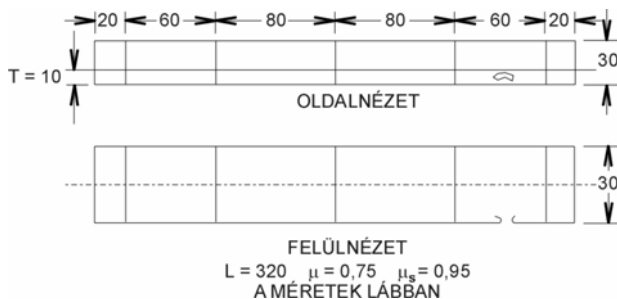
A lékesedés egyik következménye a vízvonalfelület és az inercianyomaték csökkenése az elárasztott téren belül. Ennek a csökkenésnek a mértékét befolyásolja a különböző szintig való elárasztás során a vízvonalfelületet csökkentő szerkezetek, gépek vagy rakományok mérete. A teret elárasztó víz felületének (a) és a tér sablon szerinti felületének (a_s) az arányát *felület-kitöltési tényezőnek* (μ_s) nevezzük. Ehhez használható valóságos méretek és adatok szinte nem léteznek. Számításoknál a μ_s gyakran ugyanolyan értékűre van feltételezve, mint a tér kitöltési tényezője, bár annál sokkal magasabb is lehet, különösen, ha a víz a tér felső részéig emelkedik, hiszen a gépek és rakományok a terek alsó részét foglalják el. Annak érdekében, hogy ne lehessen alábecsülni a stabilitás csökkenését, a hagyományos megoldás az, hogy a felület-kitöltési tényezőt 95%-ra választják, ami azt jelenti, hogy üres térként kezelik az elárasztott teret, vagyis csak a szerkezeti elemek csökkentik a stabilitást rontó vízfelület mértékét.

A lékesedett állapotban érvényes vízvonalfelület és stabilitás meghatározására két megközelítés létezik. Egyik az *elvesztett vízkiszorítás módszere*, a másik a *hozzáadott súly módszere*. Mindkettő elég sok számítási munkával jár, beleértve az iterációt is, amit a megváltozó hidrosztatikus jellemzők és a merülés-változás tesz szükségessé. Ezek a számítások manuálisan nagyon nehézkesek. A következőkben bemutatott példák egyszerű hajótest geometriára vannak kidolgozva – a már ismert derékszögű bárka –, így a módszert a lehető legkevesebb ismétlődő iterációval mutathatjuk be. A szakirodalom azonban több ilyen számítást tartalmaz meglehetősen átfogó feladatokra. Hasonló számításokhoz számítógépes programokat dolgoztak ki, amelyek a számítási munkát elvégzik a manuálisan leolvasott és betáplált adatok alapján, annyiszor, amennyiszer szükséges.

2.3.2.3.2.2.2 Az elvesztett vízkiszorítás módszere

Ez a módszer a léken beáramló vizet a hajót körülvevő közeg részeként kezeli, ezért a hajó vízkiszorítása és a vízkiszorítás térfogata, valamint a KG értéke nem változik, azonban a vízbemerült rész alakja és eloszlása megváltozik, mivel az eredeti vízvonallal alatti elvesztett vízkiszorítást az afelett levő visszanyert vízkiszorítás helyettesíti. Az alábbi példa ezt szemlélteti.

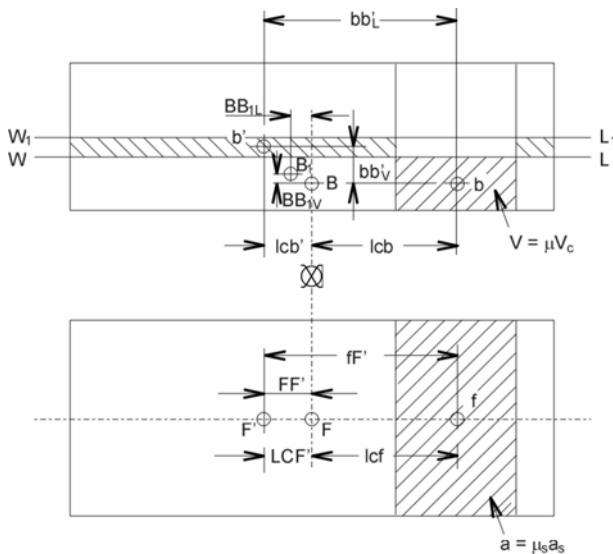
Példa



2.3.2.3.2.2.1.1 ábra

A 2.3.2.3.2.2.1.1 ábrán látható téglatest alakú bárka méretei: $L = 320$ láb, $B = 50$ láb, $D = 30$ láb. Egyenes úszáshelyzetben merülése tengervízben 10 láb, a rendszersúlypont magassága $KG = 12$

láb. Öt válaszfal osztja vízmentes terekre az ábrán látható helyeken. Az orrnál a kollíziós válaszfal mögötti tér léket kap és a víz beáramlik. A kitöltési tényező a térben 75%, a felület-kitöltési tényező 95%.



2.3.2.3.2.2.1.2 ábra

Határozzuk meg, milyen merülési és stabilitási értékeknél alakul ki a lékesedett állapot egyensúlyi helyzete. *Vízkiszorítás.* A vízkiszorítás térfogata:

$$\nabla = LBT = 320 \times 50 \times 10 = 160.000 \text{ láb}^3$$

$$\Delta = \nabla / 35 = 160.000 / 35 = 4.571 \text{ long ton}$$

Párhuzamos bemerülés. Amint a trim számításánál láttuk, ugyanúgy járunk

el az elárasztás hatásának számításánál is, tehát a merülési értékeket két lépésben számítjuk ki, először a párhuzamos bemerülést (az eredeti trim változatlan), majd a trim változását. A párhuzamos bemerülés meghatározásánál a következő mennyiségekkel kell dolgozni:

v_c = az elárasztott tér sablon szerinti térfogata a WL vízvonallig a 2.3.2.3.2.2.1.2

ábrán

v = elvesztett vízkiszorítás térfogata = a lékesedett térbe a WL vízvonal alatt beáramló víz térfogata

μ = az elárasztott tér kitöltési tényezője (%/100)

A = az ép hajó eredeti vízvonalfelülete (WL)

a_s = az elárasztott tér sablon szerinti felületének területe

a = elvesztett vízvonalterület

A' = a hajó megmaradt vízvonalfelületének területe lékesedett állapotban

μ_s = az elárasztott tér felület-kitöltési tényezője

s = párhuzamos bemerülés

A megadott méretekből a tér térfogata:

$$v_c = 60 \times 50 \times 10 = 30.000 \text{ láb}^3$$

az elvesztett vízkiszorítás térfogata ebből:

$$v = \mu v_c = 0,75 \times 30.000 = 22.500 \text{ láb}^3$$

Az egyensúlyi helyzet akkor áll be, amikor az elvesztett vízkiszorítás térfogata megegyezik a visszanyert vízkiszorítás térfogatával. Mivel a trimet nem vesszük figyelembe, a visszanyert vízkiszorítás térfogata az ábrán látható párhuzamos bemerüléssel egyezik meg a WL és W_1L_1 között, kivéve az elárasztott térbe beáramló víz felületét. Vagyis a visszanyert vízkiszorítás térfogata a maradék vízvonalterület szorozva a párhuzamos bemerüléssel.

Az eredeti vízvonalfelület területe:

$$A = L \times B = 320 \times 50 = 16.000 \text{ láb}^2$$

Az elvesztett vízvonalterület:

$$a = \mu_s \times a_s = 0,95 \times 60 \times 50 = 2.850 \text{ láb}^2$$

Tehát a maradék vízvonalterület:

$$A' = A - a = 16.000 - 2.850 = 13.150 \text{ láb}^2$$

Ezzel a párhuzamos bemerülés, mivel az elvesztett és visszanyert térfogat megegyezik az egyensúlyi helyzetben

$$s = v/A' = 22.500/13.150 = 1,711 \text{ láb}$$

Trimváltás. Amikor az a feltételezés már nem igaz, hogy csak párhuzamos

bemerülésről beszélünk, akkor a vízkiszorítás áthelyeződése az elvesztett vízkiszorítás súlypontjából a visszanyert vízkiszorítás súlypontjába azt okozza, hogy a bárka orrtrimmel fog úszni. A 2.3.2.3.2.2.1.2 ábrán látható mennyiségek, amelyeket a trimszámításhoz fel kell használni, a következők (a hosszméretek a főbordától érvényesek, az orr felé pozitív előjelűek):

$B = WL$ vízvonalon úszó ép bárka vízkiszorítás-súlypontja
 $B_1 = W_1L_1$ vízvonalon úszó sérült bárka vízkiszorítás-súlypontja
 $BB_{1V} = a$ B mozgása felfelé a párhuzamos bemerülés miatt
 b = elvesztett vízkiszorítás súlypontja
 b' = visszanyert vízkiszorítás súlypontja
 bb'_L = a vízkiszorítás-térfogat (v) súlypontjának hosszirányú elmozdulása
 bb'_V = a vízkiszorítás-térfogat (v) súlypontjának függőleges elmozdulása
 $lcb, lcb' = b$ és b' távolsága a főbordától
 $Kb, Kb' = b$ és b' magassága a gerinc felett
 f = elvesztett vízvonal felület (A) súlypontja
 F = eredeti vízvonal felület (A) súlypontja
 F' = megmaradó vízvonal felület (A') súlypontja
 $lcf, LCF, LCF' = f, F$ és F' távolsága a főbordától

Az ábra és a megadott adatok alapján:

$LCF = 0$ (téglalap alakú vízvonal)
 $lcb = lcf = 80 + 30 = 110$ láb

A megmaradó vízvonal felület és a visszanyert vízkiszorítás súlypontja (F' és b') a vízvonal felületek főbordára vett nyomatékainak kisámításával határozható meg:

megmaradó = eredeti – elvesztett
 $A' \times LCF' = A \times LCF - a \times lcf$
 $13.150 \times LCF' = 16.000 \times 0 - 2.850 \times 110$
 $LCF' = -(2850 \times 110) / 13.150 = -23,84$ láb (a főborda mögött)

Tekintve, hogy a bárka oldala függőleges, a b' függőlegesen az F' alatt van, tehát

$lcb' = -23,84$ láb

Ezzel a vízkiszorítás elárasztás miatti hosszirányú elmozdulása

$bb'_L = 110 + 23,84 = 133,84$ láb a far felé

A tm trimmelő nyomaték, amelyet a $v/35$ long ton elvesztett vízkiszorítás 133,84 lábbal a far felé való elmozdulása okoz:

BBBZ-kódex

$$tm = (v \times bb'_L)/35 = (22.500 \times 133,84)/35 = 86.040 \text{ láb-long ton}$$

amely a trim következő változását okozza (a t lábban van megadva):

$$t/L = tm/(\Delta GM'_L) = tm/(\Delta BM'_L) = tm/(I'_L/35)$$

$$t = (35 \times L \times tm)/I'_L$$

Az alkalmazott egyszerűsítések a párhuzamos bemerülés állapotára utalnak, a BM'_L behelyettesítése pedig a GM'_L helyett csak megengedhetően kis tévedést okoz. Tehát mindössze a megmaradó vízvonalfelület I'_L inerciáját kell kiszámítanunk az F' súlyponton áthaladó keresztirányú tengelyre. A felület-kitöltési tényezőről (μ_s) feltételezzük, hogy az elvesztett vízvonalfelület inerciájának csökkenésére is érvényes. A megmaradó vízvonalfelület hosszirányú inercianyomatéka az F' súlyponton áthaladó tengelyre az eredeti ép hajó vízvonalfelületének hosszirányú inerciája az F' tengelyre és az elvesztett vízvonalfelület ugyanarra a tengelyre vett inerciája közötti különbség:

$$I_L = (I_{L0} + A FF'^2) - \mu_s(i_{L0} + a_s fF'^2)$$

ahol a 0 a „saját súlypontra vett” jelentésű.

$$I_{L0} = BL^3/12 = (50 \times 320^3)/12 = 136,533 \times 10^6 \text{ láb}^4$$

$$A \times FF'^2 = 16.000 (23,84)^2 = 9,094 \times 10^6 \text{ láb}^4$$

$$\mu_s i_{L0} = (0,95 \times 50 \times 60^3) = 0,855 \times 10^6 \text{ láb}^4$$

$$\mu_s a_s fF'^2 = a \times fF'^2 = 2.850(133,84)^2 = 51,052 \times 10^6 \text{ láb}^4$$

Tehát

$$I'_L = 10^6 (136,533 + 9,094 - 0,855 - 51,052) = 93,720 \times 10^6 \text{ láb}^4$$

A trimváltozás

$$t = (35 \times 320 \times 86.040)/(93,720 \times 10^6) = 10,28 \text{ láb orrtrim}$$

Mivel a bárka az új vízvonalfelület F' súlypontja körül trimmelődik, a függéyek távolsága a tengelytől

$$F = L/2 + LCF' = 320/2 + 23,84 = 183,84 \text{ láb}$$

$$A = L/2 - LCF' = 320/2 - 23,84 = 136,16 \text{ láb}$$

a merülések pedig elöl és hátul

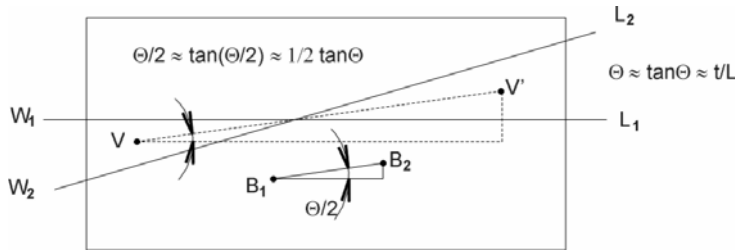
$$T_F = T + s + (F/L)t = 10,00 + 1,71 + (183,84/320)10,28 = 17,62 \text{ láb}$$

2.3 GEOMETRIAI TERVEZÉS

2. kiadás 2009.

2.3.2.3 LÉKSZÁMÍTÁS

$$T_A = T + s - (A/L)t = 10,00 + 1,71 - (136,16/320)10,28 = 7,34 \text{ láb}$$



2.3.2.3.2.2.1.3 ábra

Lékesedett hajó stabilitása.
Lékesedett állapotban a metacentrikus magasság

$$GM_{T2} = KB_2 + BM_{T2} - KG$$

ahol 2-es index a lékesedés után beálló egyensúlyi állapotra utal.

A KB az elárasztás során két lépésben nő meg – az első a párhuzamos bemerülés miatti növekedés, amelyet a 2.3.2.3.2.2.1.2 ábra illusztrál, a második pedig a trimváltozás miatt következik be, ezt a 2.3.2.3.2.2.1.3 ábra mutatja.

Az első növekedést úgy számítjuk ki, hogy a teljes vízkiszorítás térfogatának nyomatékát egyenlővé tesszük az elvesztett vízkiszorítás térfogatának nyomatékával. A 2.3.2.3.2.2.1.2 ábra alapján világos, hogy

$$\begin{aligned} Kb &= 10,0/2 = 5,0 \text{ láb} \\ Kb' &= T + s/2 = 10,0 + 1,71/2 = 10,86 \text{ láb} \\ bb'_v &= 10,86 - 5,00 = 5,86 \text{ láb felfelé} \end{aligned}$$

A vízkiszorítások nyomatékának egyenlősége

$$\nabla \times BB_{1v} = v \times bb'_v$$

$$BB_{1v} = (22.500 \times 5,86)/160.000 = 0,824 \text{ láb}$$

A trimváltozás a 2.3.2.3.2.2.1.3 ábra értelmében újabb növekedést okoz a KB értékében. Az ábra a bárka oldalnézetét mutatja kissé túlzott trimmel, a valóságos trimszög ugyanis nagyon kicsi. Látható egy ék-alakú vízkiszorítás térfogat áthelyeződése a v pontból a v' pontba, amint a bárka a W_1L_1 párhuzamos úszásvonalhoz képest trimmelődik. Az elmozdulás függőleges összetevője minden esetben felfelé mutat, mivel a v pont mindig a vízvonallal van, a v' pont pedig mindig felette, tekintet nélkül a trimváltozás értelmére. Mivel az ábrán eltúlzott szögek mindig nagyon kicsik, használhatjuk az alábbi közelítéseket.

1. A vv' és W_1L_1 által bezárt szög megközelítően feleakkora, mint a trimváltozás szöge (Θ).
2. A kis szögek radiánban megközelítően egyenlők saját tangensükkel.
3. A tangens függvény kis szögeknél majdnem lineáris.

Ezzel a következőt írhatjuk:

$$\Theta = \tan \Theta$$

$$\Theta/2 = \tan(\Theta/2) = (\tan \Theta)/2$$

Mivel a Θ a trim szöge, ezért

$$\begin{aligned}\tan \Theta &= t/L \quad (t \text{ és } L \text{ lábban}) \\ \tan(\Theta/2) &= t/2L\end{aligned}$$

Az ábrából látható, hogy a B elmozdulását ábrázoló háromszög hasonló a v mozgását ábrázolóval. Ha a vízkiszorítás súlypontjának elmozdulásánál a B_1B_{2V} és B_1B_{2L} az elmozdulás függőleges és hosszirányú összetevője, akkor

$$\begin{aligned}B_1B_{2V}/B_1B_{2L} &= \tan(\Theta/2) = t/2L \\ B_1B_{2V} &= (t \times B_1B_{2L})/2L\end{aligned}$$

A B_1B_{2L} értéke a korábban már meghatározott trimmelő nyomatékból számítható ki

$$\begin{aligned}tm &= \Delta \times B_1B_{2L} \\ B_1B_{2L} &= tm/\Delta = 86.040/4.571 = 18,82 \text{ láb}\end{aligned}$$

Tehát

$$B_1B_{2V} = (t \times B_1B_{2L})/2L = (10,28 \times 18,82)/(2 \times 320) = 0,302 \text{ láb}$$

Ezzel meghatározható a lékesedett egyensúlyi állapotban érvényes KB_2 értéke is:

a KB eredetileg $T/2 = 10/2 =$	5,000 láb
növekedése a párhuzamos bemerülés miatt =	0,824
növekedése a trimváltozás miatt =	<u>0,302</u>
$KB_2 =$	6,126 láb

A lékesedett állapotban a metacentrikus sugár

$$BM_{T2} = I_{T2}/\nabla$$

ahol I_{T2} a lékesedés utáni állapotban a megmaradó vízvonalfelület keresztirányú inercianyomatéka. A trimmelt egyensúlyi helyzet vízvonalfelületét jól közelíti a párhuzamos bemerülés állapotában érvényes vízvonalfelület. Mivel az elárasztás a hajó középsíkjára szimmetrikus, a vízvonalfelületek (eredeti és sérült bárka) szimmetriatengelye közös, így a keresztirányú inercianyomatékok összeadhatóak vagy kivonhatóak közvetlenül.

$$\begin{aligned}I_{T2} &= I_{T0} - \mu_s i_{T0} \\ I_{T0} &= LB^3/12 = (320 \times 50^3)/12 = 3.333.333 \text{ láb}^4\end{aligned}$$

$$\mu_s i_{T0} = (0,95 \times 60 \times 50^3)/12 = 593,750 \text{ láb}^4$$

Ezzel

$$I_{T2} = 3.333.333 - 593.750 = 2.739.583 \text{ láb}^4$$

$$BM_{T2} = 2.739.583/160.000 = 17,122 \text{ láb}$$

Végül a metacentrikus magasság lékesedett állapotban

$$GM_T = 6,126 + 17,122 - 12,000 = 11,248 \text{ láb}$$

A lékesedés miatti stabilitásvesztés mértékét úgy kapjuk meg, hogy a GM_{T2} értékét levonjuk az eredetileg 10 láb merülésű ép bárka GM értékével:

$$GM_T = KB + BM_T - KG = T/2 + B^2/12T - KG = 10/2 + 50^2/(12 \times 10) - 12 = \\ = 5,000 + 20,833 - 12,000 = 13,833 \text{ láb}$$

Tehát a GM csökkenése $13,833 - 11,248 = 2,585$ láb, ami 19%-ot jelent.

2.3.2.3.2.3 A hozzáadott súly módszere

Az előzőekben kidolgozott példa jól illusztrálja azokat az eljárásokat, amelyeket alkalmazni kell, amikor a lékesedés után kialakult egyensúlyi állapotban érvényes merületeket és stabilitást meg kell határozni az elvesztett vízkiszorítás módszerével, amikor feltételezzük, hogy a hajó vízkiszorítása és rendszersúlypont helyzete változatlan marad, mivel a beáramló vizet a környező közeg részeként kezeljük. A másik gyakran használt módszernél, amelynek neve *hozzáadott súly módszere*, amelynél az elárasztott térbe beáramló vizet úgy kezeljük, mint a hajó vízkiszorításához hozzáadott súlyt, tehát ahogy a léken beáramló víz elárasztja a teret, megváltozik a vízkiszorítás és a KG rendszersúlypont-magasság is, valamint a hajó jellemző értékei. Általában a hozzáadott súly módszere több számítást igényel, mint az elvesztett vízkiszorítás módszere, mert előre meg kell becsülni egy kialakuló trimmelt úszásvonalat az elárasztás után, hogy ki lehessen számolni a hajótestbe beáramló víz súlyát és súlypontját. Ez tehát iterációs eljárásokat jelent még egy olyan egyszerű hajótest alaknál is, amilyen a bárka. Mivel ez a módszer kézzel igen nehézkes, itt erre nem dolgoztunk ki példát. Vannak előnyei a másik módszerrel szemben egyes esetekben – különösen, ha az elárasztott helyiségek alakja nagyon szabálytalan (ez a helyzet általában a hadihajóknál), vagy olyankor, ha a hajó stabilitását az elárasztás folyamán több fázisban is meg kell vizsgálni, mielőtt elérné az egyensúlyi helyzetet. Egy adott esetben, amennyiben a számítási munkát korrekt módon végezzük el, mindkét módszer ugyanazt az eredményt hozza ki a sérült hajó úszásvonalára és stabilitására az egyensúlyi helyzet elérése után. Azt azonban meg kell jegyezni, hogy a lékesedett állapot metacentrikus magassága a két módszer esetén nem ugyanolyan értékűre adódik. Ez nem azt jelenti, hogy a stabilitás is eltér. A stabilitás valódi mérőszáma egy adott

dőlésszögnél a visszatérítő nyomaték, illetve egyenes úszási állapotban a vízkiszorítás és a GM szorzata. Mivel a hozzáadott súly módszerénél feltételezzük, hogy az elárasztás során megnő a vízkiszorítás, ennek megfelelő mértékben kisebb lesz az elárasztott egyensúlyi állapotban a GM értéke, mint az elvesztett vízkiszorítás módszerénél. A vízkiszorítás és a GM szorzata azonban ugyanannyi lesz mindkét számítási módszernél.

2.3.2.3.2.4 Számítógépes módszerek

A példaként közölt egyszerű számításból is kiderül, hogy mennyire munkaigényes feladat a lékesedés utáni jellemzők meghatározása. A szokásos hajótesteknél elvégzendő számítási munka a vízmentes terek nagy számának és az esetleg aszimmetrikus terek nemcsak trimet, hanem dőlést is okozó elárasztásának köszönhetően manuálisan szinte reménytelenül nagy terjedelmű lenne. Az elmondottak miatt a lékesedési számításokat ma már szinte kizárólag számítógéppel végzik, emiatt egész sor programot dolgoztak ki hozzájuk, és ezek a kereskedelemben beszerezhetőek. A programok használata teljesen nem veszi le a terhet a szakemberek válláról, mert a számításához nagyon adatot kell beadni: mérettáblázat, hidrosztatikai jellemzők, válaszfalak helye, tankok, fedélzetek, az elárasztásnál figyelembe vehető specifikáció az egyes tereknél, és természetesen a kitöltési tényezők, amelyeket becsülni kell. A legtöbb számítógépes program nem a korábban ismertett két módszeren alapul. Mivel sokkal gyorsabbak az emberi számításoknál, iterációs megközelítést használnak az elárasztott állapotban egyensúlyba került hajó vízkiszorításához és a vízkiszorítás-súlypont három koordinátájához, az egyes lépések az ép hajótest úszáshelyzetétől az elárasztási folyamat követésével számos új úszásvonalat vesznek fel, arra kiszámítják a merüléseket, trimet, dőlésszöveget, amíg el nem érik az új egyensúlyi helyzetet. Az alapvető számítások elvégzése a mérettáblázat közvetlen numerikus integrálásával történik a vízbemerült térfogat figyelembe vételével. A számítógépes eljárások nyilvánvaló előnye, hogy sokkal több lékesedési változat egyensúlyi helyzetének meghatározására van lehetőség, mint manuálisan, emellett arra is van lehetőség, hogy valamennyi sérült állapothoz a sztatikus stabilitás görbéjét is felrajzoljuk – amely kézzel valóban lehetetlen lenne.

2.3.2.3.2.3 Az elárasztható hossz

Az előzőekben bemutatott számítási módszerekkel meg lehet határozni az adott tér lékesedése esetén beálló egyensúlyi állapotban a merüléseket és a hajó stabilitását, ahol az elárasztott tér adatait annak mérete, elhelyezése és kitöltési tényezője képezi. Arra nem alkalmasak, hogy a hajó tervezésének kezdeti időszakában előre meg lehessen határozni a fő vízmentes válaszfalak elhelyezési rendjét ahhoz, hogy azok biztosíthatóak lékesedés esetén a kívánt úszóképességi feltételeket. Ebben az a számítási eljárás tud segítséget adni, amelyet úgy nevezünk, hogy *az elárasztható hossz számítása* a hajóhossz bármely pontján.

Az elárasztható hossz fogalmának megértéséhez célszerű megteremteni egy hipotetikus hajót, és világosan definiálni az elsüllyedés fogalmát. *A feltételezett hajó* vízmentes

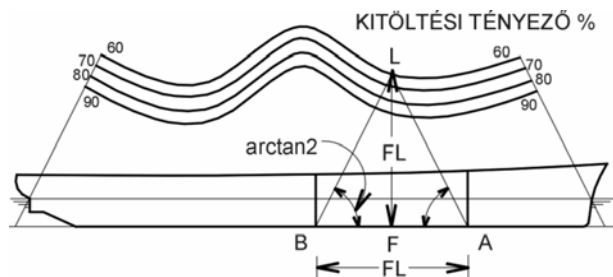
fenéklemezéssel, oldallal és válaszfalakkal rendelkezik. Az oldallemezés és az összes vízmentes válaszfal a fenéktől a *válaszfal fedélzetig* terjed. A számítás során azonban a válaszfal fedélzetet nem vízmentesnek tételezzük fel, valójában a számítás úgy veszi figyelembe, mintha egyáltalán nem is létezne, mivel a héjlemez és a válaszfalak lemeze egy olyan vonalnál ér véget, amelynek neve lékesedési *határvonal* (*margin line*), és amely olyan távolságra van a válaszfal fedélzet alatt, amelyet később definiálunk. A határvonal felett tehát a hipotetikus hajó nem létezik, fedélzete sincs. Tehát a hajó elméletileg egy fedélzet nélküli kenu, de vízmentes válaszfalakkal különálló vízmentes terekre van osztva. Kizárólag a hossz-szimmetriasíkra szimmetrikus elárasztás lehetséges. Ami azt is jelenti, hogy elárasztás után a hajó úszáshelyzetében csak bemerülés és trim létezik, dőlés nem fordul elő. A hajó akkor úszóképes, ha olyan merülés-vonalon alakul ki az egyensúlyi állapot, amely a határvonal alatt helyezkedik el, ha úszásvonala a határvonal fölé kerül, elsüllyed. Az olyan vízvonalak, amelyek érintik a határvonalat annak bármely pontján, tehát a trim vonalának korlátait is jelentik, mivel az elsüllyedés határára sodorják a hajót. Az alábbi meghatározások rögzítik az elárasztható hossz meghatározására szolgáló hajó elvi kritériumait.

- *Válaszfal-kiosztási merülés-vonal* (*subdivision load line*). A legmélyebben fekvő olyan engedélyezett vízvonal lékesedés előtt, amely összhangban a hajóra érvényes válaszfal-kiosztási előírásokkal.
- *Válaszfal fedélzet* (*bulkhead deck*). A legfelső olyan folyamatos fedélzet, amely az időjárásnak ellenáll, és amelyhez a vízmentes válaszfalak felső széle és az oldalsó héjlemez csatlakozik.
- *Határvonal* (*margin line*). A hajó konfigurációjának megfelelő, többféleképpen definiált vonal. Minimális távolsága a válaszfal fedélzetnek a hajó oldalánál mérhető felső éle alatt 3 hüvelyk (76 mm). Ha a vízmentes válaszfalak a hajó különböző részein különböző fedélzetekig nyúlnak fel, a határvonalat a különböző fedélzetektől lehet mérni az előírásokban foglalt módon.
- *Elárasztható hossz* (*floodable length*). Az elárasztható hossz a hajó bármely pontján hosszirányban a hajó hosszának az a maximális töredéke, amelynek közepe a kérdéses pont, és amelyet az adott kitöltési tényező figyelembe vételével a ponttól szimmetrikusan előre-hátra elhelyezve el lehet árasztani anélkül, hogy a határvonal víz alá kerülne.
- *Válaszfal-kiosztási tényező* (*factor of subdivision*). Ezzel a tényezővel kell elosztani az elárasztható hossz értékét, hogy a megengedhető hossz értékéhez jussunk. A tényezőt a nemzeti és nemzetközi szabályok és konvenciók írják elő a hajóhossz és a szolgálat típusa (személy- vagy áruszállító és az áru típusa) függvényében. Egyszerűbben kifejezve, ez a tényező garantálja, hogy egy, kettő vagy három vízmentes tér lékesedhet azt megelőzően, hogy a hajó úszásvonala érintené a határvonalat. Az ennek megfelelően tervezett hajókat időnként *egy-, két- vagy három-terű hajóknak* is nevezik a lékesedéskor tanúsított úszóképességük miatt.
- *Engedélyezhető hossz* (*permissible length*). Az engedélyezhető hossz úgy számítható ki, hogy az elárasztható hossz értékét a tér közepénél elosztjuk a

válaszfal-kiosztási tényezővel.

- *Elárasztható hossz görbéje.* Amint az alábbiakban látni fogjuk, az elárasztható hossz görbéje a hajó valamennyi pontjában a hossz mentén megmutatja, hogy az adott pontban milyen hosszú lehet a vízmentes tér anélkül, hogy a határvonal víz alá kerülne, azaz, az adott ponttól, mint a tér közepétől, előre és hátra felmérve a hossz felét, a tér két vízmentes válaszfalának helyét kapjuk meg.

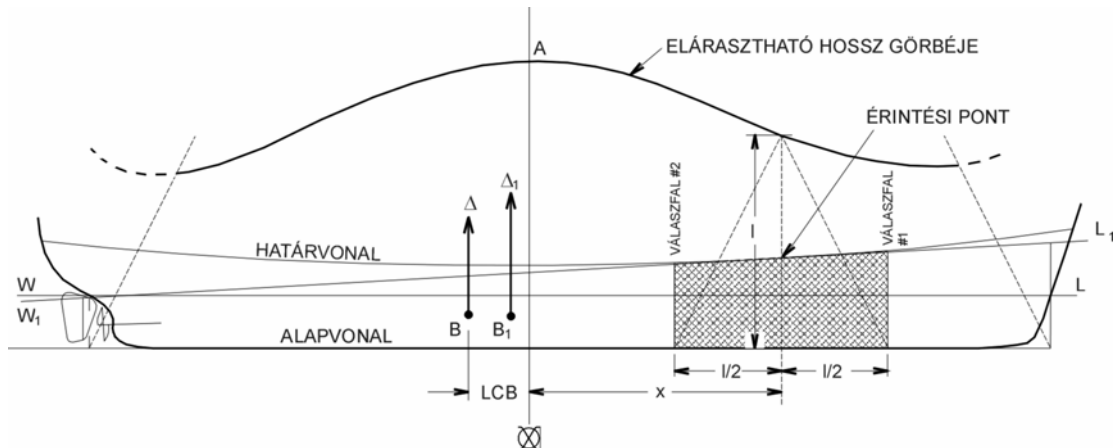
Az nem lehet kétséges, ha az előzőekben definiált hajót magunk elé képzeljük, hogy a hajóhossz mentén az elárasztható hossz nem állandó, és függ az elárasztott tér kitöltési tényezőjétől. A 2.3.2.3.2.3.1 ábra tipikus görbéket mutat egy hajóhoz, amelynek oldalnézete is látható, amelyek az elárasztható hosszat mutatják különböző kitöltési tényezők esetében. Az ordináta, pl. az ábrán FL , amelyet a hajó alapvonalának egy pontjában húzunk, pl. az F pontban, mutatja az elárasztható hosszat a hajónak abban a pontjában. Az elárasztható hossz léptéke megegyezik a hajóhossz léptékével. Ezért pl., ha a kitöltési tényező 60%, az FL elárasztható hossz vízszintesen felmérhető az alapvonalra az F felezőponttal, hogy az elképzelt vízmentes tér mellső és hátsó határait kijelöljük. Ha a teret A és B pontban elhelyezett két vízmentes válaszfalal határoljuk, a 60%-os kitöltési tényezőjű tér lékesedésekor az elárasztás hatására a hajó olyan mélyre fog bemerülni, hogy a trimmelt vízvonal érinteni fogja a határvonalat valamelyik pontban. Nyilvánvalónak látszik, hogy az adott geometria érvényessége esetén az elárasztható hossz végpontjai úgy is kijelölhetőek, ha meghúzzuk a két ferde vonalat (LA és LB) olyan szögben, amelyre igaz, hogy \arctan értéke 2,0, mivel azok AF és BF szakaszokat jelölik ki az alapvonalon, hiszen mindegyik fele az FL szakasznak. Ugyanezt a szerkesztést a hajó bármely pontján elvégezhetjük bármilyen kitöltési tényező esetén.



2.3.2.3.2.3.1 ábra Az elárasztható hossz definíciója

Az elárasztható hossz görbéit meg lehet szerkeszteni manuálisan a következő összefüggések alapján, de számítógépes programok is rendelkezésre állnak hozzá.

A 2.3.2.3.2.3.2 ábra mutatja azokat a mennyiségeket, amelyekkel a görbe ordinátáinak kiszámításánál dolgozni kell. A számításhoz az amerikai mértékrendszerben használható formulákat közöljük, az SI rendszer azonban értelemszerűen szintén használható. Vegyünk egy pontot a görbén, pl. az A pontot, amely a főbordától (\otimes) x távolságra esik. Az A pont az alapvonal felett l távolságra helyezkedik el, mivel az ordináta megegyezik annak a vízmentes térnek a hosszával, amelynek felezőpontja az x metszetenél van, amely, ha elárasztódik, a hajót a W_1L_1 vízvonalon való úszásra kényszeríti, amely érinti a határvonalat. A tér hosszának legkisebb növelése is azt eredményezné, hogy az adott keresztmetszetben az A pont a görbe fölé kerülne, azaz a kialakuló úszásvonal a határvonal felett jönne létre.



2.3.2.3.2.3.2 ábra Az elárasztható hossz görbéjének szerkesztése

Az adott pontban érvényes elárasztható hossz, amely lékesedésnél a hajót a szabályszerű rakodással beállított üzemi WL vízvonalon való úszáshelyzetből olyan W_1L_1 úszásvonalra állítja be, amely érinti a határvonalat, azzal az egyenlettel határozható meg, amelyet az eredeti vízkiszorítás-súlypontra vett nyomatékokra írunk fel:

$$\Delta_1 BB_1 = w(x + LCB)$$

tehát

$$x = \Delta_1 BB_1 / w - LCB$$

ahol Δ = eredeti vízkiszorítás

Δ_1 = vízkiszorítás lékesedett állapotban

$w = \Delta_1 - \Delta$ a teret eláraszto víz súlya

B = eredeti vízkiszorítás súlypontja

LCB = a B pont távolsága a főbordától

B_1 = vízkiszorítás súlypontja lékesedett állapotban

x = az eláraszto tér súlypontjának távolsága a főbordától.

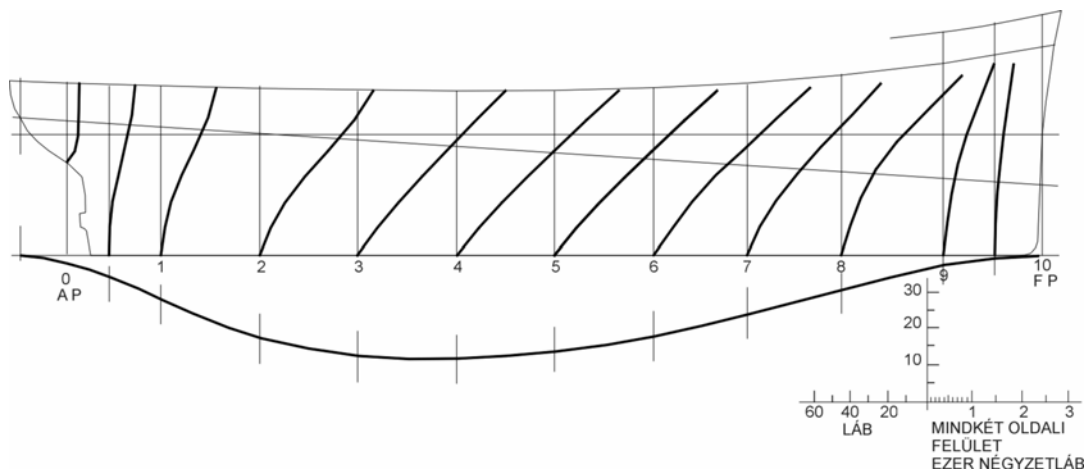
A beáramló víz térfogata tengervíznel $35w$ (édesvízben $36w$), tehát az eláraszto térfogat

$$v_w = 35w/\mu \quad (\text{illetve } 36w/\mu)$$

A hajó különböző trimmelt úszásvonalainál a térfogatok meghatározását megkönnyítik a *Bonjean görbék*, amely olyan görbesorozat, amely az elméleti bordametszetek vízbemerült felületét ábrázolja a merülés függvényében. Ha tehát egy tetszőleges úszásvonalat jelölünk ki a Bonjean görbéken, ahhoz leolvasható mindegyik elméleti

bordánál a vízvonallal alatti terület. Ezzel numerikus integrálással meghatározható a megfelelő vízkiszorítás és annak súlyponthelyzete, és kiszámítható a léken beáramló víz súlya, térfogata és súlyponthelyzete. Iterációs lépések segítségével lehet ezután a vízmentes tér mellső és hátsó határoló válaszfalának helyét meghatározni. A Bonjean görbék egy szokásos áruszállító hajónál a 2.3.2.3.2.3.3 ábra szerinti alakot veszik fel. A lékesedés után kialakuló úszáshelyzet vízvonalaéhoz tartozó bordafelület görbe is látható az ábrán, amelynek numerikus integrálásával számítható ki a beáramlott víz súlyával megnövekedett vízkiszorítás.

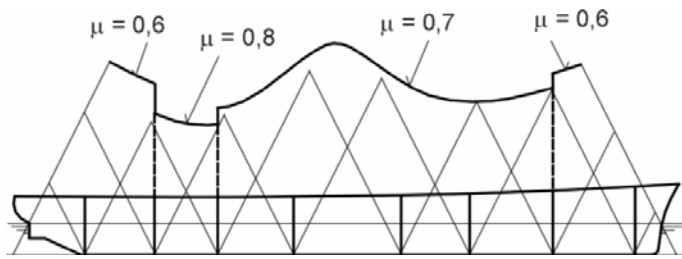
A hajótervezőnek a vízmentes válaszfalak helyének meghatározásánál az elárasztható hossz görbéjének figyelembe vételével kell eljárnia, az arctan 2 ferdeségű vonalaktól képzett háromszögek segítségével. Először a kollíziós és a farkamra válaszfalat kell kijelölni, ezeket az osztályozó intézetek szabályozzák. Ezt követi a géptér és a rakterek válaszfalainak elhelyezése, a háromszögek oldalai ezeknek az alapvonalal való metszéspontjaiból indulnak ki. Ha a tereknek megfelelő háromszögek csúcsa a terekre vonatkozó kitöltési tényezőjű elárasztható hossz görbe alatt marad, a hajó nem süllyed el az illető tér lékesedése vagy beszivárgás miatt.



2.3.2.3.2.3.3 ábra Bonjean görbék és adott vízvonalhoz tartozó bordafelület görbe

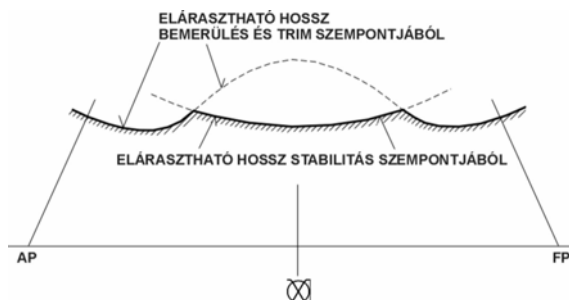
A háromszögek csúcsának magassága az „elárasztható hossz” méretével vehető azonosnak, amennyiben egyszerre csak egy vízmentes tér lékesedik. Amennyiben a háromszög csúcsa jóval a vonatkozó görbe alatt marad, a lékesedés utáni egyensúlyi állapot úszásvonala jelentősen lejjebb lesz a határvonalnál, ha azonban a csúcspont majdnem érinti a görbét, az úszásvonal közel lesz a határvonalhoz, csak az dönti el a valóságos helyzetet, mennyire pontos volt a kitöltési tényező becslése a számítások során. A vízmentes terek hosszának ilyen ellenőrzése nagyon gyorsan elvégezhető, és a tervezés kezdeti szakaszában a válaszfal-kiosztás is egyszerűen módosítható. Emellett a háromszögek megrajzolása olyan módon, hogy minden második válaszfaltól induljanak ki az oldalak, azaz a csúcsuk magasabbra kerüljön, azt is ellenőrizhetjük, úszóképes marad-e a hajó, ha két szomszédos vízmentes tér árasztódik el amiatt, hogy a sérülés

során a vízmentes válaszfal is károsodik a héjlemezen kívül. Abban az esetben, ha az első vizsgálat pozitív, a hajó úszóképes marad egy tér sérülése esetén, a hajó *egyterű hajó* kategóriába sorolható süllyedés és trim szempontjából. Ha a háromszögek csúcsai akkor is az elárasztható hossz görbe alatt maradnak, amikor a háromszögek oldalai minden második válaszfaltól indulnak, *kétterű hajóról* beszélünk, ami sokkal biztonságosabb az egyterűnél, hiszen az a teljes hossz mentén bármelyik két szomszédos tér eláraszthatását elviseli elsüllyedés nélkül. A 2.3.2.3.2.3.4 ábra azt szemlélteti, ahogy az elárasztható hossz görbét felhasználhatjuk a hajó válaszfalkiosztásának ellenőrzésére.



2.3.2.3.2.3.4 ábra A válaszfalkiosztás ellenőrzése az elárasztható hossz görbével

Az ábra azt is mutatja, hogy a görbe nem folytonos, mert nem minden szomszédos tér kitöltési tényezője azonos. Azt is láthatjuk, hogy az illető hajó kétterű, mivel a két szomszédos teret átfogó háromszögek csúcsa is valamennyi esetben a görbe alatt marad.



2.3.2.3.2.3.5 ábra Az *elárasztható hossz* komplex határértékei

Az elárasztható hossz görbéje az adott feltételekhez (válaszfalkiosztási tényező, kitöltési tényező) nem feltétlenül jelenti a legkritikusabb követelményeket a lékesedett hajó válaszfalkiosztásánál.

Amint korábban láttuk, a lékesedéssel a hajó stabilitása is csökken, tehát azt a görbét is meg kell rajzolni ugyanazon az oldalnézeten, amely az *elárasztható hossz stabilitás szerinti határértékeit* mutatja. A két görbe metszi egymást, és az jelenti a valódi határértékeket, amely kisebb elárasztható hosszt enged meg. Jól látható a 2.3.2.3.2.3.5 ábrán, hogy a stabilitás a hajó középső részén levő terek eláraszthatása esetén csökken nagyobb mértékben, a trim pedig akkor veszélyesebb, ha a hajó végeinél levő terek lékesednek.

2.3.2.3.2.3.1 A vízmentes válaszfalak kiosztására vonatkozó szabályok és kritériumok

A huszadik század elején az óceánokat egyre több nagy személyszállító hajó szelte át, amelyek neve ma már legenda, a legfontosabb tengerészeti hatóságok előtt világossá vált, hogy elkerülhetetlen a hajók vízmentes válaszfalainak kiosztására vonatkozó szabályok sokkal alaposabb kidolgozása, mint ahogy arról az osztályozó intézetek rendelkeztek. Az első nemzetközi konferenciát 1913-ban hívták össze a Titanic 1912-

ben történt elvesztésének hatására. Elnevezése *Nemzetközi Konferencia az Élet Védelméről a Tengeren* (International Conference on Safety of Life at Sea, *SOLAS*) volt. Eddig összesen öt SOLAS konferenciát rendeztek (1913, 1929, 1948, 1960 és 1974), amelyek legfontosabb tevékenységeit manapság az ENSZ egyik szervezete, a Nemzetközi Tengerhajózási Szervezet (International Maritime Organization, IMO) koordinálja. Ezeknek a nemzetközi konferenciáknak a határozatai és ajánlásai csak személyhajókra vonatkoznak (nem hagyható figyelmen kívül, hogy a 12 főnél több utast szállító teherhajók is ebbe a kategóriába esnek), a legfontosabb tengerhajózási országoknak azonban vannak saját nemzeti szabványaik vagy előírásaik az áruszállító hajók válaszfal-kiosztására is.

A leggyakoribb szabványok előírják a hajótervezőknek, hogy az előírt mértékű (hossz, kitöltési tényező, függőleges méret, sérülés helye a vízmentes válaszfalak között vagy magukban a válaszfalakban) elárasztást feltételezve, a hajó elfogadható úszóképességi és stabilitási jellemzőkkel rendelkezzen (határvonalhoz képesti bemerülés, maximális megdőlés, minimális értékű *GM*, stb.). Bár az előírások részletes ismertetésére itt nincs lehetőség, három olyan megközelítést röviden ismertetünk, amelyek a szabványok alapját képezik. Ezek: *integer (egész számú) terek kialakítása, válaszfal-kiosztási tényező és úszóképesen maradás valószínűsége.*

Integer terek kialakítása

Az erre vonatkozó előírások megkövetelik, hogy a hajó megfelelően úszóképes maradjon egész számú vízmentes tér egyidejű elárasztása esetén. Korábban egyterű és kétterű hajókat definiáltak, ma már azonban létezik a három- vagy többterű hajók definíciója is. Az előírások időnként lehetővé teszik, hogy a hajó eltérő zónái különböző válaszfal kiosztási elveknek feleljenek meg, ennek az az értelme, hogy a hajó egyes részei sokkal gyakrabban sérülnek meg, mint a többiek. A legfontosabb biztonsági küszöböt akkor lépik át a tervezők, amikor egyterű helyett kétterű hajót alkotnak, mivel az utóbbi akkor is úszóképes marad, ha nemcsak a héjlemez, hanem valamelyik válaszfal is megsérül.

Válaszfal-kiosztási tényező

Már az első SOLAS konferenciák óta az a törekvés, hogy a válaszfalak kiosztásának világosan bizonyítania kell, hogy adott biztonsági tényezőt vesz figyelembe, amelyet az előírások megkövetelnek. A válaszfal-kiosztási tényező olyan szám, amely egynél kisebb vagy azzal egyenlő, és amellyel meg kell szorozni az elárasztható hossz értékét, hogy a vízmentes tér engedélyezhető hossza kiadódjon a hajó hossza mentén az adott pontban. Ennek rejtett értelme, hogy nő a hajó úszóképesen maradásának valószínűsége, ha a vízmentes válaszfalak még közelebb vannak egymáshoz elhelyezve. Ez a „minél közelebb, annál jobb” filozófia, amely feltételezi, hogy ha pl. a hajó egy pontján az elárasztható hossz 100 láb, és a válaszfalakat ezen a helyen egymástól 90, 80, 70 vagy 60 lábra helyezik el (vagyis a válaszfal-kiosztási tényezőértéke 0,9, 0,8, 0,7, stb.), az egyre növekvő biztonságot nyújt, ahogy a terek egyre kisebbek lesznek. A tényező kiválasztásának szempontja a hajó „*szolgálati kritériuma*”, az a tapasztalati szám, amelynek értelme, hogy megmutassa, milyen mértékben számít a hajó

személyhajónak. A kisebb számok kevesebb szállított utast jelentenek, a nagyobbak sokat. A szolgálati szám növekedésével a válaszfal-kiosztási tényező csökken, 1 és $\frac{1}{2}$ között a hajó egyterű, $\frac{1}{2}$ és $\frac{1}{3}$ között kétterű, $\frac{1}{3}$ és $\frac{1}{4}$ között háromterű, és így tovább. Nyilvánvaló azonban, hogy a biztonság nemcsak a válaszfalak sűrűbb elhelyezésének függvénye, hiszen a közelebb kerülő válaszfalak esetén nő annak kockázata is, hogy sérülésnél nemcsak a héj vagy egy válaszfal sérül meg, hanem több is, emiatt, bár a nemzetközi szervezetek még elfogadják őket, egyre kevésbé népszerűek az ilyen numerikus tényezőkön alapuló előírások; helyettük inkább a harmadik megközelítést alkalmazzák, és a numerikus tényezők elavulttá válnak egy idő múlva.

Úszóképesen maradás valószínűsége

A legracionálisabb megközelítés ahhoz, hogy a hajó sérülés esetén úszóképes maradjon, az 1960-as SOLAS konferencia témája volt, és az 1974-es konvencióba olyan előírások kerültek be, amelyek az úszóképesen maradás valószínűségére vannak helyezve.

Jelenleg ezek a rendelkezések csak személyhajókra vonatkoznak, nevük is erre utal: „*alternatív egyenértékű személyhajó rendelkezések*”, mivel az 1974-es rendelkezések lehetővé teszik a személyhajóknál alkalmazott válaszfal-kiosztást alternatív módon az új valószínűségi elvek alapján, vagy a hagyományos tényezők szerint, amely az 1960-as előírásokban szerepelnek.

Az új előírások kb. 860 hajósérülés adatainak tanulmányozásán alapulnak, az adatok között van az elárasztás helye és nagysága, a sérülés bekövetkezése előtti rakodási állapot (merülés, kitöltési tényezők, üzemi GM értéke, stb.), valamint a környezeti tényezők, pl. a hullámmás és a szél. A sérült hajók modelljeivel különböző hullámrendszereknél szimulációs kísérleteket is végeztek, és azokat elemezték. Három olyan valószínűség létezik, amely a válaszfal-kiosztásra és a lékesedett hajó stabilitására befolyással van:

1. annak valószínűsége, hogy a baleset bekövetkezik,
2. az elárasztás helyének és mértékének valószínűsége a baleset bekövetkezése esetén,
3. annak valószínűsége, hogy elárasztás esetén a hajó úszóképes marad.

Az új előírások megalkotásánál az összegyűjtött adatokra alkalmazták a valószínűség elméletét. Az elmélet alkalmazása egy úgy nevezett „*eseti válaszfal-kiosztási index*” meghatározásához vezetett, amely különböző valószínűségeken alapult a sérülés helyét és hosszát, illetve a szabadoldal, a stabilitás és a lékesedett állapotban kialakuló megdőlés hatásait illetően. A hajó eseti indexének egyenlőnek vagy nagyobbak kell lennie, mint az „*előírt válaszfal-kiosztási indexnek*”, amely a hajó hosszától és a szállított utasok létszámától függ. A nagyobb számú utast szállító hajók előírt válaszfal-kiosztási indexe nagyobb, emiatt szigorúbb válaszfal-kiosztási előírások vonatkoznak rájuk.

A IMO kutatócsoportjaiban dolgozó szakemberek majdnem egyöntetű véleménye szerint a szükséges válaszfal-kiosztás ilyen valószínűségi alapon való megközelítése jobb a korábbi eljárásoknál. A valószínűségek helyes szintjének meghatározása azonban nehéz feladat. Mégis, amint elegendő adat gyűlik össze olyan hajókra is, amelyek nem sorolhatóak a személyhajók közé, és azok elemzése is befejeződik, várható, hogy a

valószínűségi megközelítés lesz majd az elfogadott elv azoknál is.

2.3.2.3.2.3.2 A merülés-vonalra vonatkozó szabályok

A 'szabályok' utalás ebben a fejezetben az 1966-os International Convention on Load Lines of Ships (*nemzetközi konvenció a hajók merülés-vonalairól*) követelményeit jelenti.

2.3.2.3.2.3.2.1 A szabadoldal számítása

A szabályok az alapvető szabadoldal értéket a hajó hosszától és típusától függően határozzák meg. Ahol *osztályozó intézeti jelzésről* esik szó, ott a legrégebbi ilyen intézet, a *Lloyd's Register of Shipping* előírásaira hivatkozunk, amely egyben a legtekintélyesebb hasonló intézmény a világon.

A hajókat 'A' és 'B' típusba sorolják. Az 'A' típusú hajók azok, amelyeket úgy terveztek, hogy csak *folyékony rakományt* szállítanak *tömegáru* jelleggel, és amelyeken a rakomány szállítására szolgáló tankokon csak kis méretű nyílásokat helyeztek el hozzáférés céljából, amelyeket *tömítéssel ellátott vízmentes fedél* zár le, ennek anyaga acél vagy annak megfelelő anyag. Ezek a hajók a legkisebb jóváhagyható szabadoldal használatára jogosultak. Az összes olyan hajó, amely jellemzői miatt nem sorolható be az 'A' típusba, 'B' típusú hajónak minősül.

Mivel a hajók igen széles skálája tartozik a 'B' típusú kategóriába, a következő esetekben az alapvető 'B' típusú táblázatban levő szabadoldal csökkenthető vagy azt növelni kell.

- (a) Azoknál a hajóknál, amelyek a *nyitott szabadoldal fedélzeten* vagy *emelt lakótér fedélzeten*, illetve a hajó hosszának 25%-án belül a mellső függélytől (FP) mérve a *nyitott felépítmény fedélzeten* olyan rakodónyílásokkal rendelkeznek, amelyek zárása *hordozható gerendákkal vagy fedelekkkel* van megoldva, az alapvető szabadoldal értékét meg kell növelni.
- (b) Azok a hajók, amelyeken acélból készült, *tömítéssel és szorítószervekkel ellátott vízmentes vízzáró fedelek* vannak felszerelve, biztosítva van a légénység fokozott védelme, az átlagosnál jobb menekülési útvonalak vannak kiépítve és kielégítő lékesedés elleni válaszfal-kiosztásuk van, lehetőséget kaphatnak a 'B' típusú hajókra érvényes alapvető szabadoldal érték csökkentésére. Ez a csökkentés elérheti akár a teljes különbséget is az 'A' és 'B' típusú hajók alapvető szabadoldal értéke között. Azt a 'B' típusú hajót, amely elég hatékony ahhoz, hogy az 'A' típusú hajók alapvető szabadoldal értékét elérje, 'B-100' típusú *osztályozó jellel* látják el, és végső számított szabadoldal értéke majdnem ugyanakkora, mint az 'A' típusú hajóé. Olyan más 'B' típusú hajók esetében, amelyek a fenti szigorú lékesedési térbeosztási előírásokat nem elégítik ki teljes mértékben, olyan alapvető szabadoldal érték csökkentés követelhető meg a jóváhagyás során, amely akár 60%-át elérheti a 'B' és 'A' típusú alapvető értékek közötti különbségnek.

Számos 'B' típusú hajónál nagyon fontos lehet a lehetőség szerinti maximális merülés elérése, tehát ha a kezdeti tervezési szakaszban a tervezők jobban figyelembe veszik a

térbeosztási követelményeket, az azzal az előnnyel járhat, hogy a hajó nagyobb merüléssel közlekedhet. Ez a helyzet leginkább a *tömegáru szállító hajóknál* áll fenn, mivel ezeket a hajók gyakran úgy tervezik, hogy megkapják a 'B-60' szabadoldal értékre a jóváhagyást; ahol pedig erre nincs lehetőség, még mindig elérhető a szabadoldal bizonyos mértékű csökkentése. A konvenció megengedi a 'B' és 'B-60' típusoknak jóváhagyott szabadoldal értékek közötti értékek használatát, ahol biztosítható, hogy az egy elárasztott tér mellett az úszóképességet biztosító térbeosztás elérhető egy 'B' típusú hajó merülése esetén is, de nem ez a helyzet a 'B-60' típusú merülésnél.

A normál elrendezésű *ércszállító hajók*, amelyeknél két *hosszirányú válaszfal* van beépítve, és az oldalsó tereket *ballaszttankként* használják, különösen alkalmasak arra, hogy 'B-100' típusú szabadoldal értékkel közlekedjenek, amennyiben a válaszfalak helyzetét körültekintően választották ki. A 225 m-nél hosszabb 'A', 'B-100' és 'B-60' típusú hajókon a gépteret is *elárasztható térként* lehet kezelni. A következő táblázatban a térbeosztási követelmények vannak összefoglalva.

Típus	Hossz	Térbeosztási követelmények
A	150 m alatt	Nincs előírás
A	150 és 225 m között	Úszóképesnek kell maradnia bármelyik olyan tér elárasztása esetén, amely a rakománytank hosszán belül van, és amelyet tervezésnél úgy vettek figyelembe, hogy üres, amikor a hajó a nyári merülés-vonalig van megrakva, a tér kitöltési tényezője 0,85
A	225 m felett	Ugyanaz, mint az előző, de a gépteret is elárasztott térnek kell tekinteni, becsült kitöltési tényezője 0,85
B+	–	Nincs előírás
B	–	Nincs előírás
B-60	100 és 225 m között	Úszóképesnek kell maradnia minden egyes sérült tér elárasztása esetén, amely a rakománytank hosszán belül van, becsült kitöltési tényezője 0,95
B-60	225 m felett	Ugyanaz, mint az előző, de a gépteret is elárasztott térnek kell tekinteni, becsült elárasztási tényezője 0,85
B-100	100 és 225 m között	Úszóképesnek kell maradnia bármelyik két szomszédos egymás mögötti tér elárasztása esetén, amely a rakománytank hosszán belül van, becsült kitöltési tényezője 0,95
B-100	225 m felett	Ugyanaz, mint az előző, de a gépteret is elárasztott

térnek kell tekinteni, becsült kitöltési tényezője 0,85

A sérülést olyanak kell feltételezni, amely a hajó teljes oldalmagasságát érinti a fő keresztválaszfalak között. Az elárasztás után kialakuló végső vízvonálnak alatta kell maradnia minden olyan nyílásnak, amelyen további nagyobb elárasztás bekövetkezhetne. A keresztirányú dőlés legfeljebb 15° lehet, az elárasztott állapotban kialakuló metacentrikus magasságnak pedig pozitív értékűnek kell lennie.

Ha a hajó típusa már ismert, a szabadoldal kiszámítása már viszonylag egyszerű, a szükséges korrekciókat a hajó hossza alapján a szabályok értelmében az 'A' és 'B' típusú hajókra megadott alapvető szabadoldal értékhez kell alkalmazni. A hossz (L) úgy van meghatározva, hogy az 96%-a a vízvonalon mért teljes hosszának a hajó sablon szerinti legkisebb oldalmagasságának 85%-ánál, vagy az a hossz, amelyet az orrtőke mellső élétől lehet mérni a kormányoszár tengelyéig a vízvonalon, amelyik érték nagyobb.

Korrekciók

Az alapvető szabadoldal érték korrekciói a következők.

(a) *Nyitott fedélzet korrekció.* Olyan 'B' típusú hajónál, amelynek hossza nem haladja meg a 100 métert, és a szabadoldal számításánál figyelembe vehető hosszának (L) legfeljebb 35%-ában rendelkezik felépítményekkel, az alapvető szabadoldal értéket az alábbi képlet szerinti korrekcióval kell megnövelni:

$$7,5(100 - L)(0,35 - E/L) \text{ mm}$$

ahol E = a felépítmények teljes hossza méterben.

(b) *Hasábos teltség korrekció.* Ahol a hasábos teltség (block coefficient, C_B) nagyobb, mint 0,68, az alapvető szabadoldal értéket (a fentiek szerint módosított érték, ha értelemszerű) a következő szorzóval kell megszorozni:

$$(C_B + 0,68)/1,36$$

A C_B a szabályokban $\nabla/(LBT)$ értéként van definiálva, ahol ∇ a sablon szerinti vízkiszorítás T merülésnél, amely 85%-a a legkisebb sablon szerinti oldalmagasságnak.

(c) *Oldalmagasság korrekció.* A szabadoldalnál figyelembe veendő oldalmagasságot (D) a szabályok írják elő. Ahol a D nagyobb, mint $L/15$, a szabadoldalt növelni kell $(D - (L/15))R$ mm-rel, ahol $R = L/0,48$ 120 m-nél kisebb hajóhossz esetén, és 250 olyankor, ha a hossz 120 m vagy több. Ahol D kisebb, mint $L/15$, nem kell korrekciót alkalmazni, kivéve olyan hajónál, amelynek zárt felépítménye a hajó középső szakaszán legalább $0,6L$ hosszú. Ezt a levonást, ahol alkalmazni lehet, a fenti mértékben kell alkalmazni.

(d) *Felépítmény korrekció.* Ahol a felépítmény teljes hossza $1,0L$ értékű, a szabadoldalt 350 mm-rel lehet csökkenteni 24 m-es hajónál, 860 mm-rel 85 m-esnél, és 1.070 mm-rel 122 m-es és hosszabb hajónál. A közbenső hajóhossz értékeknél a levonásokat lineáris interpolációval kell meghatározni. Ahol a felépítmények és légtankok teljes hossza kisebb, mint $1,0L$, a levonás a fenti érték megfelelő százaléka. Ezeket a százalékokat a szabályok táblázatos formában tartalmazzák, a hozzájuk tartozó megjegyzések pedig a 'B' típusú hajónál az orrlakóter méretéhez adnak korrekciókat.

(e) *Fedélzet oldalvonal felhajlás (sheer) korrekció.* A tényleges görbe alatti területet kell összehasonlítani egy standard parabolikus fedélzetvonal görbe alatti területtel, ahol a hátsó függélyen a koordináta értéke (S_A) $25(L/3 + 10)$ mm, a mellső koordinátáé pedig (S_F) $2S_A$ mm. Ahol a far- vagy orrfelépítmény magassága nagyobb a standard értéknél, a szabadoldal fedélzet oldalvonal-felhajlásának mértékéhez hozzá lehet adni a szabályok szerinti értéket.

A felhajlást csökkentő vagy növelő korrekció az a különbség, amely a tényleges felhajlás és a standard felhajlás közötti érték, megszorozva a $(0,75 - (S/2L))$ tényezővel, ahol S a zárt felépítmény teljes átlagos hossza. Ahol a felhajlás kisebb a standard értéknél, a korrekciót a szabadoldalhoz hozzá kell adni. Ha a felhajlás a standard értéket meghaladja, a szabadoldal csökkenthető, amennyiben a felépítmény a hajó középső szakaszán túl hátra és előre egyaránt több, mint $0,1L$ hosszal túlnyúlik. Nem alkalmazható csökkentés a többlet felhajlás miatt, amennyiben a hajó középső szakaszán nincs felépítmény. Ahol a felépítmény a hajóhossz középső szakaszán való túlnyúlása kisebb, mint $0,1L$ hátra és előre, a csökkentés mértékét lineáris interpolációval lehet meghatározni. A többlet fedélzet-felhajlás miatti csökkentés maximális mértéke 125 mm per 100 m hossz.

Ha a fenti korrekciókat elvégezték az alapvető szabadoldal értéknél, a számítással így kapott végső szabadoldal érték a *hajó maximális nyári merülés-vonalára* fog vonatkozni. A végső szabadoldal értéket azonban általában meg kell növelni akkor, ha az orr magassága nem kielégítő, vagy a tulajdonos a lehetséges maximális merülésnél kisebb merüléshez kívánja a szabadoldalt jóváhagyni. Az orr magasságának definíciója szerint azt úgy kell értelmezni, mint azt a függőleges távolságot, amely a mellső függélynél mérhető a jóváhagyott nyári szabadoldalhoz tartozó vízvonaltól a szabad fedélzetig a hajó szélénél. Ez a magasság nem lehet kisebb, mint a konvencióban foglalt értékek.

Minimális szabadoldalak

A *minimális szabadoldal* a *nyári zónában* annyi, amennyi a fentiekben leírt módon kiadódik; ez azonban nem lehet kevesebb, mint 50 mm. A *trópusi és téli zónákban* a minimális szabadoldal értéket úgy kapjuk meg, hogy levonjuk vagy hozzáadjuk értelemszerűen a sablon szerinti nyári merülés $1/48$ -adát. A trópusi szabadoldal alsó értékét is korlátozzák azonban 50 mm-ben. Egy 100 m-nél nem hosszabb hajó szabadoldala a téli Atlanti-óceán északi részén egyenlő a *téli szabadoldal* plusz 50 mm értékkel. Más hajóknál a téli Atlanti-óceán északi részén érvényes szabadoldal érték a

BBBZ-kódex

téli szabadoldallal egyenlő. Az édesvízben mérhető szabadoldal értéke úgy adódik ki, hogy a nyári vagy trópusi szabadoldal értékéből levonjuk a következő mennyiséget:

vízkiiszorítás sós vízben / (4xTPC) mm

ahol TPC az 1 cm merülés-változáshoz tartozó vízkiiszorítás változás tonnákban a vízvonalnál, a vízkiiszorítás pedig metrikus tonnákban van kifejezve.

Faáruszállító hajók szabadoldala

Ha egy hajó a szabad fedélzetén faárut szállít, feltételezhető, hogy a *fedélzeti rakomány* kiegészítő úszóképességet biztosít, ezzel együtt nagyobb fokú védelmet a tenger kockázatai ellen. Az ilyen hajóknál kisebb szabadoldal engedélyezhető, mint amekkorát egy 'B' típusú hajóra engedélyeznének, amennyiben a faáruszállító hajóknál érvényes további jóváhagyási feltételeket kielégítik. Nem csökkenthető a szabadoldal azoknál a hajóknál, amelyeknél már egyébként is 'A' vagy csökkentett 'B' szabadoldal van engedélyezve. A szabadoldalt a fentiek szerint kell kiszámítani, de a felépítmény korrekció eltérő, mivel azt módosítani kell a faáruszállító hajók szabadoldalának eltérő csökkentési módjának alkalmazásával. A *téli faáruszállító szabadoldal* úgy számítható ki, hogy hozzá kell adni a *nyári faáruszállító szabadoldalhoz* a *sablon szerinti nyári faáruszállító merülés* 1/36-odát. A téli Atlanti-óceán északi részén érvényes faáruszállító szabadoldal megegyezik a normál szabadoldallal, a trópusi faáruszállító szabadoldal pedig úgy adódik ki, hogy le kell vonni a nyári faáruszállító szabadoldalból a *sablon szerinti nyári faáruszállító merülés* 1/48-adát. Az *édesvízben mérhető faáruszállító szabadoldal* értéke a normál szabadoldalnál alkalmazott módon határozható meg.

2.3.2.3.2.3.2.2 A szabadoldal jóváhagyásának feltételei

- (1) *Konstrukció.* A hajó konstrukciójának olyannak kell lennie, amely biztosítja, hogy általános szerkezeti szilárdsága elegendő a jóváhagyásra váró szabadoldalhoz. A hajót olyanra kell tervezni és építeni, hogy stabilitása a rakodás összes valószínű esetében elegendő a jóváhagyásra váró szabadoldalhoz. A stabilitási kritériumokat a konvenció tartalmazza.
- (2) *Felépítmény végeinél beépített válaszfalak.* A hatóság követelményeinek megfelelő hatékony konstrukciójúaknak kell lenniük. A zárt felépítmények végeinél elhelyezett nyílások alsó szélének magassága legalább 380 mm kell, hogy legyen a fedélzet felett.
- (3) *Hordozható fedelekkal és ponyvával zárható rakodónyílások.* A rakodónyílások keretének megfelelő konstrukciójúnak kell lennie, magassága a fedélzet felett legalább 600 mm kell, hogy legyen a szabad szabadoldal és farfedélzeteken illetve szabad felépítmény fedélzeteken a hajó hosszának 1/4-én belül a mellső függélytől (FP, 1-es pozíció), és legalább 450 mm a szabad felépítmény fedélzeteken a hajó hosszának 1/4-én kívül a mellső függélytől (FP, 2-es pozíció).

A fedeleket hordozó perem szélességének legalább 65 mm-nek kell lennie. Ahol a fedelek anyaga fa, annak vastagsága legalább 60 mm legyen 1,5 m-nél nem nagyobb fesztávnál. A lágyacélból készült hordozható fedelek szilárdságát a feltételezett terhelés alapján kell kiszámítani. A feltételezett terhelés mértéke az 1-es pozícióba eső rakodónyílásoknál nem lehet kevesebb 1 tonna/m²-nél a 24 m hosszú hajóknál, és nem lehet kevesebb, mint 0,75 tonna/m² a 2-es pozícióban levő rakodónyílásoknál. Ahol a hajó hossza 100 m vagy több, a feltételezett terhelés az 1-es pozícióban levő rakodónyílásoknál 1,75 tonna/m², illetve a 2-es pozíciójuknál 1,30 tonna/m². A közbenső hosszértékekhez tartozó terheléseket interpolációval lehet meghatározni.

Az így kiszámított maximális feszültség 4,25-ös biztonsági tényezővel szorozva nem lépheti túl az anyag minimális szakítószilárdságát. A lehajlás ezeknél a terheléseknél a fesztáv 0,0028-szorosára van korlátozva.

Lágyacélból készült hordozható gerendák esetén a feltételezett terhelések fogadhatók el, az így kiszámított maximális feszültség 5-ös biztonsági tényezővel szorozva nem lépheti túl az anyag minimális szakítószilárdságát. A lehajlás ezeknél a terheléseknél a fesztáv 0,0022-szorosára van korlátozva.

A hordozható gerendák helyett acéllemezből készült önhordó nyílászáró fedelek alkalmazása esetén azok szilárdságát a fentiekben felsorolt feltételezett terhelések alapján kell kiszámolni. Az így kiszámított maximális feszültség 5-ös biztonsági tényezővel szorozva nem lépheti túl az anyag minimális szakítószilárdságát, a lehajlás pedig a fesztáv 0,0022-szorosára van korlátozva. A lágyacél lemezek, amely a fedelek tetejét alkotja, legalább olyan vastagsággal kell rendelkeznie, amely nem kisebb a merevítők távolságának 1%-ánál vagy 6 mm-nél, amelyik érték nagyobb. Az egyéb anyagokból készült fedelekek ezzel azonos szilárdságúaknak kell lenniük. A fedél alátámasztásának és egyéb szerelvényeinek kielégítő konstrukciójúaknak kell lenniük, ahol pedig gördülő pályaként működő gerendák vannak beépítve, biztosítani kell, hogy a gerendák akkor is a helyükön maradnak, amikor a fedél zárva van.

Ferde felületeket kell kialakítani, amelyek az ékek lejtésének felelnek meg. Ezek szélessége legalább 65 mm legyen, egymástól való távolságuk legfeljebb 600 mm középtől középig; és legfeljebb 150 mm a nyílásfedéltől. A hézagolóknak és az ékeknek megfelelő kialakításúaknak és jó állapotban levőnek kell lenniük. Az ékek anyaga szívós fa legyen vagy azzal egyenértékű anyag, maximális lejtésük 1:6 arányú lehet, és a legvékonyabb helyen nem lehetnek vékonyabbak 13 mm-nél. Mindegyik rakodónyíláshoz biztosítani kell legalább két jó állapotban levő ponyvát, amelynek jóváhagyott szilárdságú vízmentes anyagból kell lennie. Acélrudakat vagy azzal egyenlő értékű eszközöket kell biztosítani a rakodónyílás fedél mindegyik szakaszának rögzítéséhez azt követően, hogy a ponyvákat beékelték, azokat a fedeleket pedig, amelyek hossza több, mint 1,5 m, legalább két ilyen eszközzel kell rögzíteni.

- (4) *Vízmentes acél fedelekekkel zárható rakodónyílások.* A keretek magassága megegyezik azzal, amely a hordozható gerendával zárható nyílásoknál van előírva. Ezt a magasságot lehet csökkenteni, vagy akár el is hagyhatók a keretek azzal a

feltétellel, hogy a hatóság meggyőződött arról, hogy a hajó biztonságát ez nem veszélyezteti. A lágyacélból készült fedelek szilárdságát a korábban megadott terhelési adatokból kell kiszámítani. Az így kiszámított maximális feszültség 4,25-ös biztonsági tényezővel szorozva nem lépheti túl az anyag minimális szakítószilárdságát, a lehajlás pedig a feszítáv 0,0028-szorosára van korlátozva ezeknél a terheléseknél. A lágyacél lemezek, amely a fedelek tetejét alkotja, legalább olyan vastagsággal kell rendelkeznie, amely nem kisebb a merevítő távolságának 1%-ánál vagy 6 mm-nél, amelyik érték nagyobb. Az egyéb anyagokból készült fedelek szilárdsága és merevsége ugyanekkora kell, hogy legyen.

Azoknak az eszközöknek, amelyek az időjárás-állóságot biztosítják, ki kell elégíteniük a hatóság igényeit, a vízmentességet minden a tenger minden viszonyai között biztosítaniuk kell.

- (5) *A géptér nyílásai.* Ezeket megfelelő keretekkel kell ellátni és kellő szilárdságú acél záró-fedelekkkel kell védeni. Ahol a záró-fedeleket más szerkezet nem védi, ott ezek szilárdságára különös figyelmet kell fordítani. Az acél ajtók nyílásának alsó széle, amelyeken át a tereket meg lehet közelíteni, legalább 600 mm-rel kell, hogy legyen a fedélzet felett 1-es pozíció esetén, és legalább 380 mm-rel 2-es pozíciónál. A kéményburkolatok, kémények vagy géptéri ventilátorok kereteit a szabad fedélzeten a fedélzet fölé kell vinni ésszerű magassággal.
- (6) *Más nyílások a szabadoldal és felépítmény fedélzeten.* A búvó-nyílásokat és mosónyílásokat 1-es vagy 2-es pozícióban vagy nem vízmentes felépítményeken belül megfelelő időjárásálló fedelekkkel kell lezárni. Egyéb nyílásokat zárt felépítménnyel vagy fedélzeti házzal kell védeni, vagy annak megfelelő szilárdságú összekötő folyosóval. A bejárati ajtókat acélból kell készíteni, a nyílás alsó szélének pedig a fentiek szerinti magasságban kell elhelyezkednie.
- (7) *Ventilátorok.* Ezeknek acél kerettel kell rendelkezniük, és ahol magasságuk meghaladja a 900 mm-t, megfelelően meg kell őket merevíteni. Az 1-es pozícióban a ventilátor keretek magasságának 900 mm-nek kell lennie a fedélzet felett, a 2-es pozícióban pedig 760 mm-nek. A szellőztető nyílásokat megfelelő időjárásálló zárószerkezettel kell ellátni, kivéve, ha a keret magassága a 4,5 m-t meghaladja 1-es pozícióban és a 2,3 m-t 2-es pozícióban a fedélzet felett.
- (8) *Levegőztető csövek.* A csövek szabadban levő alkatrészeinek megfelelő konstrukciónak kell lenniük. A fedélzet feletti magasságuk legalább 760 mm kell, hogy legyen a szabadoldal fedélzeten, és 450 mm a felépítmény fedélzeten. Alacsonyabb érték akkor hagyható jóvá, ha a munkafeltételek szabják meg. A cső nyílásának elzárásához állandó konstrukciós megoldást kell biztosítani.
- (9) *Rakodóajtók és más hasonló oldalsó nyílások.* Ezeket a szabadoldal fedélzet alatt vízmentes ajtóval kell felszerelni, hogy a hajó szerkezeti integritását biztosítani lehessen. Kivéve azokat az eseteket, amikor a hatóság hozzájárul, az ilyen nyílások alsó széle nem kerülhet alacsonyabbra, mint az a vonal, amelyet a szabadoldal fedélzet szélével párhuzamosan lehet meghúzni, és amelynek legalsó pontja a legmagasabban levő merülési vonal.

- (10) *Vízleeresztő, vízvételvezető és kidobó-nyílások.* Azokat a kidobó-nyílásokat, amelyek a hajó héjlemezen vannak átvezetve a szabadoldal fedélzet alatti terekből vagy a szabadoldal fedélzeten levő olyan felépítményekből és fedélzeti házakból, amelyekben vízmentes ajtók vannak elhelyezve, megfelelő kivitelű és hozzáférésű szerkezetekkel kell felszerelni, amelyek megakadályozzák, hogy a víz a hajó belsejébe bejusson. Normális esetben ez egy automatikus működésű visszacsapó szelep, amely a szabadoldal fedélzet felett elhelyezett zárószerkezettel rendelkezik. Ahol a függőleges távolság a nyári merülés-vonal és a vízkidobó cső belső vége között kevesebb, mint $0,02L$, a kidobó-cső két automatikus működésű visszacsapó szeleppel lehet felszerelve, amelyek nem rendelkeznek kézi zárószerkezettel, feltéve, hogy a hajótesten belüli szelep mindig megközelíthető. Ahol ez a távolság több, mint $0,02L$, egyetlen kézi zárószerkezettel nem rendelkező automatikus működésű visszacsapó szelep is elfogadható. A személyzettel ellátott gépterekben a gépek működésével kapcsolatos fő és segéd vízvételvezető és kidobó-nyílásokat a helyszínről lehet kezelni. A héjlemezen átmenő minden vízlevezető nyílást és kidobó-csövet, amelynek alsó szélé több, mint 450 mm-rel a szabadoldal fedélzet szintje alatt vagy kevesebb, mint 600 mm-rel a nyári merülés-vonal felett van, automatikus működésű visszacsapó szeleppel kell ellátni. Azokat a vízlevezetőket, amelyek a vízmentes ajtóval nem rendelkező felépítményekből vagy fedélzeti házakból indulnak, a hajóoldalon kívülre kell vezetni.
- (11) *Oldalsó vízlevezető nyílások.* A szabadoldal fedélzet alatt vagy a zárt felépítményeken belül az oldalsó vízlevezető nyílásokat megfelelő konstrukciójú, sarokpánttal rendelkező, vízmentes belső záró-fedelekkkel kell ellátni. Nem alakítható ki oldalsó vízlevezető nyílás úgy, hogy alsó szélé alatta van annak a vonalnak, amelyet a szabadoldal fedélzetnek a hajó oldalánál levő vonalával párhuzamosan lehet meghúzni, és amelynek legalsó pontja a hajó szélességének 2,5%-ával vagy 500 mm-rel van a nyári merülés-vonal felett, amelyik érték nagyobb.
- (12) *Habvéd kifolyónyílások.* A hajó mindegyik oldalán a habvéden kialakított kifolyónyílások minimális összfelülete (A), ahol a fedélzet felhajlása a víz összegyűlésére alkalmas legmélyebb szakaszon (kút) a standard értékkel megegyező vagy annál nagyobb, négyzetméterben a következő képletből adódik:

$$A = 0,7 + 0,035l \quad \text{ahol } l \text{ a habvéd hossza a kútban, amennyiben az}$$

kisebb, mint 20 m

$$\text{illetve } A = 0,07l$$

ahol l nagyobb, mint 20 m.

Az l értékének semmilyen esetben sem szükséges nagyobbak lenni, mint $0,7L$. Ha habvéd magassága nagyobb 1,2 m-nél, az A értékét növelni kell $0,004 \text{ m}^2$ -rel a kút hosszának minden méteréhez a magasságkülönbségben mért 0,1 m-enként. Ha a habvéd magassága kisebb, mint 0,9 m, az A értéke csökkenthető $0,004 \text{ m}^2$ -rel a kút hosszának minden méteréhez a magasságkülönbségben mért 0,1 m-enként. Ahol a fedélzetnek nincs felhajlása, az A értékét meg kell növelni 50%-kal, ha pedig a

felhajlás kisebb a standard értéknél a növelés értékét interpolációval lehet kiszámítani.

A habvéd kifolyónyílások alsó szélének olyan közel kell lenniük a fedélzethez, ahogy az megoldható. A kifolyónyílások felületének kétharmadát a kút szakaszának azon a felén kell biztosítani, amely legközelebb van a felhajlási görbe legalsó pontjához, ahol a fedélzetnek van felhajlása. A habvéd nyílásait rudak védik, ezeket egymástól kb. 230 mm távolságra kell elhelyezni. Ha záró-fedelet alkalmaznak, azoknál biztosítani kell, hogy ne tudjanak beragadni.

- (13) *A legénység védelme.* Megfelelő konstrukciójú *védőkoriátokat* vagy habvédeket kell a szabadoldal fedélzet és a felépítmény fedélzetek valamennyi szabadon levő részre felszerelni, amelyek minimális magassága 1 méter. A hatóság engedélyezheti alacsonyabb korlát kialakítását. A fedélzet és a korlát alsó vízszintes rúdja közötti maximális függőleges távolság 230 mm, a többi vízszintes rúd közötti távolság pedig legfeljebb 380 mm.

Kielégítő eszközöket kell biztosítani a legénység védelmére a szálláshelyük és a hajó azon részei közötti közlekedésük során, ahol munkájukat végzik.

A jóváhagyás különleges feltételei 'A' típusú hajók esetében

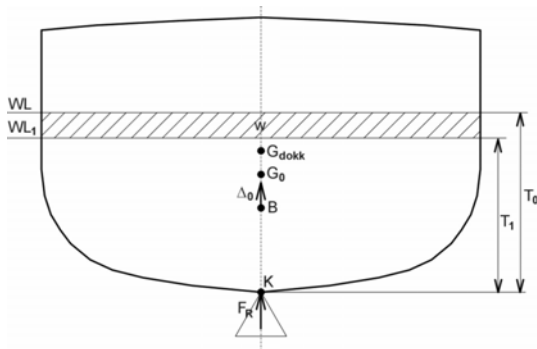
- (1) *Gépberendezések védelme.* A gépberendezések védelmére standard magasságú farfelépítményt vagy középső felépítményt (hidat) kell kiképezni, illetve fedélzeti házat, amelynek szilárdsága és magassága azzal egyenértékű. A gépek burkolata szabadon is állhat, ha nincsenek ajtók beépítve a szabadoldal fedélzetről való megközelítésük útjában, vagy, ha időjárásálló ajtó van felszerelve egy közlekedő folyosóra, amely a géptérbe vezető lépcsőaknátnál el van választva egy ugyanolyan anyagból készült második időjárásálló ajtóval.
- (2) *Gyaloghíd és megközelítés.* A farfelépítmény és a hajóközépen levő híd vagy fedélzeti ház között a felépítmény fedélzet szintjén megfelelő konstrukciójú *gyaloghidat* kell kialakítani, vagy azzal egyenértékű közlekedési lehetőséget kell biztosítani, pl. a fedélzet alatt. Ha fedélzeti házak mind hátul vannak elhelyezve, megfelelő konstrukciós megoldásokat kell biztosítani a legénységnek, hogy elérhessék munkahelyüket a hajó minden részén.
- (3) *Rakodónyílások.* A szabadoldal fedélzeten és az orrfelépítmény fedélzeten, illetve a tágulási tankok tetején kialakított mindegyik szabadba nyíló rakodónyílást el kell látni hatékonyan működő vízálló fedelelkel acélból vagy más azzal egyenértékű anyagból.
- (4) *Vízlevezető megoldások.* Nyitott korlátokat kell kialakítani az időjárásnak kitett szabad fedélzet hosszának legalább a felén, a mestersornak a fedélzet feletti felső élét a lehető legalacsonyabbra kell kiképezni. Ahol a felépítményeket üres testtankok kötik össze, nyitott korlátot kell elhelyezni a szabadoldal fedélzetnek a tank oldalánál szabadon levő teljes hosszában.

2.3.2.3.3 Dokkolás

Ez a fejezet a hajókatasztrófák legtöbbet vizsgált csoportját vizsgálja, a lékesedést, azonban van két olyan hajóbaleset típus, ami szintén a hajó elvesztését eredményezheti, ha nem tesznek meg mindent a negatív körülmények elhárítására. Ez a két eset a *dokkolás* és a *megfeneklés*. Az utóbbi nagyon sokféle módon következhet be, azonban amellett, hogy a megfeneklés gyakran eredményezi a hajótest vízmentességének megszűnését (ami visszaviszi a témát a fejezetben korábban tárgyalt esetekhez), az is szinte minden esetben megtörténik, hogy a mederfenékre felült hajó stabilitása erősen lecsökken a vízkiszorítás-csökkenés miatt, ez pedig a hajó *felborulásához* vezethet. Belátható, hogy az ilyen esetek vizsgálata ugyanúgy végezhető el, mint amikor a megfeneklést és vízkiszorítás-csökkenést (majd annak teljes megszűnését) mesterségesen idézik elő a hajó dokkolásakor. Mivel ez a művelet előre megtervezett és előkészített módon történik, ennek vizsgálata egyszerűbb a megfeneklési esetekénél. A vizsgálat eredményei azonban kiterjeszthetőek a megfeneklett hajó viselkedésére is, ezért azt külön nem kell vizsgálni.

A hajó szárazdokkban történő elhelyezése alapján súlycsökkentést jelent. Ilyen esetben a hajó súlyát csak részben viseli a víz (illetve egyáltalán nem). A hajó súlyának többi része a *blokkokon* keresztül a dokk fenekét terheli. A feladatot elméletileg úgy szemléltethetjük, ha úgy kezeljük, mint a súlyeltávolítást. Amikor a hajó elkezd a gerince alá helyezett blokkokra felülni, és emiatt már nem tekinthető szabadon úszó testnek, már nem képes annyi felhajtóerőt biztosítani, ami az eredeti vízkiszorítással egyensúlyt tarthat. A lecsökkent merülés miatti vízkiszorítás-csökkenéssel kizárólag a hajó fenekén felfelé ható erő tart egyensúlyt. A hajót olyannak tekinthetjük, mintha az továbbra is úszó test lenne, de kisebb vízkiszorítással – a kisebb vízkiszorítás ugyanis annak az erőnek köszönhető, amely a fenékre hat felfelé (és amelyet eltávolított súlyként kezelhetünk). Normális esetben feltételezhetjük, hogy ez az erő az érintkezési pontban hat, vagyis a gerincen, tehát ez az a hely, ahonnan a képzelt súlyt eltávolítjuk. Az állapotot az jellemzi, hogy a hajó kiemelkedik egy olyan víztérfogatnak megfelelő térfogattal, amelynek alapterülete a vízvonallal egyezik meg, a réteg vastagságát pedig a térfogat és a vízvonalterület hányadosa adja ki. Emiatt az M metacentrum és a G rendszersúlypont helye megváltozik. A G és M helyének változását figyelembe véve új keresztirányú metacentrikus magasságot számolhatunk ki, amelynek segítségével a korrigált elméleti sztatikus stabilitási görbe is felrajzolható. Mivel azonban a fenékre ható erő hatáspontja általában elmozdul, amikor a hajó a gerincen feltámaszkodik és megbillen, az egyenes úszáshoz tartozó teljes sztatikus stabilitási görbe nem lenne megfelelően pontos.

A dokkolást irányító tengerészisztet a módosult kezdeti stabilitási jellemzők érdeklik, más szóval a merülés változásának hatása a GM értékére. Ez a különleges értelmű GM , amelyet jelölünk GM_{dokk} megnevezéssel, nagyon hasznos lehet annak a tendenciának a meghatározásánál, hogy hogyan viselkedik a hajó, amikor függőlegesen kell állnia a gerincblokkokon a szárazdokkban elvégzett vízleeresztési és felúsztatási művelet során. (Ugyanez játszódik le a hajónál, mint fent említettük, amikor megfeneklik, olyankor is fennáll annak a veszélye, hogy felborul, ha a hajó nem lapos fenekű.)



2.3.2.3.3.1 ábra A hajó erőviszonyai dokkolásnál

A dokkolás és megfeneklés esetére vonatkozóan vezessünk be néhány jelölést, amelyet a 2.3.2.3.3.1 ábra szemléltet. F_R = a feltámasztás reakcióereje a gerincen, amelynek nagysága megegyezik a kiemelkedő réteg elvesztett w felhajtóerejével.

$$F_B = \text{maradék felhajtóerő} = \Delta_0 - F_R = \Delta_0 - w$$

Δ_0 = a dokkolás megkezdése előtti vízkiiszorítás súlya

KG_0 = a rendszersúlypont magassága a gerinc felett a dokkolás megkezdése előtt

Mivel a súlyt eltávolítottként vesszük figyelembe a gerincnél, a megfelelő képlet

$$KG_{\text{dokk}} = (\Delta_0 KG_0 - F_R K_g) / (\Delta_0 - F_R)$$

illetve, mivel $K_g = 0$,

$$KG_{\text{dokk}} = \Delta_0 KG_0 / F_B$$

A KG_{dokk} értékét úgy vehetjük, hogy az a tényleges magassága a rendszersúlypontnak a gerinc felett, bár a hajó súlypontja valójában nem változott a dokkolás előttihez képest. Ezzel

$$GM_{\text{dokk}} = KM_{\text{dokk}} - KG_{\text{dokk}} = KM_{\text{dokk}} - (\Delta_0 KG_0 / F_B)$$

ahol KM_{dokk} = a metacentrum magassága a gerinc felett a lecsökkent merülésnél.

A képletet átalakítva

$$GM_{\text{dokk}} = (F_B KM_{\text{dokk}} - \Delta_0 KG_0) / F_B$$

A visszatérítő nyomaték kis dőlésszögek esetén, amikor a hajó a gerincblokkokra támaszkodik

$$F_B GZ = F_B GM_{\text{dokk}} \sin \varphi$$

illetve

$$F_B GZ = (F_B KM_{\text{dokk}} - \Delta_0 KG_0) \sin \varphi$$

A hajó labilis helyzetűvé válik (negatív stabilitás), ha a visszatérítő nyomaték karja negatív előjelű lesz, azaz

$$GM_{\text{dokk}} < 0$$

Tehát dokkolási helyzetben a stabilitás kritériuma

$$F_B KM_{\text{dokk}} > \Delta_0 KG_0$$

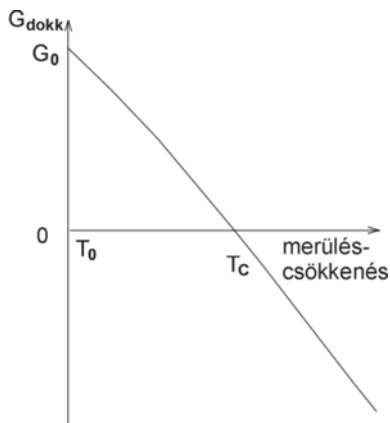
A függőleges oldalú hajók esetén (pl. bárkáknál, ahol a C_B hasábos teltség és a C_{WL} vízvonalteltség nagy tartományban konstans és egyenlő egymással) a T_C *kritikus merülés* értékét a korábban már megismert képletek kombinálásával számíthatjuk ki

$$GM_{\text{dokk}} = 0$$

$$F_B KM = F_B(KB + BM) = \Delta_0 KG_0$$

$$C_B(LBT_C/35) \{ [C_{WL}T_C/(C_{WL}+C_B)] + [C_{IT}B^2/(C_B12T_C)] \} = C_B(LBT_0/35)KG_0$$

$$[C_{WL}T_C^2/(C_{WL}+C_B)] [(C_{IT}B^2/(C_B12)) (T_0/T_0)] = T_0KG_0$$



2.3.2.3.3.1 ábra A merülés és a metacentrikus magasság kapcsolata dokkolásnál

Mivel azonban

$$C_{IT}B^2/(C_B12T_0) = BM_0$$

valamint

$$C_{WL}/(C_{WL}+C_B) = 1/2, \text{ ha } C_{WL} = C_B$$

ezért

$$T_C^2/2 + T_0BM_0 = T_0KG_0$$

ebből

$$T_C = [2T_0(KG_0 - BM_0)]^{1/2}$$

A kritikus merülés fogalmát a 2.3.2.3.3.1 ábra szemlélteti.

A nagy tömegű szállító hajók és kis bárkák oldala megközelítőleg függőleges, azoknál ez a kifejezés jól alkalmazható a dokkolásnál érvényes kritikus merülés meghatározására. Az összefüggésből látszik, hogy ha a KG_0 kisebb, mint BM_0 , akkor a hajó mindaddig stabil, amíg még van valamennyi merülése.

BBBZ-kódex

A valódi hajóformájú járművek kritikus merülését, amelyek teljesen elveszthetik stabilitásukat a dokkolási művelet során, iterációs módszerrel lehet meghatározni, vagy pedig a jellemző görbék segítségével grafikus úton.