

BBBZ *kódex*



BBBZ-kódex

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

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

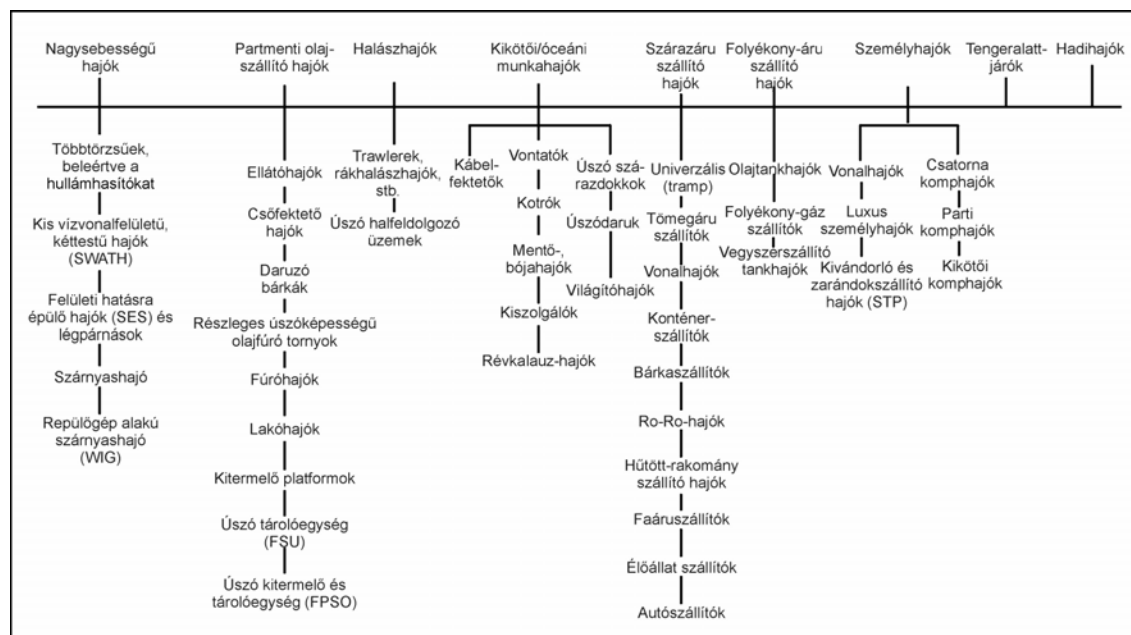
2. könyv Hajótípusok, szerkezet, gépészet

Megjelent elektronikus könyvként
(e-book)

©Komáromi József
Szerkesztette: Komáromi József
ISBN: 978-963-08-8666-6

3 Hajótípusok

A 3.1 ábra azt az osztályozási rendszert mutatja, amely szerint a hajókat kategóriákba lehet sorolni. A rendszer megmutatja, hogy a hajóépítő ipar milyen hatalmas alkalmazkodó képességgel rendelkezik. Az összes hajótípus tárgyalása ebben a szakkönyvben nem lehetséges, ezért részletesebben csak a kereskedelmi hajótípusok ismertetésére került sor.



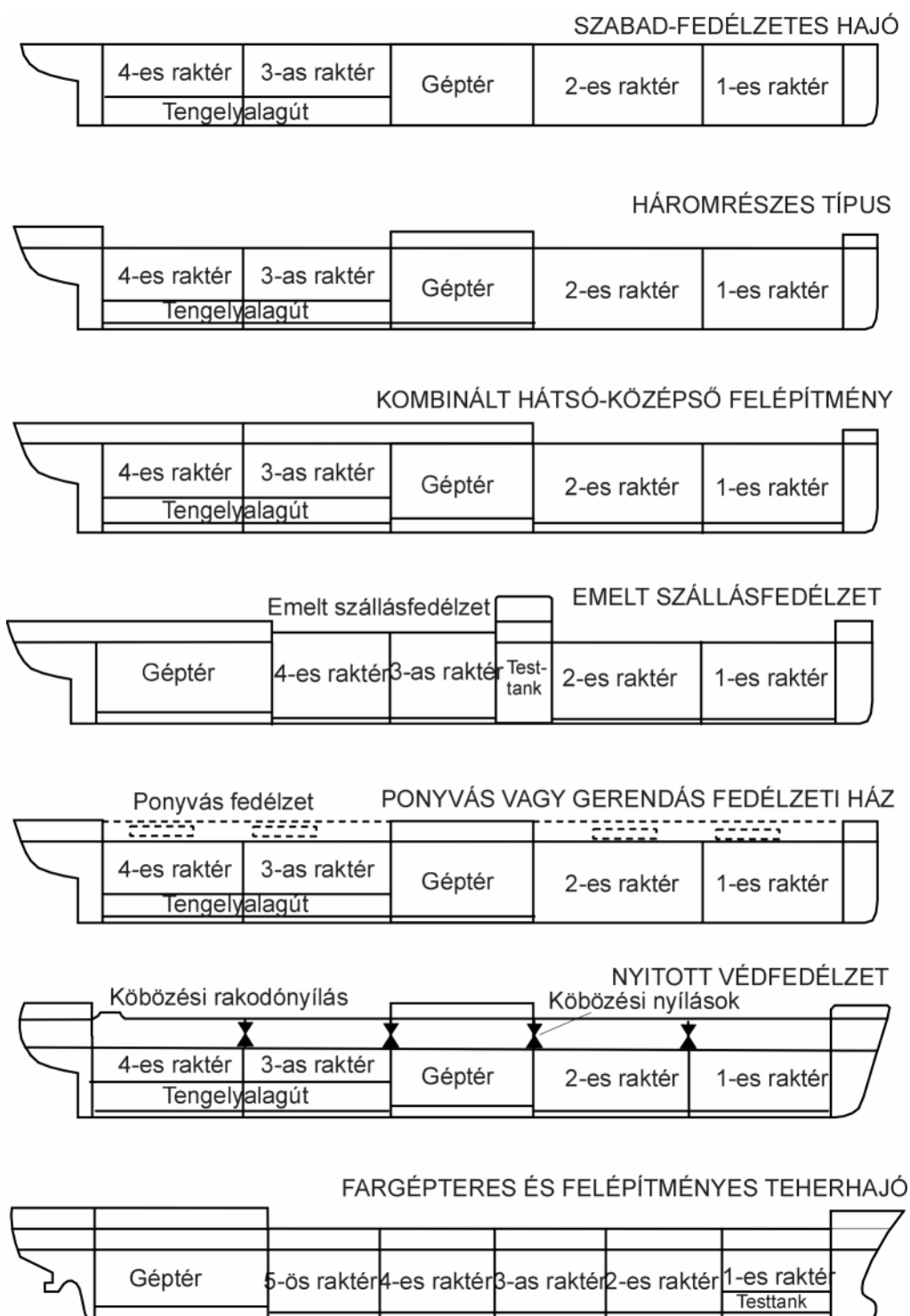
3.1 ábra Hajótípusok

3.1 Szárazáru szállító teherhajók

A hajók klasszikus feladata az áruk szállítása volt, és ez nem változott az idők során. Természetesen nem hanyagolható el sem a személyszállítás, sem a haditechnika, azonban az emberi igények kielégítéséhez elengedhetetlen az áruk eljuttatása az előállítótól a fogyasztóhoz. Ezen a területen a vízi szállításnak kapacitásban és gazdaságosságban nincs alternatívája.

A 3.3.1 ábra szemlélteti a *szárazáru szállító hajók* fejlődési irányát a gőznek mint fő *propulziós erőforrásnak* az alkalmazásba vétele, vagyis a 19. század második harmada óta. Az első *gőzhajók* tervei szinte mindenben követték a *vitörülés hajók* megoldásait, az időjárásnak kitett *szabadoldal fedélzet* (a szabadoldal fogalma akkor még nem volt ismeretes) alatt helyezkedtek el a gépek, a géptér védelmére csak alacsony peremű zárható fedél és üvegezett felülvilágító szolgált. A géptér védelmét azonban már viszonylag korán kezdték megoldani egy zárt hídszerkezettel. Elöl az orrban a *legénységi szállás* (*forecastle*, magyarul fokszi), hátul pedig a *hátsó felépítmény* (*tiszti lakóter, poop*) jelent meg hamarosan, ami szintén védelmet nyújtott a hullámok

ellen. Ebből alakult ki a köznyelven *háromrészes (three-island) típusnak* nevezett elrendezés.



3.1.1 ábra A teherhajó fejlődése

A korabeli tervek egy része egyesítette a hátsó és középső lakóteret (amelynek hivatalosan híd volt a neve), az is előfordult, hogy a híd és a legénységi lakótér képezett egy egységet.

A következő változás a *szállásfedélzet* megjelenése, ami a hátsó géptérrel épített hajók erős fartrimjét volt hivatva kiküszöbölni azzal, hogy a hátsó *raktér* helyébe lépett a szállásfedélzet. Ezt a megoldást először a kisebb hordképességű hajóknál (parti szénszállító hajók) alkalmazták, amelyeknél a trim nagyobb gondot jelent. Ez a megoldás teljesen rakott állapotban egyenes úszást biztosított. Az emelt szállásfedélzet magassága nem éri el a *közbenső fedélzetek* magasságát.

Ismét további változást jelentett a háromrészes elrendezéshez képest a *fedélzeti rakomány* (darabáru és állatok) szállítása, a konstrukció kiterjedt a fedélzeti rakomány védelmére is. Ennek eredménye volt az olyan terek kialakítása a hajón, amelyeket nem kellett figyelembe venni a *köbözés* során, mivel nem voltak állandóan zárt terek. Az ilyen fedélzeti szerkezetek tulajdonképpen integrálva voltak a hajó szerkezetébe, de szerkezeti elemeik könnyebbek voltak a kétfedélzetes hajók felső fedélzetének elemeinél, amelyeket ezért *teljes merevítésű (full scantling) hajóknak* kezdtek nevezni. Az *ideiglenes fedélzetű (shelter deck, védfedélzet) típus*, ahogy ezt a hajókat kategóriát nevezték, azon kívül, hogy könnyebb szerkezetű volt, abban is eltért, hogy a szabadoldalt nem a legfelső fedélzettől mérték, hanem az alatta levő fedélzettől (second deck), mivel a felette levő tér nem volt része a *regisztertonnának*. Ennek magyarázata az, hogy az ideiglenes fedélzeten és az alatta levő válaszfalakon levő nyílások nem elégítették ki bizonyos előírásokat.

A későbbiek folyamán kialakultak azok a hajók, amelyeket *nyitott/zárt ideiglenes fedélzetűeknek* neveztek. Ezek tulajdonképpen teljes merevítésű hajók voltak, amelyek nyílásai kielégítették az előírásokat, a köbözésnél azonban nem volt figyelembe véve a közbenső fedélzeti terek térfogata abban az esetben, amikor a hajó csak olyan terheléssel közlekedett, amikor a szabadoldalt a második fedélzettől mérték. A *nyílászárók* kialakítása lehetővé tette az ideiglenes nyílások teljesen vízmentes lezárását, és a szabadoldalt a felső fedélzettől való számítását, amivel a hajót nagyobb merülésig lehetett megrakni, akkor azonban már a közbenső fedélzetet nem lehetett kivenni a köbözésből.

A hajótulajdonosok viszonylag hosszú ideig kedvelték a nyitott ideiglenes fedélzetű hajókat. Ugyanakkor fennállt az a biztonsági aggály, hogy nem kívánatos ideiglenes nyílások voltak a héjszerkezeten. Ezeknek a nyílásoknak a megszüntetése érdekében olyan módon, hogy a regisztertonna értéke ne változzék meg jelentősen, számos tanácskozást folytattak. Végül az *1966-ban bevezetett rendelkezések (Tonnage Regulations)* lehetővé tették egy köbözési jel feltüntetését bizonyos távolsággal a második fedélzet alatt. Azon a hajón, amely *módosított köbözés* alá esett, a köbözést csak a második fedélzetig végezték el, vagyis a közbenső fedélzet nem számított bele, a köbözési jel azonban semmilyen körülmények között sem kerülhetett víz alá. Ha a hajó *alternatív köbözési kategóriába* volt sorolva (ez a korábbi nyitott/zárt ideiglenes fedélzetnek felelt meg), a köbözést csak a második fedélzetig végezték el abban az esetben, ha a köbözési jel nem került víz alá. Amennyiben a jel víz alatt volt, a köbözést a felső fedélzetig végezték el, a szabadoldalt pedig attól kellett mérni. A *köbözési jel*

koncepciója hatékonyan szabályozta a nem kívánatos nyílások kérdését és a köbözési eljárást. Az újabb változások a köbözési követelményekkel kapcsolatban, amelyekre 1969-ben került sor, végül elvezettek az *általános érvényű köbözési eljáráshoz*, ahol már nincs szükség köbözési jelre, bár a régebbi hajók esetében az eredeti regisztertonna értékek maradtak érvényesek 1994-ig.

Térjünk vissza a hajótípusok fejlődéséhez. Eredetileg a gépeket a *lapátkerek*es *meghajtás* miatt a hajó középső részén helyezték el. A szén pedig, mint alapvető tüzelőanyag, *tárolókat (bunker)* igényelt, amelyeket a trim megakadályozása érdekében szintén középen alakítottak ki. Az *olajtüzeléssel* ezt a problémát többé-kevésbé sikerült megoldani, a *hajócsavaros hajtásnál* pedig külön előnyei vannak a *far-gépter*es megoldásnak. A gépek hátul történő elhelyezése azonban jelentős fartrimet eredményez üres raktereknél, ezért a jármű mellső részén kellett elhelyezni a *mélytankokat*. Ez azonban nagy hajlító-igénybevételt jelent *ballasztmenetben*, amire a megoldást az jelentheti, ha a gépteret a hajó hátsó egynegyedénél telepítik. Azaz van egy raktér a géptér mögött is az előtte kialakított három vagy négy raktéren kívül. Mindkét esetben a hajó középső része, amelynek formája kedvezőbb a rakterek kialakításához, fenn van tartva a rakomány számára, a *tengelyalagút* miatt elvesztett raktér mérete pedig elhanyagolható.

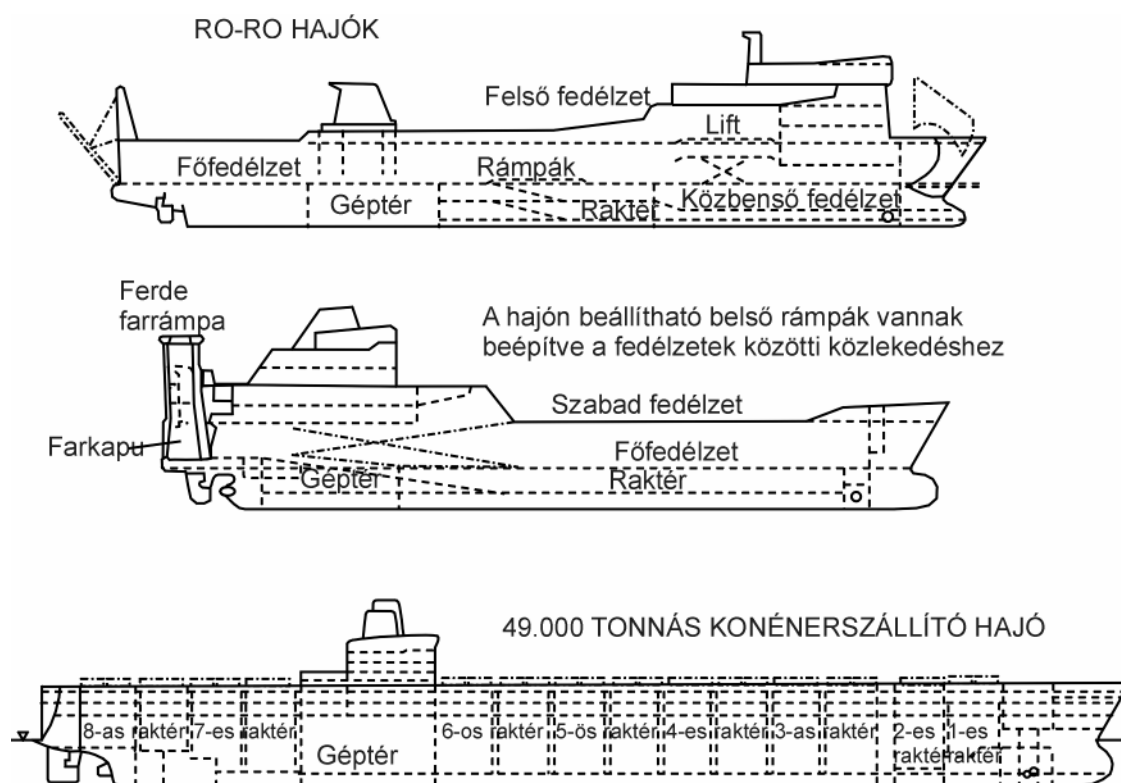
3.2 Szárazáru szállítókból kialakult egyéb típusok

A 3.1.1 ábrán legalul látható far-gépter

es teherhajó ennek a típusnak a végső fejlődési stádiumát mutatja, és az 1960-as évek korszerű *vonalhajóit (cargo liners)* képviseli. A rákövetkező tíz év során azonban a vonalhajókkal bonyolított kereskedelem legnagyobb részét a *konténerszállító hajók* vették át, a rövidebb távolságokon pedig a hagyományos kereskedelmi hajók helyére a ro-ro (roll on roll off, felgördül-legördül) típusú hajók léptek. A konténerszállító hajó fő jellemzője a derékszögű konténerek tárolása a hajótest teljesen derékszögű szakaszán belül, illetve azok több rétegben egymásra rakott elrendezése a főfedélzeten. Annak érdekében, hogy a nemzetközi ISO szabványok szerint gyártott *egységes méretű konténerek* be- és kirakodása megoldható legyen, a rakterek és *rakodónyílások* szélessége és hossza is egységesítve van. A rakodótér nyílása és a hajó széle között fennmaradó keskeny fedélzetrész alatt helyezkedik el a *kettős oldal*, amely zárt tér, és az úgy nevezett *szárny-ballaszttankoknak* illetve a *közlekedő folyosóknak* ad helyet. A ballasztból jelentős mennyiségre is szükség lehet, különösen a nagyobb konténerszállító hajóknál, amelyek a Távol-Keletre hajóznak, és így kicsi a szélesség-oldalmagasság viszonyszámuk, hogy használhassák a *Panama Csatornát*. A legújabb konténerszállító hajók rakterének nincs zárószerkezete, főleg az olyan vonalakon, ahol fontos a rövid forduló- és kikötői tartózkodási idő. Ezeknek csak a mellső rakterei rendelkeznek fedéllel vagy egyáltalán egyik sem, viszont megfelelő kapacitású szivattyúval vannak ellátva az esővíz és a *felcsapó hullámokkal bejutó víz eltávolítására* a rakterekből.

A vonalhajó forgalom további fejlődési iránya volt az *uszályszállító hajók* megjelenése. Ez a hajótípus különösen előnyös ott, ahol menetrend szerinti szolgáltatást kell biztosítani nagy folyamok torkolatánál levő kikötők között, mint pl. a Mississipp

Rajna között az Atlanti-óceánon keresztül. A standard méretű áruszállító uszályok szállítása a hajó fedélzetén történik, be- és kirakásukat a célkikötőkben pedig nagy fedélzeti forgódarukkal vagy sínpályán haladó emelőszerkezetekkel végzik. A másik konstrukciós változat az uszályoknak a szállító hajó rakterébe való be- és kiúsztatására épül, amely ilyenkor átmenetileg ballasztal olyan szintre van lesüllyesztve, hogy be tudja őket fogadni. Az 1970-es években ennek a megoldásnak nagy jövőt jósoltak, azonban nem vált be valamilyen okból, így ritkán találkozunk vele.

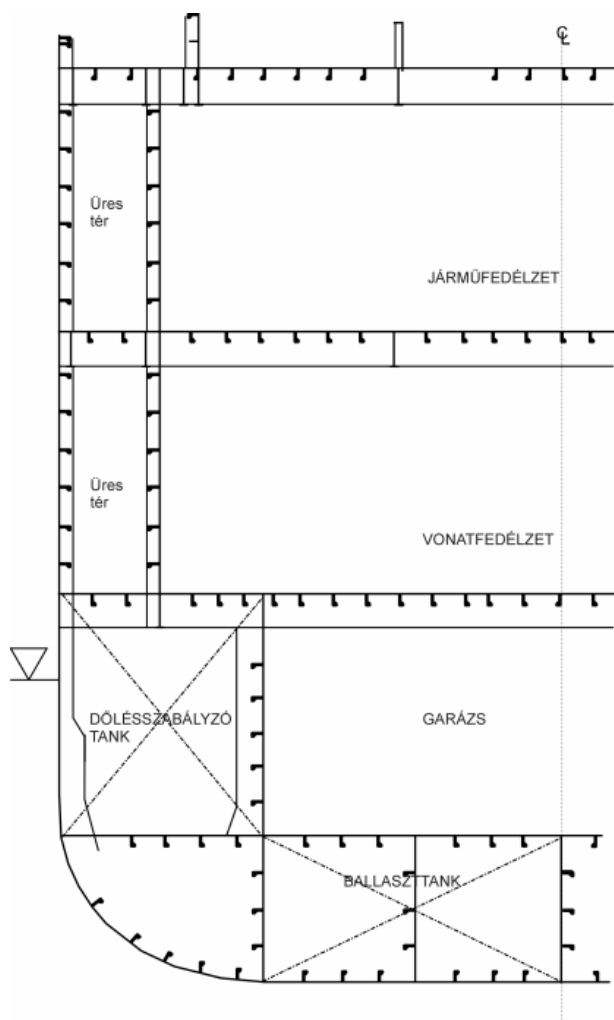


3.2.1 ábra Ro-ro hajó és konténerszállító hajó

A ro-ro hajók farrészén, illetve egyes esetekben az orrészén vagy esetleg a hajó oldalán *nyitható kapuk* vannak kialakítva, amelyek lehetővé teszik a *járműfedélzetre* való ráhajtást a főfedélzet alatt, de a vízvonál felett. A hajón belül a közlekedést *rámpák* vagy *lift*ek teszik lehetővé, amelyek a járműfedélzetről a felső fedélzetre vagy az alsóbb szintekre vezetnek. A ro-ro hajókat különféle *szabadalmaztatott rámpákkal* láthatják el a hajó oldalában elhelyezett kapukon át történő be- és kirakás érdekében, amelyek akkor hasznosak, ha nem a rendszeresen látogatott kikötőbe kell szállítani a rakományt, ahol a megszokott berendezések rendelkezésre állnak. Az áru járműveken és pótkocsikon van elhelyezve, vagy pedig villás targoncával kezelhető egységesített formában. A *járművek közlekedésének biztosítása* szükségessé teszi a géptér minél alacsonyabb helyen való elhelyezését, ezért a ro-ro hajó volt az első olyan hajótípus, amely népszerűvé tette a közepes fordulatszámú dízelmotor és fordulatszám-csökkentő

hajtómű alkalmazását, amelyet sokkal alacsonyabb térben el lehet helyezni, mint a lassújárású főgépeket.

Két ro-ro személyszállító hajó tragikus elvesztése (*Herald of Free Enterprise* 1987-ben és *Estonia* 1994-ben) ráirányította a figyelmet ennek a hajótípusnak a *lékesedési állapotban fellépő stabilitási problémáira*, amelyek abban az esetben kerülnek előtérbe, ha víz kerül az egybenyitott járműfedélzetre. Ez tette szükségessé a nemzetközi szabályozást többek között pl. a hajó orrészén elhelyezett kapuk szilárdságára és ellenőrzésére, a belső vízmentes ajtók felügyeletére a tengeri út során, fokozott stabilitási követelményekre lékesedés esetén (SOLAS 90), és további egyszerűsített stabilitási információkra a kapitány számára. Az *Estonia* elvesztése további még szigorúbb hasonló követelmények kidolgozását tette szükségessé, amelyeket az észak-európai országok regionális alapon fogadtak el (*Stockholmi Egyezmény, 1997*). A 3.2.2 ábra mutatja egy olyan személy-, gépjármű és vonatszallító ro-ro komphajó főborda-metszetének vázlatát, amely kielégíti az említett egyezmény követelményeit.



3.2.2 ábra Ro-ro komphajó főborda-metszete

Az 1940-es és 1970-es évek között folyamatosan nőtt a szárazáru szállító hajók sebessége, és ezt tükrözi a hajótest formájának változása is. A korszerű hajók testformája sokkal áramvonalasabb, különösen a hosszabb vonalon közlekedő járművek esetében. A *bulba-orr* és a nyitott áramlású far éppolyan elterjedt, mint a konténerszállító hajók orránál a tulipános forma, amely csökkenti a fedélzetre jutó víz mennyiségét, így óvja a konténereket. Néhány régebbi konténerszállító hajónál ez talán még el is volt túlozva, ami azt a kedvezőtlen hatást eredményezte, hogy a hajótest erős alakváltozást szenvedett, amikor az orr a szembejövő hullámba merült. A nagyobb konténerszállítók fedélzeti háza a test hátsó negyedénél van elhelyezve, így a teljes szélesség egészen a hajófarig biztosítható, hogy ezzel is növelni lehessen a felrakható konténerek számát.

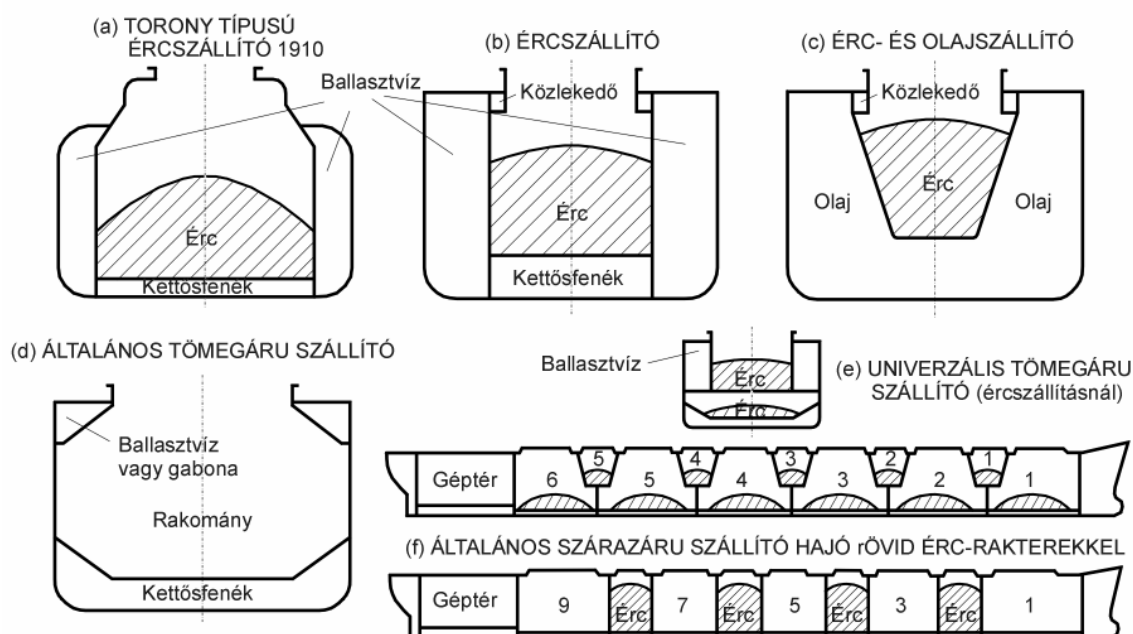
A rakomány kezelésére szolgáló berendezések hosszú ideig nem változtak, azonban az 1960-as években előtérbe kerültek, és azóta fejlődésben vannak. Ennek fő oka, hogy

szeretnék elkerülni a ki- és berakodáshoz szükséges hosszabb kikötői állásidő miatt keletkező veszteségeket. A hagyományos teherhajók ma már valamilyen *szabadalmazott rakodónyílás-zárószervezettel* vannak felszerelve, ezek egy része redőnyszerűen felgördül, mások hajtogatva csukódnak össze nyitáskor. Ezek csökkentik a karbantartási igényt és gyorsítják a rakomány kezelését. Számos különféle emelőszervezetet, árbocdarut és csörlőt fejlesztettek ki és vezettek be, amelyek a rakodás egyszerűsítését és gyorsítását szolgálják.

3.3 Tömegáru szállító hajók

A ma ismert nagy *tömegáru szállító hajó* az amerikai nagy tavakon alakult ki ércszállítóként a 20. század elején. A II. Világháború előtt az óceáni forgalomra csak ritkán építettek tömegáru szállítót, mivel ezt az árut el lehetett szállítani az *általános teherhajókkal* is, ahol még az az előny is megvolt, hogy a visszaútra is fel tudtak venni rakományt.

1904 és 1910 között számos *toronyfedélzetű* gőzhajót építettek ércszállításra, egy ilyen hajó főborda-metszete látható a 3.3.1 ábrán (a).



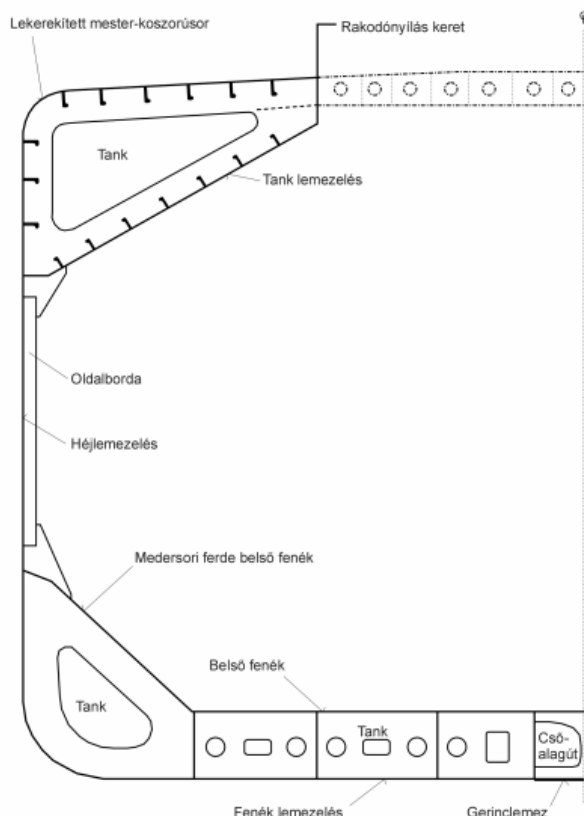
3.3.1 ábra Tömegáru szállító hajók

1945 óta jelentős számú *óceánjáró ércszállító* épült azonos tervek alapján. Az első ilyen kettősfenéssel és oldalsó ballaszttankkal kialakított ércszállító 1917-ben jelent meg, bár akkor még az oldalsó tankok nem érték el a raktér teljes mélységét. Annak a hátránynak a kiküszöbölése céljából, hogy az ércszállító a vonalon csak egyik irányban volt kihasználva, megjelentek az *olaj/érc szállítók* is akkoriban. Ezzel az utóbbi hajótípussal

olaj szállítható a 3.3.1 ábrán (c) látható *szárnytankokban*, és rendelkezik *közlekedő folyosóval* a személyzet védelme érdekében, hogy kihasználhassa a tankhajók számára engedélyezett nagyobb merülést.

A leggyakoribb általános tömegáru szállító a 3.3.1 ábrán (d) látható kialakítású, *kettősfenéssel, rézsűs oldalakkal és fedélzeti szárnytankokkal* rendelkező hajó (ld. még 3.3.2 ábra). Ezeket a tankokat könnyű *szemes rakomány* szállítására vagy *vízballaszt*hoz lehet használni. Különleges változatait is megépítették, a 3.3.1 ábra (e) részlete *univerzális tömegáru szállítót* mutat, amelyet a *McGregor Nemzetközi Szervezet* szabadalmaztatott, és amely rugalmasan változtatható lehetőségeket kínál a rakomány tárolására.

Az ábra (f) részletén látható másik típus a hossz mentén váltakozva kialakított hosszabb és rövidebb rakterekkel épül. A hajó a rövidebb rakterekben szállítja a tömegárut, amely így nemcsak a teljes terhelést teszi lehetővé, hanem az áru elosztása is jobb lehet. Az ilyen rakodási mód előfordul azonos hosszúságú rakterekkel épített általános teherhajóknál is ugyanazzal a céllal. Az ilyen rakodási módnál azonban a rakterek végeinél nagyobb a nyíró igénybevétel a szokásosnál, ezért a válaszfalak merevítőit nagyobb méretűre kell választani.



3.3.2 ábra Általános tömegáru szállító hajó főborda-metszete

A tipikus tömegáru szállító hajó általános elrendezésére a szabad nyitott fedélzet a jellemző, hátul elhelyezett géptérrel. A *rakodónyílások acél fedelekkkel* vannak védve, amelyek a rakomány gyors be- és kirakását teszik lehetővé. A tömegáru szállító gyakran közlekedik *ballasztmenetben*, ezért a hajócsavar megfelelő mélyre merítéséhez nagy *ballaszttankokra* van szükség. Az ilyen típusú hajók mérete erősen megnőtt, a tömegáru szállítók ma már elérhetik a 250.000 tonna hasznos terhelést.

Az 1980-as és 1990-es években számos általános tömegáru szállító hajót ért baleset, ami felvetette a konstrukció javításának szükségességét. A tömegáru szállítók biztonsága fontos helyet kapott az

IMO munkájában, illetve az osztályozó társaságoknál is, a munka még nem fejeződött be. A kevésbé súlyos esetek tanulmányozása rávilágított, hogy a problémák forrása helyi szilárdsági elégtelenség az egyes erősen igénybe vett területeken, amely a

vízmentesség rovására mehet a hajóoldal héjlemezeinél, a lékesedés pedig végső soron nagy méretű elárasztáshoz vezet a sérült válaszfalakon át.

Az elárasztástól vagy túlzott hajlító-igénybevétel keletkezik a hajótestben, vagy túl nagy mértékű trim alakul ki, ami a hajó elvesztését eredményezi. A vizsgálat nagy része a héjlemez és a szerkezeti elemek részleteire terjed ki, a feszültségekre, amelyeket a rakomány be- és kirakodása okoz, a szerkezet és a védőbevonatok károsodására a rakomány kirakodásából eredően, a nem kielégítő karbantartásra és a hajó szerkezeti elemeinek nem kielégítő felügyeletére. A munka eddigi eredményei a SOLAS újonnan felvett XII. fejezetében jelentek meg, amely a tömegáru szállító hajók biztonságát és korszerűsített ellenőrzési eljárását tárgyalja. Az IMO-nál folyó, az 1969-es Merülés-vonal Konvenció (Load Line Convention) megreformálására irányuló munka ezen kívül, a Derbyshire nevű tömegáru szállító roncsának vizsgálatánál kapott eredmények tanulságaként, főként az elegendő orrtőke-magasságra és az ilyen típusú hajóknál a hajó mellső részén alkalmazott rakodónyílások zárószervezeteinek szilárdságára koncentrált. A tömegáru szállító hajók biztonságos üzemeltetése sokban függ attól, hogy ne keletkezzenek túlzott mértékű feszültségek a be- és kirakodás, a ballasztolás és a ballaszt kidobása során.

A tömegáru szállító hajók méretére a következő gyakrabban használt kategóriák utalnak:

- *kezelhető méretű* (Handysize), ezek a legkisebb tömegáru szállítók 10.000 és 30.000 tonna hasznos teher között,
- *kezelhető maximális méretű* (Handymax) 35.000 és 50.000 tonna hasznos teher között,
- *csatornaméretű* (Tanamax), ezek a legnagyobbak ahhoz, hogy a Panama-csatornán áthaladhassanak, és általában 80.000 tonna hasznos teher alatt vannak,
- *fokméretű* (Capesize) tömegáru szállítók 80.000 és 150.000 tonna hasznos teher között, amelyek a Panama-csatorna áthajózásához túl nagyok, ezért a Jóreménység-fok megkerülésével közlekednek.

3.4 Olajtankhajók

1990-et megelőzően a speciálisan olajrakomány szállítására szolgáló hajók formája nem sokat változott 1880 óta, amikor a 3.4.1 (a) ábrán bemutatott hajó épült. A *tágulási tank* és *kettősfenék* elmaradt a raktéren belül. Ebben az időszakban a legnagyobb változás a méretek növelése volt és a vasszerkezet konstrukciója ((b) ábra).

1880 és a II. Világháború vége között az óceánjáró tankhajók mérete fokozatosan nőtt, az átlagos *hasznos terhelés* 1.500 tonnáról kb. 12.000 tonnára emelkedett. Ezt követően azonban az átlagos hasznos terhelés ugrásszerűen megnőtt 20.000 tonnára 1953-ban, majd 30.000 tonnára 1959-ben. Ma már olyan tankhajók is vannak, amelyek hasznos terhelése 100.000 és 500.000 tonna között van. Azt azonban hangsúlyozni kell, hogy a nagyobb hasznos terhelésű hajók a kőolajszállítók, az üzemanyag szállítását végző olajszállító hajók azonban a kisebb hasznos terhelésű tartományba esnek.

A háború óta az olajszállító tankhajók üzemi sebessége is változott 12 csomóról 17-re. Az *üzemi sebesség* a tankhajó optimális gazdaságosságú üzemeltetésének függvénye.

Azon kívül a tankhajó optimális mérete a napi piaci viszonyoktól is függ. A tankhajó flotta darabszáma erősen megnőtt az ugyancsak emelkedőben levő olajigény kielégítése érdekében, azonban 1973/74 ezt a folyamatot megállította, mivel az OPEC árának emelkedése lelassította a bővítéseket, ami a tankhajók keresletének csökkenését eredményezte. A jövőben valószínűtlen egy hasonló mértékű növekedés a tankhajók méreteiben.

A vasszerkezet terén a legnagyobb fejlődést a hegesztés bevezetése hozta, az olajszállító tankhajók voltak az elsők, ahol ez megtörtént. Igen jó lehetőség van olajzáró csatlakozások létrehozására és karbantartására, amit a szegecseletről nem mondhatunk el. A hegesztés az olcsóbb gyártástechnológiát is lehetővé tette. A *hosszborda-rendszert* a nagyobb hajóknál már a korai fázisban elfogadottá tették, és az építési szabályok terén az 1960-as években bevezetett reformok következtében növelni lehetett a *testtankok* hosszát, ami a vasszerkezet összsúlyának csökkenését is jelentette amellet, hogy a rakomány ki- és beszívattyúzása könnyebb lett.

Az általános elrendezés terén a korábbi tendenciához, hogy a gépberendezések a hajó hátsó részébe legyenek beépítve, egy idő után az is társult, hogy a lakóteret és a hidat is ott helyezték el, ami a tűzbiztonság oldaláról volt kívánatos. A lakótér egyetlen helyen való koncentrálása gazdasági előnyöket hordoz, mivel a különféle szolgáltatásokat egyetlen helyen kell biztosítani.

(a) TANKHAJÓ A 19. SZÁZAD VÉGÉN

Hossz kb. 80 m Hasznos terhelés kb. 1.700 t
Szélesség 10,5 m
Oldalmagasság 6 m Sebesség 10 csomó



(a) TANKHAJÓ A 20. SZÁZAD VÉGÉN

Hossz 330 m Hasznos terhelés 332.000 t
Szélesség 53 m
Oldalmagasság 32 m Sebesség 15 csomó

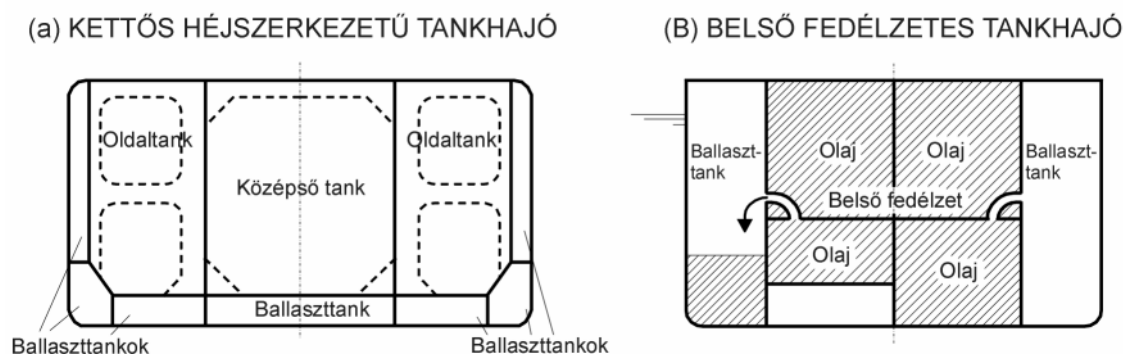


3.4.1 ábra Olajtankhajók típusai méret alapján

A tankhajók olajszállító raktereinek kialakítására nagy hatással voltak azok a követelmények, amelyeket a *Nemzetközi Egyezmény a Hajók Környezetszennyezésének Megelőzésére* (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships) 1973-ban fogalmazott meg, illetve annak 1978-as jegyzőkönyve. A legfontosabb szempont a MARPOL egyezményben és a jegyzőkönyvben annak előírása, hogy a tankhajóknak biztosítaniuk kell a ballasztvíz tisztaságát. Bár ennek elsődleges célja az volt, hogy a környezetszennyezés kockázatát lehessen csökkenteni, az elkülönített ballaszttankok beépítése a hajó középrészén ahhoz is hozzájárul, hogy a síkvízi hajlítónyomaték kisebb legyen a tankhajó teljes terhelése esetén. A további előny, hogy csökkenti a korrózió veszélyét, mivel nem kerül felváltva olaj és víz ugyanabba a tankba.

1989 márciusában az *Exxon Valdez* tankhajó, amely tökéletesen kielégítette az akkor érvényben levő MARPOL követelményeket, megfeneklett, és 50.000 m³ kőolajjal árasztotta el az alaszakai Prince William Sound tiszta partvidékét. Az ezt követő közfelháborodás hatásra fogadta el az amerikai törvényhozás 1990-ben az *Olajszennyezési Törvényt* (Oil Pollution Act, OPA 90). Ez az egyoldalú húzás az amerikai kormány részéről követelménnyé tette, hogy az Egyesült Államok vizein közlekedő kettős héjjal nem rendelkező tankhajókat meghatározott időn belül ki kell vonni a forgalomból, és az utána építendő tankhajóknak mindnek kettős fenékkal és oldallal kell épülniük (ld. 3.4.2.(a) ábra).

Az Egyesült Államok 1990 novemberében javasolta, hogy a MARPOL Egyezmény olyan értelemben legyen módosítva, hogy az új tankhajóknak kötelezően rendelkezniük kelljen kettős fenékkal és oldallal. Az IMO több más tagállama viszont azt a javaslatot tette, hogy alternatív megoldásokat is fogadjanak el, amelyek hasonló védelmet nyújtanak az esetleges olajszennyezés ellen. Japán javaslata volt a legmeglepőbb, a *belső fedélzetes tankhajó* konstrukciója. Ennél a tervnél nincs kettős fenék, ugyanakkor ütközés ellen védenek az oldalsó ballaszttankok. A rakomány elhelyezésére szolgáló tankban a teljes hosszön ki van alakítva egy megfelelő szilárdságú fedélzet (ld. 3.4.2.(b) ábra) az oldalmagasság 25-50%-ánál az alapvonaltól számítva, amely biztosítja, hogy a fenék sérülése esetén a tengervíz által gyakorolt felfelé ható nyomás megakadályozza az olaj zömét, hogy kijusson a tengerbe.



3.4.2 ábra Olajtankhajók változatai szerkezet alapján

Végül is 1992-ben az IMO elfogadta azt a módosítást a MARPOL-hoz, amely megköveteli, hogy az 5.000 tonna hasznos terhelésű vagy nagyobb tankhajók, amelyek építésére a szerződést 1993 júliusa után kötik meg, illetve amelyek építése 1994 januárja után kezdődik meg, kettősfalú vagy belsőfedélzetes konstrukciójúak legyenek, vagy olyan kialakításúak, amely azonos védelmet nyújt az olajszennyeződés ellen.

IMO és az amerikai Nemzeti Tudományos Akadémia (National Academy of Sciences) közös vizsgálatai igazolták a kettősfalú hajótest hatékonyságát az olyan olajszennyezések megelőzésénél, amelyeket zátonyra futás vagy ütközés okoz, feltéve, hogy a belső héj nem sérül. A belsőfedélzetes tankhajók azonban jobban viselkednek olyan súlyosabb baleseteknél, amikor a belső héj is sérülést szenved. Az Egyesült Államok hatóságai úgy vélekednek, hogy az ő vizeiken a zátonyra futás a leggyakoribb

típusú baleset, és meggyőződésük, hogy a legsúlyosabb baleseteket kivéve a kettős héjázat megakadályozza az olaj kiömlését zátonyra futásnál. Tehát a MARPOL ugyan elfogadja az alternatív konstrukciókat a tankhajóknál, az Egyesült Államok törvényhozása azonban nem, és még nem épült olyan hajó, amely az alternatív megoldások valamelyikét képviselné.

A jelenlegi MARPOL követelmények értelmében azok a már megépült nem kettősfalú tankhajók, amelyek kőolaj szállítására szolgálnak és hasznos terhelésük 20.000 tonna vagy annál több, valamint azok, amelyek kőolajtermékeket szállítanak és hasznos terhelésük 30.000 tonna vagy annál több:

- amennyiben nem rendelkeznek védett helyen levő külön ballaszttankokkal, nem maradhatnak üzemben 2007 júniusa után;
- ha viszont rendelkeznek védett helyen levő külön ballaszttankokkal, akkor számukra ez a dátum 2021 júliusa.

Az *Erika* tankhajó 1999-ben történt súlyos balesete és a francia tengerpart abból eredő környezetszennyezése további lépéseket tett szükségessé a MARPOL módosítására, azonban ezek a fenti korlátozások előrehozására irányuló javaslatok még az IMO előtt vannak. A javaslatok szerint a régebben épített tankhajókat még korábban kizárnák a forgalomból, illetve valamennyi nem kettősfalú tankhajó 5.000 tonna hasznos terhelés felett csak 2017. január 1-ig közlekedhetne.

Az olajszállító tankhajók általában egyetlen szivattyútérrel rendelkeznek a hajó hátsó részében, közvetlenül a géptér szomszédságában, a tankok kimosásakor illetve más módon keletkező olajos szennyeződéseket pedig egy arra szolgáló tankba szivattyúzzák.

A tankok tisztítása a kisebb tankhajóknál vízmeghajtású forgógépekkel történhet, a 20.000 tonna hasznos terhelésű vagy nagyobb új kőolajszállítók esetében azonban a tanktisztítást kőolajjal kell végezni.

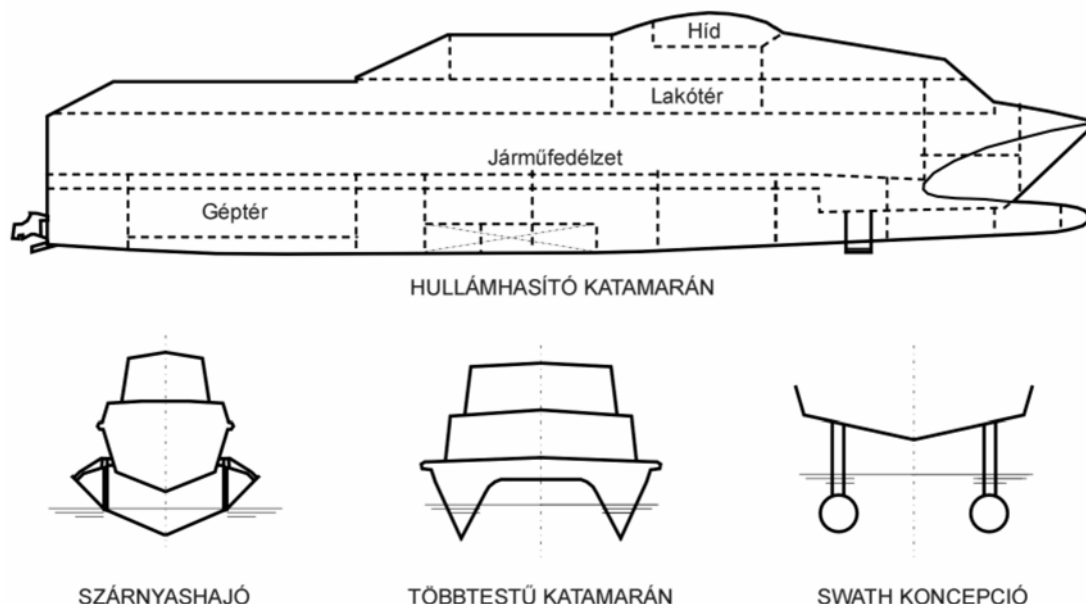
3.5 Személyszállító hajók

A korábbi *személyszállító hajóknál* még nem volt megfigyelhető az a sokszintű felépítmény és fedélzeti ház, ami ma ezeknél a hajóknál szokásos, azon kívül a hossz/szélesség viszonyszám nagyobb volt. A *felépítmény-fedélzetek* hiánya az 1894-es angol Kereskedelmi Hajózási Törvényre vezethető vissza, amely korlátozta a felső fedélzeten szállítható utasok számát. Az ehhez a törvényhez 1906-ban elfogadott módosítás megszüntette ezt a korlátozást, és azt követően olyan hajók épültek, amelyeken számos fedélzetre kiterjedő felépítmények voltak. Ez viszont szilárdsági és stabilitási problémákat vetett fel, a stabilitást a szélesség növelésével lehetett javítani. Ugyancsak jelentős véleménykülönbségek jelentkeztek a hajó fő teherhordó keresztmetszetéről a *felépítményre átvitt feszültségek* kérdésében is, főként arra vonatkozóan, hogyan lehet a problémát kiküszöbölni. Próbálkoztak mindkét megoldási változattal, azaz expanziós csatlakozásokkal ellátott könnyű, nem teherhordó szerkezetekkel, illetve nagyobb merevítőkkal ellátott felépítményekkel, amelyek hozzá tudtak járulni a fő teherhordó keresztmetszet funkciójához. A jelenleg elterjedt megoldás, ahol a felépítmény hossza jelentős és határa a hajóoldallal esik egybe, nem igényli az expanziós csatlakozások beiktatását. Ahol a korszerű hajókon alumínium

ötvözetekből készült felépítmény van felszerelve, elfogadható a nagyobb mértékű deformáció, mint amit acél szerkezeteknél meg lehetne engedni, és nem jelent semmi problémát.

Az *alumínium ötvözetekből készült felépítmények* bevezetése nagyobb számú utas elhelyezését tette lehetővé ugyanakkora merülésnél, és/vagy segített abban, hogy mélyebbre került a rendszersúlypont, ami javította a stabilitást. Erre az alumínium szerkezet kisebb súlya adott lehetőséget.

Az ilyen hajóknál a leginkább szembetűnő jelenség az általános elrendezésen az, hogy a géptér kisebb lett. Nézzük meg például az 1914-ben épült Aquitania hajót, amelyen a közvetlenül a hajócsavarokat meghajtó turbinákat huszonegy darab kettős skót kazán látta el gőzzel, és hasonlítsuk össze a Queen Elizabeth 2 hajóval. Az utóbbin fogaskerék-hajtóműves turbinák adják a meghajtást, amelyeket három vízcsöves kazán táplál. Számos korszerű személyszállító hajóban a géptér hátul van elhelyezve; így a hajó legértékesebb terei kizárólag az utasok elhelyezésének céljait szolgálhatják. Ezzel az előnnyel viszont szemben áll az a hátrány, hogy a vízszintes úszás érdekében nagyobb hajlítónyomaték jelentkezik a hajótestben.



3.5.1 ábra Különféle nagysebességű hajótípusok

Az *utasok elhelyezésére vonatkozó követelmények* jelentősen szigorúbbá váltak, az egy utasra eső tér folyamatosan nő. A közbenső fedélzeteken levő nyílások nagyobbak és a közös termék két vagy több fedélzetet foglalnak el, a luxus személyhajókon pedig a zárt sétány és az átriumok mindenütt megtalálhatóak. Az utasok további kényelmét szolgálják a *légkondicionáló és stabilizáló berendezések*. Különleges figyelmet szentelnek a korszerű személyszállító hajókon a *tűzbiztonságnak, rosszul éghető szerkezeti anyagokat alkalmaznak, és automatikus tűzjelző és tűzoltó rendszereket* szerelnek fel.

A személyhajók szerepe az utasforgalomban csökkent, és a nagyobb személyhajók ma már luxus személyhajóként, komphajóként vagy különleges személyhajóként (special trade passenger, STP) üzemelnek. Az utóbbiak lakókabinok nélküli bevándorló- vagy zarándok-szállító személyszállító hajók, amelyek a Közel-Keleten vagy a délkelet-ázsiai régióban közlekednek.

Az olyan *nagysebességű személyszállító komphajók* megjelenése, amelyek könnyített szerkezetű konstrukció alapján épülnek, illetve amelyeknél a hajótest alakja gyakran szokatlan és/vagy a haladásnál keletkező felhajtóerőt is felhasználják, az 1980-as évek elején kezdődött. Kezdetben ezek a hajók kicsik voltak, de ma már hosszuk meghaladhatja a 100 métert, és akár 500 utast is szállíthatnak a 100 gépkocsin vagy 30 teherautón kívül. A hajótestet általában alumínium ötvözetű anyagokból építik, némelyikhez azonban nagyszilárdságú, így végső soron könnyebb acél szerkezeti anyagokat használnak, és szálerősítésű műanyagokból készítik a felépítményt és a lakóteret. Sebességük elérheti az 50 csomót, megoldásukat tekintve vannak köztük kettős testű hajók, ezek egy része hagyományos katamarán, de vannak köztük úgy nevezett hullámhasítók (wave-piercers), amelyek kettős hajótesttel rendelkeznek, amelyeket elől áramvonalas vízbemerült hídszerkezet köt össze, és előfordulnak kisebb *kéttestű siklóhajók (SWATH)* is. Az utóbbiak vízkiszorítását szinte teljesen a tökéletesen víz alá merülő kettős test adja, de a vízvonal feletti részt két nagyon kis vízvonal-területtel bíró keskeny függőleges oszlop tartja (ld. 3.5.1 ábra). A nagysebességű hajókhoz tartoznak még a *szárnyashajók* és a különféle *felületi hatásra épülő hajók (surface effect ship, SES)*, beleértve a *légpárnás hajókat* is, amelyeknél egy kompresszoros berendezés légpárnát hoz létre a hajótest alatt, amely azt teljesen vagy részben a vízfelszín fölé emeli, így jelentősen csökkenti a haladás közbeni ellenállást. Az ilyen hajók tömeges megjelenése vezetett 1994-ben az IMO által lefektetett specifikus nemzetközi szabályozáshoz ezek tervezésére, biztonságára és üzemeltetésére vonatkozóan. A továbbfejlesztett Biztonsági Kód elfogadására 2000 decemberében került sor. A 3.5.1 ábra a nagysebességű hajók különféle változatait mutatja.

3.6 Hadihajók és tengeralattjárók

3.6.1 Hadihajók

A *hadihajókat* szokás felosztani harci járművekre és segédjárművekre, vannak azonban olyan különleges feladatokra szolgáló hajók is közöttük, amelyeket egyik csoportba sem lehet besorolni.

A nagy harci járművek esetében a hajóknál (anyahajók, rakétacirkálók, rombolók és nukleáris főüzemű tengeralattjárók) általában érvényes paramétereket, mint stabilitás, sérült úszóképesség, szilárdság, stb., fokozottan megfelelő értékűre kell kiválasztani tervezésnél – ezért annyira drágák ezek a hajók. Természetesen elsődleges a katonai funkciójuk, hiszen anélkül nem lenne rájuk szükség, annak kiváló teljesítéséhez azonban szükség van sebességre, a személyzet és fő funkciójuk ellátására (amelyet az erre tartott ellátó hajók biztosítanak), hasznos terhelésként fegyverekre és lőszerre, illetve arra képességre, hogy extrém körülmények között is működőképesek maradjanak.

A haditengerészet segédjárművei már sokkal jobban emlékeztetnek megjelenésükben a kereskedelmi hajókra, mivel azonban gyakran kell hadihajókkal közös küldetésekben részt venniük, kompatibilisnek kell lenniük azokkal sebesség és egyéb paraméterek tekintetében, hogy nehezebb időjárási viszonyok között is teljesíthessék feladataikat. Tehát emiatt ezeknek a hajóknak az építési költsége is magasabb a hasonló kereskedelmi hajókénál.

Követelményeik miatt beszélhetünk a hadihajók között az oceanográfiai kutatóhajókról is. De a parti őrség hajói és a jégtörők sem tartoznak a kereskedelmi hajók közé, ugyanúgy helyt kell állniuk nehéz időjárási viszonyok és egyéb természeti megpróbáltatások között. A kisebb hajóknál, amint azt láthattuk a hajók ellenállásának tárgyalása során, a szükséges teljesítmény nem csökken a méretek arányában hasonló sebességtartományban, tehát a vízkiszorításnak viszonylag nagyobb részét kell az üzemanyag tárolására rendelni. Ez az oka, hogy meg kell találni az optimumot a sebesség és a hajótest szilárdsága között.

3.6.2 Tengeralattjárók

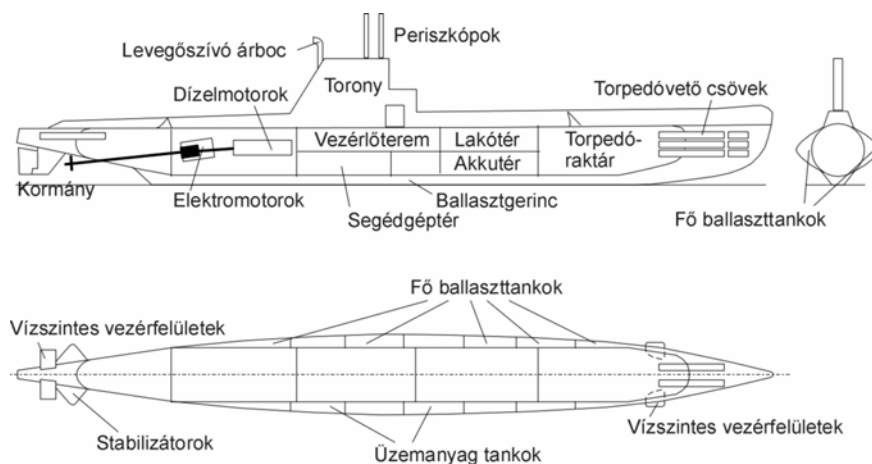
A *tengeralattjárók* olyan hajók, amelyeket arra terveznek, hogy bizonyos mélységben a víz alatt üzemeljenek. A jelenleg üzemben levő tengeralattjárók döntő többsége hadihajóként áll szolgálatban. A kereskedelmi tengeralattjárók oceanográfiai kutatási célokat szolgálnak, illetve kisebb hasonló járművek a parti vizeken létesített olaj- és gázfűró tornyok kiszolgálását végzik (csőfektetés, stb.). Ezek a járművek normál kereskedelmi munkára gazdaságtalanok.

A tengeralattjárók két különböző elven működhetnek, a *hagyományos elv* a hajó összsúlyának változtatása beengedett és kiszivattyúzott víz segítségével. A jelenleg működő járművek döntő többsége az 1950-es években kidolgozott *bathyscaphe konstrukciót* alkalmazza, ami azt jelenti, hogy a magassági helyzetet a vízkiszorítás

változtatásával (bizonyos külső terekben levő víz sűrített levegős kiszorításával) vagy ballaszt ledobásával szabályozza.

A tengeralattjáró kifejlesztésének eredeti célja az volt, hogy az ellenséges hadihajókat torpedóval megtámadják. Ez kezdetben nagyon könnyű feladat volt észrevehetetlenségük miatt. A haditechnikának az a tendenciája, hogy egy támadó fegyverrel szemben azonnal megkeresik az ellenkező hatású eszközt, rövid idő alatt a tengeralattjárók ellen is megtalálta a védekezést. Nagy ösztönző volt, hogy a totális háború mentsége alatt a kereskedelmi hajók is veszélybe kerültek, főként, mivel azokat is gyakran használták hadi célokra.

A tengeralattjárók fegyverzete ma már túlmegegy a torpedókon, fedélzetükről a víz alól indíthatnak cirkáló rakétákat távolabbi, akár szárazföldi célpontok ellen. Lehetőségük van hadihajók vagy repülőgépek ellen is védekezni vagy azokat támadni. Kiválóan alkalmazhatók kisebb csapatok észrevétlen partra szállítására.



3.6.2.1 ábra
Hagyományos
tengeralattjáró
elrendezése

A tengeralattjárók kettős feladata, hogy a felszínen és a víz alatt egyaránt képesek működni, szükségessé teszi, hogy a tervezők a

hajóelméleti vizsgálatokat mindkét üzemen elvégezzék. Sőt, azt is vizsgálni kell, hogyan viselkednek a két fázis közötti átmenet szakaszában.

A *hagyományos tengeralattjáró* általános elrendezését mutatja a 3.6.2.1 ábra. Amint látjuk, a felszíni hajóval szembeni fő különbségek a következők.

- Alakja, amelynek biztosítani kell alámerül állapotában a jó hatásfokú propulziót.
- A főborda formája kör, ez biztosítja a hajótestet terhelő nagy hidrosztatikus nyomás elviselését nagyobb mélységekben. A kör keresztmetszet ugyanakkor nagyobb merülést tesz szükségessé azonos vízkiszorításnál, mint egy felszíni hajótestnél megszokott. Azt is szükségessé teszi, hogy dokkoló gerinccel lássák el a hajótest alsó részét, illetve a domború fedélzethez megfelelő közlekedő felület a kikötőben tartózkodó hajó személyzetének közlekedéséhez.
- A *függőleges kormányfelületek*, amelyek a magasság és a trim beállítását szolgálják menet közben.
- Tankok biztosítják a *magassági helyzet szabályozását*, ezek a mai tengeralattjárókon a nyomásálló héjon kívül vannak elhelyezve.
- A *kettős propulziós rendszer*. A mélyben haladó tengeralattjárót elektromos motorok hajtják, amelyek táplálását az akkumulátor biztosítja, a felszínen dízelmotoros meghajtással közlekedik. Az akkumulátort gyakran és sokáig kell

tölteni, tehát a hagyományos tengeralattjáró a felszínen vagy periszkóp-mélységben kell, hogy haladjon meglehetősen hosszú időszakokban. Ezeket a hátrányokat küszöböli ki a nukleáris főüzem, illetve azok a meghajtási módok, amelyek nem igényelnek levegőt.

- (f) A *periszkópok* és az érzékelő árbocok, amelyek nélkül a tengeralattjáró nem haladhatna a felszín alatt közvetlenül.
- (g) A különleges levegővételező nyílás, az úgy nevezett *szippantó árboc*, amely lehetővé teszi, hogy a jármű periszkóp-mélységben haladjon.
- (h) A különleges berendezés a *tengeralattjáróban levő levegő kezeléséhez*. A normál légkondicionáló berendezéssel szemben szükség van a széndioxid közömbösítésére és oxigén generálására is.

Néhány szempont a tengeralattjárók tervezéséhez.

- (a) *Hidrosztatika*. Bár a magassági kormányfelületekkel ki lehet egyenlíteni kisebb egyensúlyzavarokat, alámerült állapotában a járműnek pontosan akkora vízkiszorításának kell lennie, amennyi a súlya, és a vízkiszorítás B súlypontjának függőlegesen a G rendszersúlypont felett kell lennie. A biztonság érdekében a gyakorlat az, hogy a vízkiszorítást nagyon kevéssel többre állítják be, mint a jármű súlya. Mivel a nyomásálló héjon belül elhelyezett súly- és trimszabályzó tankok térfogata korlátozott, a tervezés során a súlyokra és azok helyzetére végzett számításnak sokkal pontosabbnak kell lennie, mint egy felszíni hajó esetében. Az utóbbinál az ilyen hibák legfeljebb azt eredményezik, hogy a tervezési merülés és trim nem valósul meg. Ha viszont egy tengeralattjáró túl nehéz, elsüllyed, ha pedig túl könnyű, nem tud lemerülni. Ha B és G nem esik egy függőlegesre, hatalmas trim alakulhat ki, mivel itt nincsenek bemerülő és kiemelkedő 'ékek', amelyek elmozdítják egy felszíni hajónál a B helyzetét. Tengeralattjárónál a trim megnevezés a tökéletes egyensúlyra utal, az orr és a far irányában való szögeltérés az előre vagy hátra billenést jelenti. Ez a kritikus súly-vízkiszorítás egyensúly azt is jelenti, hogy ha súlyt dobtak ki a járműből (pl. torpedót lőttek ki), a megfelelő mennyiségű vizet be kell engedni a fedélzeti tankba, ami a súlyvesztéséget haladéktalanul kompenzálja.
- (b) *Stabilitás*. A lemerült állapotban levő tengeralattjárónál a B függőlegesen a G felett van, hossz- és keresztirányban tehát nincs közöttük koordináta eltérés. Felmerült állapotában azonban el kell végezni a stabilitásszámítást, mivel a vízvonallal felülete viszonylag kicsi, a súlypont pedig feljebb kerül, amint a torony kiemelkedik a vízből, tehát a kritikushoz közeli stabilitási helyzet jöhet létre. A tengeralattjárókon a döntéspróbánál komolyabb különleges teszteket kell végezni, amelyet *trimelési és döntéspróbának* neveznek. Ennek célja a tervezési feltételek teljesülésének igazolása. A végső korrekciókat az úgy nevezett ballasztgerinc beállításával lehet megvalósítani.
- (c) *Szilárdság*. A nyomásálló héjnak el kell viselnie a mélységben uralkodó nagy nyomást. A hajótest szerkezeti kialakításának meg kell felelnie a hajlítófeszültségek miatti aszimmetrikus terhelésnek. A hosszirányú hajlítás kisebb mértéke miatt nem célszerű hosszborla rendszert alkalmazni, ahelyett inkább egy nyomástartó edény szerkezetét érdemes alkalmazni. A legjobb alakot a kör keresztmetszetű henger adja,

ennél is jobb lenne a gömb, de azt csak egyes kutató tengeralattjárókon használják. A méretezésnél, ha a megengedhető feszültség állandó marad a mélységtől függetlenül, a héjlemez vastagsága, vagyis a hajó súlya a mélységgel arányosan nő. Adott méretek és anyag esetén van olyan kritikus mélység, ahol már a hajó nem képes hasznát terhet hordani. A héj szilárdságát javítják az alkalmazott vízmentes keresztválaszfalak, amelyeket a számításnál meglehetősen nehéz figyelembe venni. A tengeralattjáró balesetek kiértékelése során a hajótest összeroppanásának a következő eseteivel találkoztak.

- A bordaközi lemezhenget berogyása a radiális terhelés hatására. Ilyen baleset akkor fordul elő, ha nagy számú varrat keresztezi egymást.
- Válaszfalközi berogyás, ami két vízmentes válaszfal közti héjszerkezet összeroppanását jelenti a bordákkal együtt. Ehhez hozzájárul, ha a szerkezet alakja eltér a körtől.
- Bordakihajlás.

Napjainkra a tervezési módszerek sokat fejlődtek, ezért a legtöbb esetben csak a bordaközi beroppanás fordul elő, az is csak akkor, ha a maximális megengedett nyomás másfélszeresét eléri a tényleges nyomás. Tapasztalati értékek vannak, hogy az egyes szerkezeti elemek hibáiból mennyi engedhető meg. A legkomolyabb hiba a körtől való eltérés.

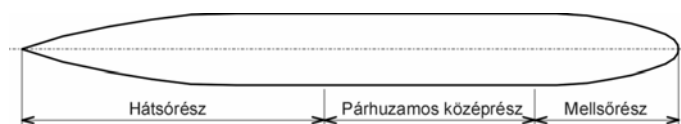
A szilárdsági méretezés részleteit nem tárgyaljuk, a bibliográfiaként megjelölt források további segítséget adhatnak.

- (d) *Dinamikus stabilitás.* Számos parti vízben a vízmélység korlátozott. Ilyen esetekben a fenéknek ütközés veszélye áll fenn, ha a jármű orra lefelé billen. Az ütközés elkerülése csak jó dinamikus stabilitással lehetséges.
- (e) *Főgép teljesítménye.* A tengeralattjáró nedvesített felülete nagyobb, mint egy ugyanakkora vízkiszorítású felszíni hajóé. Ez nagyobb súrlódási ellenállást jelent, ugyanakkor a hullámképző ellenállás lényegesen kisebb, ha a jármű elegendő mélységben halad, ami kb. a hajóhossz felének megfelelő vízmélységet jelent.

Sztatikus súly és vízkiszorítás vezérlés

Tengeralattjárókra jellemző alapfogalmak

A vízbemerült hajótest vízkiszorítása a sablon szerinti burkolaton kívül tartalmazza a függelékek vízkiszorítását is, így azokat korrekcióval figyelembe kell venni a tengeralattjáró látható hajótesténél (3.6.2.2 ábra).



3.6.2.2 ábra Sablon szerinti burkolat definíciója

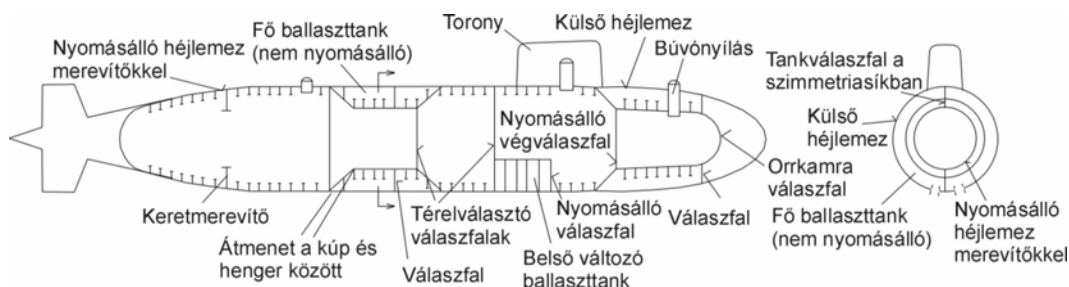
Negatív függelékeknek nevezzük

azokat, amelyek a sablon szerinti burkolaton belülre esnek, és nem lehet belőlük a vizet kifűvatni. Ennek példái az orr és far környékén levő szabadon elárasztódó térfogatok. Ezeknek a negatív függelékeknek a térfogatát le kell vonni a sablon szerinti térfogatból, amikor a tényleges vízkiszorítást számítjuk ki.

Pozitív függelékeként szerepelnek a nem szabadon közlekedő térfogatelemek a sablon szerinti burkolaton kívül, valamint a lejárók, lejárati kiemelkedések, tengelyek,

torpedócsövek, stb., amelyek a szabadon elárasztott térfogatokon belül esnek. Példák a külső pozitív függelékekre többek között a kormányok, vezérfelületek, hajócsavar, torony, illetve minden hasonló nem szabadon elárasztódó térfogat. A pozitív függelékek térfogatát hozzá kell adni a sablon szerinti burkolat térfogatához a tényleges vízkiszorítás számításánál.

A *fő vízballaszt*, amely része a teljes lemerült vízkiszorításnak, a fő ballaszttankokban (main ballast tanks, MBTs) van elhelyezve, ezek belül vannak a sablon szerinti burkolaton, de a nyomásálló héjon kívül (3.6.2.3 ábra). Ez teszi lehetővé, hogy a jármű a felszínre emelkedhessen, amikor a vizet levegővel kiszorítják belőlük.



3.6.2.3 ábra Tengeralattjáró vasszerkezeti sémája

A tankok mérete határozza meg a szabadoldal mértékét (tartalék vízkiszorítás), hosszirányú elhelyezésük pedig a felszínen úszó tengeralattjáró trimjét befolyásolja. A fő ballaszttankok térfogatának meghatározásakor le kell vonni a tankokon belül elhelyezett különféle felszerelések térfogatát, pl. a negatív függelékeket, a saját vízkiszorítással bíró tételüket, amilyenek a légpalackok, a maradék víz térfogatát, amelyet már nem lehet kiszorítani, valamint az ólom ballaszt térfogatát és súlyát is figyelembe kell venni.

Az *üres hajó* kifejezés tengeralattjárónál a hajó összes állandó alkatrészét jelenti. Ezt a tervezés és építés során rögzítik le, és a hajón elvégzett minden változtatással egyidejűleg korrigálják.

Az *ólom ballaszt* arra szolgál, hogy a hajó építése során elkerülhetetlen kisebb súlybecslési eltéréseket ki lehessen egyenlíteni. Annak érdekében, hogy a keresztirányú stabilitás romlását megakadályozzák, az ólom egy részét a fő ballaszttankokban helyezik el, bár azzal a tankok kapacitását rontják, és nőhet a maradék víz mennyisége.



3.6.2.4 ábra Merülés és trim szabályozását szolgáló tankok és vezérfelületek

Lemerülést biztosító terhelés alatt is az a súlykülönbség értendő, amennyivel nagyobb az üres hajó és az ólom súlya a vízbemerült hajótest vízkiszorításánál. Ennek összetevői a lemerítő ballaszt, a változó terhelés, a változó ballaszt és a maradék víz.

Lemerítő ballaszt a fő ballaszttankok kapacitása a maradék vízen kívül, és dízel-tengeralattjáróknál az üzemanyag ballaszttankok nettó kapacitása. Ez egyébként megegyezik a tartalék vízkiszorítással felszínre emelkedett állapotban.

Változó terhelés összetevői a legénység, a rakomány és az ellátmány, mint pl. üzemanyag, élelem, ivóvíz, fegyverek, amelyek nem képezik a hajó állandó részét.

Változó ballasztra azért van szükség, hogy korrekciókat lehessen alkalmazni a változó terhelés és a tengervíz fajsúlyában előforduló eltérés miatti súlytöbblet vagy hiány miatt. A változó ballaszt tankjainak a hajó hossza mentén történő elosztása lehetővé teszi ballasztvíz felvételét vagy kidobását a vízkiszorítás és a trim megfelelő beállításához (3.6.2.4 ábra).

Dinamikus merülés és trim vezérlés

A változó ballaszttankokon és kis sebességnél használt sztatikus trimvezérlésen kívül a tengeralattjárók rendelkeznek szárnyprofilszerű vezérfelületekkel is, amelyek a merülés és trim gyors szabályozását szolgálják. Ezek kb. 3 csomó feletti sebességnél hatásosak. *A torony magassági kormányok* felhajtóerővel bíró vízszintes szárnyfelületek, amelyet a torony oldalára építenek. Elsődleges szerepük a merülés szabályozása, de másodlagos funkcióként a trimet is változtatni lehet velük.

A farsíkok vízszintes kormányfelületek, elhelyezésük közvetlenül a hajócsavar előtt vagy mögött szokásos, és amelyeknél a trim vezérlése az elsődleges feladat, a merülésé pedig a másodlagos funkció.

3.6.2.1 Tengeralattjárók hidrosztatikai és stabilitásszámításai

Amikor a tengeralattjáró a víz felszínére felemelkedett állapotban van, azokat a jellemzőket mutatja, mint egy felszíni hajó, de vannak szembeötlő különbségek. A II. Világháború végéig a tengeralattjárók lényegében olyan felszíni hajók voltak, amelyek le tudtak merülni. Tartalék vízkiszorításuk meghaladta az alámerült vízkiszorítás 30%-át, elegendő méretű vízvonalfelületük pedig a felszínen jelentős stabilitásra volt képes. A korszerű nukleáris főüzemű tengeralattjárók „valódi” víz-alatti járművek, amelyeknek időnként a felszínen is kell tartózkodniuk. Ezeknek a tengeralattjáróknak a tartalék vízkiszorítása csak kb. 11%-a a lemerült vízkiszorításnak, vízvonalfelületük pedig limitált. Mivel mindkét típusú tengeralattjáró esetében a rendszersúlypontnak függőlegesen a vízkiszorítás súlypontja alatt kell lennie a megfelelő keresztstabilitás érdekében, stabilitásuk tartománya majdnem 180° , a maximális visszatérítő kar pedig kb. 90° -nál alakul ki.

Érdemes felidézni, hogy a felszíni hajók stabilitási jellemzői két dologtól függenek.

1. *A vízbemerült rész alakjától és a B és M helyzetétől.* A szokásos felszíni hajók szabadoldala viszonylag magas, oldaluk pedig közel van a függőlegeshez, az orrnál pedig kifelé hajlik, sőt, tulipánosságot is tartalmaz. Ha a *G* helyzete kedvező, az nagy visszatérítő karokat és jó stabilitási tartományt eredményez. Ez azért van így, mert a vízvonalfelület a dőlési szög nagy értékéig növekszik (kivéve, ha a fedélzet széle bemerül), aminek hatására a *B* jobban elmozdul a dőlés irányában, mint akkor történne, ha a vízvonala megközelítően konstans maradna. Ez a visszatérítő kar értékében is megmutatkozik. Ezzel szemben a nukleáris tengeralattjáró szabadoldala

alacsony, és keresztmetszete a körhöz van közel. Tehát a vízvonalfelület alig nő a dőlésszöggel.

2. *A súlyok függőleges helyzetétől.* Amint már láttuk, a tengeralattjárón a nagyobb súlyok alacsonyabban vannak elhelyezve, aminek eredményeként a G súlypont lejjebb kerül, mint egy hasonló felszíni hajónál találjuk. Az alacsonyan levő G az egyetlen tényező, amely segíthet az alak miatti rosszabb stabilitást kiegyenlíteni. A G alacsony helyzete érdekében az ólomballasztot általában a fő ballaszttank alján helyezik el, ennek súlya általában a lemerült vízkiszorítás 3%-a körül van. Adott B és M esetén a G lejjebb kerülése javítja a stabilitást, amelynek tartománya széles, bár a visszatérítő karok viszonylag kis értékűek. Ezért a felszínre emelkedett tengeralattjáró stabilitási görbéje laposabb és szélesebb egy hasonló felszíni hajóéhoz képest.

Stabilitás lemerült helyzetben

Amiatt, hogy a teljesen víz alá merült hajónak nincs vízvonalfelülete, az I másodrendű nyomaték és következésképpen a BM metacentrikus sugár értéke is zéró. A B és az M pontok tehát összesnek, a G pedig függőlegesen a B alatt helyezkedik el. A lemerült helyzetben érvényes stabilitás szempontjából a BG értéke a legfontosabb, mivel a visszatérítő kar nagysága:

$$GZ = BG \sin \phi$$

A visszatérítő nyomaték pedig:

$$M = \Delta BG \sin \phi$$

A hasonló felszíni hajó stabilitásával legjobban úgy lehet összehasonlítani, ha közös koordináta-rendszerben ábrázoljuk a kettőt.

3.6.2.2 Kereskedelmi tengeralattjárók

Mostanáig a tengeralattjárókra érvényes elveket (leginkább a bathyscaphe elvet) leginkább csak igen kis méretű járműveknél alkalmazták, bár ezek közül néhányan meglehetősen mélyre lemerültek. Számos ezek közül személyzet nélküli jármű, amelyet távolról irányítanak. Ezeknek a járműveknek a legnagyobb része az óceán mélyebb részeinek felkutatásával van kapcsolatban, amibe az óceán természeti kincsinek kiaknázása is beletartozik. A kis tengeralattjárókat arra is felhasználják, hogy a mélyben rekedt tengeralattjárók legénységét megmentse vagy hajóroncsokat vizsgáljanak meg. A kisebb járművek arra is használhatóak, hogy turisztikai céllal embereket vigyenek le a tenger csodáinak megtekintésére. Természetesen erre olyan helyeken kerülhet sor, ahol tiszta a tenger és az élővilág gazdag. Hasonló hajók Floridában és a Karib-tengeren 40 utast szállítanak.

BBBZ kódex

Vannak olyan helyzetek, mint pl. egy part-menti olajfűró berendezés szervizelése, amikor az ilyen kis tengeralattjárók kínálják az egyetlen elfogadható megoldást. A turisztikai felhasználás inkább a jövedelmezőség miatt létjogosult. A tengeralattjárók építési költsége a korábban felsorolt nehézségek és különlegességek miatt többszöröse egy megfelelő felszíni hajónak.

A következő táblázat a jelenleg ismert kereskedelmi tengeralattjárókat foglalja össze.

| Név | Merülési mélység, m | Hossz, m | Szélesség, m | Magasság, m | Víz kiszorítás , t | Legénység, fő |
|--|------------------------|----------|-----------------|----------------|-----------------------|------------------|
| Nagy mélységbe merülő, személyzettel ellátott tengeralattjárók | | | | | | |
| Sea Cliff | 6.000 | 7,9 | 3,6 | 3,6 | 24,0 | 3 |
| Aluminaut | 4.600 | 15,4 | 3,0 | 5,0 | 67,6 | 6 |
| Alvin | 4.000 | 7,6 | 2,4 | 3,9 | 16,7 | 3 |
| Sea Turtle | 3.000 | 7,9 | 3,6 | 3,6 | 24,0 | 3 |
| Cyana | 3.000 | 5,7 | 3,0 | 2,1 | 8,5 | 3 |
| Deep Quest | 2.440 | 12,2 | 5,8 | 4,0 | 52,0 | 4 |
| Shinkai 2000 | 2.000 | 9,3 | 3,0 | 2,9 | 25,0 | 3 |
| Személyzet nélküli tengeralattjárók | | | | | | |
| CURV III | 6.700 | 3,05 | 2,13 | 2,13 | 4,90 | vezetékes |
| AUSS | 6.000 | 5,20 | 1,27 | 1,27 | 1,27 | vezeték nélküli |
| Argo | 6.000 | 4,80 | 1,00 | 1,18 | 1,59 | vezetékes |
| Angus | 4.000 | 4,27 | 1,83 | 1,52 | 2,45 | vezetékes |
| SAR | 4.000 | 4,57 | 1,22 | 1,22 | 3,63 | vezetékes |
| SBT | 1.400 | 4,00 | 2,80 | 3,00 | 8,00 | vezetékes |

4 A hajók szerkezeti felépítése

A hajó alapján olyan vízi-jármű, amelynek feladata személyek vagy áruk eljuttatása egyik kikötőből a másikba. Feladatát akkor tudja teljesíteni, ha rendelkezik a következőkkel:

- hajótest, amely vízmentes, tehát biztosítja az úszóképességet nehéz időjárási viszonyok között is; kellő szilárdsággal rendelkezik ahhoz, hogy a víznyomásból adódó keresztirányú és a súlyok illetve felhajtóerők nem azonos eloszlásából eredő hosszirányú terheléseket elviselje; kellően időtálló ahhoz, hogy a jármű üzemeltetését tartósan biztosítani tudja,
- gépi berendezések és rendszerek, amelyek egyik része (erőgépek) a hajó és a hajón tartózkodó személyek szükségleteiből adódó és a biztonságos üzemeltetéshez elengedhetetlen energiát biztosítja; másik része (munkagépek: csörlők, szivattyúk, stb.) az üzemi, biztonsági és kényelmi követelményekből eredő feladatokat ellátja,
- propulziós berendezés, amely a hajó haladásához szükséges tolóerőt biztosítja.

A felsorolás a hajó szerkezeti felépítésének természetes összetevőit tartalmazza, a következő fejezetekben tehát ezeket fogjuk részletesen ismertetni.

4.1 Hajótest

A felsorolt követelmények közül az első a vízmentesség, amely magától értetődik ugyan, tehát ebben a vonatkozásban nem kell vele foglalkozni, azonban a *hajótest* részeinek tárgyalása során látni fogjuk, hogy mind a nemzetközi egyezmények, mind az osztályozó intézetek részletes követelményrendszert állítottak fel annak érdekében, hogy a hajó belsejébe ne juthasson be a víz olyan módon, ami a hajó elvesztését eredményezi.

A harmadik a sorban a tartósság kérdése, ami ismét nyilvánvalónak tűnik, azonban számtalan tényező befolyásolja, és ezekkel a hajótest anyagának, az anyagok előkészítésének és a hajótest gyártásának tárgyalásakor foglalkozunk.

A második követelmény azonban a hajótest megfelelő szilárdságának biztosítása, és ennek vizsgálatára az alábbiakban kerül sor.

4.1.1 A hajók szilárdsága

A *hajótest szilárdságát* három különböző típusú igénybevétel szempontjából kell megvizsgálni: *hosszirányú hajlítás és nyírás, keresztirányú hajlítás és nyírás* illetve *csavarás*, amely hullámos vízen a hullámok haladási irányára átlósan történő mozgáskor lép fel. Az első esetben egy *hajlított tartó* különböző pontjaiban ébredő feszültségeket kell meghatározni. A második fajta igénybevétel a bordakeretet hajlításra és nyírásra terheli, forrása a víz nyomása, amely a hajó oldal- és fenékszerkezetére hat. A harmadik fajta igénybevétel a legösszetettebb, amint látni fogjuk.

4.1.1.1 Hossz-szilárdság

A hajó vasszerkezete lényegében egy hajlított tartó, amely egyes keresztmetszetekben *zárt*, másutt *nyitott szelvényű*. Terhelését egyrészt az alulról felfelé ható felhajtóerő adja, amelynek forrása a vízkiszorítás, illetve a felülről lefelé ható súlyterhelés, amely magának a hajónak a súlyából és a berakott áru, valamint a legénység és az ellátmány súlyából tevődik össze. A *súlyerők* és a vízkiszorításból eredő *felhajtóerők eredője* adja a *hajótest*, mint *úszó hajlított tartó igénybevétele*. A hajó úszásának és stabilitásának vizsgálatával ellentétben a szilárdsági számítások során nem csupán az erők nagyságával és hatásvonalukkal kell törődnünk, hanem azok pontos eloszlásával is a hajó hossza mentén. A másik lényeges különbség a korábban bemutatott vizsgálatokhoz képest, hogy azoknál a hajótestet merev testként kezeltük. Nem foglalkoztunk azzal, milyen változásokat idéznek elő a hajó alakjában a külső erőhatások, legfőképpen a súly és a felhajtóerő eloszlása. A hossz-szilárdság vizsgálata során azonban a *hajót deformálható testként* kell kezelnünk, amely a súly- és felhajtóerő hatására behajlik. Az alakváltozást a *hajótest szerkezeti elemeiben ébredő feszültségek* idézik elő hasonlóan ahhoz, amint egy bármilyen más tartó deformálódik terhelés alatt.

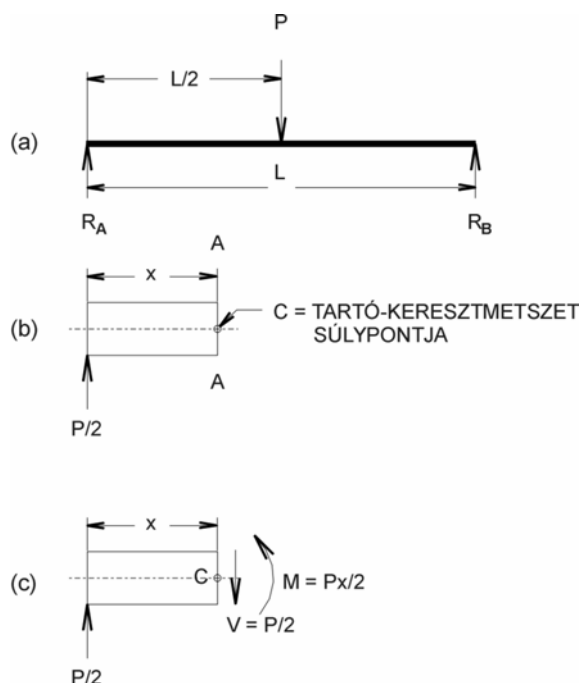
A fentiek alapján a hajók hossz-szilárdságának meghatározásánál a mechanikából jól ismert tartók szilárdságtanát kell követnünk. A nehézség abból adódik, hogy a terheléseket, amelyek az igénybevételeket okozzák, nagy részben a természeti erők hozzák létre, emiatt jelentős szerepet kap a statisztikailag összegyűjtött adathalmaz, amelyből következtetni lehet arra, milyen erők fognak hatni a vizsgált hajóra adott környezetben. Látni fogjuk a kidolgozott példákból, hogy a legegyszerűbb hajótest formák esetén sem kevés munkával jár egy számítás elvégzése, nem szabad tehát megfélekezni arról, hogy a valóságos hajótestek sokkal bonyolultabb geometriával bírnak. Nincs tehát semmi különleges abban, hogy a hossz-szilárdsági számításokhoz is rendelkezésre állnak számítógépes programok, és a nagy mennyiségű számítást azokkal hajtjuk végre.

Tartók hajlító és nyíró igénybevétele

Egy tartónál akkor beszélünk hajlításról, amikor a terhelő- és reakcióerőknek a tartó hossztengetelyére merőleges összetevőjük is van. A hajlított tartó legegyszerűbb esete egy elméletileg súlytalan vízszintes gerenda, amelyet két végén alátámasztunk, középen pedig koncentráltan hat a *terhelő erő*. Ezt mutatja a 4.1.1.1.1 ábra (a) részlete. Az *alátámasztások* úgy nevezett egyszerű alátámasztások, amelyek oldalirányú erőt nem képesek a tartóra átadni, tehát a *reakcióerők* is kizárólag függőlegesek lehetnek. Először a reakcióerők nagyságát kell meghatározni, amelyek a tartó szempontjából külső erők, majd a tartó egyes keresztmetszeteit terhelő belső erőket és hajlító-nyomatékokat. A reakcióerők meghatározásához felírjuk a *sztatikai erőegyensúly egyenleteit*, amely szerint bármely pontban a függőleges erők és a nyomatékok eredője zéró. A kiválasztott pont a nyomatékok szempontjából a tartó közepe, ahol $x = L/2$.

$$\begin{array}{ll} \Sigma F_V = 0, \text{ azaz} & R_A + R_B = P \\ \Sigma M = 0, \text{ azaz} & R_A L/2 = R_B L/2 \\ \text{Tehát} & R_A = R_B = P/2 \end{array}$$

Ebben az egyszerű esetben természetesen maga a szimmetria is elvezetett volna a helyes következtetéshez, hogy a reakcióerők a terhelés felét teszik ki egyenként. A műveletet inkább a módszer bemutatására végeztük el, amelyet bonyolultabb esetben is ugyanígy kell alkalmazni.



4.1.1.1.1 ábra Tartó igénybevétele nyírásra és hajlításra

A tartóban ébredő erőket úgy határozzuk meg, hogy felírjuk az egyensúlyi egyenleteket a tartó egy szakaszára egyik vége és egy adott keresztmetszete, pl. a (b) részleten bemutatott A-A szelvény között. Általában a tartó bármelyik keresztmetszetében csak akkor áll fenn a feltételezett egyensúly, ha a képzeletben elvágott szelvény súlypontjában (az ábrán a C pont) van egy erő és egy nyomaték, amely a külső erőkkel és nyomatékokkal egyensúlyt tart. A tartóban ébredő belső erő a *nyíróerő* (V), a nyomaték pedig a *hajlító-nyomaték* (M).

Az ábra (c) részletéből világosan látható, hogy ebben az esetben a nyíróerőnek lefelé kell hatnia, hogy a reakcióerővel egyensúlyban lehessen, a hajlító-nyomatéknak pedig az ábrázolt értelműnek kell lennie, hogy kiegyenlítse a $P/2$ és V erőkből álló erőkar forgatónyomatékát. A konvenciók értelmében az ábrán látható értelmű V és M pozitív előjelű. A szabályok értelmében *a tartó baloldali végénél a felfelé ható külső erők pozitív értelmű nyíróerőket és hajlító-nyomatékokat hoznak létre a keresztmetszetben*. A lefelé ható külső erők ezzel szemben negatív nyíróerőket és hajlító-nyomatékokat hoznak létre ugyanebben a keresztmetszetben. A tartó jobboldalát is vizsgálhatjuk, azonban ott a szabály fordítva érvényes a nyíróerőkre, a nyomaték esetében változatlan. Tehát *a jobboldalon a felfelé ható külső erők negatív értelmű nyíróerőket és pozitív hajlító-nyomatékokat hoznak létre a keresztmetszetben*.

Mekkora tehát az ábra (c) részlete szerint a V és M értéke? A már ismert egyensúlyi egyenletekből határozható meg.

$$\begin{aligned} \Sigma F_V = 0, \text{ azaz} & \quad V = P/2 \\ \Sigma M = 0, \text{ azaz} & \quad M = Px/2 \end{aligned}$$

Ezeket a kifejezéseket, amelyek az ábrán bemutatott helyzetre vonatkoznak, általánossá tehetjük azzal a feltételezéssel, hogy vannak további (pozitív és negatív) erők, amelyek a tartó baloldali végénél hatnak. A V és M értékeire felírt egyenleteket tehát a tartó adott metszete esetén átírhatjuk az erők és nyomatékok összegére:

$$V = \sum_{\text{bal}} F_V = -\sum_{\text{jobb}} F_V$$

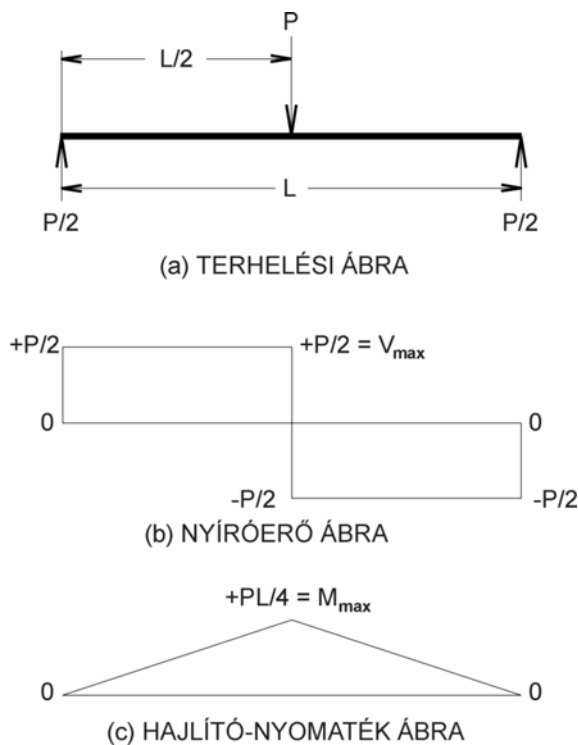
$$M = \sum_{\text{bal}} M_C = -\sum_{\text{jobb}} M_C$$

ahol a bal és jobb arra utal, a tartónak melyik végét vizsgáljuk.

F_V = függőleges külső erők és reakcióerők, amelyek pozitívak, ha felfelé mutatnak

M_C = külső erők nyomatéka a keresztmetszet súlypontja körül, pozitívak, ha az erő felfelé mutat

A nyíróerők és a hajlító-nyomatékok ábrázolása. Az ábrán látható tartóra vonatkozó egyenletekből egyértelmű, hogy bármely keresztmetszetenél, amely a tartó közepét terhelő erőtől balra esik ($0 < x < L/2$), a V nyíróerő állandó, és megegyezik a $P/2$ reakcióerővel. A hajlító-nyomaték azonban nem állandó, annak értéke lineárisan növekszik a baloldali végpontnál ($x = 0$) érvényes nulla értéktől $(P/2)(L/2) = PL/4$ maximális értékig a tartó közepénél ($x = L/2$). A trend a nyíróerő és a hajlító-nyomaték változására akkor látható világosan, ha a V és az M értékét diagramban ábrázoljuk a tartó mentén az x változó függvényében. Az előző ábra szerinti tartó diagramjai a 4.1.1.1.2 ábrán láthatóak, ahol az előzőekben elmondott tendencia világosan kitűnik.



4.1.1.1.2 ábra A nyíróerő és hajlító-nyomaték ábrája

A tartó jobboldali keresztmetszeteinek vizsgálatához vagy az összegző egyenlőségeket alkalmazzuk, vagy a jobboldali tartóvégre érvényes szabályt vesszük figyelembe. Ha maradunk a baloldalnál, a következő megállapítást kell figyelembe venni:

$$V = P/2 - P = -P/2$$

A kifejezésben a baloldali előjel konvenció érvényes, a felfelé ható külső erő pozitív, a lefelé ható negatív. A hajlító-nyomaték tehát a tartó jobboldali felénél:

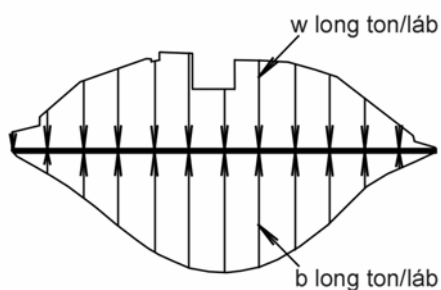
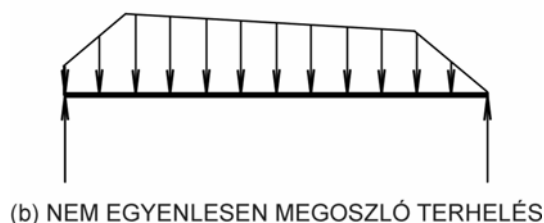
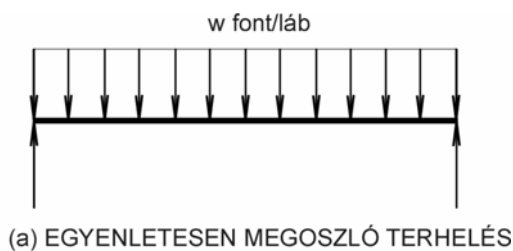
$$M = (P/2)x - P(x - L/2) = PL/2 - Px/2$$

Az $x = L/2$ keresztmetszetben ez $PL/2 - PL/4 = PL/4$ értéket ad, ami igazolja a már kiszámított nyomatékot a tartó közepénél. A jobboldali végpontban, ahol $x = L$, ez a $PL/2 - PL/2 = 0$ értéket adja, a maximális értéktől pedig a csökkenés lineáris. Tehát a hajlító-nyomaték ábra háromszög alakú, a maximális nyomaték a tartó közepén ébred.

A szimmetria miatt ezekre az eredményekre egyszerűbben is rátalálhattunk volna, de a módszer alkalmazásának bemutatása volt a cél.

Az előző példában szereplő *koncentrált terhelés* a hajók esetében alig fordul elő.

Helyette olyan terhelési formákkal kell dolgozni, amelyeket a legjobban a *megoszló terhelés* közelít, amelyek a tartó egy részén oszlanak el. A teher megoszlását ugyanolyan diagramban kell ábrázolni, amilyen diagramot készítünk a nyíróerőkről és a hajlító-nyomatékokról, ennek neve *terhelési ábra*. A megoszló terhelés alapesete pl. a tartó önsúlya.



(c) NEM EGYENLESEN MEGOSZLÓ SÚLY
NEM EGYENLETESEN MEGOSZLÓ
(VÍZKISZORÍTÁSBÓL EREDŐ)
REAKCIÓERŐ

terület a hajó vízkiszorításával egyenlő, amely tulajdonképpen a hajó saját súlyából és a berakott rakomány súlyából adódik ki.

- A terület súlypontjának hosszirányú helyzete megegyezik a hajó rendszersúlypontjának hosszirányú helyzetével.
- A felhajtóerő görbe alatti terület egyenlő a hajó vízkiszorításával, amelyet a jellemző görbékből lehet leolvasni.
- A terület súlypontjának hosszirányú helyzete megegyezik a hajó vízkiszorítás-súlypontjának hosszirányú helyzetével.

4.1.1.1.3 ábra Megoszló terhelések

Ha a tartó állandó keresztmetszetű, akkor egyenletesen megoszló terhelésről beszélhetünk. A legtöbb teher azonban nem ilyen jellegű, például a hajó rakterében elhelyezett rakomány. A változó eloszlású terhelések legfontosabbak a hajók hosszszilárdság számításánál. A mérleg másik serpenyője, hogy a hajóra ható reakcióerő is megoszló terhelés, mégpedig a hajótest alakjától függő megoszlásban, mégpedig a vízkiszorításból eredő felhajtóerő. A 4.1.1.1.3 ábra különböző megoszló terheléseket mutat, a (c) részlet egy hajó egyszerűsített terhelési ábrája. Az ábra az x tengely (a hajóhossz) egyik felén a súlyokat összegzi, a másikon a vízkiszorítás eloszlását tünteti fel. A terhelések és a reakcióerők egyaránt súly/hossz mértékegységben szerepelnek. A teljes terhelést tehát a görbe alatti terület adja ki. A diagram gyakran nyilakkal mutatja az erők hatásának értelmét. Ha a hajó az ábrázolt terheléseknél statikus egyensúlyi állapotban úszik, a következő megállapítások igazak.

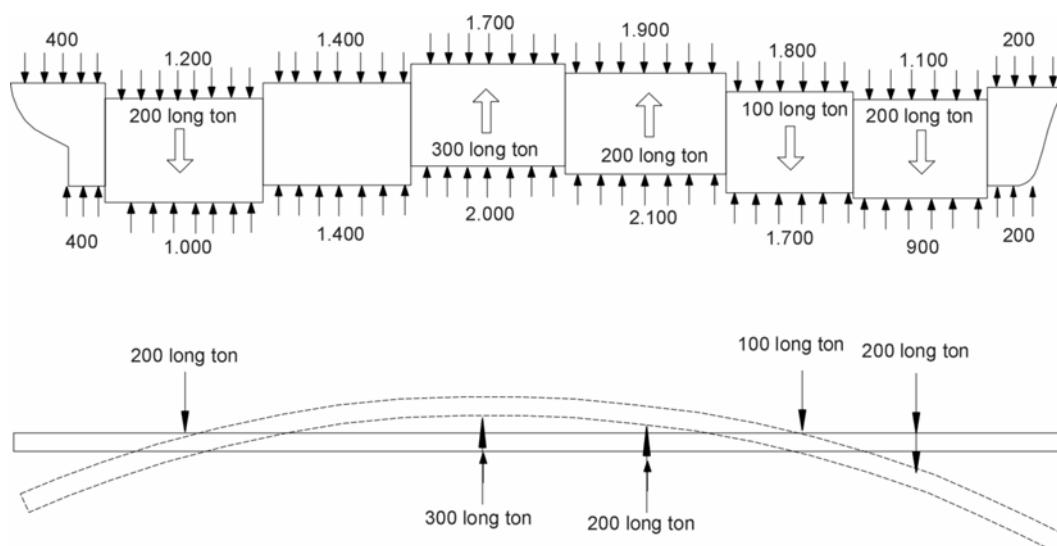
- A terhelések (súlyok) görbéje alatti

Ezek a megállapítások lényegében a sztatikus egyensúlyi állapotban úszó hajó egyenleteinek megfogalmazásai.

A hajó igénybevételét jelentő feszültségek

Ezek után tegyünk egy kis kitérőt, és nézzük meg, milyen feszültségeket jelentenek azok a nyíró és hajlító igénybevételek, amelyek a terhelés és a vízkiszorítás eloszlásának eltérése miatt keletkeznek. Külön kell vizsgálni azokat a feszültségeket, amelyek akkor ébrednek a hajótestben, amikor az sima vízben úszik, illetve azokat, amelyek a hullámzó vízben veszik igénybe.

Függőleges nyíró- és hosszirányú hajlító igénybevétel sima vízben. Ha sima vízben úszik egy tömör test, amelynek keresztmetszete és anyaga a hossz mentén változatlan, a test bármely metszetében a súly- és a vízkiszorítás által kiváltott felhajtóerők egyenlő nagyságúak és egymással ellentétes értelműek. Ennek következtében a metszetben nincs eredő erő, a testben pedig nem ébrednek feszültségek, és nem szenved alakváltozást.

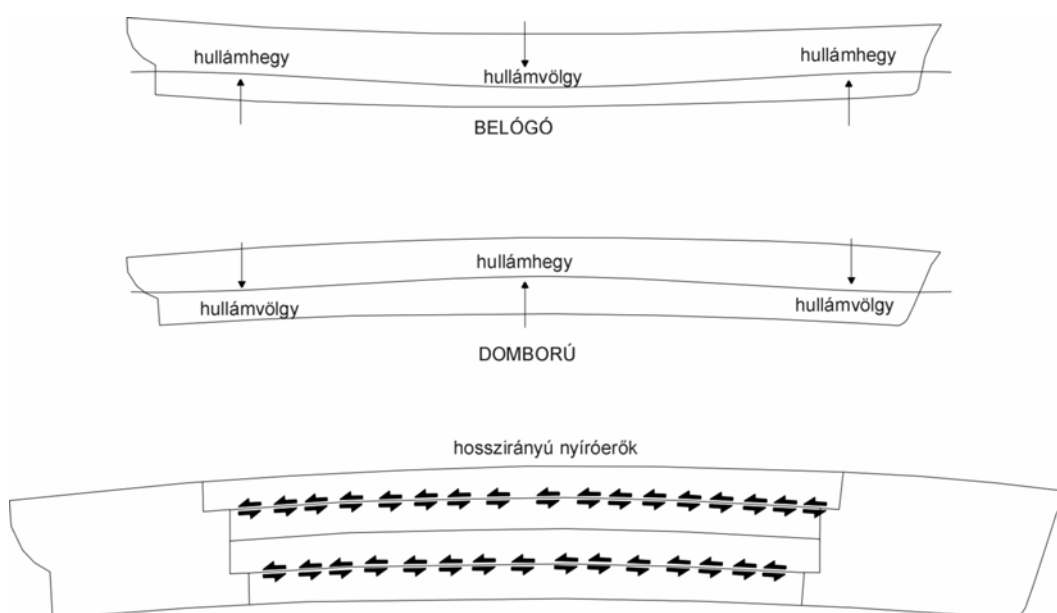


4.1.1.1.4 ábra Függőleges nyíró- és hosszirányú hajlító igénybevétel sima vízben

A sima vízben úszó hajó súlyelosztása azonban, mint láttuk, nem egyenletes, aminek oka részben a rakomány, részben a hajó vasszerkezetének eloszlása. A vízkiszorítás miatt ébredő felhajtóerő szintén nem egyenletesen oszlik meg, mivel a vízbemerült rész keresztmetszete szintén nem állandó a hossz mentén. A teljes súly és a teljes felhajtóerő természetesen egyensúlyban van, de mindegyik metszetben van eredő erő illetve terhelés, amely vagy a felhajtóerő vagy a súly többletéből ered. Függőleges fel- és lefelé ható erők vannak a hajótest egyes keresztmetszeteiben, amelyek azt szétfeszíteni igyekeznek (ld. 8.1 ábra), ezeket függőleges nyíróerőknek nevezzük, mivel a hajótest anyagát függőleges síkban próbálják az egyes keresztmetszetek síkjában elcsúsztatni. Az ábrán látható hajó az alatta ábrázolt gerendához hasonló terhelést kap, és a függőleges terhelés eloszlási módja miatt hasonló *alakváltozást* szenved. Látható, hogy

a gerenda *felső szálában húzó igénybevétel* lép fel; ugyanez történik a *hajó fedélzetének anyagában* ennél a terhelési formánál. Az *alsó szélső szálban* ezzel ellenkezőleg, illetve a *hajó fenékszerkezetében, nyomó igénybevétel* van. Az ilyen hajlításnak igénybevett hajóra azt mondják, hogy '*púpos*' (hogging angolul a sertés hátformája miatt), ha viszont a többletsúly a hajóközépen van, akkor azt mondják, hogy '*belógó*' (sagging angolul). A belógó hajó fedélzetében van nyomó igénybevétel, a fenék pedig húzásra van terhelve. A sima vízben úszó hajót ennek megfelelően hajlító-nyomaték terheli, belógó vagy púpos a súly és a felhajtóerő relatív eloszlásától függően, ugyanakkor függőleges nyíróerők ébrednek.

Hajlító-nyomatékok hullámos vízben. Amikor a hajó a nyílt vízben halad, a hullámok a hullámhegyek és hullámvölgyek miatt nagyobb különbségeket hoznak létre a felhajtóerők eloszlásában, emiatt megnövelhetik a hajlító-nyomatékot, a *függőleges nyíróerőket*, és ezzel a feszültségeket.



4.1.1.1.5 ábra Hajlító igénybevétel hullámos vízben

A legkedvezőtlenebb hatásokat klasszikus módon egy olyan hajón lehet szemléltetni, amely olyan hullámon helyezkedik el, amely a hajó hosszának irányában halad, a hullámok így a hajóra merőlegesek, a hullámhossz pedig a hajóhosszal egyezik meg. Ha a hullámhegy a hajó közepére esik, a felhajtóerő púpossá teszi a hajót; ha a hullámvölgy kerül hajóközépre, a felhajtóerők hatására a hajó belógó alakot vesz fel (8.2 ábra). Ez a hatás hozzáadódik ahhoz a hajlító igénybevételhez, amelyet a sima vízben úszó hajó szenved.

Hosszirányú nyíróerők. Amikor a hajó púpos vagy belógó deformációt szenved sima vagy hullámos vízben, hosszirányú nyíróerők ébrednek a függőleges nyíróerők mellett. A

függőleges és hosszirányú nyírófeszültségek összeadódnak, és a hajó teherhordó keresztmetszetének szomszédos szelvényei között fennálló hajlító-nyomaték különbséggel állnak kapcsolatban. A hosszirányú nyíróerő értéke a semleges szálaban a legnagyobb, az alsó és felső szál felé haladva csökken.

Hajlítófeszültségek. A klasszikus szilárdságtani elvek szerint a σ hajlítófeszültség egy gerenda tetszőleges pontjában a következő formulával számítható ki:

$$\sigma = (M/I) y$$

ahol M = a terhelő hajlító-nyomaték,
 y = a vizsgált pont távolsága a semleges száltól,
 I = a tartó keresztmetszetének a semleges szála számított másodrendű (inercia-) nyomatéka.

Amikor a tartó meghajlik, pl. púpos alakot vesz fel, a szélső szálakban fent húzófeszültség, lent nyomófeszültség ébred. Valahol a kettő között van olyan hely, ahol sem húzó-, sem nyomófeszültség nincs. Ez a hely a *semleges szál*, attól távolodva pedig a szélső szálakban ébred a legnagyobb húzó- ill. nyomófeszültség tiszta hajlítás esetén. Fontos megjegyezni, hogy a semleges szál síkja mindig a *keresztmetszet súlypontján* halad át. A képletben a felület másodrendű nyomatéka (I) a nevezőben van; emiatt minél nagyobb a másodrendű nyomaték értéke, annál kisebb lesz a hajlításból eredő feszültség. A *keresztmetszet másodrendű nyomatéka* a szelvénymagasság négyzetével arányos, ezért a szelvény magasságának kis mértékű növelése is kedvező hatású, csökkenti a hajlításból eredő feszültséget. Használjuk a *keresztmetszeti tényező* (Z) fogalmát is hajlított tartók esetében; ez egyszerűen a másodrendű nyomaték és a vizsgált pont semleges száltól mért távolságának hányadosa, vagyis $I/y = Z$. A hajlítófeszültség (σ) így $\sigma = M/Z$.

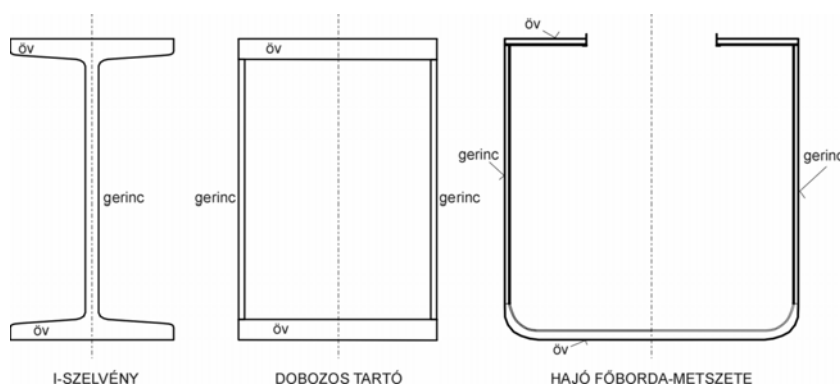
A hajó mint hajlított tartó

Azt már láttuk, hogy a hajó úgy hajlik be, mint egy tartó; a hajótestet pedig valójában egy dobozos tartó teherhordó keresztmetszeteként foghatjuk fel, amelynél számítással meg lehet határozni a semleges szál helyét és a másodrendű nyomatékot. A *hajótest teherhordó profiljában* az öveket a fedélzet és a fenék alkotja, ezért ezek fontossága sokkal nagyobb a *hossz-szilárdságban*, mint az oldallemezeké, amelyek a *gerincet* képezik a hajlított profilban, illetve a nyíróerőknek állnak ellen. A hajótest dobozos profilját és a hagyományos I-tartót a 4.1.1.1.6 ábra hasonlítja össze.

Hajónál a semleges szál általában közelebb van a fenékhez, mivel a fenéklemez vastagabb a fedélzetnél, a hajlításból eredő feszültségeken kívül ugyanis ki kell állnia a víznyomást is. A keresztmetszet másodrendű nyomatékának számításánál valamennyi profil vagy lemezanyag, amely hosszmerévítőként szolgál, nagy fontossággal bír, azonkívül minél messzebb van az adott anyag a semleges száltól, annál nagyobb a másodrendű nyomatéka a semleges szála vonatkoztatva. A semleges száltól legmesszebb eső helyen azonban a keresztmetszeti tényező csökken, és ennek megfelelően a legmagasabb feszültségek a legmesszebb eső helyeken fognak ébredni,

amilyenek pl. a *fedélzeti hosszmerévítő*, a *mestersor* és a *medersor*. Ezek a lemezsorok emiatt általában vastagabbak a szomszédos soroknál.

A hajlítófeszültségek a hajóhossz középső szakaszán nagyobbak lehetnek, ez az oka annak, hogy az osztályozó intézetek a hajó középrészén a maximális merevítő-méreteket írják elő, pl. a Lloyd's esetében ez a hajóhossz 40%-a. A merevítők mérete fokozatosan csökkenhet a hajó végei felé haladva, kivéve néhány lokálisan erősen igénybe vett területet, ahol egyéb terhelési formák várhatóak.



4.1.1.1.6 ábra
Dobozos és I-tartó
összehasonlítása

Szilárdsági fedélzet.
Azt a fedélzetet,
amely a hajótest
teherhordó
keresztmetszetében a
legfelső övet képezi,

gyakran nevezik *szilárdsági fedélzetnek*. Bizonyos fokig ez félrevezető megfogalmazás, hiszen valójában mindegyik folyamatos fedélzet, amennyiben helyesen van kialakítva, szilárdsági fedélzet. A hajó hossza mentén a teherhordó keresztmetszet legfelső öve, azaz a szilárdsági fedélzet válthat egyik fedélzetről a másikra, ahol nagy felépítményeket alakítanak ki, vagy természetes törés van, mint amilyen egy emelt lakófedélzet. A nagyobb felépítmények hajlamosak *együttműködni* és együtt deformálódni a hajótesttel, emiatt a szerkezetben jelentős mértékű feszültségek ébrednek. A korábban épült olyan hajók, amelyek könnyű szerkezetű nagy felépítménnyel készültek, erre már mutattak rossz példákat. A repedések megelőzése érdekében *expanziós csatlakozásokat* helyeztek el, amelyek megszakították a szerkezet folyamatosságát. Ezek a megoldások nem mindig voltak sikeresek, és maguk az *expanziós csatlakozások* is feszültségkoncentrációt okozhatnak a szilárdsági fedélzetnél, amelyet jobb elkerülni. A korszerű hajóépítésnél az az elfogadott megoldás, hogy a felépítmény végigmenő és olyan szilárd konstrukciójú, hogy keresztmetszeti tényezője egyenértékű azzal, ami a szilárdsági fedélzetnél akkor lenne, ha nem lenne felépítmény.

A terhelés, a nyíróerő és a hajlító-nyomaték kapcsolata.

Amint láttuk korábban, a hajó hossz-szilárdságának vizsgálatánál elengedhetetlen a vizsgált terhelési állapotban érvényes terhelési ábra megrajzolása. A hajó mindegyik keresztmetszetében érvényes, hogy

$$p = b - w$$

ahol b = vízkiszorítás per hosszegység
 w = súly per hosszegység
 p = terhelés per hosszegység

A terhelési ábra közvetlenül mutatja a vízkiszorítás és súly különbségét, ha egymásra rajzoljuk a két görbét, és a különbséget vesszük, ahol a vízkiszorítás meghaladja a súlyt, ott a p értéke pozitív, ellenkező esetben negatív.

Amennyiben az összes terhelés megoszoló jellegű, a nyíróerő meghatározására egy adott keresztmetszetben az integrálás a helyes kifejezés, nem az összegzés:

$$V = \int (b-w)dx = \int p dx$$

amelyben az integrálást a tartó baloldali végétől, vagyis a hajó farától addig a pontig végezzük a hajóhossz mentén, ahol a nyíróerőt meg akarjuk határozni. Jól látható az egyenletből, hogy *a hajótestnek, mint hajlított tartónak bármelyik keresztmetszetében a nyíróerő egyenlő a terhelési görbe alatti területtel a fartól a kérdéses keresztmetszetig.* A területnek vannak pozitív ($b > w$) és negatív ($b < w$) részei, a teljes hajóhossz mentén azonban, mivel a hajó sztatikus egyensúlyi állapotban van, a teljes súly megegyezik a teljes vízkiszorítással. Tehát a helyesen megszerkesztett terhelési ábra esetén a görbe alatti teljes területnek zérónak kell lennie.

A hajlító-nyomaték kapcsolata a nyíróerővel hasonló, mint a nyíróerőé a terheléssel, vagyis *bármelyik keresztmetszetben a hajlító-nyomaték egyenlő a nyíróerő görbe alatti területtel a fartól a kérdéses keresztmetszeti.* Egyenletalakban ez a következő:

$$M = \int V dx$$

Ezt az állítást ellenőrizhetjük a 4.1.1.1.2 ábra szerinti nyíróerő és hajlító-nyomaték ábrából, nem lehet nem észrevenni a hajlító-nyomaték ábra maximális ordinátájának kapcsolatát a nyíróerő ábrának a tartó baloldali vége és közepe közötti területével:

$$\text{nyíróerő ábra területe} = (P/2)(L/2) = PL/4 = M_{\max}$$

Természetesen más keresztmetszeteknél is elvégezhetjük ugyanezt az ellenőrzést, igaznak fog bizonyulni az állítás, hiszen minden tartóra érvényes a terhelés fajtájától függetlenül.

Az elmondottak alapján a terhelési ábrából megszerkeszthetjük a nyíróerő és hajlító-nyomaték ábrát. A művelet fordítottja az egyes görbék *meredekségének* meghatározásában segít. Például a hajó hossza mentén bármelyik pontban

$$P = dV/dx$$

$$V = dM/dx$$

Szavakba öntve ez azt jelenti, hogy van két olyan kapcsolati formánk, amellyel a görbék alakjához eljuthatunk.

1. A *nyíróerő ábra* meredeksége a hajóhossz bármelyik pontjában egyenlő az ott ható terheléssel.
2. A *hajlító-nyomaték ábra* meredeksége a hajóhossz bármelyik pontjában egyenlő az

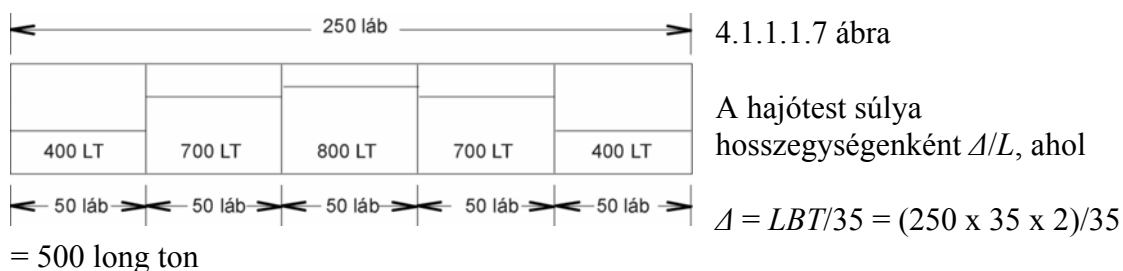
ott ébredő nyíróerővel.

Folyamatos görbe esetén a zero meredekség a maximum vagy minimum (negatív maximum) helyét jelzi, tehát a fenti állításokból következnek az alábbiak.

1. A nyíróerő maximális értéke abban a pontban ébred, ahol a terhelés értéke zero, azaz, ahol a *terhelési görbe* metszi a tengelyt.
2. A hajlító-nyomaték maximális értéke abban a pontban ébred, ahol a nyíróerő értéke zero, azaz, ahol a nyíróerő görbe metszi a tengelyt.

Számítási példa megrakott bárka esetében

A 4.1.1.1.7 ábra szerinti téglatest alakú bárka hossza 250 láb, szélessége 35 láb, és üres állapotban tengervízben 2 láb a merülése. Az üres hajó súlyát jó közelítéssel a teljes hossz mentén egyenletesen megoszoló terhelésként tételezhetjük fel. A bárkán 5 raktér van kialakítva, mindegyik 50 láb hosszúságú. A rakomány elosztása is látható az ábrán, a bárka tengervízben úszik. A rakomány feltételezés szerint az egyes rakterek hossza mentén egyenletesen megoszoló terhelést jelent. Számítsuk ki és rajzoljuk meg a súly, a vízkiszorítás, a terhelés, a nyíróerők és a hajlító-nyomaték görbét. A görbék értékeit az egyes válaszfalaknál és a maximumoknál határozzuk meg.



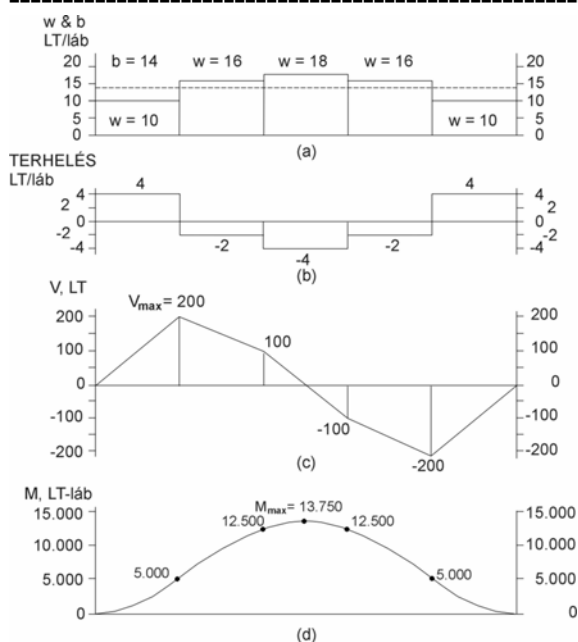
A hosszegységre eső hajótest súly ezzel

$$w_{\text{hajótest}} = 500/250 = 2,0 \text{ long ton/láb}$$

Az egyes rakterekben levő rakomány hosszegységenkénti súlya hasonlóan számítható ki.

| | |
|------------|------------------------------------|
| #1 raktér: | $400/50 = 8 \text{ long ton/láb}$ |
| #2 raktér: | $700/50 = 14 \text{ long ton/láb}$ |
| #3 raktér: | $800/50 = 16 \text{ long ton/láb}$ |
| #4 raktér: | $700/50 = 14 \text{ long ton/láb}$ |
| #5 raktér: | $400/50 = 8 \text{ long ton/láb}$ |

Az üres hajó megoszoló súlyát hozzáadva megkapjuk a bárka 5 szakaszának rakott súlyát hosszegységenként, azaz rendre 10, 16, 18, 16 és 10 long ton/láb. Ezek az értékek vannak jelen a 4.1.1.1.8 ábra (a) részletében megrajzolt súlygörbén.



4.1.1.1.8 ábra

A hosszegységre eső megoszló vízkiszorítás (felhajtóerő) a téglalakú hajótestnél egyenes úszáshelyzetben fartól orrig állandó, és megegyezik a súlyból adódó vízkiszorításnak a hosszal elosztott értékével. A súlyból adódó vízkiszorítás (üres hajó és rakomány együtt)

$$\Delta = 500 + 400 + 700 + 800 + 700 + 400 = 3.500 \text{ long ton}$$

Tehát a hosszegységenkénti vízkiszorítás

$$b = 3.500/250 = 14 \text{ long ton/láb}$$

A vízkiszorítás görbét a súlygörbébe rajzoltuk meg szaggatott vonallal. Észre kell vennünk, hogy az alatta levő terület egyenlő a súlygörbe alatti területtel. A terhelési ábra a $b-w$ értékek felrajzolásával adódik. A többlet vízkiszorítás pozitív előjellel szerepel. Tehát a terhelési ábra a (b) részleten látható. Az ordináták mértékegysége long ton/láb, a nyíróerő ábrát úgy rajzoljuk meg, hogy mindegyik válaszfalig a hajófartól kiindulva meghatározzuk a terhelési ábra görbéje alatti területet. Az egyes válaszfalakig a kapott területértékek az alábbi táblázatos számításban láthatóak. A terhelési ábra görbéjének negatív értéke esetén a területértékek negatív előjellel szerepelnek, csökkentik a nyíróerő értékét.

- #1 válaszfal: $V = 4 \times 50 = 200 \text{ long ton}$
- #2 válaszfal: $V = 200 - 2 \times 50 = 200 - 100 = 100 \text{ long ton}$
- #3 válaszfal: $V = 100 - 4 \times 50 = 100 - 200 = -100 \text{ long ton}$
- #4 válaszfal: $V = -100 - 2 \times 50 = -100 - 100 = -200 \text{ long ton}$
- Orr: $V = -200 + 4 \times 50 = -200 + 200 = 0 \text{ long ton}$

Ezeket az értékeket rajzoltuk fel a nyíróerő ábrán az ábra (c) részletében. A korábban elmondott megállapítások igaznak bizonyultak, pl. a terhelési görbe a #1 és #4 válaszfalnál metszi át a tengelyt, és a nyíróerőnek ott van a maximális pozitív illetve negatív értéke. Ellenőrizhető, hogy a nyíróerő ábra egyes szakaszainak meredeksége megegyezik a felette levő terhelési ábra ugyanazon szakaszban mérhető ordinátaival. A nyíróerő ábra meredeksége csak a két végnél pozitív értékű, ahol a terhelés is pozitív. A nyíróerő azonkívül zéró értékű a bárka két végénél. A hajók esetében mindig ez a helyzet, amennyiben nincs koncentrált terhelés vagy alátámasztás. A hajlító-nyomaték ábra a nyíróerő ábra görbéje alatti terület összegzéséből nyerhető. Mivel a nyíróerő zéró értékű a bárka végeinél, a hajlító-nyomaték görbe értéke és meredeksége egyaránt zéró értékű a végeknél. A hajlító-nyomaték görbe egyes

szakaszai másodrendű parabolák, mert az egyenes szakaszokból álló nyíróerő görbe integrálásakor másodrendű görbéket kapunk. Azonban az intervallumokban, ahol a nyíróerő növekedő tendenciájú (pozitív meredekség, ebben a példában a végeknél levő két raktér), a hajlító-nyomaték görbe meredeksége nő, alulról domború. Az olyan szakaszoknál, ahol a nyíróerő csökken (negatív meredekség, ebben az esetben a hajó középső része), a hajlító-nyomaték görbe meredeksége csökken, a görbe alulról homorú. Ahol a nyíróerő görbe átmetszi a tengelyt (jelenleg a hajó főborda-metszete), a hajlító-nyomaték görbe meredeksége zéró, mivel maximális értékét ott éri el. A hajótest és a terhelés ebben az esetben egyaránt szimmetrikus a főbordára, ezért a hajlító-nyomaték ábra is szimmetrikus. A kezdeti minőségi megállapítások után számszerűen is határozzuk meg a hajlító-nyomaték görbe értékeit.

#1 válaszfal: $M = 1/2 \times 200 \times 50 = 5.000 \text{ láb-long ton}$

#2 válaszfal: $M = 5.000 + 1/2(200 + 100)50 = 5.000 + 7.500 = 12.500 \text{ láb-long ton}$

Főborda: $M = 12500 + 1/2 \times 100 \times 25 = 12.500 + 1.250 = 13.750 \text{ láb-long ton}$

A szimmetria miatt a további számítás elhagyható. A hajlító-nyomaték ábra a (d) részletben látható. A hajlító-nyomatékgörbe értékeit közvetlenül a terhelési diagramból is meg lehet határozni, ha a nyíróerő ábrára nincs szükség. A hajlító-nyomaték a hajóhossz bármelyik pontján egyenlő a terhelési görbének az adott pont és valamelyik végpont közötti szakasza alatt levő terület nyomatékával az adott pontra. Ellenőrizzük például a #1 válaszfal keresztmetszetében a hajlító-nyomaték értékét úgy, hogy az attól balra eső terhelési görbe alatti terület nyomatékát kiszámítjuk a #1 válaszfalra. A nyomaték a terület szorzata a terület súlypontjának karjával.

Terhelési görbe alatti terület a #1 válaszfalig = $4(50) = 200 \text{ long ton}$

Nyomaték karja a súlyponttól a #1 válaszfalig = 25 láb

$M = 200(25) = 5.000 \text{ láb-long ton}$

A hajóhossz tetszőleges pontjára elvégezhető a számítás, a raktereken belül levő pontokra is.

A példa az eljárást szemlélteti, amelyet a hajó egyes keresztmetszeteiben ébredő nyíróerők és hajlító-nyomatékok és azok hossz menti eloszlásának meghatározásánál kell alkalmaznunk. A hajó acélszerkezetének tervezője számára a maximális nyíróerők és hajlító-nyomatékok a fontosak, illetve azok helye a hossz mentén. A számítás egyszerűsége érdekében választottunk egyszerű hajótestet illetve rakományelosztást.

A hajótest alakjából és a rakodás módjából eredő komplikációk

A szokásos hajótestek esetében sem a hajótest, sem a rakomány eloszlása nem szimmetrikus a főbordára, és trim is van szinte minden esetben, először tehát a sztatikus egyensúlyi állapot jelentő úszáshelyezethez a vízvonalat kell meghatározni. Ha a számítás elvégzésének az a célja, hogy a hajó hullámos vízen kialakuló terhelését határozzuk meg, a sztatikus egyensúlyt tovább nehezíti a hullámrendszer alakja. Minden

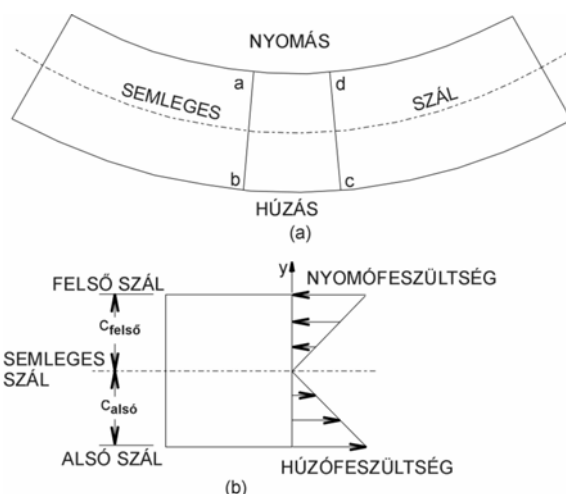
esetben a bordametszetek felületét kell a vízvonaltól meghatározni (pl. a *Bonjean-görbék* segítségével), és abból felrajzolni a bordafelület görbét. A hajóhossz bármelyik pontjában a hosszegységre eső vízkiszorítás egyenlő a bordametszet-felületnek és a víz fajsúlyának (ρg) a szorzatával. Emiatt a vízkiszorítás eloszlásának görbéje azonos alakú, mint a bordafelület görbe. A görbe alatti terület a hajó vízkiszorításával egyenlő, súlypontja pedig ott helyezkedik el hosszirányban, ahol a hajó vízkiszorításának súlypontja. A vízkiszorítás görbét gyakran helyettesítik lépcsőzetes közelítéssel, ahol 20 vagy 40 részre osztják a hajóhosszt, és a hosszegységre eső vízkiszorítást egy szakaszon belül konstansként kezelik. A közelítés miatt a számítás nagyon jól alkalmazható a számítógépes gyakorlatban.

A hajó súlyeloszlásának meghatározásakor is alkalmazzák a hossz 20-as vagy 40-es felosztását, és ennek megfelelően határozzák meg az egyes szakaszokra a hosszegységre eső súlyt, amelynek során a lépcsős görbe alatti területnek és a terület súlypontjának meg kell egyeznie a vízkiszorítás területével és súlyponthelyzetével. A súlyok és vízkiszorítás görbéjének megszerkesztése után a terhelési ábra a már ismert módon szerkeszthető meg, az eljárás többi lépése pedig megegyezik a az előző példában követett eljárással. Ha a hajót 20 szakaszra osztjuk, a terhelési ábra 20 vízszintes lépcsőből áll, a nyíróerő ábra ugyanannyi ferde egyenes szakaszból, amelyek folytonos görbét alkotnak, a hajlító-nyomaték ábra görbét pedig 20 parabolikus szakasz alkotja, amelyek törés nélkül csatlakoznak, és folytonos görbében állnak össze.

A hajó szerkezetének igénybevétele az ébredő terhelések miatt

Korábban már láttuk, hogy a szilárdságtani elveknek megfelelően a hajóban, mint úszó tartóban ébredő nyíróerők és hajlító-nyomatékok feszültségeket ébresztenek, amelyekre a hajótest deformációkkal reagál. A 4.1.1.1.9 ábra egy tartót mutat, amelyet tisztán hajlító igénybevétel terhel. A tartó meghajlása túlzott az érthetőség érdekében.

A keresztmetszetek a tartó deformációja során síkban maradnak, ezért a tartó olyan szakaszai, amelyek a deformáció előtt derékszögűek voltak, mint az ábrán az *abcd* négyszög, a látható módon eltorzul. Világosan látható, hogy a tartó szakaszának felső része összenyomódik, tehát nyomó feszültség ébred benne, ezzel szemben az alsó rész megnyúlik, tehát húzófeszültséget szenved. Az is következik ebből, hogy kell lennie egy semleges síknak (a deformáció előtt sicalakú), az ábrán a *semleges szál* (NA) jelöli, ahol sem nyomó-, sem húzófeszültség nem ébred a tartóban. A tartó mindegyik szálában ébredő húzó- vagy nyomófeszültség (és ezzel a keletkező deformáció) egyenesen arányos a szálnak a semleges száltól való távolságával, akár alatta van, akár felette. Tehát a tartó alsó és felső (szélső) szálában ébred a legnagyobb feszültség. (Tulajdonképpen ez az oka annak, hogy a hajlító-igénybevételt szenvedő szerkezeti elemek általában olyan alakúak, ld. 4.1.1.1.6 ábra, ahol a szélső szálakban van koncentrálni az anyag. Az is világos ebből, miért a fedélzet és a fenék lemezeiben ébred a legnagyobb feszültség, amikor a hajó púpos vagy belógó alakot vesz fel.) A tartók semleges szála a keresztmetszetek súlypontjával egyezik meg. A szimmetrikus keresztmetszetű tartók esetében ez tehát a szelvény fele magasságánál helyezkedik el. Az ábrán látható tartó egy belógó alakú hajónak felel meg, ahol a fenéklemez húzó, a fedélzet pedig nyomó igénybevételt szenved. Púpos alaknál a feszültségek az ellenkező értelműre válnak, a fedélzetben van húzó a fenékben nyomó igénybevétel.



4.1.1.1.9 ábra Tartó tisztán hajlító igénybevétele

A hajlítás miatt ébredő hosszirányú feszültségek. Amint már korábban bemutattuk, a tartó szálaiban ébredő hosszirányú feszültségeket a szilárdságtanból ismert következő képlet fejezi ki.

$$\sigma_y = My/I$$

ahol σ_y = a húzó- ill. nyomófeszültség a

semleges száltól y távolságban

M = a vizsgált keresztmetszetet terhelő hajlító-nyomaték

y = a keresztmetszet vizsgált pontjának függőleges távolsága a semleges száltól

I = a tartó keresztmetszetének inercianyomatéka a semleges szála

A következőkben bemutatjuk az *inercianyomaték számítási módját*.

A képletet leggyakrabban csak arra használják, hogy a tartó keresztmetszetének szélső szálaiban ébredő feszültségeket határozzák meg. Ezek távolságát a semleges száltól c betűvel jelölik, a hajók esetében, ahol a keresztmetszet nem szimmetrikus a semleges szál körül, két különböző értéke van a c -nek, amelyeket a következő képletek tartalmaznak:

$$\sigma_{\text{felső}} = Mc_{\text{felső}}/I$$

$$\sigma_{\text{alsó}} = Mc_{\text{alsó}}/I$$

Ezek a képletek tehát a hajó adott keresztmetszetét terhelő hajlító-nyomaték hatására a fedélzeti és fenékszálban ébredő feszültségek meghatározására szolgálnak.

A hajók szilárdsági számításainál alkalmazott mértékegységek. A hajótest méretei és a terhelő nyomatékok más tartókhoz képest különlegesen nagyok, ezért a hajók szilárdsági számításainál teljesen egyedi mértékegységeket alkalmazunk. Amikor a számításokat még tisztán kézzel végezték, és el akarták kerülni, hogy túlzottan nagy számokkal kelljen dolgozni, egy bizonyos *hibrid mértékrendszer* fejlesztettek ki, amelyben a hüvelyk és a láb, illetve a centiméter és a méter együtt volt használatban. A következő táblázat ezeket a mértékegységeket tünteti fel, és összeveti azokkal, amelyeket már szilárdságtani számításoknál használnak. A területek, amelyek jele a , a szerkezeti elemek keresztmetszetének felületét jelenti.

| | Szilárdságtani számítások | | Hajószilárdsági számítások | |
|----------|---------------------------|----|-------------------------------|-------------------|
| | U.S. | SI | U.S. | SI |
| σ | font/hüvelyk ² | Pa | long ton/hüvelyk ² | MN/m ² |

| | | | | |
|-----|----------------------|-----------------|--|--------------------------------|
| M | hüvelyk-font | Nm | láb-long ton | MNm |
| c | hüvelyk | cm | láb | m |
| I | hüvelyk ⁴ | cm ⁴ | hüvelyk ² -láb ² | cm ² m ² |
| a | hüvelyk ² | cm ² | hüvelyk ² | cm ² |

A keresztmetszeti tényező

A feszültség kifejezésében a hajlító-nyomaték a tartó hosszától és terhelésétől függ, az I és c azonban egyaránt a tartó keresztmetszetének jellemzőitől függ. Emiatt az I/c mennyiség szintén a tartó keresztmetszetének jellemzője. Elnevezése *keresztmetszeti tényező*, jelölésére pedig a Z betűt használják:

$$Z = I/c$$

A tartó keresztmetszeti tényezője jó mérőszáma a hajlításnak való ellenállási képességének. A Z mértékegysége hossz a köbön. A hajószilárdsági számításoknál a hüvelyk²-láb ill. cm² x m a járatos egység. Hajók esetében, mivel nem szimmetrikus keresztmetszetekkel van dolgunk, a $Z_{\text{felső}}$ és $Z_{\text{alsó}}$ értékét számítjuk ki, a képletbe a c helyébe $c_{\text{felső}}$ illetve $c_{\text{alsó}}$ kerül. A feszültség képlete ezzel a következőképpen írható:

$$\sigma_{\text{felső}} = M/Z_{\text{felső}}$$

$$\sigma_{\text{alsó}} = M/Z_{\text{alsó}}$$

A keresztmetszeti tényező kiszámítása. A hajótestben a hosszirányú hajlító-nyomaték hatására ébredő maximális feszültségek meghatározásához ki kell számítani a hajó mindkét (fedélzet és fenék) keresztmetszeti tényezőjét abban a keresztmetszetben, amely várhatóan a maximális nyomaték környezetében van. A szokásos hajótestek és rakodási formák esetében a maximális hajlító-nyomaték a főborda környékén alakul ki. Az osztályozó intézetek előírásai megkövetelik, hogy a főbordánál alkalmazott szerkezeti elemeket, amelyek méretét a szabályok előírják, a hajóhossz középső négytized részén azonos módon végig kell vinni annak érdekében, hogy a hajó rendelkezzen a megfelelő hossz-szilárdsággal.

A keresztmetszeti tényező számításánál csak azokat a hossz-szilárdságot biztosító szerkezeti elemeket veszik számításba, amelyek folyamatosan áthaladnak a keresztválaszfalakon is, mert a kereszttartók és a rövid hosszszelvények nem vesznek részt a hosszirányú hajlító-nyomaték viselésében. Tehát ahhoz, hogy a főborda környezetében levő négytized hajóhosszon belül a legkisebb keresztmetszeti tényezőt meghatározhassuk, azt a keresztmetszetet kell kiválasztanunk, ahol a fedélzeten a legszélesebb nyílás van kialakítva. A folyamatos hosszirányú szerkezeti elemek közül a keresztmetszeti tényező számításánál a következőket lehet figyelembe venni:

- fedélzetlemez a rakodónyíláson kívül,
- oldallemez, fenéklemez és hosszválaszfalak,
- hossz-szimmetriasíokban levő függőleges gerinc, oldal-hosszmerevítők és fedélzeti hosszszelvények,
- hosszszelvények a fedélzeten, oldalakon, fenéken, belső fenéken és hosszválaszfalakon.

A hajó bordakereteinek szimmetrikus kialakítása miatt a szerkezeti elemeket csak egyik oldalon vesszük számításba, és a kapott eredményt kettővel szorozzuk.

A szerkezeti elemek kiválasztása után a számítást kézzel vagy számítógéppel is el lehet végezni. Ha kézzel végezzük, célszerű a nyomaték számításához a tengelyt a becsült súlypont közelében kiválasztani, hogy a számértékek, amelyekkel dolgozunk, minél kisebbek legyenek. Számítógépes számításnál az alapvonalat érdemes választani, ott nincs jelentősége a számok nagyságrendjének, a számértékek pedig pozitív előjelűek lehetnek. A számítás menete a következő.

1. Válasszuk ki a nyomaték tengelyét a fentiek szerint.
2. A következő három jellemzőt mindegyik szerkezeti elemre ki kell számítani a sablon szerinti méretek felhasználásával, nem szükséges korrekció a lemezvastagság miatt:

a = keresztmetszet, hüvelyk² vagy cm²

d_n = a felületelem súlypontjának függőleges távolsága a tengelytől, láb vagy m

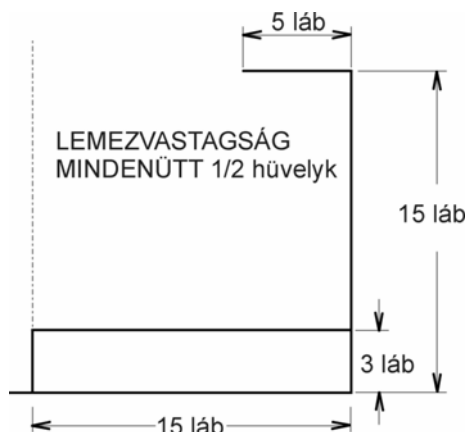
i_0 = saját súlypontra vett inercianyomaték hüvelyk²-ft² vagy cm²-m²

A kereskedelmi acélszelvények esetében a gyártók megadják az i_0 értékét. A mértékegységeket azonban a fentiek szerint meg kell változtatni. A függőleges lemezeknél $i_0 = (1/12)ah^2$, ahol 'a' a keresztmetszet felülete (hüvelyk² vagy cm²), h pedig a lemez függőleges mérete láb vagy m mértékegységben. A vízszintes lemezek i_0 értéke kihagyható a számításból, mivel elhanyagolhatóan kis számértékeket adnak.

3. Számítsuk ki mindegyik szerkezeti elemnél az első és másodrendű nyomatékokat a kiválasztott tengelyre:
 ad_n , hüvelyk²-láb vagy cm² x m
 ad_n^2 , hüvelyk²-láb² vagy cm² x m²
4. Számítsuk ki a következő összegeket az összes szerkezeti elemet figyelembe véve, majd szorozzuk meg kettővel:
 A = a keresztmetszet teljes felülete = $2\sum a$
 M_A = a keresztmetszet nyomatéka a kiválasztott tengelyre = $2\sum ad_n$
 I_n = a keresztmetszet inercianyomatéka a kiválasztott tengelyre = $2\sum(i_0 + ad_n^2)$.
5. Számítsuk ki a kiválasztott tengely függőleges távolságát a valódi semleges száltól:
 $D_g = \sum ad_n / \sum a$
6. A párhuzamos tengelyekre vonatkozó szabállyal számítsuk ki a teljes keresztmetszet inercianyomatékát a semleges szálra:
 $I_0 = I_n - AD_g^2$
7. Számítsuk ki a $Z_{felső}$ és $Z_{alsó}$ értékét:
 $c_{felső}$ = a felső fedélzet távolsága a hajóoldalnál a semleges száltól, láb vagy méter
 $c_{alsó}$ = a fenéklemez távolsága a semleges száltól, láb vagy méter
A keresztmetszeti tényezők mértékegysége hüvelyk²-láb vagy cm² x m.

A keresztmetszeti tényezőket legjobb táblázatos módon kiszámítani, amint a következő példa demonstrálja.

Példa



4.1.1.1.10 ábra

A 4.1.1.1.10 ábra egy bárka folyamatos hossz-szerkezeti elemeit mutatja, amelyeket a keresztmetszeti tényező számításánál figyelembe lehet venni. A bárka hossza $L = 150$ láb, szélessége $B = 30$ láb, oldalmagassága $D = 15$ láb. A lemezek vastagsága mindenütt $1/2$ hüvelyk. Határozzuk meg a semleges szál helyét, a főborda-metszet teljes inercianyomatékát és mindkét keresztmetszeti tényezőt. Határozzuk meg a feszültségeket is, amikor a bárka púpos alakot vesz

fel, és a hajlító-nyomaték 10.000 láb-long ton értékű. A számítást az alábbi táblázatban végeztük el. A szerkezeti elemek oszlopban a méretek hüvelykben vannak megadva, tehát azok szorzata adja ki a felületet négyzethüvelykben. A függőleges gerincet a hajó szimmetriasíkja kettéosztja, ezért annak csak a fele került bele a számításba. A táblázat összegzése tehát a fél keresztmetszet értékeit tartalmazza.

A nyomatékok tengelyének a bárka alapvonalát választottuk. A saját súlypontra vett inercia csak az oldallemeznél és a függőleges gerincnél szerepel, mivel a többieknél elhanyagolható.

| Tétel | Szerkezeti elem | a | d_n | ad_n | ad_n^2 | h | i_0 |
|-----------------------|------------------------|----------------------|-------|---------------------------|--|-----|--|
| | | hüvelyk ² | láb | hüvelyk ² -láb | hüvelyk ² -láb ² | láb | hüvelyk ² -láb ² |
| Főfedélzet | 60x0,5 | 30 | 15,0 | 450,0 | 6.750,0 | | |
| Oldallemez | 180x0,5 | 90 | 7,5 | 675,0 | 5.062,5 | 15 | 1,688 |
| Tankfedélzet | 180x0,5 | 90 | 3,0 | 270,0 | 810,0 | | |
| Fenéklemesz | 180x0,5 | 90 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | |
| Függ. gerinc | $\frac{1}{2}$ (36x0,5) | 9 | 1,5 | 13,5 | 20,3 | 3 | 7 |
| Metszet fele összesen | | 309 | | 1,408,5 | 12.642,8 | | |

$$A = 2\Sigma a = 2 \times 309 = 618 \text{ hüvelyk}^2$$

$$D_g = \Sigma ad_n / \Sigma a = 1.408,5 / 309 = 4,56 \text{ láb}$$

$$I_n = 2\Sigma(i_0 + ad_n^2) = 2(1.695 + 12.642,8) = 28.676 \text{ hüvelyk}^2\text{-láb}^2$$

$$I_0 = I_n - AD_g^2 = 28.676 - 618(4,56)^2 = 15.826 \text{ hüvelyk}^2\text{-láb}^2$$

$$c_{\text{felső}} = D - D_g = 15,00 - 4,56 = 10,44 \text{ láb}$$

$$Z_{\text{felső}} = I_0 / c_{\text{felső}} = 15.826 / 10,44 = 1.516 \text{ hüvelyk}^2\text{-láb}$$

$$c_{\text{alsó}} = D_g = 4,56 \text{ láb}$$

$$Z_{\text{alsó}} = I_0 / c_{\text{alsó}} = 15.826 / 4,56 = 3.471 \text{ hüvelyk}^2\text{-láb}$$

A púpos úszáshelyzet miatt a fedélzet lemezében húzó, a fenék lemezében pedig nyomó feszültség ébred.

Húzófeszültség a fedélzetben:

$$\sigma_{\text{felső}} = M/Z_{\text{felső}} = 10.000/1.516 = 6,60 \text{ long ton/hüvelyk}^2 = 14.784 \text{ font/hüvelyk}^2$$

Nyomófeszültség a fenékben:

$$\sigma_{\text{alsó}} = M/Z_{\text{alsó}} = 10.000/3.471 = 2,88 \text{ long ton/hüvelyk}^2 = 6,451 \text{ font/hüvelyk}^2$$

Hajlításból eredő feszültség megengedett értéke és minimális keresztmetszeti tényező. A világ összes osztályozó intézete nyilvánosságra hozta előírásait, amelyek a kereskedelmi hajók elégséges hossz-szilárdságát definiálják. Amikor egy adott osztályozó intézet előírásai szerint egy bizonyos hajó középső részén a keresztmetszet konstrukcióját ellenőrizzük, meglehetősen sok számítást kell végezni, egy sor képletet kell alkalmazni hajótípustól és a szolgálat körülményeitől függően. Az egyes osztályozó intézetek előírásai között vannak különbségek, de a következő mennyiségek mindegyiknél központi szerepet kapnak:

- a hajó középrészét terhelő maximális hajlító-nyomaték, amely független attól, hogy a hajó sima vagy hullámos vízben úszik,
- a hajlításból eredő névleges megengedhető feszültség,
- minimálisan szükséges keresztmetszeti tényező a hajó középső szakaszán.

Emellett az előírások hossz-szilárdsággal foglalkozó fejezete foglalkozik a nyíróerővel és nyírófeszültséggel, a fedélzet és a rakodónyílások kialakításával, valamint a *nagyobb szilárdságú szerkezeti anyagok* felhasználásával. Ezek a képletek általában a hajó hosszának, szélességének és hasábos teltségének függvényében fejezik ki a hajlító-nyomatékokat. Szemléltetésül négy különböző hajóra alkalmaztuk az ABS (American Bureau of Shipping, amerikai osztályozóintézet) képleteit és az alábbi táblázatokban foglaljuk össze a jellemzők értékeit.

| | Típus | L, láb(m) | B, láb(m) | C _B |
|-----------|-------------------------|-------------|--------------|----------------|
| 1-es hajó | Szárazáru szállító | 528 (161) | 76,0 (23,2) | 0,612 |
| 2-es hajó | Kőolajtermék tankhajó | 630 (192) | 90,0 (27,4) | 0,772 |
| 3-as hajó | Konténerszállító | 810 (247) | 105,7 (32,2) | 0,579 |
| 4-es hajó | Kőolajszállító tankhajó | 1.060 (323) | 178,0 (54,3) | 0,842 |

Hajlító-nyomaték a főbordánál. A hajónak olyan konstrukcióval kell rendelkeznie, hogy elviselje az alábbi teljes maximális hajlító-nyomatékokat (M_t):

$$M_t = M_{\text{sw}} + M_w$$

A *simavízi hajlító-nyomaték* (still-water bending moment, M_{sw}) a tervezés során különféle rakodási helyzetekre meghatározott nyomatékok közül a legnagyobb. Az intézet emellett „standard” simavízi hajlító-nyomaték értékeket is megad, amelyet a tervező használhat, hogy ne kelljen a részletes számításokat elvégeznie az M_{sw} meghatározásához, mielőtt a részletes számításokra sor kerülne. A *hullámos vízi hajlító-*

nyomaték (M_w) egy sokéves tapasztalat alapján megalkotott statisztikai formulával fejezhető ki. A hajótervező megteheti azt is, hogy ezeket a formulákat jóváhagyott számítógépes programokkal helyettesítse az M_w kiszámításánál. Az alábbi táblázatban található eredményeket az említett standard formulákból nyertük. Az értékek kerekítve vannak.

| | 1-es hajó | | 2-es hajó | | 3-as hajó | | 4-es hajó | |
|----------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|-----------|
| | láb-LT | MT-m | láb-LT | MT-m | láb-LT | MT-m | láb-LT | MT-m |
| M_{sw} | 158.000 | 48.900 | 318.000 | 98.500 | 619.000 | 191.700 | 2.222.000 | 688.100 |
| M_w | 229.000 | 70.900 | 466.000 | 144.300 | 912.000 | 282.400 | 3.247.000 | 1.005.600 |
| M_t | 387.000 | 119.800 | 784.000 | 242.800 | 1.531.000 | 474.100 | 5.469.000 | 1.693.700 |

Hajlításból eredő névleges megengedhető feszültség. Az építési és gyártási előírásoknak nemcsak a terhelés és a szerkezeti elemek vonatkozásában kell garantálni, hogy a megfelelően elkészített szerkezetek, gépek, eszközök nem romlanak el üzemelés közben, hanem az azokban ébredő feszültségek értékét is maximálni kell, még abban az esetben is, ha a megengedett maximális terhelés hat rájuk. A legnyilvánvalóbb követelmény az, hogy sem a folyáshatárt, sem a szakítószilárdságot nem szabad elérnie a feszültség értékének üzem közben. A maradó alakváltozás a szerkezeti elemekben azok használhatóságát komolyan veszélyezteti, a szerkezet törése pedig katasztrofális következményekkel jár.

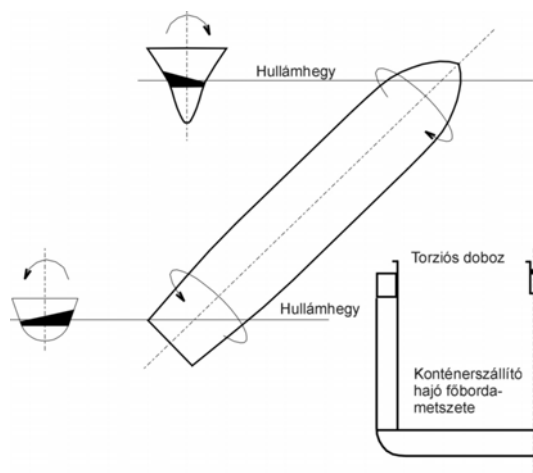
Az olyan szerkezeteknél, amilyen a hajó is, a legszélsőségesebb terhelések a természeti erőktől erednek, amelyek az ember ellenőrzésén kívül esnek. A mérnökök és az ős segítségükre siető tudósok legfeljebb azt tehetik, hogy olyan kutatásokat végeznek, amelyek a maximális értékek becslésére lehetőséget adnak. A tengeren mindig van annyi kiszámíthatatlanság, hogy szükséges a nagyobb biztonsági tényező alkalmazása a megengedhető feszültségek specifikálásánál.

Az ABS előírásai alapján a *hajlításból eredő névleges megengedhető feszültsége (f_p)* értékét a kiszámítottuk a fenti négy hajóra, ezek a következők:

| | Hajlításból eredő névleges megengedhető feszültsége (f_p) | |
|-----------|---|--------------------|
| | long ton/hüvelyk ² | MT/cm ² |
| 1-es hajó | 10,25 | 1,614 |
| 2-es hajó | 10,37 | 1,633 |
| 3-as hajó | 10,57 | 1,665 |
| 4-es hajó | 10,69 | 1,684 |

Az ABS a hajók hossz-szilárdságához hozzájáruló szokásos szerkezeti elemekhez olyan acélokat ír elő, amelyek folyáshatára minimálisan 45.500 font/hüvelyk², amely 20,31 long ton/hüvelyk², illetve 3,20 MT/cm². Látható, hogy ez az érték kb. kétszerese a megengedett feszültségnek, tehát a biztonsági tényező kettő körül van. Amint láttuk, a nagyobb hosszal rendelkező hajóknál a megengedhető feszültség is nagyobb, ezt azonban nem szabad úgy felfogni, hogy a hosszabb hajókat kisebb biztonsági tényezővel építhetjük. Ugyanis a megengedhető feszültségek értékét úgy dolgozták ki, hogy figyelembe vették a teherhordó lemezek és profilok előre látható

korróziós folyamatát is, amely a sokéves szolgálatban azok elhasználódását okozza. A lemezeket vastagabbra választják, mint amilyenre kezdetben szükség lenne, hogy hosszabb idő, kb. 25 év után is még megfelelően ellenállhassanak a hajlítónyomatékoknak. A korrózió pedig a vékonyabb és a vastagabb lemezeknél azonos sebességgel használja el az anyagot, ezért százalékosan a rövidebb hajókhoz használt vékonyabbaknál magasabb arányt jelent. Ez tehát azt jelenti, hogy kezdetben nem azonos a megengedhető feszültség, azonban élettartamuk végén ez kiegyenlítődik. Másképpen fogalmazva az új hajók közül a



4.1.1.2.1 ábra Torziós igénybevétel

rövidebbek százalékosan több felesleges vasat tartalmaznak, amelyet életük során azonban a korrózió miatt elveszítenek.

Előírt keresztmetszeti tényező. Az előírt keresztmetszeti tényező a hajó középső részén (SM) a következő képlettel határozható meg:

$$SM = M_t / f_p$$

Vagyis az előírt keresztmetszeti tényező a maximális hajlítónyomaték és a megengedhető feszültség hányadosa. Az előbbi négy hajónál az alábbi táblázat szerint alakul.

Előírt keresztmetszeti tényező a hajó középső részén (SM)

| | <i>hüvelyk²-láb</i> | <i>cm²-m</i> |
|-----------|--------------------------------|-------------------------|
| 1-es hajó | 37,800 | 74,200 |
| 2-es hajó | 75,600 | 148,700 |
| 3-as hajó | 144.800 | 284,700 |
| 4-es hajó | 511,600 | 1,005,800 |

A hajó tervezésének kezdeti stádiumában a szerkezeti elemek osztályozó intézeti előírások szerinti kiválasztása után a hajó középső részének két keresztmetszeti tényezőjét a példában látható eljárással határozzák meg. A keresztmetszeti tényezők mindegyikének legalább akkorának kell lennie, mint az osztályozó intézet standard formuláiból kiadódó érték. Ha nem ez a helyzet, a megfelelő helyeken (leginkább a fedélzetnél és a fenéken) meg kell növelni a szerkezeti elemek méretét, hogy a minimális értéket el lehessen érni.

4.1.1.2 Keresztszilárdság

Amikor a hajóra keresztirányú erők hatnak, azok a jármű keresztmetszetének alakját igyekeznek megváltoztatni, ezért keresztirányú feszültségeket ébresztenek benne.

Ezeket az erőket okozhatja pl. a hidrosztatikus nyomás, a hullámok dinamikus terhelése vagy a rakomány és a szerkezeti súly akár közvetlenül, akár a hajó mozgásából fakadó változások eredményeként.

A *keresztzilárdság* számításával a legtöbb hajótervezési és építési szakkönyv nem foglalkozik részletesen. Ennek több oka is van, elsődlegesen az, hogy a keresztirányú terhelések nagyságrendileg a hosszanti terhelések alatt vannak, a másik pedig az, hogy a hossz-szilárdságot biztosító szerkezeti elemek merevségének biztosítása (alátámasztása) garantálja, hogy a hajóosztályozó intézet előírásainak megfelelően kiválasztott szerkezeti bordaosztás szerinti keresztmetszeteknél olyan merev keretszerkezet legyen kialakítva, amely ellenáll a *keresztirányú hajlító, nyomó és nyíró igénybevételeknek*.

Az elmondottak nem jelentik azt, hogy a hajótervezőnek nem kell foglalkoznia a keresztzilárdság biztosításával és ellenőrzésével. A hajótervező a kiválasztott szerkezeti elemekből álló bordakeretre felrajzolja a várható legkedvezőtlenebb terhelési formát, és elvégzi a számítást, azonban a kapott feszültségértékek rendszerint egy nagyságrenddel vannak a hosszanti igénybevételből adódó feszültségek alatt, tehát a hossz-szilárdságnál biztosított biztonsági tényező elégséges.

Az alábbiakban néhány olyan terhelési formát mutatunk be, amelyet a bordakereteknek kell elsősorban elviselniük.

Torzulás

Amikor a hajó keresztirányú lengőmozgást végez, a fedélzet saját síkjában vízszintesen elmozdul a fenékszerkezethez képest, az oldalszerkezet pedig egyik oldalon függőlegesen mozdul el a másik oldalhoz képest. Ez a deformáció *torzulás* (angolul racking) néven ismeretes. Ennek a deformációnak legjobban a keresztválaszfalak képesek ellenállni, a bordakeret ellenálló-képessége jelentéktelen, feltéve, hogy a keresztválaszfalakat a szokásos egyenlő távolságban építették be.

Csavarodás (torzió)

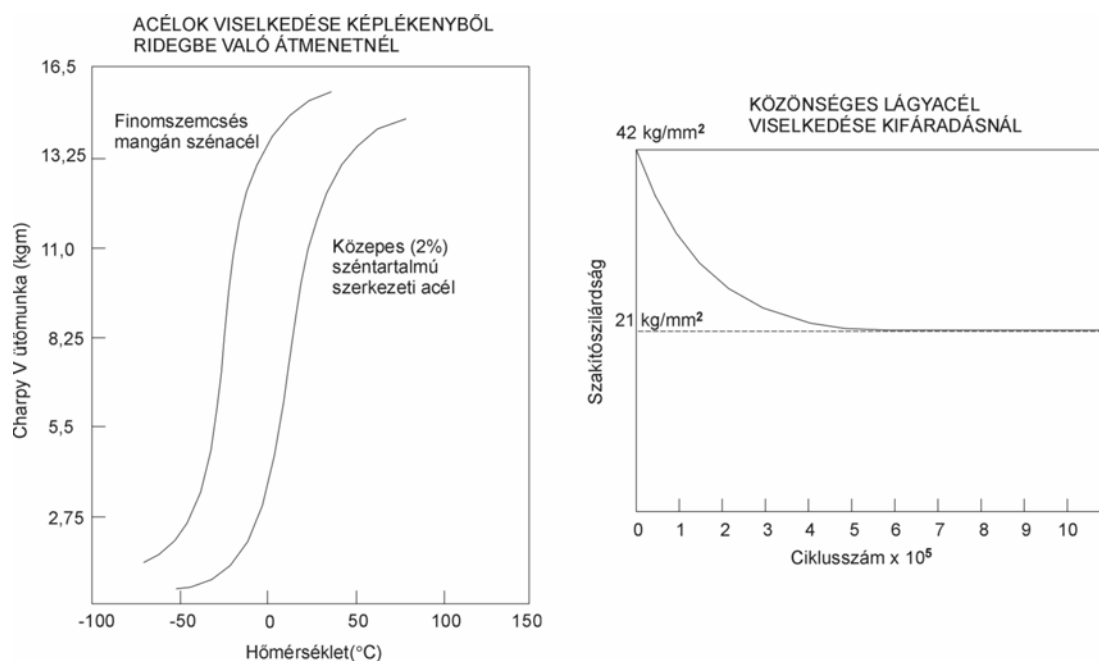
Amikor bármilyen testet csavaró nyomaték terhel, a test ennek megfelelő alakváltozást, *csavarodást* szenved. Az olyan hajó, amely a hullámok haladási irányára ferdén (45°) halad, a két végénél ellentétes értelmű visszatérítő nyomatékoknak van kitéve, amelyek a hajótestet csavarodásra készítetik. A legtöbb hajónál ezek a csavaró-nyomatékok jelentéktelenek, de a különlegesen széles és hosszú fedélzeti nyílások esetén figyelembe kell őket venni. A legjobb példa egy nagy konténerszállító hajó, ahol a legfelső részen erős *torziós dobozt* építenek be, amely magában foglalja a felső fedélzet azzal érintkező szalagját is, hogy ezeket a csavaró feszültségeket fel tudja venni (ld. 4.1.1.2.1 ábra).

Helyi feszültségek

Pumpálás (panting). A pumpálás a hajótest lemezelésének olyan deformációját jelenti, amikor az fűjtató-szerűen ki- és befelé deformálódik, és amelyet a hullámos vízben haladó hajótestben levő nyomás váltakozása okoz. Ezek az erők akkor a legnagyobbak, amikor a hajó a hullámokkal szemben halad és erősen bukdácsol, a nagy nyomás rövid idő alatt alakul ki. A pumpálásnak ellenálló mellső és hátsó szerkezeti megerősítéseket a hajóosztályozó intézetek írják elő.

Döngetés. Komoly lokális feszültségek ébrednek a hajó első részének fenéklemezeiben és bordáiban olyankor, amikor a hajó hullámokkal szemben halad. Ezek a döngető feszültségek, amint leggyakrabban emlegetik őket, könnyű ballasztmenetben a legkomolyabbak, előfordulásuk helye a kollíziós válaszfal mögötti fenéklemez terület. Ezen a területen szükség van a szerkezet fokozott merevítésére.

Egyéb helyi feszültségek. Egyes területeken a hajók szerkezeti elemeiben jelentős *lokális feszültségek* ébrednek, és ezek helyes tervezésére nagy gondot kell fordítani. Különösen olyankor fordulhat ez elő, amikor a hajótest különböző merevítői vagy fő szerkezeti elemei egymást keresztezik, pl. ahol a hosszmerevítők a keresztválaszfalakkal találkoznak, illetve kereszt- és a hosszválaszfalak találkozásánál. Másik példa lehet a feszültségkoncentrációra, ahol a keretborda meg van szakítva a fedélzeti ház szélénél, valamint a rakodónyílások és egyéb nyíláskeretek sarkánál, és ahol a mellvéden hirtelen keresztmetszet-változások vannak.



4.1.1.2.2 ábra

Rideg törés

Amióta a hajóépítésben a hegesztés alapvetővé vált, sokat foglalkoznak a szakemberek a helyes anyagkiválasztás és szerkezeti kialakítás kérdésével, hogy elkerülhető legyen a *rideg törések* előfordulása. A II. Világháború alatt sokszor fordult elő ez a jelenség abban a hajónagyságban, amelyekből meglehetősen sietséggel sokat építettek, abban az időben a rideg törés természetéről még keveset tudtak. Annak ellenére, hogy a rideg törések előfordultak szegecselt hajóknál is, a következmények sokkal súlyosabbak voltak a hegesztett járműveknél, mivel a hegesztés közvetlen anyagfolytonosságot jelent a szegecseléssel szemben, ahol az átlapolt lemezek és profilok megállították a kezdődő repedés továbbterjedését.

A rideg törés az a jelenség, amikor egy más szempontból rugalmas anyag megreped anélkül, hogy bármilyen külső jel vagy az anyagban jelentkező alakváltozás a hibát előre jelezné. A törés nagyon gyorsan történik, semmi sem jelzi előre, sőt, a jármű szerkezete esetleg nincs is kitéve semmilyen nagy terhelésnek az adott pillanatban. A hajóépítésnél elterjedten használt lágyacél különösen hajlamos rideg törésre, mivel azok a feltételek, amelyek a jelenséget elindítják, jelen vannak. A téma túl bonyolult a részletes tárgyaláshoz, és jelenleg még mindig vizsgálat alatt van számos tényező, az viszont ismeretes, hogy a rideg törés esetleges bekövetkezését a következő tényezők befolyásolják.

- (a) Éles sarok vagy bevágás van a szerkezetben, ahonnan elindul a repedés.
- (b) Húzófeszültség ébred a szerkezetben.
- (c) Létezik olyan hőmérséklet, amely felett a rideg törés nem fordul elő.
- (d) Az acéllemez metallurgiai tulajdonságai.
- (e) A vastag lemez hajlamosabb a rideg törésre.

Rideg törésre utal a képlékenységi hibája a repedés végénél, amelyre az alakváltozás hiányából lehet következtetni, illetve a törés fényes szemcsés felülete. A képlékeny anyag törési felülete matt szürke. A rideg törés másik jellegzetes jele a háztető minta, amely segít a törés kiindulópontjának megtalálásában, mivel a minta abba az irányba mutat.

Amennyiben a rideg törést el akarjuk kerülni, tekintetbe kell venni azokat a tényezőket, amelyek feltételezhetően jelen vannak, ahol rideg törés előfordulhat. Fontos, hogy amikor a hajó szerkezetének egyes részleteit tervezzük, elkerüljük az éles bemetszéseket és sarkokat, ahonnan a törések kiindulhatnak. Olyan nagy méretű hegesztett szerkezeteknél, amilyen egy hajó, megvalósíthatatlan, hogy egyáltalán ne legyenek olyan részletek, ahonnan repedés indulhat ki, mivel a hegesztésekben előfordulnak kisebb hibák, az összes hegesztési varrat teljes vizsgálatára nincs lehetőség. Emiatt a hajótest építésére specifikált acélnak rendelkeznie kell azzal a tulajdonsággal, hogy éles sarkoknál képlékenyen viselkedik az üzemi hőmérsékleten, különösen, ha vastag lemezről van szó. Azoknál az acélanyagoknál, amelyek képesek képlékenyen viselkedni éles bemetszéseknél, a keletkező repedések nem tudnak továbbterjedni. Az éles sarkoknál tanúsított képlékenységi az acél viszonylagos szívósságának mutatószáma, amelyet, mint látni fogjuk, az ütéspróba teszt képes mérni. A hajóépítő acélok olyan ötvöző-anyagokat kapnak (különösen mangánt szénttartalom korlátozással), és olyan kontrollált hőkezeléseken mennek át, amelyek javítják a bemetszéseknél tanúsított képlékenységet. A 4.1.1.2.2 ábra mutatja a mangánnal ötvözött szénacél jobb ridegtörési tulajdonságait az egyszerű szénacélhoz képest. Olyan helyeken, ahol vastagabb lemezeket kell használni, illetve a jobban igénybevett helyeken, ezekről a későbbiekben a szerkezet részleteinek tárgyalásánál több szó esik. Korábban a rideg törés témakörében gyakran elhangzott az a kifejezés, hogy 'repedésmegállító'. A kifejezés arra a ma már nem alkalmazott gyakorlatra utal, hogy a teherszállító hajókat szegecselt kötésekkel felosztották kisebb egységekre, amelyek teljes egészében hegesztett kötésekkel rendelkeztek, így biztosítva volt, hogy bármilyen repedés a részegységekre korlátozódik. Ilyen repedésmegállítót helyeztek el általában a nagyobb hajókon a mestersor/koszorúsor környezetében. A mai gyakorlat szerint az

ilyen helyeken jobb ridegtörési jellemzővel rendelkező lemezsorot helyeznek el. A Lloyd's pl. megköveteli, hogy 250 méter hosszú vagy annál is hosszabb hajóknál a szilárdsági fedélzetnél a lágyacél mestersor és koszorúsor a hajó középső szakaszán Grade D minőségű legyen, ha kevesebb, mint 15 mm vastagságú, és Grade E, ha vastagabb.

Kifáradási (fatigue) törések

A rideg töréssel ellentétben a *kifáradási törések* nagyon lassan következnek be, valójában évekbe telik, hogy kialakuljanak. A kifáradási törések legnagyobb veszélye az, hogy kis feszültségértéknél alakulnak ki, amelyek azonban a szerkezetet hosszú időn át ismételten veszik igénybe (4.1.1.2.2 ábra). A kifáradási repedés, ha egyszer létrejött, észrevétlenül terjed tovább mindaddig, amíg a teherhordó szerkezeti elem állandóan csökkenő keresztmetszete elégtelenné válik a terhelés elviselésére. A kifáradási törések a szerkezetben levő éles sarkokhoz vagy anyaghibákhoz, főként olyan helyeken jelentkeznek, amelyeket a szerkezet súlyponti helyeinek neveznek, mert a hajó szerkezetében nagyobb merevséget jelentenek.

4.1.2 A hajótest acélszerkezetének gyártása

Attól az időtől számítva, amikor a történelem előtti ember elkészítette saját vízi járművét, a hajó szerkezeti felépítése részben sokat változott, részben semmit. A hajótest vízbemerült részének alakja tulajdonképpen változatlan, azt a geometria diktálja, hogy a lehető legjobb jellemzőket tudja biztosítani. A víz feletti rész kialakítását mindig a célszerűség vezérelte, kormányvezetővel való kormányzásnál magas farra volt szükség, az orrtőkének az evezős korszakban lehetővé kellett tennie az őrsem minél magasabb helyen való elhelyezkedését, az árboc megfelelő stabilitása pedig a gerinc megerősítését tette szükségessé.

A hajótest szilárdságának biztosítása azonban nagyon hasonló megoldásokat kíván, bármilyen anyagból készüljön is az. Természetesen ebben is voltak eltérések. Ismeretes, hogy az ógörög és régi római hajók rendelkeztek megfelelő hossz-szilárdsággal, ebből a fedélzet is kivette részét. Ugyanakkor a viking hajók hossz-szilárdsága szinte a nullával volt egyenlő, nemcsak azért, mert nem rendelkeztek fedélzettel, és a nyitott főborda keresztmetszet nem volt képes biztosítani a kellő merevséget, hanem szándékosan készítették a hajókat olyanra, hogy azokat csak minimális hajlító-nyomaték terhelje hullámos tengeren, a hajók változtatták alakjukat, és felvették a hullámhegy illetve hullámvölgy alakját. Így rengeteg súlyt megtakarítottak, és ez tette lehetővé, hogy két folyó között a hajókat szárazföldi úton vigyék át, és sokkal nagyobb területre juthassanak el, mintha csak egyetlen folyam vízgyűjtő területét használták volna.

Ami azonban a hajótest szerkezetét illeti, főként a XVIII. századi nagy vitorlás hajók kora óta, az keveset változott.

4.1.2.1 Szerkezeti anyagok

A hajótest anyaga a ma szokásos hajóméreteknél szinte kizárólag erre a célra kifejlesztett és a megfelelő intézmények szabályai szerint gyártott acél. Ez azonban a hajó több ezer éves történelme során nem mindig volt így.

A fő különbséget a régebbi és a mai hajók szerkezete között a *szerkezeti anyagok* jelentik. A vitorlás korszakban, bár használták a fémeket, szinte az egész hajótest és a fedélzeti berendezések és felszerelések anyaga több különféle fa volt. A gőzhajók kora magával hozta ennek változását is, először a merevítőket készítették acélból, majd a vaslemez gyártás fejlődése lehetővé tette a héjlemez acélból való elkészítését, ahol azonban a fa héjszerkezettel szemben nem szegeket, hanem szegecsket használtak. A XX. század közepe óta pedig a hegesztés az az eszköz, amellyel a hajógyártás a leginkább él.

4.1.2.1.1 Szerkezeti anyagokra vonatkozó szabályozás

A nagyobb hajóépítő tevékenységet folytató országok mára mind eljutottak oda, hogy rendelkeznek a megfelelő intézményrendszerrel ahhoz, hogy saját hatáskörükben biztosítani tudják a hajóépítő acél összetételére és gyártására vonatkozó előírások meglétét és azok ellenőrzését. A nemzetközi vizeken nem közlekedő vízi járművek nem

feltétlenül épülnek valamilyen nemzetközileg elfogadott osztályozó intézet elvei szerint, azonban a nemzeti előírásoknak minden esetben meg kell felelniük.


A nemzetközi vizekre is kihajózó járművek építése rendszerint valamilyen nagy tekintéllyel bíró osztályozó intézet felügyelete alatt történik, ehhez az szükséges, hogy a hajó minden tulajdonságában, a geometriától elkezdve a szerkezeti anyagokon át a konstrukcióig mindenben feleljen meg az adott intézet előírásainak, különben az intézmény a hajó elkészülte után nem adja nevét a járműhöz. A nemzeti előírások sokfélesége miatt azzal itt nem lehet foglalkozni, azonban a nemzetközileg elfogadott hajóosztályozó intézetekről a következőkben található tájékoztatás.

Hajóosztályozó intézetek

A rakomány szállítójának és a megbízónak, akik egy adott hajózási kockázatra biztosítást akarnak kötni, szükségük van bizonyos garanciára ahhoz, hogy az adott hajó szerkezetiileg alkalmas a szóban-forgó út megtételére. A hajótulajdonosok és megbízók tájékoztatása érdekében, hogy meg tudják különböztetni a vállalható és a túlzott kockázatokat egymástól, jött létre az osztályozási rendszer, amely mintegy kétszáz évvel ezelőtt kezdett kialakulni. Ezalatt a meglehetősen hosszú időszak alatt megbízható szervezeteket alakítottak a hajók üzembe állítási vizsgálatára és folyamatos felügyeletére. A főbb tengerhajózási országok a következő osztályozó intézetek felett rendelkeznek:


- Nagy-Britannia – Lloyd's Register of Shipping,
- Franciaország – Bureau Veritas,
- Németország – Germanischer Lloyd,
- Norvégia – Det Norske Veritas,
- Olaszország – Registro Italiano Navale,
- Amerikai Egyesült Államok – American Bureau of Shipping,
- Oroszország – Russzkij Regisztr,
- Japán – Nippon Kaiji Kyokai.



Ezek az osztályozó intézetek előírásokat és követelményeket tesznek közzé, amelyek elsősorban a hajó szilárdságával, a kielégítő berendezések biztosításával és a gépek megbízhatóságával vannak kapcsolatban. A hajók építése bármely országban történhet egy adott osztályozó intézet előírásainak megfelelően, ez a tevékenység nincs korlátozva az adott ország saját intézetére, ahol az építés történik. A hajó osztályozása nem kötelező, de az osztályba sorolatlan hajó tulajdonosának bizonyítania kell a merülési vonal kijelöléséhez és a biztonsági tanúsítvány kibocsátásához az illetékes kormányzati szervek előtt, hogy a hajó rendelkezik a kívánt szerkezeti szilárdsággal. Részletesen csak a legrégebbi osztályozó intézet, a Lloyd's Register of Shipping előírásai szerepelnek a következőkben. A Lloyd's Registert, amelyet 1760-ban alapítottak és 1834-ben új alapokra helyeztek, 1949-ben összevonták a British Corporation intézettel, amely akkor az egyetlen másik brit osztályozó intézet volt. A Lloyd's Register előírásai vagy azzal egyenértékű szabványok alapján épített acéltestű hajókat a hajójegyzékben (Register Book) osztályba sorolják, és azok mindaddig abban a kategóriában maradnak, amíg az előírásokat képesek kielégíteni.

A Lloyd's Register osztályozó jelei (Classification Symbols). A Lloyd's Register of Shipping által osztályozott hajók mindegyike egy vagy több karakterből álló jelzést kap. A leggyakoribb ezek közül a 100A1 vagy a  100A1.

A 100-as szám azt jelzi, hogy a kérdéses hajó tengeri szolgálatra alkalmas. Az A betűt kapja minden olyan hajó, amelynek építése során az intézet előírásait és követelményeit betartották, vagy vizsgálatral állapították meg róla, hogy azokat kielégíti. Az 1-es számot kapja minden olyan hajó, amelynek fedélzetén olyan horgonyzást vagy kikötést lehetővé tevő berendezés van, amely megfelel az intézet előírásainak és követelményeinek. Azok a hajók, amelyeket az intézet egyetértésével nem szükséges ellátni horgonyzó vagy kikötő eszközökkel, az 1-es szám helyett az N betűt kaphatják. A máltai kereszt jel olyan új hajókat jelez, amelyeket az intézet Különleges Felügyelete alatt építettek, azaz az építés időszaka alatt külön kinevezett felügyelő ellenőrizte az anyagok és a munka minőségét.

A hajóosztályra vonatkozó karaktereket ki lehet egészíteni szükség esetén akár az intézet döntése alapján, akár a tulajdonos kérésére, különféle osztályozási megjelölésekkel. Ezek a megjelölések a következő jellemzők egyikét vagy kombinációját tartalmazhatják: típus, rakomány, különleges kötelezettségek, különleges jellemzők, tevékenységi kör korlátozás megjelölése. A típus megjelölése azt jelzi, hogy a hajót olyan speciális előírásoknak megfelelően építették, amelyek kizárólag az ilyen típusú hajókra vonatkoznak, pl. 100A1 'Bulk Carrier' (tömegáru szállító). A rakomány megjelölése arra utal, hogy a hajó egy vagy több speciális rakomány szállítására szolgál, pl. 'Sulphuric acid' (kénsav). Ez nem zárja ki, hogy más rakományokat is szállítson, amelyekre szintén alkalmas. A különleges kötelezettségek megjelölése arra mutat, hogy a hajót különleges feladatokra tervezték, amelyek eltérnek a teherhajó típus megjelölésétől, pl. 'research' (kutatás). A különleges jellemzők megjelölése azt jelzi, hogy a hajó olyan jellemzőkkel rendelkezik, amelyek lényegesen befolyásolják a konstrukciót, pl. 'movable decks' (mozgatható fedélzetek). A tevékenységi kör korlátozás megjelölése utal arra, hogy a hajó osztályozása azzal a feltétellel történt, hogy az csak egy speciális helyen vagy speciális körülmények között üzemelhet, pl. 'Great Lakes and St. Lawrence' (amerikai nagy tavak és Szt. Lőrinc-folyó).

A  LMC osztályozó jel jelentése az, hogy a gépi berendezés gyártása, telepítése és próbái során jelen volt az intézet Különleges Felügyelete, és az teljes egészében megfelel az intézet előírásainak és követelményeinek. Különféle egyéb megjelölések is alkalmazhatóak, amelyek a fő- és segédgépekre vonatkoznak.

A hűtött rakomány szállítására szolgáló hajók, amelyeknek rakományhűtő berendezéseit az intézet Különleges Felügyelete alatt, valamint annak előírásaival és követelményeivel összhangban gyártották, telepítették és próbálták ki, a  Lloyds RMC megjelölést kaphatja. Az a folyékony gáz szállítására szolgáló hajó vagy tankhajó, amelyben a rakomány cseppfolyósító vagy hűtő berendezések jóváhagyása, telepítése és tesztelése az intézet előírásainak és követelményeinek értelmében történt, a  Lloyds RMC (LG) megjelölést kaphatja.

Ahol *kiegészítő merevítőket építenek be jégben való hajózás miatt*, megfelelő megjelölést lehet alkalmazni. A megjelölések két csoportba sorolhatóak: az elsőbe tartoznak azok, ahol szezonális jég miatti járulékos merevítést alkalmaznak, azaz olyan hajózási útvonalakon, amelyek csak télen vannak befagyva; a másodikba azok, ahol a

járolékos merevítést többéves jég miatt alkalmazzák, vagyis az északi és a déli sarkvidéken. A tulajdonos felelőssége annak eldöntése, melyik megjelölés illik az ő viszonyaihoz.

A megjelölések a következők lehetnek.

SZEZONÁLIS JÉG

Különleges jellemzők megjelölése:

- Ice Class 1As 1 m vastagságú egybefüggő jégmező,
- Ice Class 1A 0,8 m vastagságú egybefüggő jégmező,
- Ice Class 1B 0,6 m vastagságú egybefüggő jégmező,
- Ice Class 1C 0,4 m vastagságú egybefüggő jégmező,
- Ice Class 1D ugyanaz, mint az 1C, de a merevítéseket csak a hajóorrban kell megerősíteni, illetve a kormánynál és a kormányműnél.

TÖBBÉVES JÉG

A hajótípus megjelöléséhez az 'icebreaking' (jégtörés) kifejezést is hozzá kell tenni, pl. 'ice-breaking tanker' (jégtörő tankhajó), valamint az alábbi különleges jellemző megjelöléseket kell alkalmazni:

- Ice Class AC1 északi vagy déli sarkvidéki jégviszonyok, amely az 1 m vastagságú egybefüggő jégmezővel egyenértékű,
- Ice Class AC1.5 északi vagy déli sarkvidéki jégviszonyok, amely az 1,5 m vastagságú egybefüggő jégmezővel egyenértékű,
- Ice Class AC2 északi vagy déli sarkvidéki jégviszonyok, amely a 2 m vastagságú egybefüggő jégmezővel egyenértékű,
- Ice Class AC3 északi vagy déli sarkvidéki jégviszonyok, amely a 3 m vastagságú egybefüggő jégmezővel egyenértékű,

Azok a hajók, amelyeket speciálisan jégtörő tevékenységre terveznek, hajótípus megjelöléséhez az 'icebreaking' (jégtörés) kifejezést is megkapják, plusz azt a különleges jellemző megjelölést, amely a jégben való hajózás miatti járulékos merevítésnek megfelel.

Vasszerkezet tervező programok. A legutóbbi időkben a legfontosabb osztályozó intézetek a hajógyárak számára olyan szoftver csomagokat fejlesztettek ki, amelyek az igénybevételektől függő kritériumokat tartalmazzák a merevítők, szerkezeti kialakítás és a hajó egyéb részleteinek kiválasztásához. Ez volt tulajdonképpen a válasz arra a széles körben elfogadott szemléletre, hogy az eddig forgalomban levő, félig-meddig tapasztalati alapokra épített, hagyományos osztályozó előírások nem feltétlenül elegendők az új és nagyobb hajók esetében, amelyek felé a tendencia mutat. A hajógyárak számára elérhetővé tett számítógépes programok a hajó valószínű igénybevételeit jelentő terhelések dinamikáját realisztikusabb módon közelítik meg, és így használatukkal a merevítések kiválasztása és a hajó vasszerkezetének kritikus pontjain tapasztalható hatások vizsgálata megbízhatóbb lehet. Tartalmazzák olyan programot is, amely a kifáradási elhasználódást (fatigue design assessment, FDA) számolja ki, és amelyet emiatt széles körben alkalmaznak a nagy konténerszállító hajók, tankhajók és tömegáru szállítók szerkezeti elemeinek tervezésénél. Az ezekkel a programokkal végzett szerkezeti tervezés azt eredményezheti, hogy a hajó további osztályozási megjelöléseket kap.

Időszakos ellenőrzések (revíziók). A hajó osztályba sorolásának fenntartásához azt az intézet felügyelőinek rendszeres időszakonként ellenőrizniük kell.

A következőkben vannak felsorolva azok a fő vasszerkezeti elemek, amelyeket ezeknél az ellenőrzéseknél meg kell vizsgálni.

ÉVES ELLENŐRZÉSEK

Az összes acélszerkezetű hajót kb. egy évente meg kell vizsgálni. Ezeket az éves ellenőrzéseket lehetőleg a hatósági éves vagy egyéb terhelési vonal ellenőrzések során kell megejteni. Az ellenőrzés során a felügyelőnek meg kell vizsgálnia a minimális szabadoldadra vonatkozó feltételekkel érintett zárószervezetek állapotát, a szabadoldal-jelzéseket, valamint a tartalék kormányberendezést, elsősorban a rudakat és láncokat. Szintén ellenőriznie kell a vízmentes ajtókat és a vízmentes válaszfalak egyéb kiváltásait, illetve ki kell próbálnia a szerkezeti tűzvédelmet. Meg kell állapítani a hajó általános állapotát, és ahol lehetőség van rá, ezeknél az éves ellenőrzéseknél a horgonyokat és horgonyláncokat ill. köteleket is meg kell szemlélni. A száraz tömegáru szállító hajóknál a legelső és leghátsó raktér ellenőrzését is el kell végezni.

KÖZBENSŐ ELLENŐRZÉSEK

Az építést követő második vagy harmadik éves vagy különleges ellenőrzés helyett közbenső ellenőrzést kell beiktatni. Az éves ellenőrzések követelményein túlmenően különleges figyelmet kell szentelni a raktereknek azoknál a hajóknál, amelyek építése óta 15 vagy több év telt el, illetve a tankhajók, vegyszerszállító hajók és cseppfolyósított gáz szállítására használt hajók üzemi rendszereinek.

DOKKBAN VÉGZETT ELLENŐRZÉSEK

A hajókat szárazdokkban végzett vizsgálatnak kell alávetni 2 ½ évnél nem hosszabb időszakonként. A szárazdokk-ellenőrzés során különleges figyelmet kell szentelni a héjlemezeknek, a fartökének és a kormánynak, a külső részleteknek és a héjátvezetéseknek, illetve a héjzat minden olyan alkatrészének, amely különösen hajlamos a korrózióra és az elektrolitikus erózióra, valamint a fenék minden hibájának.

VÍZEN VÉGZETT ELLENŐRZÉSEK

Az intézetnek módjában áll vízen elvégeztetni dokk helyett az ötévenkénti két vizsgálat egyikét. A vízen végzett ellenőrzésnek azokat az információkat kell szolgáltatnia, amelyek a dokkban végzett ellenőrzésnél nyerhetőek. A vízen végzett vizsgálatból általános érvényű következtetéseket csak akkor szabad levonni, ha a hajó héjzatának vízbemerült része megfelelően nagy korrózióállósággal rendelkező festékekkel van védve.

KÜLÖNLEGES ELLENŐRZÉSEK

A Lloyd's Register által osztályozott valamennyi acéltestű hajót különleges vizsgálatoknak kell alávetni. Ezek az ellenőrzések ötéves időszakonként válnak esedékessé, az első az építés vagy az osztályozás feltételeként elvégzett különleges ellenőrzés időpontja után öt évvel, azt követően pedig mindig az előző különleges ellenőrzés időpontja után öt évvel. A különleges ellenőrzésre hosszabb időszak is igénybe vehető, amely az építés illetve előző különleges ellenőrzés időpontja utáni negyedik év letelte előtt nem kezdődhet el, de mindenképpen be kell fejezni az öt év lejártá előtt.

A különleges ellenőrzésre vonatkozó előírásokat illetve az annak során felnyitandó tereket, valamint a megvizsgálandó anyagokat az előírások és követelmények

részletesen tartalmazzák (1. rész 3. fejezet). A különleges ellenőrzésnek a héjazatra vonatkozó követelményeihez a következő négy korcsoport van kijelölve:

1. öt év az építéstől,
 2. tíz év az építéstől,
 3. tizenöt év az építéstől,
 4. húsz év az építéstől és minden egyes további különleges ellenőrzés azt követően.
- Minden egymást követő csoportban a vizsgálat megkövetelt terjedelme nő az előzőhöz képest, és minden esetben több anyagot kell eltávolítani annak érdekében, hogy az eredeti szerkezeti anyag jellemzői elérhetőek legyenek. Nem szabad arról megfeledkezni, hogy bár a felügyelőnek joga van az anyag vastagságának megállapításához fúrást vagy egyéb elfogadott eljárást alkalmaznia, a roncsolás-mentes módszerek, amilyen az ultrahang, erre a célra szintén rendelkezésre állnak a korszerű technikában. A tankhajók, száraz tömegárú szállító, vegyszerszállító és cseppfolyósított gáz szállítására szolgáló hajók esetében tovább előírások vannak a különleges ellenőrzésre.

Amikor olyan hajó osztályozására van szükség, amely nem az intézet felügyelőinek ellenőrzése alatt épült, a kész hajó merevítőit és elrendezését ábrázoló terveket jóváhagyásra be kell terjeszteni az intézethez. Az építéshez használt anyagok gyártására és anyagvizsgálatára vonatkozó okmányokat is be kell terjeszteni a berendezések részletes specifikációjával együtt. Ahol a tervek és egyéb előírt okmányok nem elérhetőek, az intézet felügyelőinek lehetővé kell tenni, hogy a kellő információt a hajóról beszerezzék. Az osztályozáshoz szükséges különleges vizsgálatnál az (1), (2), és (3) különleges ellenőrzéseknél előírt összes héjazati vizsgálati követelményt be kell tartani. A húsz évnél régebben épített hajóknak szintén meg kell felelniük a (4) különleges ellenőrzésnél előírt héjazati vizsgálati követelményeknek, az olajszállító tankhajóknak pedig ki kell elégíteniük azokat a további előírásokat, amelyek az előírásokban és követelményekben le vannak fektetve. Ennél az ellenőrzésnél a felügyelő megállapítja a gyártásnál elvégzett munka minőségét és ellenőrzi a jóváhagyásra váró merevítők és elrendezések megfelelőségét. Fontos annak szem előtt tartása, hogy az osztályozáshoz szükséges különleges ellenőrzés kiemelt fontosságú a Lloyd's Register számára abban az esetben, ha a hajó egy másik ismert osztályozó intézettől kerül átvételre. Annál a hajónál, amely ilyen módon osztályozásra került, a későbbiekben az időszakos ellenőrzéseket olyan rend szerint kell elvégezni, mint azoknál a hajóknál, amelyek az intézet felügyelete alatt épültek, az osztályozáshoz szükséges különleges ellenőrzés dátuma a hajó építési dátumával egyenértékű.

Sérülések kijavítása. Amikor a járműnek javításokra van szüksége megrongálódott berendezés vagy sérült héj esetén, a munkát a Lloyd's Register felügyelőinek kívánságai szerint kell elvégezni. Annak érdekében, hogy a hajó megtarthassa osztályozását, az elvégzett javításokat illetően be kell szerezni a felügyelők jóváhagyását vagy a javítás időpontjában vagy a lehető legkorábban azt követően.

4.1.2.1.2 Acélok

A hajóépítés céljára használt *acélok* gyártása a vasérc megolvasztásával kezdődik, amelyből öntöttvas öntecseket készítenek. Normál esetben a vasérc olvasztására kúpoló kemencéket használnak, amelyek tűzálló anyaggal bélelt nagy méretű, enyhén kúpos építmények. Az olvasztáshoz szükséges hő előállítására kokszot használnak, és mészkövet is adnak hozzá. Az utóbbi folyékonyabbá teszi az éghetetlen szennyeződésekkel keletkező salakanyagot, amelyet így le lehet csapolni. Az égéshez szükséges levegőt a fenék közelében körben elhelyezett furatokon át fújják be, a kokszot, ércet és mészkövet pedig váltakozva adagolják be a kemence tetején. A megolvadt fémeket a kemence fenekén levő lyukon vagy kifolyócsövön át eresztik le időnként, a fém homokból formált formákba vagy fémsablonokba folyik.

Az így kapott öntecsek anyaga 92-97% vas, a többi szén, szilíciumoxid, mangán, kén és foszfor. Az ezt követő acélgyártás során a vasat finomítják, ami lényegében a szennyeződések csökkentését jelenti.

Acélgyártás. Az acélokat első közelítésben vas és szén ötvözetének tekinthetjük, ahol a szén aránya 0,1% és 1,8% között van, az előbbi a lágyacél, az utóbbi egyes nagy szilárdságú acélokat jelent. Acélt négy különböző eljárással lehet gyártani, ezek: Siemens-Martin, Bessemer, elektromos kemencés és oxigénes eljárás. Az eljárásokat ezen kívül savas vagy bázikus kategóriába sorolják a keletkező salak kémhatása szerint. A savas eljárásokat a kis foszfor- és kéntartalmú öntecsek finomítására használják, amelyek szilíciumoxid tartalma magasabb, ezért savas salak képződik. A kemence bélésének anyaga savas, hogy megakadályozza a salakkal való kölcsönhatást. A bázikus eljárás az ellenkező összetételű (magas foszfor- és alacsony szilíciumtartalom) öntecsek feldolgozását célozza. A foszfort csak nagyobb mennyiségű mész hozzáadásával lehet eltávolítani, amely bázikus salakot alkot. A kemence hőálló bélésének ebben az esetben bázikusnak kell lennie, hogy a salakkal ne reagáljon. Az acél többsége jelenleg bázikus eljárással készül, ami olcsóbb, mint a kiváló ércet felhasználó savas eljárás, viszont az acél minősége csak akkor éri el a savas eljárásnál nyert acélét, ha a technológia korszerű.

A Bessemer-konverteres eljárást a hajóépítő acélok gyártásánál nem alkalmazzák.

NYITOTT KEMENCÉS (SIEMENS-MARTIN) ELJÁRÁS

A nyitott kemencés eljárás nagy mennyiségű acélt tud termelni, egyetlen olvasztás 150-300 tonna lehet. Fő alkotóeleme a kis mélységű olvasztótéknő, amely tetővel van fedve, alatta pedig két téglával bélelt fűtőkamra van. A végeknél nyílások vannak az előmelegített levegő és a tüzelőanyag (gáz vagy olaj) bejuttatására. A nyílások az égéstermékek eltávolítását is lehetővé teszik, ezeket a levegő és a fűtőanyag előmelegítésre használják. A levegő és tüzelőanyag áramlási irányát húszpercenként megfordítják.

Ezen a módon öntöttvas öntecseket és acélhulladékot olvasztanak meg a kemencében, a szén és a szennyeződések kiégnek (oxidálódnak). Az oxidáció a vashulladékban és az öntecsekben jelen levő oxigénből táplálkozik. Ezt követően szenet, mangánt és más elemeket adnak hozzá, hogy a vasoxidokat eltávolítsák illetve a kíván vegyi összetételt elérjék.

ELEKTROMOS KEMENCE

Elektromos kemence a következő két típusú lehet: ívkemence illetve nagyfrekvenciás indukciós kemence. Az elsőt arra használják, hogy egy adag fémot finomítsanak vele, elérjék a kellő összetételt. Az utóbbi viszont főképpen olyan adagok megolvasztására szolgál, amelyek összetétele már a kívántnak megfelelő. Emiatt a hajógyártáshoz használt anyagok szempontjából főként az ívkemencének van jelentősége. Itt az olvasztást úgy lehet elérni, hogy a kemence tetejéről függő elektródák és a megolvasztásra váró adag fém között ívet húznak. A beadagolt fém az öntecseken kívül acélhulladékot is tartalmaz, az eljárás állandó paramétereit képes biztosítani, az eredmény a kívánalmaknak felel meg, és az acél összetételét megfelelően be lehet állítani.

Elektromos kemencéket használnak ott is, ahol nagy szilárdságú ötvözt acélt kívánnak gyártani.

OXIGÉNES ELJÁRÁS

Ez olyan korszerű acélgyártási eljárás, ahol a bázikus bélésű konverterben helyezik el az öntecseket, a vashulladékot és az ötvöző elemeket. A kemencébe ezután nagy tisztaságú oxigénsugarat fújnak be, amely a megolvadt fém felületére irányul, hogy azt megtisztítsa.

Az acélgyártásnál kapott folyékony acélt nagy öntőtégelyekbe csapolják, azokból pedig formákba öntik, ahol bugaként állnak rendelkezésre. A bugákból történik az acél további gyártása hengerlés, stb. útján.

VEGYI ADALÉKOK ACÉLOK JAVÍTÁSÁRA

Az *acélokhöz* a fent ismertetett eljárások során *adagolt vegyi elemek* számos célt szolgálnak. Használhatóak pl. arra, hogy a fémot csillapítsák (az oxidoktól megszabadítsák), hogy eltávolítsák a szennyeződéseket a salakban való feloldással, végül pedig a kívánt összetétel beállítását érik el.

A hozzáadott *csillapító elemek* mennyisége határozza meg, hogy a buga anyaga csillapítatlan vagy csillapított lesz. *Csillapítatlan acél* keletkezik, amikor csak kis mennyiségű csillapító adalékot adnak az olvadt fémhez. Erre csak azok az acélok alkalmasak, amelyek széntartalma 0,2%-nál és mangántartalma 0,6%-nál kevesebb.

Amikor a csillapító (dezoxidáló) anyag kis mennyiségű, az acélban levő oxigén reakcióba lép a szénnel és a fémekben levő többi gázzal, emiatt jelentős térfogatú gáz szabadul fel. Amíg a fém olvadt állapotban van, a gázok felfelé törnek benne. Amikor a bugaformában bekövetkezik a megszilárdulás, kezdetben az alsó és oldalsó részekben, majd a folyamat felfelé halad, a gázok már nem tudják elhagyni a fémot. A buga középső részében nagy mennyiségű gázzárvány marad, aminek az az eredménye, hogy a csillapítatlan buga közepe tele van lyukakkal. Normális esetben a buga feldolgozása során a lemezzé történő meleghengerlés elegendő arra, hogy ezeknek a lyukaknak a szembenálló felületét egymáshoz hegegyse, de vastagabb lemez gyártásához ez az anyag nem megfelelő.

A *csillapított acél* meghatározás azt jelzi, hogy a fém bugaformába öntése kis mértékű gázképződés mellett történt, vagy gyakorlatilag nem volt gázképződés. Ennek oka, hogy kellő mennyiségű csillapítóanyagot adagoltak, általában szilíciumot vagy alumíniumot. Az ilyen típusú acél vegyi homogenitása igen magas fokú, a csillapított acélok általában jobb minőségűek a nem csillapítottaknál. Amikor a *dezoxidálás* folyamata csak részben

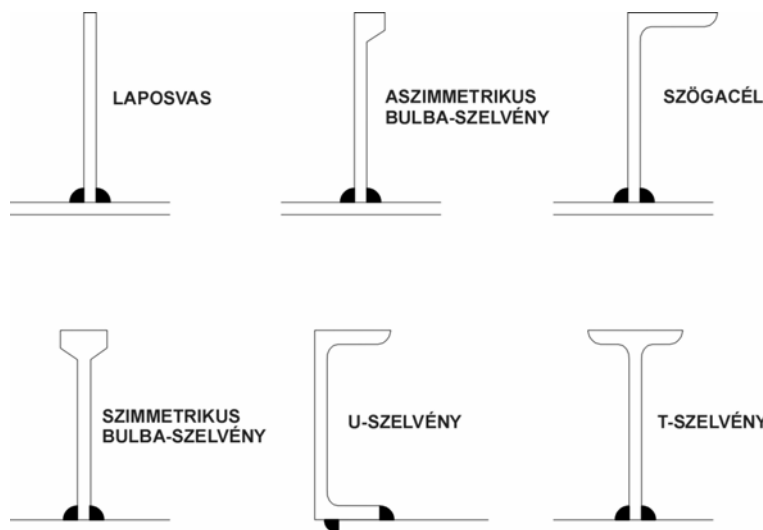
zajlik le attól, hogy a csillapítóanyag mennyisége nem elegendő akkor beszélünk félig csillapított acélról.

Mivel a bugaformában a fém megszilárdulása folyamatosan az alsó és oldalsó résztől halad felfelé, a szennyeződések pedig, mint pl. a szulfidok és a foszfidok, alacsonyabb hőmérsékleten szilárdulnak meg, mint maga a fém, ezek kiválása koncentráltan a buga középső és felső részén történik, ahol a fém megszilárdulása legkésőbb következik be. A bugán ezen a helyen anyagösszehúzódnás (kontrakció) látható. A nagy szennyeződéskonzentráció miatt a bugának ezt a részét lemezzé vagy profilokká való hengerlésnél gyakran nem használják fel.

Acélok hőkezelése. Az acélok tulajdonságait jelentősen meg lehet változtatni a gyártást követő hőkezeléssel. Ezek a kezelések az acél kristályszerkezetének módosításával érik el a mechanikai jellemzők változását. Az alábbiakban néhány ilyen hőkezelés ismertetése következik.

LÁGYÍTÁS

Ennek lényege az acél lassú felmelegítése kb. 850°C és 950°C hőmérséklet közé, majd nagyon lassú visszahűtése a kemencével együtt. A *lágýtás* célja az anyag belsejében kialakuló feszültségek teljes megszüntetése az acél lágyabbá tételéhez, ami azt az ezután következő minden hőkezelésre alkalmasabbá teszi.



4.1.2.1.2.1 ábra
Hajóépítésnél alkalmazott profilacélok

NORMALIZÁLÁS

Ez a kezelés a lágýtással megegyező hőfokra való hevítést jelent, a hűtés azonban gyorsabb, hagyják a levegőn lehűlni. A gyorsabb hűtés miatt az acél keményebb és szilárdabb a lágýtottnál, kristályszerkezete is

finomabb.

EDZÉS

Az acélt az előzőekben ismertetett hőmérsékletre hevítik és azt követően vízben vagy olajban lehűtik. A gyors lehűlés miatt a szerkezet kemény lesz, a szakítószilárdság pedig magas.

TEMPERÁLÁS

Az edzett acélokat ismét fel lehet melegíteni olyan hőmérsékletre, amely a normál szobahőmérséklet és 680°C között van, azután egyes esetekben gyorsan vissza lehet hűteni olajban vagy vízben. Ennek a kezelésnek a célja az, hogy az eredeti edzésnél keletkező magas belső feszültségeket csökkentsék, és ezáltal az anyagot kevésbé merevvé változtassák, amely ugyanakkor megőrzi a magasabb szakítószilárdságot.

FESZÜLTSEGMENTESÍTÉS

A belső feszültségek (pl. hegesztés miatt) csökkentése a cél, ezért az acélt olyan hőfokra hevítik fel, ahol az anyagban nem következik be szerkezeti változás, majd lassan lehűtik.

Profilacélok. A bugából különféle keresztmetszetű acél rudakat készítenek meleghengerréssel. A hajóépítésnél használatos leggyakoribbakat az 4.1.2.1.2.1 ábra mutatja.

Tervezésnél célszerű a hajóépítési profilokat a járatosakra korlátozni; más esetben a hengerműnek kis sorozatban kell gyártania, ami gazdaságtalan.

Hajóépítő acélok. A hajóépítési célokra szolgáló acél általában lágyacél 0,15 és 0,23% közötti szénttartalommal, a mangántartalom viszont aránylag magas. A kén és a foszfor egyaránt minimális szintű a lágyacélban (kevesebb, mint 0,05%). Ennél magasabb tartalom esetén, főként ha együtt vannak jelen, az acél hegesztési jellemzői romlanak, illetve magas kéntartalomnál repedések keletkezhetnek a hengerlési eljárás során.

A Lloyd's Register által osztályozott hajókhoz az acélokat elfogadott gyártónak kell előállítania, az ellenőrzésnek és az előírt próbáknak pedig még kiszállítás előtt kell megtörténniük a hengerműben. Az összes olyan anyagot, amelyre az intézet bizonylatot ad ki, meg van jelölve az előírásokban megkövetelt intézeti jellel és egyéb részletes jelzésekkel. Az intézeti jel a következő ábrán látható.



A különböző hajóosztályozó intézetek acélra vonatkozó specifikációi eltérőek voltak; 1959-ben azonban a legfontosabb intézetek megállapodtak előírásaik egységesítésében, hogy minimálisra csökkenthető legyen a szükséges acélminőségek száma. Jelenleg öt különböző *acélminőség* létezik, amelyeket a *kereskedelmi hajók építéséhez* használnak. Ezeket A, B, C, D és E minőségi fokozatba (Grades) sorolják, az A fokozat a Lloyd's Register előírásainak megfelelő

közönséges lágyacél, és általánosan ezt használják hajóépítéshez. A B fokozat az A-nál jobb minőségű lágyacélt jelent, és akkor írják elő, ha a kritikusabb helyeken vastagabb lemezekre van szükség. A C, D és E fokozatokat egyre növekedő nyírópróba szilárdság jellemzi, a C fokozat az American Bureau of Shipping osztályozó intézet követelményeinek fele meg. A Lloyd's Register intézet követelményei az A, B, D és E acélokra a Lloyd's Rules for the Manufacture, Testing and Certification of Materials (a Lloyd's előírásai az anyagok gyártására, tesztelésére és bizonylataira vonatkozóan) 3. fejezetében találhatók.

Nagyobb szakítószilárdságú acélok. A lágyacélnál *nagyobb szilárdságú acélokat* a nagy tankhajók, konténer- és tömegáru szállító hajók erősen igénybevett részeihez használják. A nagyobb szakítószilárdságú acélok alkalmazása lehetővé teszi a fedélzet és a fenéklemezek vastagságának illetve a merevítők méretének csökkentését, ha a nagy hajók középső hengeres szakaszához használják őket; ugyanakkor azonban nagyobb alakváltozásokat eredményez. A nagyobb szakítószilárdságú acélok hajó vasszerkezethez való felhasználása esetén azok *hegeszthetősége* fontos szempont, ezeknél az acéloknál azonban a kifáradás hamarabb következik be, amit figyelembe kell

venni. További szempont, hogy a lemezek és merevítők kisebb vastagsága mellett a korrózió hatása alaposabb ellenőrzést kíván.

A hajótest építéséhez felhasznált nagyobb szakítószilárdságú acélok gyártása és minőségi ellenőrzése a Lloyd's Register követelményeinek megfelelően történik. A nagyszilárdságú acélok gyártására, vegyi összetételére, hőkezelésére és mechanikai tulajdonságaira vonatkozó teljes specifikációt a Lloyd's Rules for the Manufacture, Testing and Certification of Materials (a Lloyd's előírásai az anyagok gyártására, tesztelésére és bizonylataira vonatkozóan) 3. fejezete tartalmazza. A nagyobb szakítószilárdságú acélok három változatban állnak rendelkezésre, azaz 32, 36 és 40 kg/mm², ami a hengerműből kiszállított állapotot jelenti normalizálva. Van lehetőség az anyagnak hat szilárdsági fokozatú változatban való beszerzésére, 42, 46, 50, 55, 62 és 69 kg/mm² szakítószilárdsággal, ebben az esetben a szállítási állapot edzett vagy temperált. Mindegyik szilárdsági fokozatot négy alcsoportra osztják, AH, DH, EH és FH, amely a kívánt nyírópróba ütőmunka értékeire vonatkozik.

Acélöntvények. Acélöntvény készítésénél a korábban ismertetett három eljárással gyártott acélt olvadt állapotban az összeállított öntőformába öntik, és abban hagyják megszilárdulni. A formából kivett munkadarabot hőkezelésnek kell alávetni, pl. lágyításnak, normalizálásnak vagy temperálásnak, hogy csökkenthető legyen a ridegsége. Acélöntvényből a fartőkét, a kormánytőkét, a tengelykilépések kereteit és a hasonló szerkezeti elemeket készítik.

Kovácsolt acél. A kovácsolás olyan megmunkálási eljárás, amikor egy acél munkadarabot olyan hőfokra hevítenek, amelyen az már többé-kevésbé alakítható, majd kézi vagy gépi kalapácsokkal a megfelelő helyre ütésekkel mérnek, hogy a kívánt alakot felvegye (képlékeny alakítás). A kovácsoláshoz csillapított acélra van szükség, amelyet a már említett három eljárással gyártanak nyersvasból, az acél bugákat megolvasztásuk után hűtőformába öntik. A tetejéről és az aljáról jelentős mennyiséget eltávolítanak ahhoz, hogy a kész kovácsdarabokban már ne maradjon semmilyen káros szennyeződés azután a tömör bugát fokozatosan és homogén módon felhevítve megmunkálják. Ahol lehetséges, a megmunkálásnál az anyag szálirányát úgy választják meg, hogy az igénybevételnek a lehető legjobban ellenálljon. Szükség van utólagos hőkezelésre, elsősorban lágyításra illetve normalizálásra vagy temperálásra, ezzel lehet a megmunkálás és a nem homogén lehűlés hatásait eltüntetni.

4.1.2.1.3 Ötvözött alumínium

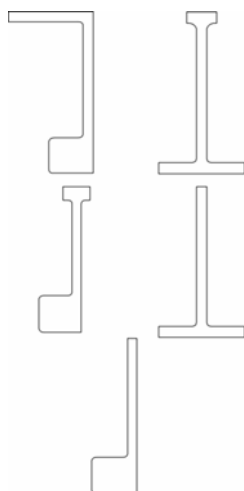
A hajóépítésben az *ötvözött alumínium* alkalmazásának a lágyacéllal szemben három fő előnye van. Először is az alumínium könnyebb, mint a lágyacél (sűrűségük 2,72 illetve 7,84 tonna/m³), aminek segítségével alumíniumszerkezet esetén akár 60% súlymegtakarítás van az acéllal szemben. Kereskedelmi hajóknál ez a fő tényező a másik kettő mellett, amely az alumínium jó korrózióállósága és nem-mágnesezhetőség jellege. Az utóbbi tulajdonság hadihajóknál és a mágneses iránytűnél kerül előtérbe, kereskedelmi hajóknál azonban nem lényeges. A jó korróziós tulajdonságok kihasználhatóak, de szükség van jó karbantartásra és a csatlakozó acélszerkezetek

elszigetelésére. Az ötvöztött alumínium fő hátránya a magasabb beszerzési ár (ami az acéléhoz képest súlyra vonatkoztatva akár 8-10-szeres is lehet). A beszerzési ár különbségét ki kell egyenlítenie a jármű nagyobb áru- illetve személyszállító kapacitásának ugyanolyan merülésnél, ami a kisebb üres súlyból ered.

Az ötvöztött alumíniumnak a hajótest szerkezetében való alkalmazása nagyon nehezen közelíthető meg gazdaságossági oldalról, és eddig még csak kisebb hajóknál tettek ilyen kísérleteket. Jelentős ugyanakkor azoknak a hajóknak a száma, amelyeket ötvöztött alumíniumból készült felépítménnyel építettek, és az üres hajó vízkiszorításának csökkenésén kívül ezeknél az az előny is jelentkezik, hogy a keresztirányú stabilitás javul. Mivel a felépítmény súlypontja a teljes hajó rendszersúlypontja felett van, a felépítmény súlyának csökkenése lefelé viszi a rendszer súlypontját az összehasonlítható acél felépítményhez képest. Ha a jármű stabilitásában vannak kritikus szituációk, ez a javulás a kezdeti metacentrikus magasság növelését teszi lehetővé. Ha viszont a jármű kielégítő kezdeti stabilitással bír, csökkenteni lehet a tervezőasztalon a szélességet, ami megint csak súlymegtakarítás a vasszerkezetben. Ennek közvetve az is a következménye, hogy a hajó ellenállása csökken, emiatt kisebb teljesítményű főgép elegendő, az pedig ismét súlymegtakarítást eredményez. Személyhajók esetében azonban a kedvezőbb stabilitást nem a szélesség csökkentésére használják fel, hanem a rentabilitás növelése érdekében emelik a szállítható utasok számát.

Jelentős megtakarításra csak azoknál a hajóknál lehet számítani, ahol viszonylag nagy a sebesség, vagyis a teljesítmény, illetve ott, ahol kicsi a hasznos terhelés/önsúly viszonyszám. Ilyenek a közepes és nagysebességű személyszállító hajók, mint pl. a csatornaátkelő komphajók és a kisebb hasznos terhelésű luxus személyhajók. A teherszállító vonalhajók közül nagyon kevés olyan van, amelyet ötvöztött alumínium felépítménnyel láttak el, ezek is olyanok, amelyeknek a merülése korlátozott a hajózóút mélysége miatt. Az ötvöztött alumíniumot egyre inkább használják azonban a többtestű és egyéb nagysebességű komphajók esetében, ahol előnyös az alumínium jó szilárdság/súly viszonyszáma.

Az alumínium gyártása. Jelenleg az alumíniumot az azt kb. 56%-ban tartalmazó ércből, a bauxitból állítják elő. Az ércről az alumíniumig két bonyolult és drága fázis során



4.1.2.1.3.1 ábra Tipikus profilok ötvöztött alumíniumból

lehet eljutni. Először is tisztítani kell a bauxitot, hogy tiszta alumínium-oxidot lehessen nyerni; ezt azután fémes alumíniummá lehet alakítani, azaz a folyékony fémből öntecseket vagy bugákat öntenek, mielőtt a fém újraöntése megtörténik olyan formába, amelyet a későbbi megmunkálás igényel, pl. *hengerlés*, *extrudálás*, stb.

Az alumínium profilokat leginkább extrudálással gyártják. Ez úgy történik, hogy a felhevített anyagot átréselik egy matricán, amely a kívánt formájú nyílással rendelkezik. Ezzel a módszerrel sokkal bonyolultabb formákat lehet kialakítani, mint acélból, ahol a profilokat hengerléssel gyártják. A szelvény vastagsága azonban

kevésbé változatos, mivel minden egyes vastagsági méret más matricát igényel. A tipikus profilokat a 4.1.2.1.3.1 ábra mutatja. **ALUMÍNIUM ÖTVÖZETEK**

A tiszta alumínium szakítószilárdsága nagyon alacsony, ezért szerkezeti anyagként nem használható; az alumíniumot olyan anyagokkal kell ötvözni, amelyek megnövelik a szakítószilárdságot. Számos alumínium ötvözetet alkalmaznak, de ezeket két csoportra oszthatjuk: hőkezelés nélküliek és hőkezelték. Az utóbbiak precízen vezérelt hevítési és hűtési ciklusnak vannak kitéve a szakítószilárdság növelése érdekében.

A hőkezelés nélküli lemez hideg alakítása előnyös, mert növeli az anyag szilárdságát. Egyidejűleg azonban a lemez veszít képlékenységből, sőt, túlzott hidegalakításnál az anyagban repedések keletkezhetnek; ez tehát korlátozza a hajóépítésben alkalmazható hidegalakítás mértékét. A hidegen alakított ötvözeteket az alakítás után lassú melegítésnek és lehűtésnek teszik ki, ami lágyítja és stabilizálja az anyagot a képlékenység javítása érdekében.

6.1 táblázat

Ötvöző elemek

| <i>Elem</i> | <i>5083</i> | <i>5086</i> | <i>6061</i> | <i>6082</i> |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Réz | 0,10 max | 0,10 max | 0,15-0,40 | 0,10 max |
| Magnézium | 4,0-4,9 | 3,5-4,5 | 0,8-1,2 | 0,6-1,2 |
| Szilícium | 0,40 max | 0,40 max | 0,4-0,8 | 0,7-1,3 |
| Vas | 0,40 max | 0,50 max | 0,70 max | 0,50 max |
| Mangán | 0,4-1,0 | 0,2-0,7 | 0,15 max | 0,4-1,0 |
| Cink | 0,25 max | 0,25 max | 0,25 max | 0,20 max |
| Króm | 0,05-0,25 | 0,05-0,25 | 0,04-0,35 | 0,25 max |
| Titán | 0,15 max | 0,15 max | 0,15 max | 0,10 max |

Egyéb elemek

| | | | | |
|-----------|----------|----------|----------|----------|
| egyenként | 0,05 max | 0,05 max | 0,05 max | 0,05 max |
| összesen | 0,15 max | 0,15 max | 0,15 max | 0,15 max |

Az alumínium ötvözeteknél szükség van megfelelő hőkezelésre a szakítószilárdság növelése érdekében. A hajóépítésre alkalmas *hő-kezelt alumínium ötvözetek* fő ötvöző eleme a magnézium és szilícium. Ezek Mg_2Si vegyületet alkotnak, és a keletkező ötvözet korrózióállósága kiváló, illetve szakítószilárdsága jobb, mint a hőkezelés nélküli ötvözeteknek.

Mivel az anyag hőkezelést kapott a nagyobb szakítószilárdság elérése érdekében, a későbbi hevítés, pl. hegesztés vagy melegalakítás, lokálisan ronthatja a javított jellemzőket.

Az alumínium ötvözetek megjelölésére általában az Alumínium Szövetség megjelöléseit alkalmazzák. Az 5000 sorozatú ötvözetek hőkezelés nélküliek, 6000 sorozatba soroltak pedig hőkezelt ötvények. A kezelések jellegére további betűk és számok szolgálnak. A Lloyd's Register az alábbi széles körben használt ötvözeteket ajánlja hajóépítéshez:

- 5083-0 lágyított,
- 5083-F technológiai hőkezelés,
- 5083-H321 alakítási edzés és stabilizálás,
- 5086-0 lágyított,
- 5086-F technológiai hőkezelés,
- 5086-H321 alakítási edzés és stabilizálás,
- 6061-T6 oldatban végzett hőkezelés és mesterséges öregítés,
- 6082-T6 oldatban végzett hőkezelés és mesterséges öregítés.

SZEGECSESELÉS

A *szegecseles* használható olyan helyeken a könnyű alumíniumlemez és a merevítők összeerősítésére, ahol fontos a látvány, ezért el kell kerülni a hegesztésnél fellépő torzulásokat.

A leggyakrabban alkalmazott szegecsanyag hajóépítési célokra az NR5 hőkezelés nélküli ötvözet (az R a rivet, magyarul szegecs szóra utal), amely 3-4% magnéziumot tartalmaz. A nem-hőkezelt ötvözetből készült szegecsket hidegen és melegen egyaránt lehet használni. Hideg szegecselesnél viszony kevesebb de nagyobb ütést kell alkalmazni, így a szegecs gyorsan a helyére kerül, ezzel elkerülhető a túlzott hidegalakítás, azaz nem keményedik meg annyira, hogy ne lehetne elszegecselni. Ahol a szegecseles hevített anyaggal történik, a hőmérsékletet precízen be kell tartani a metallurgiai károsodás megelőzése érdekében. A hevített szegecs szakitószilárdsága elmarad a hidegen bevert szegecskéétől.

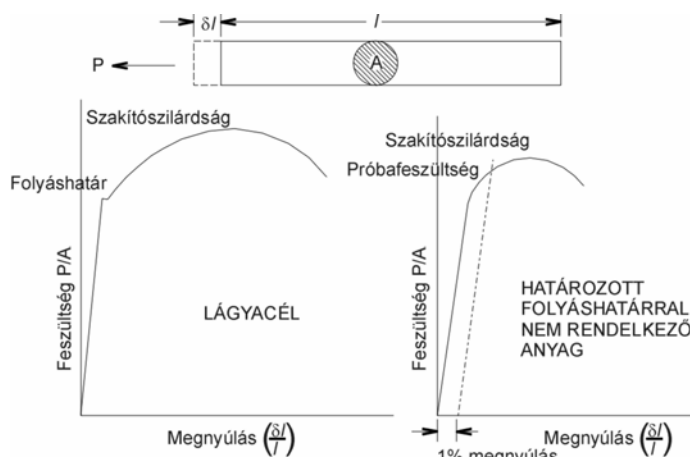
Tűzvédelem. Amikor ötvözött alumínium szerkezetekről beszélünk, meg kell említeni, hogy azokon a hajókon, ahol alumíniumszerkezetek vannak, sokkal kritikusabb kérdés a tűzvédelem az alumínium ötvözetek alacsonyabb olvadáspontja miatt. A keletkező tűzben a kialakuló hőmérséklet elégséges lehet a szerkezet összeomlásához, hacsak nincs megfelelő védelem. A vízmentes válaszfalakon személyhajók esetében a hőszigetelésnek elegendőnek kell lennie ahhoz, hogy tűzvédelmi szempontból az alumínium válaszfalak egyenértékűek legyenek az acél válaszfalakkal. Ez az oka annak, hogy az alumínium felépítménnyel rendelkező teherhajóknál az aknák (gépakna, stb.) acélból vannak kialakítva.

4.1.2.1.4 Anyagvizsgálat

A fémeket vizsgálatoknak kell alávetni, hogy bizonyosak lehessünk arról, hogy *szilárdságuk, képlékenyséjük és szívósságuk* megfelelő arra a célra, amire használni akarjuk őket.

A különféle fémek szilárdságának összehasonlítása során állandóan hivatkozunk a *feszültségekre és alakváltozásokra*, ezért azokat vizsgálni kell. A feszültség azt a

képességet mutatja egy anyagnál, mennyire terhelhető, ezért gyakran azt a feszültségértéket adják meg egy anyag esetében, ami végül is a terhelés és a felület aránya, amit képes elviselni. Ezt az értéket a terhelés és az igénybe vett anyagfelület hányadosaként kapjuk meg, pl. ha egy $A \text{ cm}^2$ keresztmetszetű rúd szakítóereje $P \text{ N}$ erő, akkor a rúd anyagának *szakítószilárdsága* $P/A \text{ Pa}$ (ld. 4.1.2.1.4.1 ábra).



4.1.2.1.4.1 ábra
Feszültség/alakváltozás viszony
hajóépítő anyagoknál

A *teljes alakváltozás* az a deformáció, amelyet egy test egy adott terhelés hatására szenved. Az alakváltozás fajlagos deformáció hossz- vagy térfogategységre számítva, pl. ha az eredetileg l hosszúságú rúdra gyakorolt P szakítóerő olyan nyúlást ill. hossznövekedést hoz

létre, amely δl értékű, akkor a szakítási nyúlás a rúd esetében a hossznövekedés per egységnyi hossz, azaz

$$\text{hossznövekedés / eredeti hossz} \quad \text{vagyis} \quad \delta l / l$$

Bizonyítható, hogy egy bizonyos terhelés eléréséig a rúdra gyakorolt terhelés a rúdban a terheléssel azonos mértékű hossznövekedést okoz. Ez arra mutat, hogy a nyúlás a terheléssel egyenesen arányos, vagyis a feszültség és az alakváltozás is azonos arányban áll, mivel a rúd eredeti hossza és keresztmetszete állandó marad. A legtöbb fémnél ez az egyenes arányosság addig érvényes, amíg a feszültség el nem éri az úgy nevezett 'folyáshatár' értékét. A fém eddig a pontig rugalmasan viselkedik, a rúd eredeti hosszát nyeri vissza, ha a *folyáshatár* elérése előtt megszűnik a terhelés.

Ha a szakítógépbe lágyacél próbadarabot helyezünk, és mérjük a hossznövekedést a terhelés mértékével együtt, megrajzolhatjuk a 7.1 ábrán látható diagram kezdeti szakaszát, azaz a terhelést a hossznövekedés ill. a feszültséget az alakváltozás ellenében. Ez jól mutatja az egyenes arányosságot a folyáshatárig.

Mivel a feszültség egyenesen arányos az alakváltozással, a feszültség az egyenes vonal meredekségének konstans értékével egyenlő a diagramon, tehát:

$$\text{feszültség/alakváltozás} = \text{állandó}$$

Ezt az állandót *rugalmassági tényező* (Young's Modulus) néven ismerjük, és jelölése E (lágyacélnál ennek értéke kb. 21.100 dN/mm^2 illetve 211 kN/mm^2).

A folyáshatár egy fémnél az a feszültség, amelynél a folyáspont jelentkezik a diagramon, efelett a fém már nem viselkedik rugalmasan. A végső *szakítófeszültség* az a feszültségérték, amelynél a fém nem bír ki többet, ezt a szakítóterhelés és a rúd eredeti

keresztmetszetének hányadosa adja ki. A folyáspont felett a fém képlékenyen viselkedik, ami azt jelenti, hogy a fém alakváltozása nagyobb, nem arányos a terheléssel, és eredeti alakját nem nyeri vissza a terhelés megszüntetésekor. Deformált marad (beáll).

Bizonyos fémeknek nincs világosan meghatározható folyáspontjuk; pl. az alumínium feszültség/alakváltozás görbéje a kezdeti egyenes szakasz után fokozatosan erősebben kezd görbülni, de a folyást nem jelzi élesen semmi (4.1.2.1.4.1 ábra jobboldala). A 'próbafeszültség' néven ismert jellemzőt használnak az ilyen anyagokra, ennek értéke úgy határozható meg, hogy az alakváltozás-tengelyen egy kezdeti értéket jelölnek meg, pl. 0,2%-ot, és a görbe egyenes részével ebből a pontból húzott párhuzamos metszi ki a próbafeszültség értékét a görbéből.

Természetesen a hajó tervezésénél a szerkezet igénybevételét a rugalmas feszültségek tartományába kívánják helyezni, ezért a szerkezet méreteit megfelelő *biztonsági tényezővel* kell meghatározni.

Az osztályozó intézetek anyagvizsgálati gyakorlata a hajótest anyagai esetében

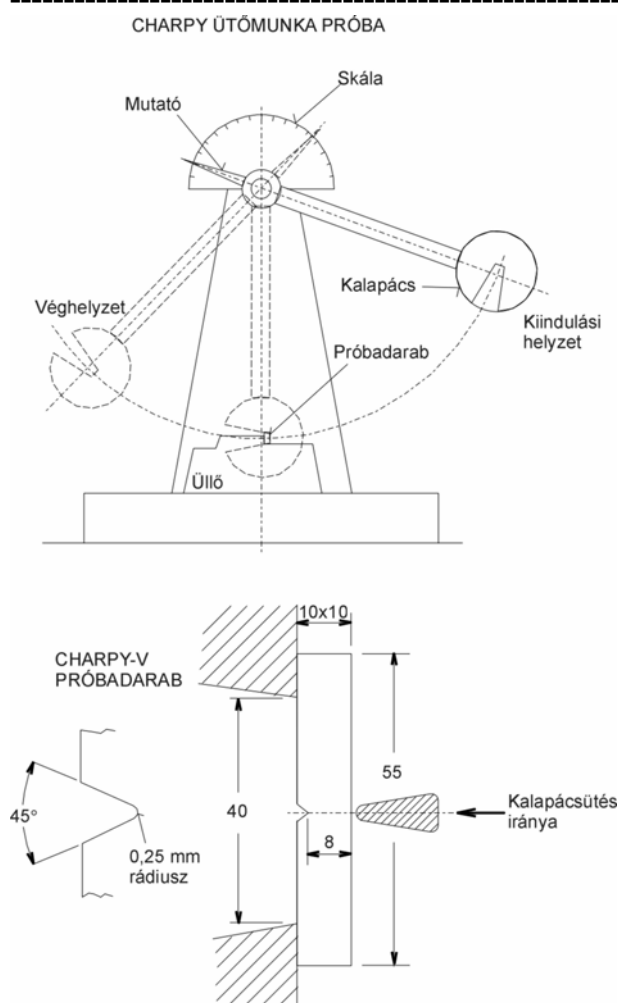
Mind a lágyacélból, mind a nagyobb szakítószilárdságú acélból készülő lemezeket és profilokat, amelyeket a hajóba beépítenek, olyan gyártó műveknél kell előállítani, amelyeket az érintett osztályozó intézet elfogad. Gyártás közben megkövetelik az anyag elemzését, és ennek értelmében a hengerelt anyag vizsgálatára próbákat írnak elő. Az osztályozó intézetek hasonló elemző és próbatevékenységet követelnek meg a kovácsolt és öntött acél alkatrészekre is, hogy a megfelelő minőséget tartani lehessen.

Roncsolásos vizsgálatokat végeznek olyan mintadarabokon, amelyeket a leggyártott sorozatból vettek az intézetnek a megfelelő előírásokban foglalt követelményeinek megfelelően. Ezek a vizsgálatok rendszerint a *szakítópróbát és az ütőmunka tesztet* (Charpy) jelentik.

Szakítópróba. Ennek a tesztnek az alapvető elve már ismert, adott méretű próbadarabot tesztnek ki axiális húzóerőnek, és a mért eredményeknek (folyási feszültség, a szakadásnál mérhető szakítószilárdság illetve a szakadásig mérhető nyúlás) ki kell elégíteniük a minimális követelményeket. Az ugyanabból az anyagból vett próbadarabok szakítópróbájánál mérhető nyúlás összehasonlíthatósága érdekében a próbadarabok keresztmetszetének és hosszának azonosnak kell lennie.

A legfontosabb osztályozó intézetek ezért olyan standard próbadarabokat fogadtak el, amelyeknél a teljes mért hossz 5,65-szöröse a keresztmetszet-terület négyzetgyökének, ami egyenértékű az átmérő ötszörösének megfelelő mért hosszal.

Ütőmunka teszt. Számos formája van az ütőmunka teszteknek, de a legelfogadottabb a *Charpy V* és *Charpy U* bemetszésű munkadarabon végzett ütőmunka teszt, ezért itt azok ismertetése található. Az ütőmunka teszt célja az anyag szívósságának meghatározása, azaz annak a képességének, hogy dinamikus terheléseket mennyire tud elviselni.



4.1.2.1.4.2 ábra Charpy ütőmunka teszt

A 4.1.2.1.4.2 ábrán a Charpy-teszt gép elve látható, valamint a standard teszt próbadarab a Charpy V bemetszésű tesztthez. A próbadarab az üllőre van helyezve, az inga pedig felső helyzetéből nekilendül, a törő-él a bemetszéssel átellenben megüti a darabot és eltöri. Az energia mértékét, amelyet a próbadarab eltörése felemészt, a gép automatikusan regisztrálja. Alapvetően, amennyiben a súrlódást figyelembe vesszük, a töréshez szükséges energia az a különbség, amellyel az inga elengedés előtti potenciális energiája nagyobb annál, amivel a legnagyobb sebességű függőleges helyzetében elvégzett próbadarab-törés után rendelkezik. Az átlagos ütőmunka értéke a vizsgált próbadarabok esetén függ a próbadarab hőmérsékletétől is.

Alumínium ötvözetek vizsgálata. Az alumínium ötvözetből készült

lemezeket és profilokat az előírt szakítópróbának kell alávetni. Az ötvözt alumínium szegecsekhez alkalmazott rúdanyagon szakítópróbán kívül tömörítő próbát is kell végezni. Ez utóbbi a rúdanyag olyan hosszirányú összenyomását kívánja meg, amíg átmérője az eredetinek 1,6-szerese lesz, ennél az anyagnak nem szabad repedéseket mutatnia. A kész szegecsekből kiválasztott darabokat is ugyanilyen tömörítő próbának vetik alá.

4.1.2.2 Gyártástechnológiai eljárások

A korábbiakban már szó esett arról, hogy melyen fejlődésen ment át az acélból készült hajók gyártástechnikája, ebből világossá vált, hogy ma – a nagy acélszerkezetek gyártásával és építésével foglalkozó más iparágakhoz hasonlóan – a hajóépítő iparág is szinte kizárólag a hegesztést alkalmazza.

4.1.2.2.1 A hajóépítésben használatos hegesztési és lángvágási eljárások

A *hegesztés* fejlődését két olyan ágazat hajtotta előre, amelynél a szegecseles volt az alapvető módszer korábban, azonban annak nehézkes és kényelmetlen tulajdonságai

miatt keresték az azzal egyenrangú alternatív megoldást, ez volt a hajóépítés és a hidak konstrukciója. Eredetileg a hajók szerkezetében a hegesztést arra használták, hogy a különféle fém-alkatrészek hibáit kijavítsák. Az I. Világháború alatt számos hajóépítéssel kapcsolatban álló intézmény, így néhány hajóosztályozó intézet is, mint pl. a Lloyd's Register, kutatásokat kezdett végezni a hegesztés területén, és néhány esetben építettek prototípus jellegű hegesztett szerkezeteket. A II. Világháborúig azonban a hajók lemezeinek és merevítőinek összeerősítéséhez a szegecselés maradt a fő módszer. A háború alatt és után mind a hajó-, mind a hídépítésben a hegesztés elterjedt és fejlődött, mára pedig a hegesztés teljesen kiszorította a szegecselést. Számos előnye van a hegesztésnek a hajóépítés területén a szegecselt konstrukciókkal szemben. Ezek nemcsak az építés, hanem a hajó üzemeltetése során is jelentkeznek. A hajóépítő számára a következő előnyök fedezhetők fel.

- (a) A hegesztés jól alkalmazható az előgyártás technológiájaként.
- (b) Könnyebb elérni a víz- és olajmentességet a hegesztett varratoknál.
- (c) A varratokat sokkal gyorsabban el lehet készíteni.
- (d) Nem kell nagy gyakorlatú szakembereket alkalmazni, betanított munka.

A hajótulajdonosnál jelentkező előnyök.

- (a) A hajótest súlya kisebb, tehát a hasznos terhelés nagyobb lehet.
- (b) Kevesebb karbantartás szükséges.
- (c) A szegecselést lemezek átlapolásával szemben a hajótest áramvonalasabb, ami kisebb súrlódási ellenállást jelent, azaz kisebb üzemanyag költségeket.

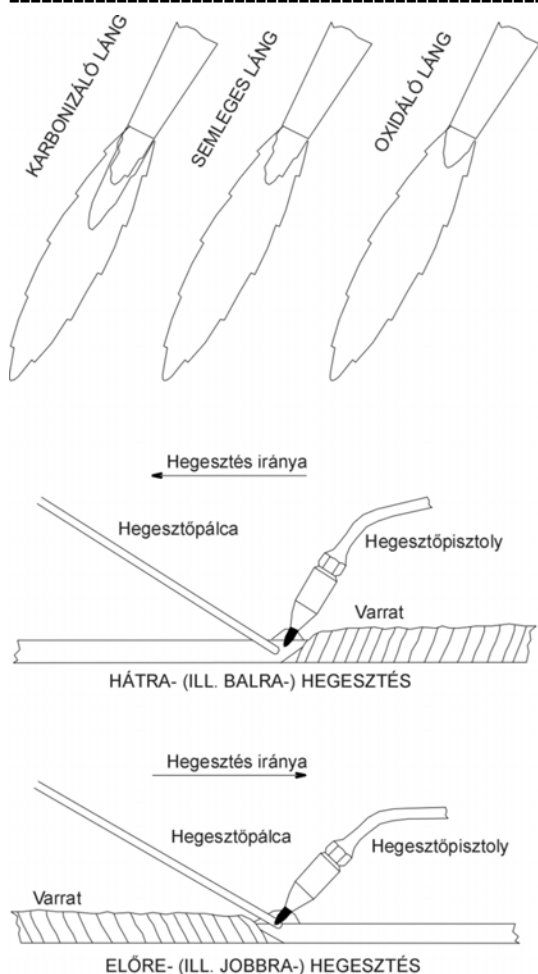
A *kovácshegesztéssel* ellentétben, ahol a szilárd halmazállapotú fémet dolgozzák össze, a hajóépítési hegesztési eljárások mind az ömlesztő típusú hegesztéshez tartoznak. Az *ömlesztő hegesztésnél* megfelelő intenzitású hőforrással folyamatosan megolvasztják a csatlakoztatni kívánt anyagok szélét, amint a hőforrás a csatlakozási vonal mentén végighalad. A gáz-, ív- és ellenállás-hegesztés mindegyike rendelkezik a megfelelő hőforrással az anyag megolvasztásához.

Gázhegesztés

Az első hőforrás valószínűleg egy gázláng volt, amit ömlesztő-hegesztéshez használtak, ahhoz pedig, hogy a megfelelő magas hőfokú lángot elérjék, számos *fűtőgázt* alkalmaztak *oxigénnel* együtt. A legszélesebb körben alkalmazott gáz jelenleg az *acetilén*, amely intenzív koncentrált lángot biztosít (átlagos hőmérséklet 3.000°C) oxigénnel elégetve.

Az *oxigén-acetilén láng* két jól elkülöníthető területtel rendelkezik, a *belső maggal*, amelybe az oxigént a hegesztőpisztoly táplálja be az égéshez, illetve a *külső zónával*, ahol az égéshez szükséges oxigén egy része vagy egésze a külső levegőből származik.

A *pisztoly* által létrehozott gázkeverék oxigén és acetilén arányának változtatásával szabályozható az égés hatékonysága, és azzal a *láng paramétereit* lehet beállítani (4.1.2.2.1.1 ábra). Ha valamivel több az oxigén, mint az acetilén, '*oxidáló*' láng jön létre. Ilyen lángot kell használni nagy hővezetési tényezőjű anyagok hegesztésénél, amilyen a réz, ezért az olvadt fémekben kevés a szilícium, acéloknál azonban nem, mivel akkor az acél széntartalma kiég. Az acetilén



4.1.2.2.1.1 ábra Gázhegesztés

és oxigén azonos aránya esetén a *láng* 'semleges', ezt kell használni acéloknál és a legtöbb más fémnél. Ahol az acetilén több, mint az oxigén, 'karbonizáló' láng alakul ki, a többlet acetilénből szénrészecskék válnak ki. Ezek hajlamosak az olvadt acélban oldódni, ami aztán üzem közben metallurgiai problémákat okoz.

Az oxigén-acetilén láng külső zónájában a körülvevő levegőből oxigénelvonás történik, így ez bizonyos mértékig védi az olvadt fémfűrdőt az oxidációtól. Ha nincs védelem, az oxigén bekerülhet az olvadt fémbe, és abban zárványokat okozhat lehűlés után.

Azoknál a fémeknél, amelyek magas hőfokon olvadó oxidokat tartalmaznak, mint pl. rozsdamentes acél vagy alumínium, aktív áramlást kell létrehozni, hogy a hegesztési eljárás közben el lehessen távolítani az oxidokat.

Az oxigén és acetilén egyaránt fém palackokban van tárolva, az oxigén nyomás alatt, az acetilén pedig acetonban oldott állapotban, mivel az nem nyomható össze. A

palackok színeként eltérő (piros – acetilén, fekete – oxigén), mindkét palackon nyomásszabályzó van üzem közben a gáz nyomásának szabályozásához. A *hegesztőpisztoly* hosszú vastag réz fűvókából, gázkeverő térből és szelepekből áll, amelyekkel az oxigén és az acetilén mennyisége állítható be. Általában *hegesztőpálcát* használnak a varrat anyagának kitöltéséhez, előfordul azonban, hogy az összehegesztendő két alkatrészt pálcá nélkül is össze lehet folytatni. A 4.1.2.2.1.1 ábra a *gázhegesztési technikákat* is mutatja.

Az oxigénes acetilénhegesztés általában lassúbb, mint a többi ömlesztő-hegesztési eljárás, mivel a hőmérséklet alacsony a fém olvadáspontjához képest, ugyanakkor a hőt a lángból kell az anyagba bejuttatni. Emiatt az eljárás csak a vékonyabb lágyacél lemezeknél használható jól, a 7 mm-nél vékonyabb lemezeket ezzel az eljárással 3-4 m/h sebességgel lehet hegesztetni. Hajóépítésnél az acetilénhegesztést a szellőzés és légkondicionálás csatornáinak összeállításánál lehet használni, illetve a kábelpályákhoz és a könnyebb acél bútorokhoz; emellett használják még a gázhegesztést csőszerelésnél és hasonló munkánál. Ezek a szakmák a gázlángot *keményforrasztáshoz* is alkalmazzák, ahol a varratok anélkül hozhatóak létre, hogy az összeerősítésre váró darabok anyagának olvadási hőmérsékletét el kellene érni.

Elektromos ívhegesztés

Az *elektromos ívhegesztés* alapelve az, hogy az elektromos erőforrás egyik *pólusára* egy fémhuzalt ill. *elektródát* kötnek, a másik pólusra viszont az összehegesztendő lemezeket kapcsolják. Ha az elektródát érintkezésbe hozzák a lemezekkel, az áramkörben elektromos áram kezd folyni. Az elektróda kis távolságra való eltávolítása a lemeztől *ívet húz*, amely tartósan fenntartható, ezzel nagy hőmérsékletű hőforrás jön létre, amely megolvasztja a lemezek szélét és az elektróda végét, amennyiben az *fogyó típusú*.

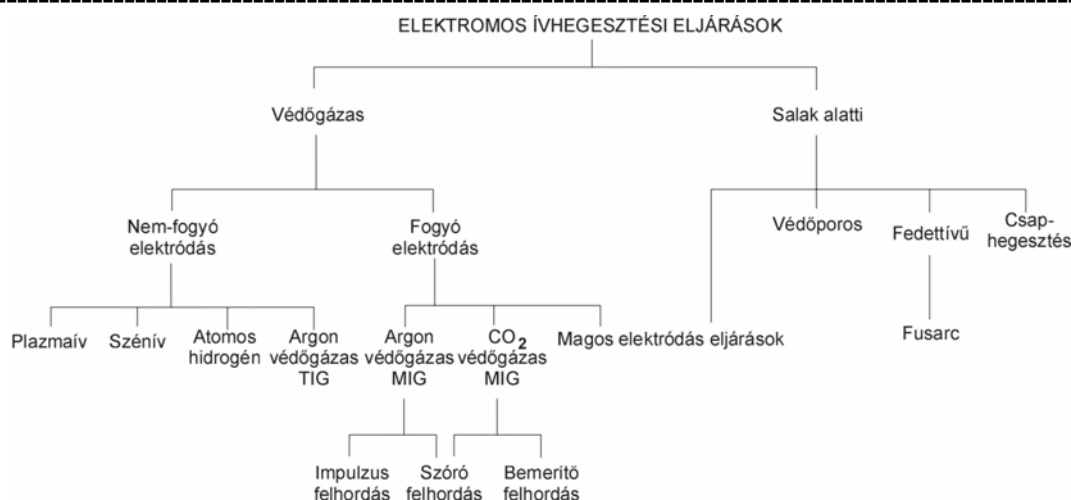
Az *elektromos áramforrások* különböző félék lehetnek, egyenáramú (DC) *generátorok* vagy egyenirányítók változtatható vagy állandó feszültségkarakterisztikával éppúgy kaphatók a kereskedelemben, mint váltakozó áramú (AC) *transzformátorok* szabályozható feszültséggel egy vagy több hegesztő munkás részére. Hajóépítésben az utóbbi a legelterjedtebb.

A 4.1.2.2.1.2 ábrán láthatóak azok a kézi, félautomata és automata elektromos ívhegesztő eljárások, amelyeket a hajóépítésben lehet alkalmazni. Az alábbiakban ezek ismertetése következik.

Salak alatti eljárások. Az ívhegesztést kezdetben csupasz elektródával végezték, amit a normál hálózathoz kapcsoltak. Ez azonban nem adott megfelelő minőségű hegesztést, ezért kutatásba kezdtek, és rájöttek, hogy az elektróda mészbe való bemártása sokkal stabilabb ívet eredményezett. A folyamatos fejlesztések eredményeként ma már sokféle elektróda-bevonat ill. varratvédő salakréteg közül lehet választani.

ELEKTRÓDÁK KÉZI ÍVHEGESZTÉSHEZ

A központi huzal anyaga, amit általában használnak, nem csillapított lágyacél. Ez ideális egyrészt a dróthúzási technológiánál, másrészt a csillapításhoz szükséges ötvöző-anyagok, mint a szilícium és az alumínium, hajlamosak az ív stabilitását rontani, ezért a csillapított anyagok nem megfelelőek. Az elektródák *bevonata* általában ásványi szilikátok, oxidok, fluoridok, karbonátok, szénhidrogének és por-alakú fémötvözetek, valamint kötőanyag keverékéből áll. Keverés után a bevonatot ráextrudálják a maghuzalra, a kész elektródákat pedig csomagokban szárítják meg kemencében. Az elektróda bevonatának biztosítania kell az ívhez a védőgázt, a könnyű ívképzést és az ív stabilitását, a védő salakréteget, a jó varratformát és, ami a legfontosabb, a gázpajzsot, amely elfogyasztja a körülötte levő levegő oxigénjét, és ezzel védi az olvadt fémeket a hegesztési varratban. Különböző típusú elektródák vannak a piacon, a típust gyakran a bevonat fajtája határozza meg. A legfontosabb típusok a *rutilos* (titándioxidos) és a *bázikus* (alacsony hidrogéntartalmú) *elektródák*. A rutilos elektródák nagy titántartalmú bevonatot kapnak, és általános célokra használt elektródák, amelyekkel könnyű dolgozni és a kapott hegesztési varrat kinézetre és szerkezetre egyaránt jó minőségű. A bázikus vagy alacsony hidrogéntartalmú elektródákat, amelyek bevonata magas mésztartalmú, olyan technológiával gyártják, hogy a bevonat nedvességtartalma minimális legyen a kis hidrogéntartalom biztosítása érdekében.



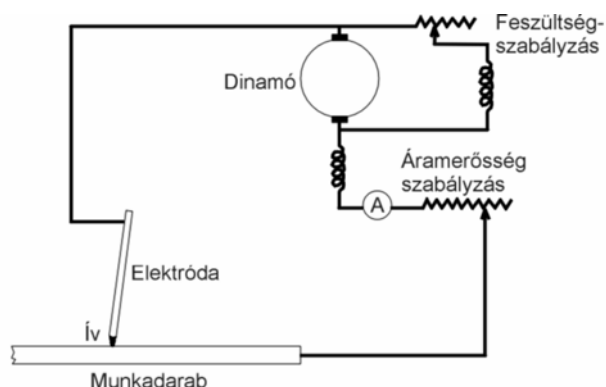
4.1.2.2.1.2 ábra Elektromos ívhegesztés

A varrat anyagának mechanikai tulajdonságai, amelyet ezzel a fajta elektródával hegesztenek, sokkal jobbak a többi elektródával készített varrathoz képest, a bázikus elektródákat ajánlják általában a nagyobb szakítószilárdságú acélok hegesztéséhez. Ahol korlátozott a munkatér, például két szekció összehegesztésének utolsó függőleges varratánál, szintén alacsony hidrogéntartalmú elektródákat használnak. Az ilyen elektródák használatához gyakorlottabb hegesztőkre van szükség, mivel nehezebb kezelni.

A kézi elektródákkal lehet hegeszteni *kéz alatti helyzetben*, pl. a fedélzeten kívülről, *függőleges felületen vízszintesen vagy függőlegesen*, pl. egy válaszfalon levő vízszintes és függőleges varratoknál, valamint *fejfeletti helyzetben*, pl. a fedélzet varratait belülről (4.1.2.2.1.3 ábra). A hegesztéshez mindegyik helyzetben az ahhoz megfelelő elektródát kell kiválasztani (a gyártásnál biztosított pozicionális alkalmazhatóság), illetve a helyes áramerősséget, technikát és nyilvánvalóan szükség van gyakorlatra, különösen a függőleges és a fejfeletti helyzeteknél.

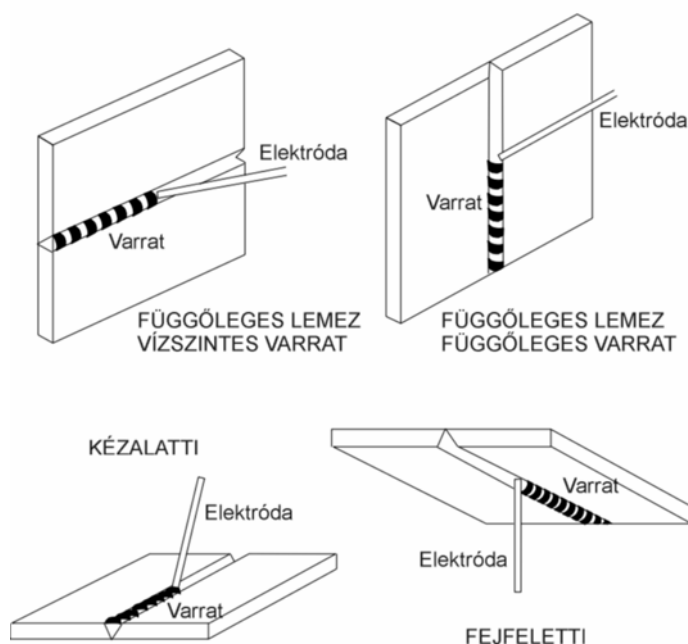
AUTOMATA HEGESZTÉS BEVONATOS HUZALLAL ÉS MAGOS HUZALLAL

A hajógyárak széles körben alkalmazzák a British Oxygen Company által kifejlesztett 'Fusarc' hegesztési eljárást illetve az annak megfelelő hasonló eljárásokat. Ezek a kézalatti kézi hegesztésnek felelnek meg vízszintes lágyacél lemeztáblákon. A 'Fusarc' hegesztő-berendezések a lemezen meghatározott sebességgel mozognak, a bevonatos huzal adagolása folyamatos, ami biztosítja a helyes ívhosszúságot és az olvadt varrat védelmét a felette elhelyezkedő salakkal. A bevonatot segítenek a végtelen huzalon megtartani a segéd drótspirálok (4.1.2.2.1.4 ábra). Az eljárás nem nagyon kényes a lemezek szennyezettségére, és nagyon kényelmes módszer a külső környezetben végzett hegesztéshez olyan időjárási viszonyoknál, amelyek nem mindig kedvezőek. A további védelmet széndioxid biztosíthatja (Fusarc/CO₂ eljárás), amely a huzalt védő bevonattal együtt nagyobb áramerősséget tesz lehetővé, amely viszont a hegesztési sebességet képes növelni. A lemezek és profilok összehegesztéséhez a kettős bevonatú verzió is megjelent.



4.1.2.2.1.3 ábra Kézi ívhegesztés

Ma már gyakran használnak magos huzalt a bevonatos helyett a gépi hegesztésnél, amely lehetővé teszi a nagyobb áramerősséget és védőréteg kijuttatást, mindez pedig a minőséget javítja. A kerámia alaplemez alkalmazó egyoldali hegesztéshez bázikus és rutilos magos huzalt egyaránt használnak.

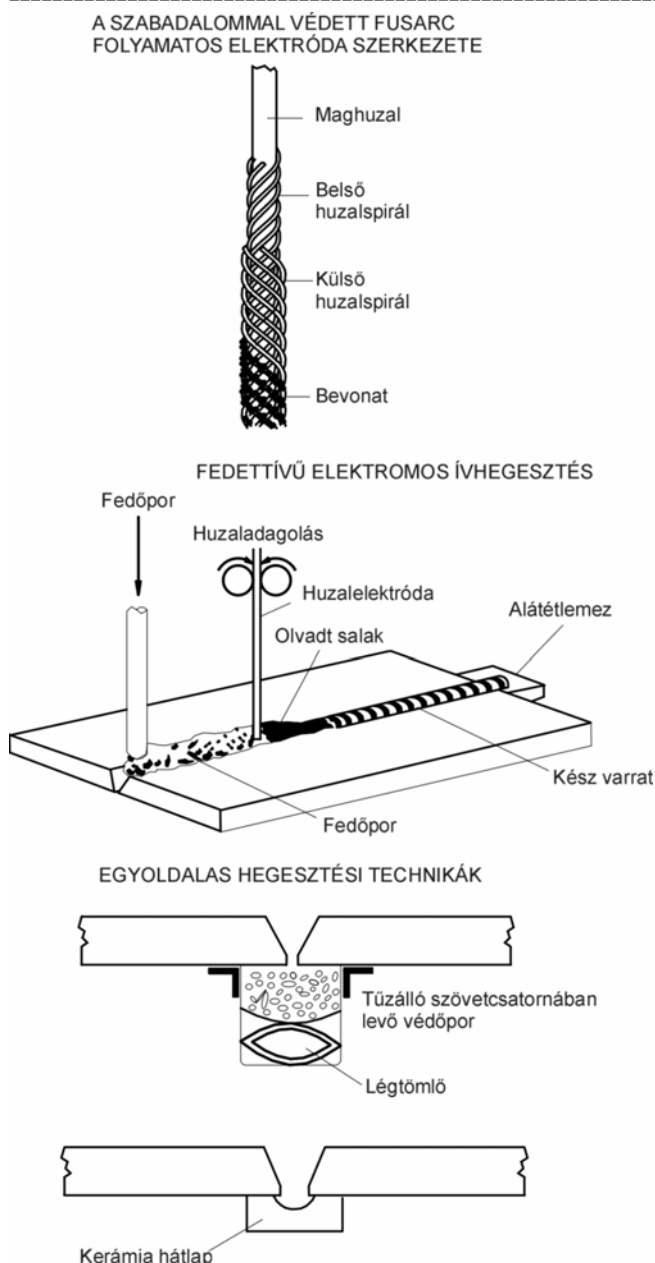


FEDŐPOROS ÍVHEGESZTÉS

Ez olyan ívhegesztési eljárás, amelynél az ív egy granulált védőpor rétegen belül van működésben tartva (ld. 4.1.2.2.1.4 ábra). A huzal fogyóelektróda, az ív pedig a huzal és a hegesztett lemez között áll fenn. Az ív környezetében a granulált védőpor lebomlik és gázokat fejleszt, így az tulajdonképpen az ív számára kiváló védőhatást nyújtó hőszigetelő olvadt

tartóedény. Mindez erős hő-koncentrációt teremt, amitől az eljárás nagyon hatékony és megfelelő a nagy sebesség mellett keletkező nagy mennyiségű salakhoz. Hegesztés után az olvadt fémeket egy réteg megolvadt *salak* védi, amelyet lehűlés előtt a még meg nem olvadt védőporral együtt lehűlés előtt össze lehet gyűjteni.

Ez a kézalatti gépi hegesztés legelterjedtebb eljárása a hajóépítő iparban. A 25 mm vagy még nagyobb vastagságú anyagok hegesztéséhez fémport adhatnak hozzá, amely az ív energiájának növelése nélkül képes 30-50% növelést eredményezni a varrat térfogatában. A termelékenység növelhető fedőporos hegesztésnél több huzal vagy ív alkalmazásával is.



4.1.2.2.1.4 ábra Automata ívhegesztés

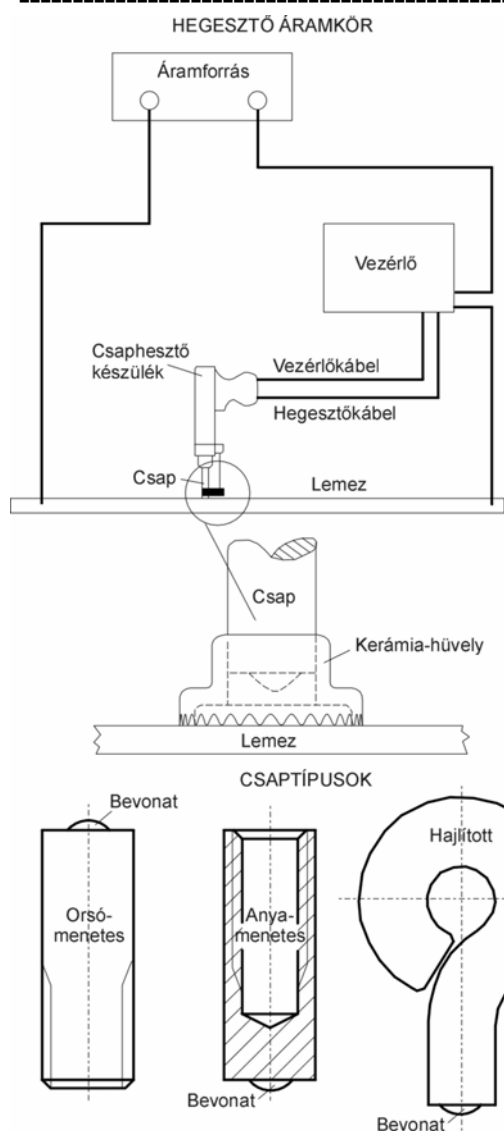
Ahogy a hajógyárak világszerte elfogadják az egy-oldalról történő hegesztést hajóépítő gyártósoruknál a jobb termelékenység érdekében, a fedőporos ívhegesztést általában olvadó alátéttel alkalmazzák védőpor vagy üvegszál használatával az átolvadó csepp megfogásához.

TŐCSAVAR-HEGESZTÉS (CSAPHEGESZTÉS)

A tőcsavarok hegesztését árnyékolt-íves eljárásaként lehet meghatározni, az ív a csavar (elektroda) és a lemez között jön létre, amelyhez a csavart hozzá kell hegeszteni. Mindegyik tőcsavart egy rúdhegesztő pisztolyba helyezik, és mielőtt a csavart a lemezhez érintik, egy kerámiapántot csúsztatnak rá.

A pisztoly működtető billentyűjének lenyomásakor a csavar eltávolodik a lemeztől, az ív pedig létrejön, megolvasztja a csavar végét és a lemez felületét. Az ív ezután automatikusan megszűnik az áram kikapcsolásával, a csavar pedig belenyomódik a megolvadt fémbe, és a kötés kész.

A csavarhegesztő pisztoly mellett a berendezéshez tartozik az áram be- és kikapcsolását szabályozó egység is. Mindegyik csavar végén granulált védőpor van, amely az ív húzásának ideje alatt védőgázt bocsát ki. A kerámiapánt, amely a hegesztés helyét veszi körül, a levegő hozzáférését akadályozza meg a hegesztési zónához; emellett koncentrálni az ív hőjét, és a megolvadt fém hegesztés helyén tartja (ld. 4.1.2.2.1.5 ábra). A csaphegesztést a hajóépítés gyakran használja, általában a fedélzetre ill. válaszfalakra kerülő burkolat vagy szigetelés rögzítéséhez szolgáló tőcsavarok felhegesztésére, stb. A különféle tőcsavarok mellett előfordulnak kampós, gyűrűs és hasonló csapok is.



4.1.2.2.1.5 ábra Töcsavar-hegesztés

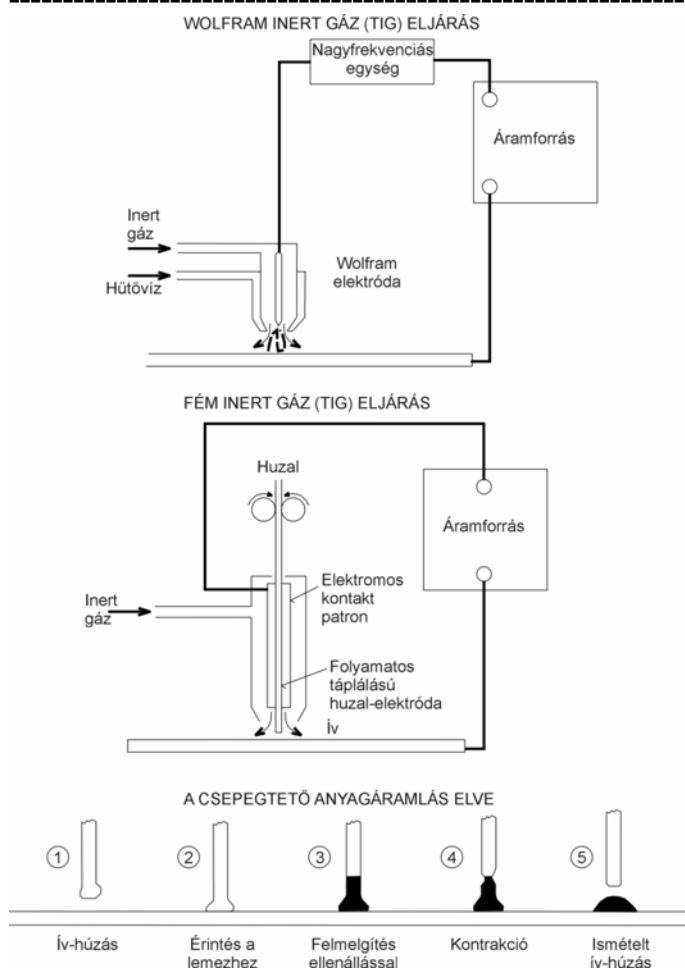
Védőgázos hegesztési eljárások. A csupasz huzallal való hegesztés, ahol gáz védi az olvadt varratot, az 1960-as években alakult ki, és viszonylag gyorsan vált belőle a hajógyárakban a könnyebb acélszerkezetek, illetve az alumínium ötvözetek hegesztésének módszere. A védőgázos eljárások többsége automata vagy félautomata eljárás.

WOLFRAM INERT-GÁZ (TUNGSTEN INERT GAS, TIG) HEGESZTÉS

A TIG hegesztési eljárásnál az ívet a vízzel hűtött *nem-fogyó wolfram elektróda* és a lemez között kell létrehozni (4.1.2.2.1.6 ábra). Inert gázból védőatmoszférát hoznak létre a hegesztés helye körül, és töltőpálca szolgáltatja az anyagtöbbletet a hegesztési varrathoz. Az ív gyújtása nagyfrekvenciás kisüléssel történik a résen át, mivel az nem ajánlatos, hogy a wolfram elektróda érintkezzen a lemezzel. Az esetek többségében az acél és alumínium hegesztéséhez használt gáz *argon*. Ezzel az eljárással csak 6 mm-nél vékonyabb lemezeket szoktak hegeszteni, abból is inkább alumíniumot, a kézi hegesztéshez nagyon gyakorlott hegesztő szükséges. FÉM INERT-GÁZ (METAL INERT

GAS, MIG) HEGESZTÉS

Ez a módszer valójában a TIG hegesztés kiterjesztése, de az elektróda ebben az esetben fogyó fémhuzal. Az eljárás alapján annak felel meg, amit a 4.1.2.2.1.6 ábra mutat, a huzal-előtoló motor táplálja az ívhez a hegesztőpálcát a vezetőgörgők között, a hegesztő szerszámhoz tartozó érintkező hüvelyen keresztül. Az ív védelmére inert gázt táplálnak a szerszámba, az elektromos érintkezést az érintkező hüvely és a munkadarab között hozzák létre. A hegesztést szinte mindig egyenáramú (DC) áramforrással végzik, az elektróda a pozitív sarok a folyamatos fémadagolás érdekében, az alumínium hegesztésénél ez az oxidfilm eltávolításában is segít az ívkatód hatás alapján. Bár az eljárás teljesen automatizálható, az ábrán látható félautomata eljárások, ahol kézi hegesztőpisztolyt alkalmaznak, gyakrabban előfordulnak, és a hajóépítésnél jobban használhatóak is.



4.1.2.2.1.6 ábra MIG hegesztés

Az eljárást emlegetik TAGS hegesztésként is (tungsten arc gas-shielded welding, wolfram védőgáz as ívhegesztés).

Kezdetben szinte csak alumíniumnál használták az MIG hegesztést, a védőgáz argon volt. Az eljárást leginkább az alumínium fedélzeti házak és a különleges szállítóhajókon a cseppfolyósított metán gáztartályok gyártásánál alkalmazták. Általában nagyobb átmérőjű huzal és nagyobb áramerősség jellemezte ezt a munkát, a fémeket a hegesztési varrathoz szórással vitték az ívbe, azaz fémszemcséket juttattak be az íven át nagy sebességgel. A kisebb áramerősségeknél meglehetősen nehézkes a fém bejuttatása az ívbe, a lemez maga csak kis

mértékben olvad meg, ez eléggé komplikálttá teszi a vékony alumíniumlemezek hegesztését az MIG argon eljárással. Ezt a problémát bizonyos mértékig kiküszöbölte a 'lúktető ív' eljárás bevezetése. Ennél kis áramerősséget használnak nagy amplitúdójú áramingadozással, amely elválasztja a fémeket az elektródától, és felgyorsítja annak mozgását az íven keresztül, ami jó behatolást eredményez.

Az eljárás lágyacélhoz való alkalmazásának kezdeti időszakában argont használtak védőgázként; mivel azonban ez a gáz eléggé drága, emellett csak a kézalatti helyzetben lehet vele jó eredményt elérni, alternatívát kellett találni. A kutatást a CO₂ védőgázként történő alkalmazására koncentrálták, ma már széles körben használatos az MIG/CO₂ eljárás lágyacél hegesztésére. Vastagabb lemezeknél a nagyobb áramerősség-értékek jó fémáramlást biztosítanak az elektródáról az íven keresztül, a behatolás elegendő mélységű. A huzal mérete meghaladhatja az 1,6 mm-t, az áramerősség pedig 350 A feletti a jó minőség eléréséhez. A nagy áramerősségű munka legnagyobb részét automata gépek végzik, de vannak félautomata munkához való hegesztőszerszámok, amelyeket jó gyakorlattal bíró hegesztők használni tudnak. Az eljárást csak kézalatti munkához lehet alkalmazni.

A vékonyabb lemezeknél, ahol alacsonyabb áramerősségeket alkalmaznak, a fém eljuttatása a hegesztés helyére más módon történik az MIG/CO₂ eljárásnál. Ezt a

hegesztési formát mártogató (vagy rövidzárlatos) eljárásnak nevezik. A fém bejuttatási módja a varratba a következő sorrendet követeli meg (ld. 4.1.2.2.1.6 ábra):

1. ívet kell húzni,
2. a huzalt az ívbe kell táplálni, amíg a lemezzel érintkezésbe kerül,
3. az érintkezési ellenállás felmelegíti a huzal lemezzel érintkező részét,
4. leválasztás, a huzal felhevített része olvadt fémként leválik,
5. az ív ismételt gyújtása.

Ahhoz, hogy az áramerősség hirtelen megnövekedését és a huzalvég lerobbanását meg lehessen előzni, amikor a huzal a lemezzel rövidzárlatot képez, változtatható ellenállást kell beiktatni az elektromos áramkörbe. Amikor az eljárást vékonyabb lemeznél alkalmazzák kisebb áramerősségekkel, a huzalátmérő kisebb, 0,8 mm ill. 1,2 mm. Az eljárás vékonyabb lágyacél lemezek hegesztésére minden helyzetben alkalmas. A hajóépítés területén félautomata eljárásként használják, főleg fedélzeti házak és más könnyebb acélszerkezetek hegesztésénél.

A lüktető íves MIG/argon eljárás, amelyet a különböző helyzetű vékony alumínium lemez hegesztéséhez fejlesztettek ki, a vékony acéllemez különböző helyzetben végzett hegesztéséhez is használható, viszont drágábbnak bizonyul többnyire.

Az MIG félautomata eljárások ugyanakkor jelentősen növelhetik a termelékenységet és csökkenthetik a költségeket.

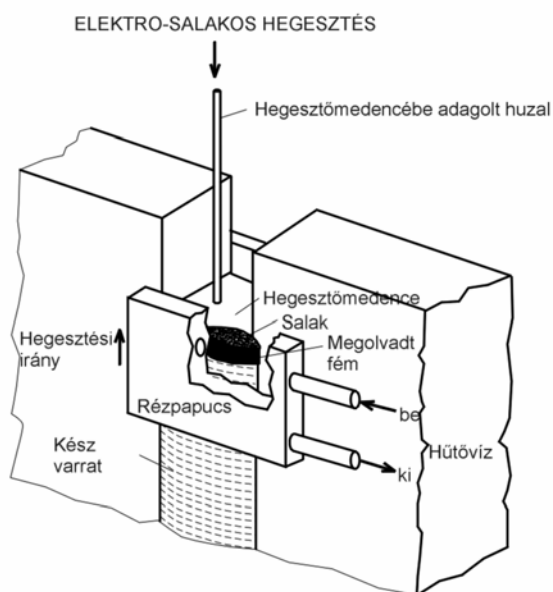
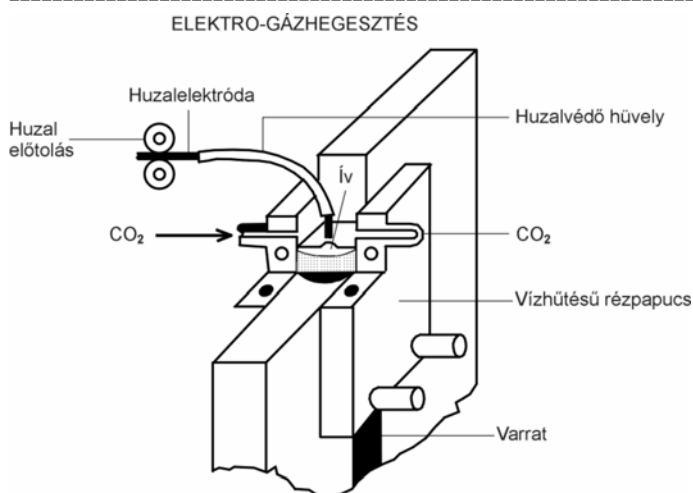
Az ilyen hegesztési eljárásokat gyűjtőnéven MAGS hegesztésnek nevezik, vagyis védőgázos fém ívhegesztésnek (metal arc gas-shielded welding).

Egyéb hegesztési eljárások

Vannak olyan hegesztési eljárások is, amelyeket nem lehet szigorúan sem gáz-, sem ívhegesztésnek nevezni, ezeket külön kell tárgyalni.

Elektro-salakos hegesztés. Az elektro-salakos hegesztési eljárást vastagabb acéllemezek függőleges hegesztésénél alkalmazzák. Állítások szerint gazdaságos lehet vékonyabb lemezeknél is lefelé egészen 13 mm-ig, de ezt az eljárást főként a jóval vastagabb lemezeknél használják. Nehéz öntött acél profilokat akár 450 mm vastagságig lehet vele hegeszteni.

A hegesztési folyamat elindításához ívet kell húzni, maga a hegesztés azonban a védőporon keresztül vezető ellenállási pálya hevítő hatására megy végbe, amint a hegesztés megkezdődik, a kezdeti ívre nincs szükség. A 4.1.2.2.1.7 ábra az elektro-salakos eljárás alapjait mutatja; az áramot a hegesztés helyére a huzal vezeti, a vízzel hűtött réz saruk pedig az olvadt fémeket tartják meg. Az eljárást gépesíteni lehet, a mozgás a lemezen felfelé történik, a védőport a hegesztés helyére a kezelő kézzel táplálja be. A lemezek éle nem igényel leélezést, a varrat anyaga jelentősen elvékonyodik tapasztalatok szerint. Szükség van a hegesztés megszakításánál és újraindításánál 'ráfutó' és 'lefutó' lemezekre, az a jó, ha a hegesztés folyamatosan végezhető. Ha mégis meg kell szakítani, elkerülhetetlen, hogy nagyobb salakzárvány legyen a varratban, emiatt az eredeti fém ki kell vágni és újból elindítani. Ha nagyon jó finom szemcseszerkezetű paramétereket kell biztosítani a hegesztésnél (az elektro-salakos hegesztésnél a szemcseszerkezet meglehetősen durva)



4.1.2.2.1.7 ábra Elektro-gázhegesztés és elektro-salagos hegesztés

mindenképpen végezni kell lokális normalizáló kezelést.

Elektro-gázhegesztés. A hajóépítők számára meglehetősen érdekes dolog egy további fejlesztés, az elektro-gázhegesztés. Ez lényegében olyan ívhegesztő eljárás, amely kombinálja a védőgáz és az elektro-salagos hegesztés jellemzőit. Az elektro-salagos eljárásból ismert vízűtésű rézszarukat alkalmaznak, a hegesztés anyagpótlását azonban csupasz huzal helyett védőpor-magos huzal biztosítja. Az olvasztást ívvel történik, amely a hegesztési varrat megolvadt fémanyagának felülete és a huzal között jön létre, a védőgázként használt CO₂ vagy CO₂ és argon keveréke pedig külön fúvókákon vagy lyukakon érkezik, amelyek központosan vannak elhelyezve közvetlenül a rézszaruk felett. A

rendszer gépesítve van, alapja egy automata függőlegesen felfelé hegesztő gép, amelyet áramforrás táplál és zártkörös hűtéssel rendelkezik illetve szintjelzővel, amely automatikusan szabályozza a függőleges előtolást.

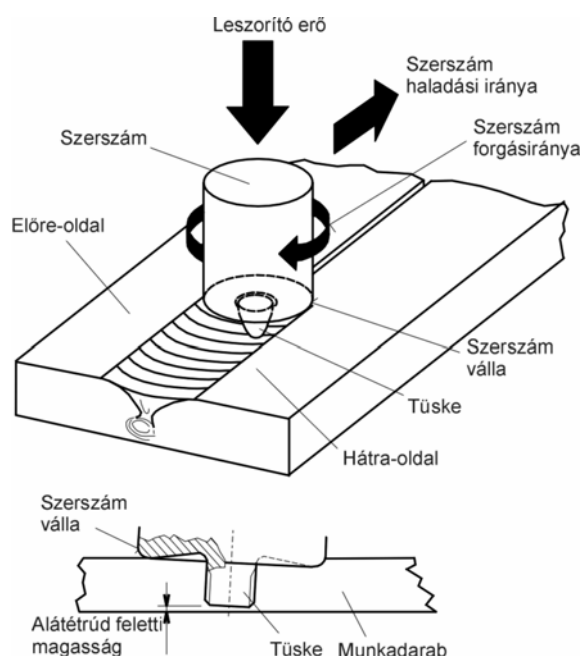
Az eljárás legkedvezőbb tartománya a 13 és 50 mm közötti leélezett vagy leélezetlen lemezek hegesztése, ezért a hajóépítés területén a függőleges varratokat készítik vele a műhelyben vagy a sólyán való szekció-összeállításnál. Erre a célra a legmegfelelőbb az egy- vagy kétoldali leélezésű varrat elektro-gázhegesztéssel történő készítése, mivel az lehetővé teszi a hegesztés kézi befejezését, ha nehézség merül fel. A kézi befejezésnél azonban a leélezetlen varrat szinte lehetetlen feladatot jelentene.

Termithegesztés. A termithegesztés az egyik legrégebbi hegesztési eljárás. Felfedezése H. Goldschmidt nevéhez fűződik, aki már 1899-ben vasúti sínek összehegesztésére alkalmazta.

Ez az eljárás nagyon jól alkalmazható vastag acélprofilok összehegesztésére, pl. a fartőke egységeinél. Gyakran használják ilyen jellegű öntött vagy kovácsolt alkatrészek

javításánál is. Az eljárás olyan ömlesztő hegesztés, ahol az olvasztáshoz szükséges hőt egy porkeverék égése adja, amelynek elemeiként alumínium és vasoxidot használnak. Az összehegesztésre váró végeket előzetesen homok- vagy grafitformába foglalják, a keveréket pedig egy hőálló bélésű öntőüstbe helyezik. A keverék meggyújtása leginkább bárium-peroxid tartalmú gyúlékony por segítségével történik. Az üstben ezt követően lezajló reakció során az oxigén kiválik a vasoxidból és az alumíniummal hoz létre alumíniumoxidot vagy salakot, illetve túlhevített termitacélt. Ezt az acélt beöntik a formába, ahol az előmelegíti illetve megolvasztja és összeerősíti az összekötésre váró széleket. A lehűlés során folyamatos kapcsolat jön létre és a formát eltávolítják.

Súrlódóhegesztés. A súrlódó-hegesztés viszonylag új eljárás anyagok összeerősítésére, amelyet a hajóiparban alkalmaztak, de terjedőben van más területen is.



4.1.2.2.1.8 Súrlódó-hegesztés

A súrlódó-hegesztés szilárdállapotú kötés, amely előnyös lehet az ömlesztő-hegesztéssel szemben adott esetben. Tompavarratok készítésénél az eljárás nem-fogyó forgó szerszámot alkalmaz, amelynek profilos tükéje be van szorítva két lemez tompavarratába, és végig van vezetve a varrat mentén. A két lemez széle meglágyul, és az anyagot a forgó tüske magával sodorja, aminek eredményeként szilárd kötés keletkezik a két lemez között (ld. 4.1.2.2.1.8 ábra). A meglágyult anyagnak a varratban való megtartására a szerszám hátsó része szolgál, a szerszám válla nyomás alatt tartja az anyagot a felső felületen.

Mindkét lemezt és a szerszám hátsó részét is jól le kell fogatni, mert jelentős erők lépnek fel. A forgó szerszám ferde szögbe állításával eltérő vastagságú lemezeket is lehet így tompán hegeszteni.

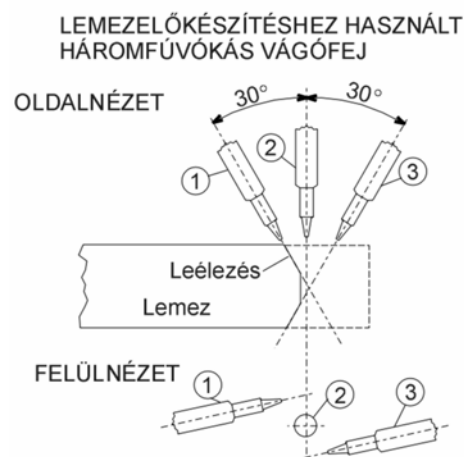
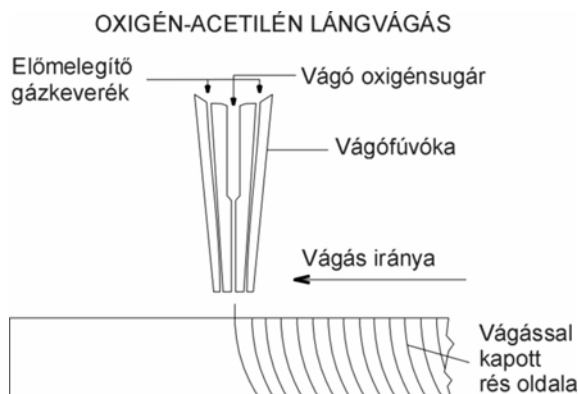
Az eljárást jelenleg ötvözt alumíniumlemezek egymáshoz ill. ilyen lemezek alumínium profilokhoz és öntvényekhez való hegesztésére használják. Eltérő alumínium ötvözetek is összeköthetők ezzel az eljárással. Az acélok súrlódó-hegesztésénél használható forgó szerszám anyagát illetően még kutatás folyik.

Tipikus felhasználási területe a súrlódó-hegesztésnek a gyors hajók alumínium fedélzetpaneljeinek gyártása extrudált profilokból, valamint személyhajók önmerevített alumínium kabinválaszfalainak összeállítása.

Vágási eljárások

A legutóbbi időkig a hajógyárakban az acél lemezeket és profilokat az acetilén lángvágási technika alkalmazásával vágták méretre, a plazmavágó gépek bevezetése azonban azok széles elterjedéséhez vezetett a hajóépítés területén.

Lángvágás gázzal. A gázzal végzett lángvágás alapelve az a vegyi illetve hőhatás, amely kizárólag a vas és annak ötvözetei esetében lép fel. A vas vagy annak bármilyen ötvözet felhevítéskor úgy reagál, hogy egy adott hőmérséklet elérésekor a vas gyors oxidációja következik be tiszta oxigén atmoszférában.



4.1.2.2.1.9 ábra Fém-vágási eljárások I.

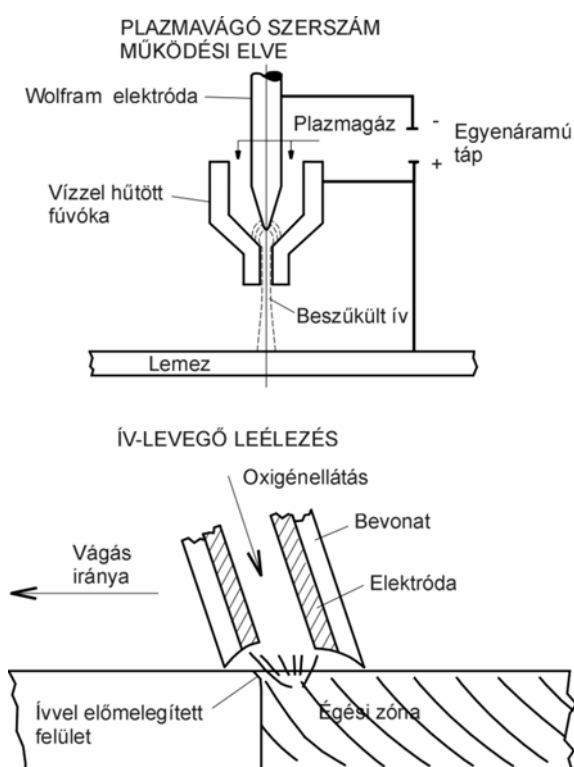
A hajóépítésben acéllemezek és profilok vágásához használt eljárás ismertetése az alábbiakban következik. A fém egy kis felületét előmelegítik a kívánt hőfokra, és koncentrált oxigénsugarat fújnak erre a területre. A vas egy keskeny sávon oxidálódik, a megolvadt oxidot és fémot pedig az oxigénáram kinetikai energiája kisodorja. A vágás két széle párhuzamos, és egymástól csak kis rés választja el őket. A vágási eljárás során az előmelegítő láng ég, hogy felhevítse a vágási felületet, mivel a vágási fronton a reakcióban keletkező hő nem elegendő a folyamathoz, azonkívül főként a vágás alsó részén jön létre. A kis mennyiségben jelen levő ötvöző elemek a salakban oldódnak ki, ezeket a vágási anyag magával sodorja. Ha azonban az acél erősen ötvözött, pl. krómmal, az ötvöző elemek fékezhetik, sőt, meg is akadályozhatják a vágást. Ennek oka,

hogy vagy csökkentik a salak folyósságát vagy védő oxidfilmet képeznek a felületen, amely a vas további oxidációját megakadályozza. Ezt az akadályt úgy lehet áthidalni, hogy vasban gazdag port juttatnak a vágási helyre, ezt az eljárást 'por-vágásnak' nevezik. Amikor rozsdamentes acélt kell vágni, amelynek a krómtartalma magas, ezt az eljárást használják.

Általánosságban az előmelegítő lánghoz acetilént és oxigént használnak, de más gázok is alkalmasak: pl. PB gáz vagy hidrogén, ezeket főleg víz alatt végzett munkáknál találjuk, mivel nyomás alatt is használhatóak. A gázpisztoly kivételével a berendezés hasonló a gázhegesztő berendezéshez. A pisztolyon vannak szelepek, amelyekkel az előmelegítő lánghoz szükséges acetilén és oxigén mennyisége állítható be, a különálló szelep pedig az oxigénsugár szabályozására szolgál (ld. 4.1.2.2.1.9 ábra).

Az oxigén-acetilén vágóeljárás a hajógyárakban szinte teljesen automatikus. A kisebb feladatoknál a kézi gázpisztolyt használják, főként a szekciók összeállításánál.

Plazma-vágás. A plazma alatt itt ionizált gáz értendő, amely vezeti az elektromosságot. Az elektródát az egyenáramú áramforrás negatív sarkára kötik, az ívet pedig védőgáz veszi körül, amelyet olyan fúvóka táplál, amelynek furata kisebb az ív természetes átmérőjénél. Emiatt összehúzódott ív keletkezik, ezért annak hőfoka sokkal magasabb, mint a nyitott ívé. Az ív az elektróda és a munkadarab között akkor jön létre, amikor az ionizált vezetőképes gáz érintkezésbe kerül a munkadarabbal. A gázt elsősorban az elektróda és a fúvóka közti kiegészítő elektromos kisülés ionizálja. A lemezeket a nagy hőmérsékletű koncentrált ív vágja el, amely az anyagot lokálisan megolvasztja (4.1.2.2.1.10 ábra).



4.1.2.2.1.10 ábra Fém-vágási eljárások II.

A plazma-íves eljárás alkalmas minden elektromosan vezetőképes anyag vágására. A kereskedelemben olyan vágóberendezéseket lehet vásárolni, amelyek 20 és 1.000 A közötti vágóárammal 0,6 és 150 mm közötti vastagságú lemezekhez valók. A plazmagáz lehet sűrített levegő, nitrogén, oxigén vagy argon-hidrogén enyhén vagy erősen ötvözött acélokhoz és alumínium ötvözetekhez. A költségesebb argon-hidrogén keverék a nagyobb vastagságú profilok vágásánál használatos. Víz-befecskendezéses plazma-ív vágó rendszer is létezik, ezt 75 mm anyagvastagságig használják nitrogén hordozógázzal. A vágási sebesség nagyobb lehet, és a víz illetve a pisztoly körül kialakított égéstermék-elvezető

rendszer használata miatt a környezetszennyezés kisebb.

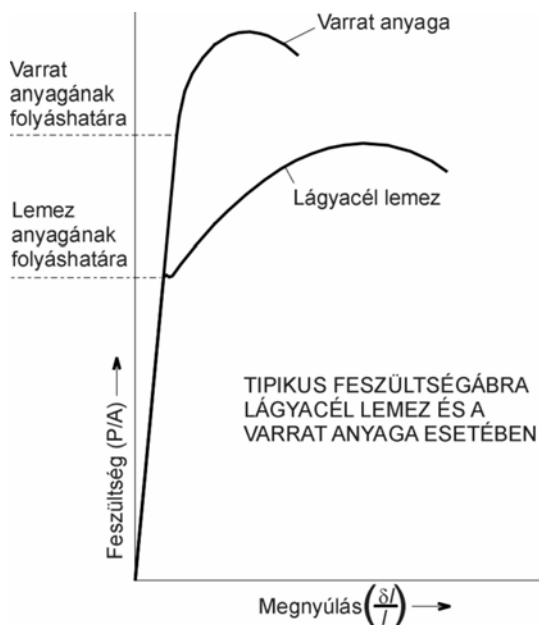
A vágó vízasztalokat gyakran használják plazmavágásnál. A vízben való vágás megszünteti a port és a szemcsés szennyeződések, csökkenti a plazma zaját és az ultraibolya sugárzást. A környezetkímélő szempontokon kívül előnye az is, hogy kisebb a deformáció.

Kifűvátás, leélezés. Mind a gáz- mind az ívhegesztési eljárásokat módosítani lehet úgy, hogy a hegesztéshez a lemezek élét elő lehessen készíteni ott, ahol a precizitás nagyon lényeges szempont. A kifűvátás különösen hasznos a hajóépítésben a hegesztési varratok hátoldalának kitisztításánál, hogy a csupasz fémét szabaddá tegyék, mielőtt a hátoldali hegesztést végrehajtják. Alternatíva erre az eljárásra a mechanikus kivésés,

amely lassú és fárasztó. Általában az 'ív-levegő' kifúvatást alkalmazzák. Az elektróda cső-alakú, amely az áramot vezeti és megfelelő intenzitású ívet tart fenn a munkadarab hőn tartásához ill. izzításához. Miközben az ív működik, az elektróda furatából oxigénsugarat fújnak, amely meggyújtja az izzó elektródafémet és a munkadarab éghető elemeit. Ugyanakkor a többlet oxigén kinetikai energiája eltávolítja az égéstermékeket és létrehozza a vágást. A lemezhez képest adott szögben tartott elektróda kifúvatja a felesleges anyagot (4.1.2.2.1.9 ábra).

A kifúvatáshoz egy lángvágó pisztolyt lehet különleges fúvókával ellátni, amelyet szögben tartva a lemezhez képest a kifúvatás elvégezhető.

Lézer-vágás. Profilokat lehet vágni és gyalulni nagy sebességgel koncentrált lézersugár segítségével, ennek az eljárásnak a hajóépítésben különösen robotokkal való gyártás esetén van jelentősége. A lézersugáron belül a fény kizárólag egy adott hullámhosszúságú hullámokból áll, ezek haladási iránya egyetlen egyenes, és



4.1.2.2.2.1 ábra Tipikus lágyacél szakítódigram alap- és varratanyagára

koherensek, azaz mindegyik hullám azonos fázisban van. Az ilyen sugár koncentrálni lehet, hogy nagy energiájú legyen. Hegesztéshez és vágáshoz a sugarat egy CO₂ lézerben hozzák létre. Ez egy csőből áll, amely tele van CO₂, nitrogén és hélium keverékével, amelyet nagyfeszültségű kisülés fluoreszkálásra készítet. A cső infravörös sugárzást bocsát ki, amelynek hullámhossza kb. 1,6 μm és képes akár 20 kW teljesítményt átadni. A lézer-vágás lyukasztásra épül, ahol a sugár a teljes vastagságon áthatol, az olvadt fém pedig egy gázsugár

segítségével fújják ki a furatból. A CO₂ lézer sugarával koncentrikusan elhelyezett fúvóka biztosítja, hogy a gázsugár a lézersugárral koaxiálisan a munkapontra irányuljon. A gázsugár lehet inert gáz, nitrogén vagy acél esetében oxigén. Oxigénnél exoterm reakció játszódik le az acéllal, ami szintén hőt fejleszt, mint oxigén-acetilén vágásnál. A termikus lyukasztás miatt a vágás keskeny egyenes oldalú, szemben a többi eljárással, amelyek a vegyi reakcióra épülnek.

Víz-sugár vágás. Ezt a vágási eljárást ott lehet alkalmazni, ahol a termikus vágásra nincs lehetőség, a mechanikus vágás pedig drága és lassú az előzetes és utólagos munkák miatt. Ennél az eljárásnál az alkalmazott szerszám egy koncentrált víz-sugár, amely lehet csiszolóanyag nélküli vagy azt is tartalmazhat, a sugarat 2 ½ hangsebességgel lövik ki egy fúvókából, nyomása pedig több-ezer bar.

4.1.2.2.2 A hegesztés gyakorlata és hegesztés-vizsgálat

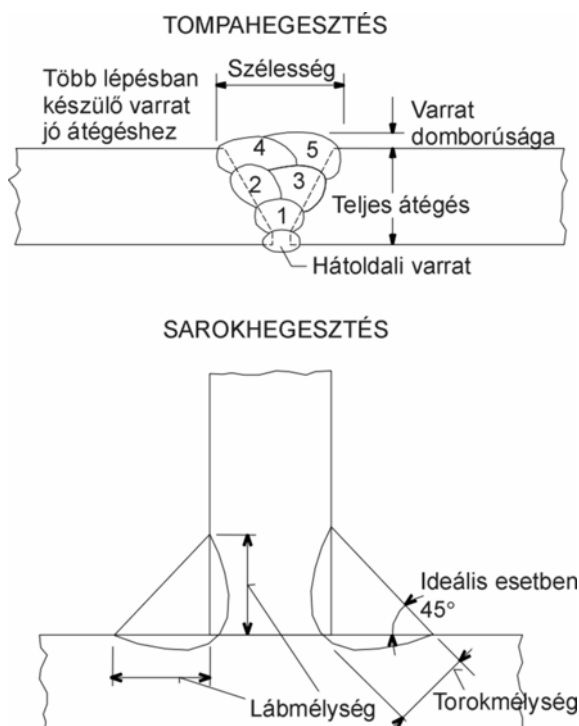
A hegesztett kötéseket magukban foglaló próbadarabok szakítópróbája azt igazolja, hogy a legjobb minőségű hegesztett kötés, amely két lemez között létrehozható, a tompavarrat. A tompavarratnál a két összehegesztett lemez ugyanabban a síkban helyezkedik el, valamennyi hegesztett szerkezetnél kívánatos, hogy ahol csak lehet, tompavarratokat alkalmazzanak.

A hegesztés gyakorlata

Amikor tompavarratot készítünk kézi ívhegesztéssel, ahol a lemezvastagság 5-6 mm felett van, szükség van több hegesztési lépésre, mert egy lépésben nem lehet elegendő olvadt anyagot a varratba vinni, hogy az megteljen. Az automata hegesztési eljárásoknál alkalmazható nagyobb áramerősségekkel vastagabb lemezeket is lehet egy lépésben hegesztetni, de nagyobb vastagságoknál továbbra is szükség van a többlépéses hegesztésre.

Lágyacélnál a varrat anyaga a legtöbb esetben nagyobb szilárdságú a lemez anyagánál (ld. 4.1.2.2.2.1 ábra). A feszültség növelésekor a folyás általában egy tompavarrat mellett jelentkezik a lemezben, ahol a lemez anyagának folyáshatárát lokálisan eléri a feszültség. Mivel a jó tompavarrat szilárdsága terhelés alatt legalább egyenértékű a lágyacél lemezével, a varratot nem tekintik szerkezetileg gyenge pontnak.

Az átlapolt kötéseket, ahol sarokvarratok szolgálnak a lemezek összekötésére, lehetőleg el kell kerülni a hegesztett szerkezetek szilárdsági (teherhordó) elemeinél. A sarokvarratban nyírófeszültség ébred, amikor a lemezeket egymástól eltávolító terhelés lép fel, a varrat szilárdsága sokkal kisebb, mint amilyen ugyanannál a lemezanyagnál egy tompavarraté.



4.1.2.2.2.2 ábra Varrattípusok

A sarokvarratok elkerülhetetlenek ott, ahol szöget bezáró profilokat vagy lemezeket kell egymáshoz hegesztetni, de ott általában másként jelentkezik a probléma, mivel a terhelés jellege más. A sarokvarrat kifáradási tulajdonságai is sokkal rosszabbak a tompavarraténál. A hajóiparban, ha nem használnak állandó hátlapot vagy nem az egyoldali hegesztési technikát (ld. védőporos ívhegesztés) alkalmazzák a gyártás során, nem hagyható ki a hátoldal végighegesztése a varrat teljes átégéséhez. Ezt a varrat másik oldalán végzik el, miután a salakot, stb. eltávolították mechanikus véséssel vagy kifúvatással. Az állandó hátlap ott célszerű, ahol arra

van szükség, hogy a szekciók összehegesztését egy oldalról el lehessen végezni a sólyatéren. Jó példa erre egy U szelvényből készült fedélzeti gerenda, a felső öv adja a hátlapot a fedélzeti panelhez, amikor a gép felülről elkészíti a *tompavarratot*.

Szakaszos varratokat (heftelés) használnak az egész szerkezetben, ezek tartják a helyükön a lemezeket és profilokat beállítás után, amíg a folyamatos tompa vagy sarokvarrat elkészül. Ezek tulajdonképpen rövid varratszakaszok, amelyeket felül is lehet hegesztetni, vagy a kritikusabb helyeken ki lehet fúvatni a végleges varrat elkészítése során.

A *sarokvarratok* vagy folyamatosak vagy szakaszosak, ez a hegesztendő szerkezeti elem fontosságától függ. A szakaszos sarokvarratok vagy váltakozó egyoldali, vagy kétoldali varratok (ld. 4.1.2.2.2.3 ábra), magát a szerkezeti elemet a varratok között könnyíteni lehet, ami virtuálisan folyamatossá teszi a varratot.

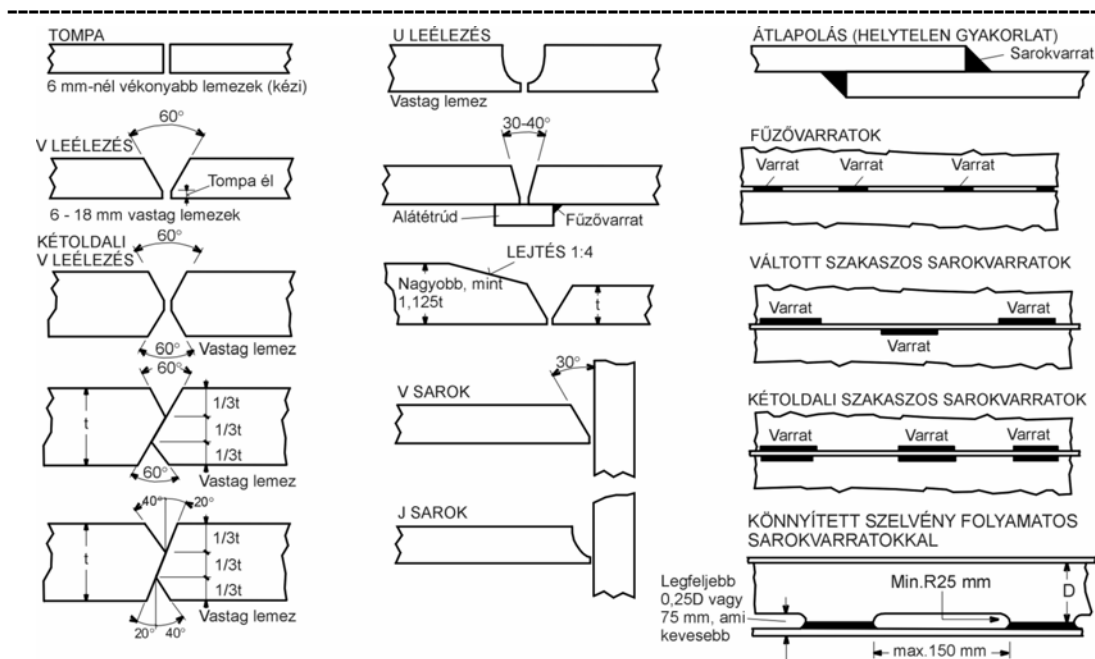
Vastagabb lemezeknél a tompavarrattal hegesztendő lemezek szélét le kell élezni, hogy a varrat teljes mélységben átolvadhasson. Ezt a műveletet a lemez élének méretre vágása vagy igazítása során lehet elvégezni, amelyet precízen kell beállítani. A legtöbb leélezést gáz-vágópisztollyal végzik, azonban ezeket három nem szabályos elosztású furattal látják el, hogy a leélezéshez szükséges szögbe beállíthatóak legyenek.

Alternatív megoldás a mechanikus leélezés gyaluló vagy maró szerszámmal. A szerszámgéppel végzett mechanikus leélezést ajánlatos választani ott, ahol vastag lemeznél nagyon jó minőségű varratra van szükség, főként nagyobb szakítószilárdságú acél esetén. Ennek egyedüli oka, hogy a mechanikus leélezés jobb felületet biztosít.

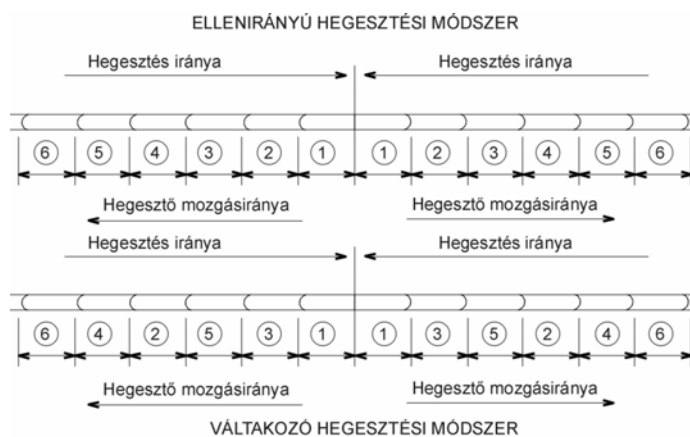
Gyakran kell eltérő vastagságú lemezeket tompavarrattal összehegesztetni a hajó vasszerkezetének különböző helyein, pl. ott, ahol egyes szakaszokon vastagabb lemezre van szükség, ezt betéttel oldják meg, ami jobb a lemez kettőzésénél. A vastagabb lemezt le kell vékonyítani a vele csatlakozó vékonyabb lemez vastagságára, mielőtt a két lemez-él leélezése megtörténne. A hegesztett egységek összeszerelésének megkönnyítésére találták ki az úgy nevezett 'tojástartó' konstrukciót. A kettősfenék belsejében elhelyezett hossztartók gerince és a keretborda oldalsó szakasza össze van fésülve, hogy egymásba illeszkedjenek már hegesztés előtt.

Hegesztési sorrendek

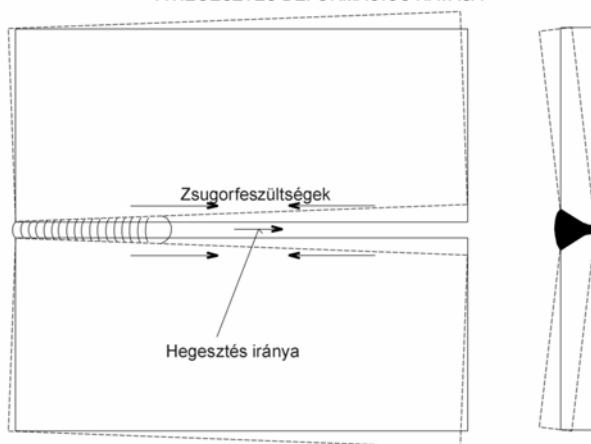
A hegesztési eljárás során a lemezbe bevitt hő miatt a fém kitágul, lehűlésnél pedig összehúzódik. A lehűlés során a varrat összehúzódása a lemezre is hatással van. Emiatt a szerkezet is alakváltozást szenved, ahol a lemez fékező hatása nem engedi a varratot teljesen összehúzódni. Ennek a fékező hatásnak az eredményeképpen szinte lehetetlen előre megmondani, hogyan fog a hegesztett szerkezet valójában deformálódni. Az azonban már ismeretes, hogy a tompavarratokban keletkező összehúzódás elsősorban a varrat hossza mentén lép fel, keresztirányban sokkal kisebb arányú. Ha annak érdekében, hogy a deformációt megakadályozzuk, ellenintézkedéseket teszünk (pl. lefogatjuk), a szerkezetben nagy feszültségek maradnak, ezeket pedig el kell kerülni. A deformáció elkerülése érdekében alkalmazzák gyakran az '*ellenirányú*' és a '*váltakozó*' *hegesztési módszereket*, az egyes lépések hosszát az a varratanyag mennyiség határozza meg, amelyet egy elektróda képes szolgáltatni, ha a varrat keresztmetszetét megnézzük (ld. 4.1.2.2.2.4 ábra).



4.1.2.2.2.3 ábra A lemez-élek előkészítése



A HEGESZTÉS DEFORMÁCIÓS HATÁSA



4.1.2.2.2.4 ábra Ellenirányú és váltakozó hegesztés

A deformáció csökkentését és a szerkezetben maradó feszültségek mértékét tekintve lényeges szempont, hogy a teljes építés során mindig a legmegfelelőbb hegesztési sorrendet alkalmazzuk. Ez nemcsak a műhelyben végzett szekciógyártásra vonatkozik, hanem a szekciók sólyatéri összehegesztésére és a már vízben levő hajó további szerkezetekkel való kiegészítésére is. A hajó építése során legfontosabb hegesztéseknél előre meg kell határozni a lemezterven a hossz- és keresztirányú tompavarratok sorrendjét (ld. 4.1.2.2.2.5 ábra). A T alakú varrat-találkozásokról szükséges, hogy a keresztvarratot folyamatosan végighegesszék,

majd kivéssék a két végét, és a hosszvarratot csak a megfelelő előkészítés után készítsék el. Amennyiben először hegesztenék meg a hosszirányú varratot, az a lemezsorban hosszirányban nagy feszültségeket hozna létre, ezért a keresztvarrat elkészülte után megrepedhetne az anyag. A *héjszekciók* hegesztése során az általános gyakorlat az, hogy a középső keresztvarratokkal kezdik a munkát, és utána hegesztik meg a szomszédosakat ill. a csatlakozó hosszvarratokat, tehát mind hossz-, mind keresztirányban belülről kifelé haladnak. A *hajószerkezeti szekciók* különféle merevítőket tartalmaznak, amelyek a lemezhez vannak hegesztve, ezeket általában azt követően hegesztik rá a lemezre, amikor annak a varratai már elkészültek. Ezeket a merevítő szelvényeket akkor sem hegesztik a lemezhez sem kereszt- sem hosszirányban a lemez varratainál, amíg azok el nem készültek, ha esetleg valami okból korábban kell őket a helyükre hegeszteni. A szekciók egymással való összehegesztésénél is azok az elvek érvényesek, mint a szekciók készítésekor. A hegesztett hajóknál az alacsonyabban levő hosszvarratokat csak akkor szabad elkészíteni, ha már a felsők, főleg a mestersor és a koszorú sor hosszvarratait meghegesztették. Ha ezt a hegesztési sorrendet betartják a hajó oldalleménél, a hajótest felső része összehúzódást szenved, azaz a hajó két vége felemelkedik az építő blokkokról. A korszerű hajóépítési elvek szerint megválasztott helyes hegesztési sorrend betartása esetén ez a gond nem merül fel. A hajók javításánál is fontos a helyes hegesztési sorrend, különösen, ha a viszonylag rideggé vált szerkezetbe új szerkezeti elemeket illesztenek be. A munka menete itt is a kereszt- és hosszvarratok sémáját követi. Ha új héjlemezt kell beiktatni egy régi helyére, a kereszt- és hosszvarratokat a nyíláson túl ki kell vésni 300-375 mm hosszúságban; ugyanazt kell tenni a merevítőkkal is a lemezcseré helyén. Csak ezt követően hegesztő meg az összes keresztvarrat a kivésett helyen is, majd a hosszvarratok, végül a merevítők a már elkészült lemezvarratokon keresztül, ezek közül először a hossz- és legvégül a keresztbordák kerülnek sorra (4.1.2.2.2.5 ábra).

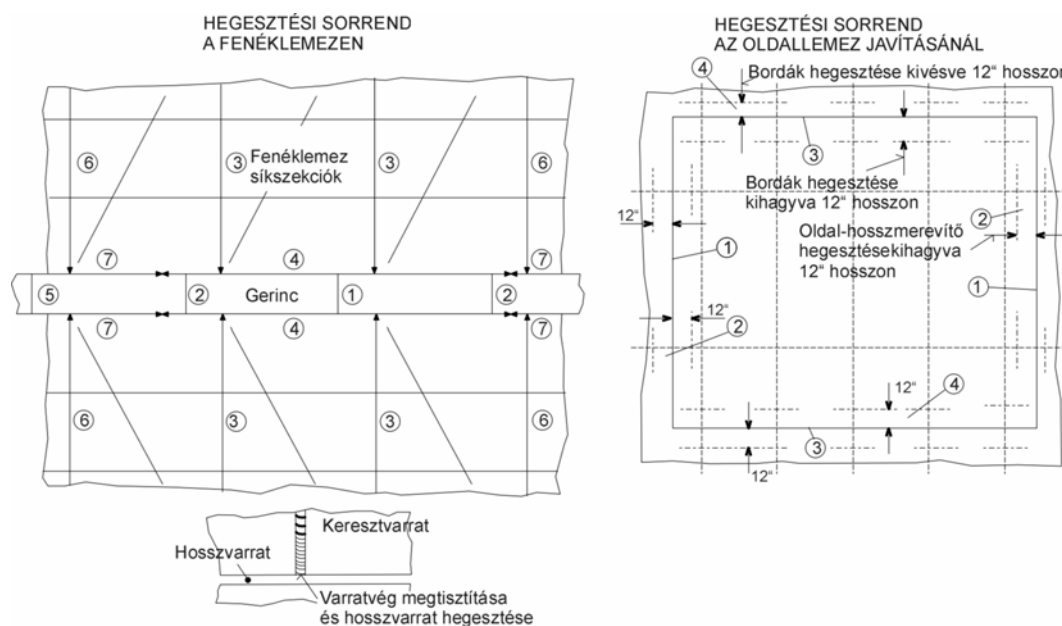
A hegesztések vizsgálata

Gazdaságossági okokból a hajóépítésben a hegesztési vizsgálatok nagy részét a gyakorlott felügyelőknek kell elvégezniük. Helyszíni ellenőrzést kell végezni a kereskedelmi hajók építésénél a fontosabb varratokon adott szakaszonként, ehhez általában röntgenberendezéseket használnak. A hajók hegesztésénél használt anyagokat átfogó vizsgálatnak vetik alá az osztályozó intézetek, pl. a Lloyd's Register jóváhagyása előtt. Az intézetek megkövetelik, hogy olyan hegesztők legyenek alkalmazva, akik bizonyos időnként hegesztői vizsgát tesznek, hogy bizonyítható legyen a szaktudásuk színvonala.

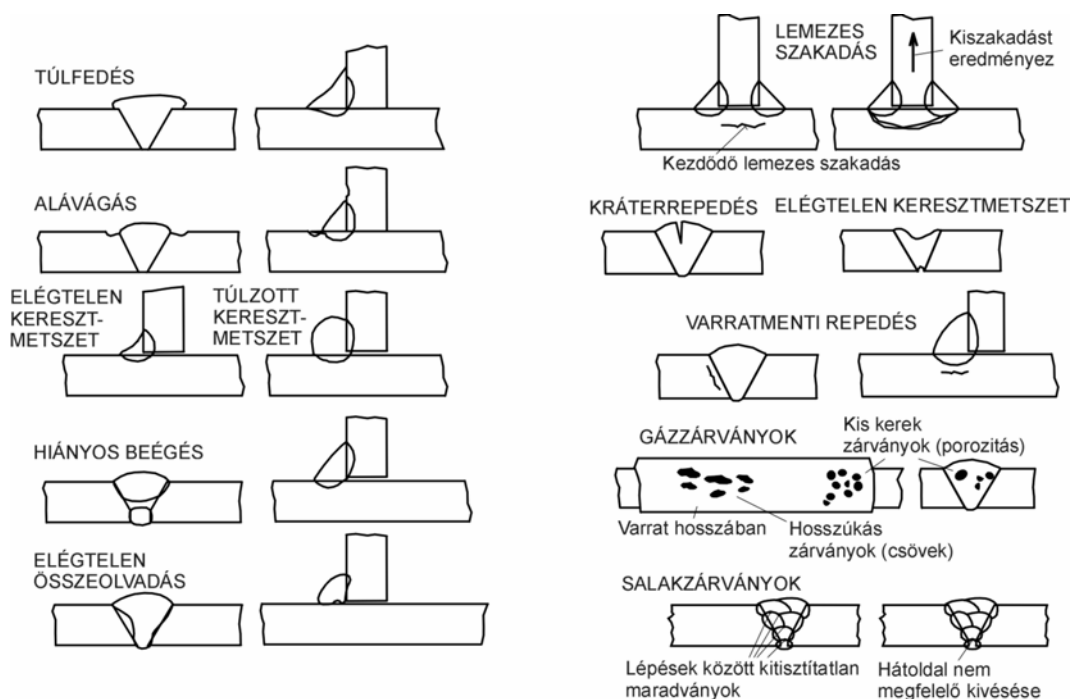
Hegesztési hibák. A tompa- és sarokhegesztéseknél különféle hibák fordulnak elő. Ezeket számos tényező okozhatja, pl. rossz tervezői munka, helytelen hegesztési eljárás, nem megfelelő anyagok használata és szakértelem hiánya. A 4.1.2.2.2.6 ábrán különféle hibák láthatóak. Annak elbírálása, hogy egy hiba mennyire komoly, a hegesztést vizsgáló minőségi ellenőr és a felügyelő feladata, ahol pedig a varrat elfogadhatatlanul gyenge minőségű, azt ki kell vésni és újra meghegeszteni.

RONCSOLÁS-MENTES VIZSGÁLAT

Nyilvánvaló okokból szükség van bizonyos fajta roncsolás-mentes vizsgálati



4.1.2.2.2.5 ábra Hegesztési sorrend

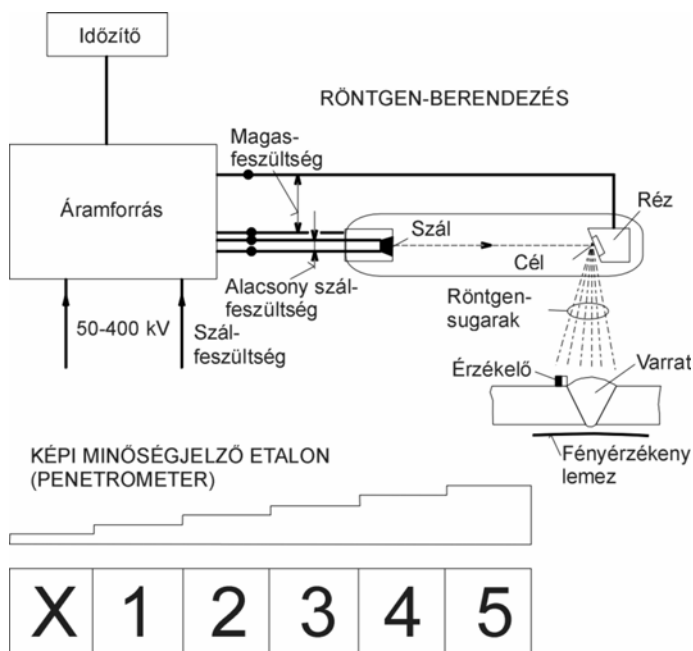


4.1.2.2.2.6 ábra Hegesztési hibák

módszerekre ahhoz, hogy a hajón elkészített varratok minőségét meg lehessen határozni. A következő felsorolás ezek közül a legfontosabbakat tartalmazza:

- szemrevételezés,
- varratfestés,
- mágneses részecskevizsgálat,
- röntgen,
- ultrahang.

Ebből az öt módszerből a varratfestés és a mágneses részecskevizsgálat alig fordul elő a hajóépítésben, mindössze a fartőke és hasonló öntvények felületi repedéseihez



4.1.2.2.7 ábra Hegesztési varratok röntgen-vizsgálata

alkalmazzák. A többi három azonban gyakori, így azokkal részletesen kell foglalkozni. A *mágneses részecskevizsgálat* úgy történik, hogy az öntvényt mágnesessé teszik és mágneses részecskéket tartalmazó oldatot permeteznek a felületre (pl. vasrészecskék parafinban). Mivel a mágneses részecskék oda koncentrálnak, ahol a mágneses mezőben változás van, bármilyen anyaghiba, pl. felületi repedés felismerhető. A varratfestés

hasonlóan mutat ki egy felszíni hibát, amikor a festéket lemosták, a repedésekben viszont ott marad. A felszíni repedés annál jobban felismerhető, mert a beszivárgó festék, amit használnak, gyakran lumineszkál, és ultraibolya sugarak hatására láthatóvá válik.

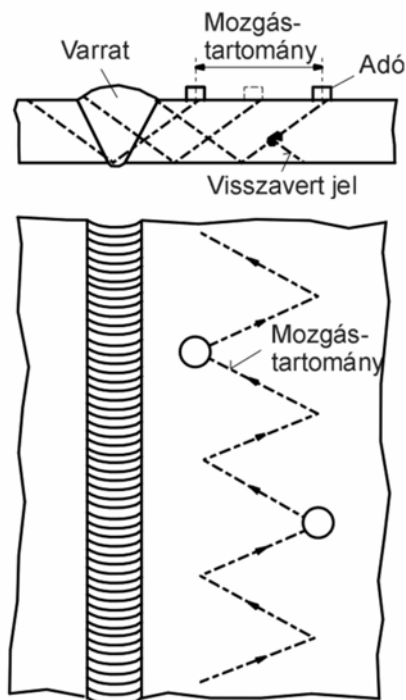
A *szemrevételezés* a hegesztési varratok esetében is rutin eljárás, ahol a felszíni hibákat a gyakorlott ellenőr vagy felügyelő felismeri. Helytelen alakú cseppek, túlzott fröcskölés, alámetszés, rossz vég- vagy kezdeti pontok, helytelen beállítás és felszíni repedések, ezek azok a hibák, amelyek ezzel a módszerrel kiszűrhetők. Természetesen a felszín alatti hibákat nem lehet így észlelni, viszont a szemrevételezés költsége kisebb a többi vizsgálaténál, és nagyon hatékony lehet ott, ahol a vizsgálatokat rendszeresen elvégzik a hegesztés előtt, alatt és után.

A *röntgenvizsgálat* elve az, hogy sugárforrást helyeznek el az anyag egyik oldalán és észlelik az áthaladó sugarakat a másikon. Minden akadály a sugárzás útjában az érzékelt jeleket módosítja. A sugarak a fényérzékeny lemezen képet hoznak létre, amit a hegesztési varrat minőségének elbírálására lehet használni. A negatív képen az anyaghibák sötétebb pontokként jelennek meg.

Ezeket a röntgenvizsgálatokat röntgensugár mellett gammasugarakkal is végzik. A röntgen berendezéshez nagyfeszültségű áramforrás (50-400 kV) tartozik, amelyet feszültség létrehozására használnak fel a katód és a cél-anód között egy üveg

vákuumcsőben. Az energiának csak kis hányada alakul át röntgensugarakká, ezért a veszteség-hőt el kell vezetni acéltól. A céltól a röntgensugarakat az üvegsőből a hegesztési felületre irányítják (ld. 4.1.2.2.2.7 ábra).

AZ ULTRAHANG JEL MOZGÁSA TOMPAHEGESZTÉSŰ VARRATNÁL



4.1.2.2.8 ábra Hegesztési varratok ultrahangos vizsgálata

Ahol gamma-sugaras készüléket használnak, ott a sugárzást radioaktív hasadásból nyerik, a sugárzás szintje az idő függvényében csökkenő jellegű. A kibocsátott sugárzást elektromágneses úton három összetevőre lehet bontani, alfa-, béta- és gamma-sugarakra, a gamma-sugár a röntgensugárhoz hasonló, és a három közül a legfontosabb, mivel minden áthatol; ez viszont azt is jelenti, hogy komoly sugárzás elleni védelemre van szükség. Mivel természetes radioaktív sugárforrásokat nem alkalmazhatnak, mesterségesekkel kell dolgozni, vagyis izotópokkal.

Az így nyert röntgen- vagy gammakép értelmezéséhez nagy gyakorlatra van szükség, valamint a hegesztési eljárás alapos ismeretére. A felvételek általában egy 'képi minőségjelző' etalont is tartalmaznak, amely a technikával kiderített minimális vastagságváltozást mutatja. Ez az etalon a

fém vastagságához számokat rendel, mindegyik vastagsági fokozat ki van jelezve, így a minimális szükséges vastagság is látható, és a felvétel érzékenysége is figyelembe van véve. Az etalont a felvétel készítése előtt a hegesztési varrat mellé teszik.

Ultrahang technika is egyre inkább előfordul a hegesztési varratok hibáinak kiderítésében, az eljárásnak a sugárzással végzett szemben számos előnye van, különösen az, hogy nem veszélyes az egészségre. Az eljárás különösen a mikro-repedések kiderítésében jól használható, amelyeket a röntgenfelvételek nem mutatnak ki, leginkább, ha a sugárforrásra merőlegesek.

Az ultrahangos vizsgálat elve az, hogy a nagy energiájú ultrahang visszaverődik minden felületről, amellyel találkozik. A lemezen áthatoló ultrahang-hullámok a fém külső felületéről és minden belső hiba felületéről visszaverődnek. Mivel a fém-levegő határnál teljes visszaverődés történik, ezért ahhoz, hogy az ultrahang belépjen a fémbe, a hangforrás és a fém közé folyadéknak kell kerülnie. A visszaverődés rajzolata katódsugárcsővön figyelhető meg, amelynek kalibrálásához egy szabványos referenciátömböt használnak. A gyakorlott vizsgáló képes a katódsugárcső kijelzőjén felismerni a hibákat, bizonyos mértékig még a hibák típusa is meghatározható. Az ultrahangos eljárások a hegesztési hibák vizsgálatán kívül alkalmasak a szerkezeti elemek vastagságának meghatározására is.

OSZTÁLYOZÓ INTÉZETI HEGESZTÉS-VIZSGÁLATOK

Az osztályozó intézetek számos roncsolásos vizsgálatot írnak elő, amelyek célja a munka kezdetén az elektródák és hegesztőpálcák jóváhagyása. Ezeket a tesztek azért végzik el, hogy megbizonyosodjanak arról, a használni kívánt elektróda és hegesztőhuzal együttese valóban megfelel-e hajóépítési célokra abban a kategóriában, ahova azokat a gyártó besorolta.

A tesztek elvégzik a szokásos elektródákra, mély beégésű elektródákra, huzal-védőgáz és huzal-védőpor kombinációkra, fogyó-elektródákra elektro-salakos és elektro-védőgázos hegesztéshez, valamint fogyóelektródákra egyoldalú hegesztéshez és ideiglenes hátlaphoz. A tesztek fajtái: szakítópróba, hajlító-próba és ütőmunka teszt, amelyeket mind tiszta varratanyaggal mind hegesztett lemez próbadarabokkal elvégeznek. Egyéb tesztek között van a varrat anyagának összetétele ill. a repedési hajlam vizsgálata.

Az összes olyan gyártóművet, ahol elektródákat, hegesztőhuzalokat védőporos és védőgázos eljáráshoz, fogyóelektródákat elektro-salakos és elektro-védőgázos hegesztéshez, illetve fogyóelektródákat egyoldalú hegesztéshez és ideiglenes hátlaphoz gyártanak, és amelyek a gyártás megkezdése előtt az intézet jóváhagyását elnyerték, évente kell felülvizsgálatnak alávetni.

4.1.3 Az acélszerkezet kialakítása

A hajótest gyártása – vagy sokkal inkább építése – során olyan munkaszervezési feladatokat is el kell látni, amelyek lehetővé teszik, hogy a hajót könnyebben (vagy sok esetben egyáltalán) meg lehessen építeni. Elő kell készíteni és előgyártási folyamatokon kell átbocsátani a lemez- és szelvényanyagokat, hogy a tényleges gyártás (hegesztés) elvégezhető legyen.

Lemez- és szelvény-előkészítés és megmunkálás

A következőkben azokkal a munkafázisokkal foglalkozunk, amelyeken a lemezek és a szelvények mennek keresztül attól kezdve, hogy a hajógyárba beérkeznek, addig, amíg el nem nyerik végső formájukat arra készen, hogy behegesszék őket a hajó szerkezetébe. Az utóbbi években nagyon minden változott a hajógyáraknak ebben a tevékenységi körében, aminek fő oka az volt, hogy gazdaságosan fenntartható sima anyag- és félkész-termék áramlást kellett kialakítani ebben a termelési fokozatban.

Lemez- és szelvény-előkészítés. Az anyag megfelelő előkészítése lényeges szempont ahhoz, hogy beépítés után megbízható elem legyen a szerkezetben, precíz rend szerinti tárolása pedig beérkezésétől kezdve a hajóépítés hatékonyságát javíthatja.

VASUDVAR

A hajógyár területére való megérkezés után a lemezeket és szelvényeket a *vasudvar* területén tárolják átmenetileg. A vasudvar általában olyan méretű fedetlen terület, amely elegendő helyet biztosít ahhoz a lemez- és szelvénymennyiséghez, amely a gyár néhány havi zavartalan működéséhez kell. Azokban az országokban, ahol biztonságos az ellátás acéltermékekből, ez a tárolt mennyiség kb. háromhavi tartalékot jelent, ahol azonban nincsenek megfelelő acélgyárak, nagyobb mennyiségre is szükség lehet. Ezzel szemben a japán hajógyárak olyan szorosan együttműködnek az acélgyártó cégekkel, hogy akár egyhavi tartalékkal is tudnak dolgozni.

Amikor a hengerműhöz beérkezik a megrendelés, a hengermű azokat a részleteket és azonosító kódokat is megkapja, amely lehetővé teszi az egyes tételek megjelölését. Amikor az anyag a hajógyárba beérkezik, mivel a kódolás általában a szekciós számokat jelzi, célszerű a lemezeket és szelvényeket az adott hajóhoz tartozó területen tárolni. Más szavakkal minden egyes hajóhoz tartozó anyag rendelkezik a vasudvarban egy saját kijelölt hellyel, ezt tovább lehet osztani a hajó fő egységeinek megfelelően. Az anyagbeszállítást és tárolást a gyártástechnológiai gyakorlattal összhangban irányítják, hogy a hajók építésének programjának feleljen meg.

A lemezeket általában vízszintesen tárolják egymásra rakva az előírások szerint. Korábban az volt az elterjedt gyakorlat, hogy megfelelő rekeszekben a lemezeket függőlegesen tárolták, ez az időjárás miatt volt kedvezőbb, de ma már ez a rendszer nem szokásos, megfelelő darabszámban egymásra rakva vízszintesen tárolják.

Ahol az anyagmozgatáshoz darukat alkalmaznak, fontos szempont, hogy a teljes vasudvarra vonatkozóan elegendő hozzáférés legyen, az anyagot pedig a fedett területre lehet kellő időben átszállítani. A darutípus leggyakrabban elektromos hajtású *felsőpályás futódaru*, amely a vasudvart és a fedett műhelyt egyaránt el tudja látni; alternatíva lehet egy *görgős szállítóberendezés*, amelyre ráhelyezve a lemezek a

műhelybe jutnak. Emelésnél a lemezeket mágneses fogóval, a szelvényeket pedig kötöző-kötéllal rögzítik, a daru teherbírása ritkán haladja meg az öt tonnát. A vasudvar anyagmozgatásának fejlesztését szolgálja az 'előrendező' nevű készülék. A gyártásba kerülő lemezeket előre be lehet helyezni az előrendezőbe, amely távolról irányítható, így, ha egy lemezre sor kerül, kiemeli azt a rakás tetejéről mágneses fogóval, és a görgős szállítóra helyezi. Az ilyen módon felszerelt vasudvar alkalmas az automatizálásra.

LEMEZMÁNGORLÓ

Mángorló a neve annak a berendezésnek, amely robosztus hengerek segítségével az átfuttatott lemezeket kiegyengeti megmunkálás előtt. A szállítás közben ugyanis a lemezek deformálódhatnak, a legtöbb korszerű gépi eljárásnál pedig fontos, hogy a lemezek minél tökéletesebben síkban legyenek. Általában két mángorló van használatban, egyik ezek közül a vastag, a másik a vékony lemezekhez, de ma már az is előfordul, hogy a berendezés szélesebb lemezvastagság tartományban is beállítható.

SÖRÉTFÚVÁS

A lemezeket és a szelvényeket a legtöbb esetben söréttel tisztítják meg a rozsdától és a hengerművi revétől. A *sörétfúvással* részletesebben a korrózióvédelemnél foglalkozunk. A hajógyárakban a sörétfúvó üzem általában a járókerekes típusból való, ahol a kerék a szemcsés anyagot nagy sebességgel az acélfelületre repíti, azt követően az anyagot újra fel lehet használni. A lemez általában függőleges helyzetben halad át, de vannak vízszintes berendezések is. A függőleges helyzetbe a lemezt a görgős szállítóról külön készülék emeli fel, mielőtt az belépne a szóróba, utána pedig vissza kell megint helyezni. A vékonyabb lemezek nagyon hajlamosak a deformálódásra függőleges helyzetben. A vízszintes berendezéseknél viszont gondot okoz a lemez felső oldaláról a szemcsés anyag eltávolítása. A szelvényekhez általában külön sörétfúvó berendezést állítanak fel.

ALAPOZÓ-FESTÉK

A sörétfúvást követően a lemezek és szelvények azonnal a festékszóró berendezésen haladnak át. Az anyagot egyetlen lépésben szórják be a pontosan beállított vastagságú alapozó festékréteggel. Számos megfelelő alapozó festék áll rendelkezésre; ezekről is a korrózióvédelemnél szólnunk bővebben. Az alapozó festék felhordása után szárítás következik.

A LEMEZEK KEZELÉSE A GÉPMŰHELYEKBEN

A gépi megmunkálást végző műhelyekben felsőpályás elektromos futódaruk vannak felszerelve, teherbírásuk 5-15 tonna, ezek szállítják a lemezeket és szelvényeket az egyes gépi megmunkálásokhoz. Az egyes megmunkáló gépek is gyakran fel vannak szerelve forgódarukkal, a gépi megmunkálás közben ezzel mozgatják a munkadarabot. A lemezek kezelésében sínen mozgó elektromos targoncák is részt vehetnek, ezek továbbítják a lemezeket az egyik gépről a másikra. Ezt a munkát nagyfokú automatizálással is el lehet végezni, ahol a szállítóberendezések, lángvágó asztalok ill. egyengető és szorító-berendezések integrált irányítás alatt működnek.

A lemezek és szelvények gépi megmunkálása. Azok a módszerek, amelyek a lemezeknek a kívánt alakra történő alakítására szolgálnak, általában időigényesek. Ez különösen azokra érvényes, amelyekkel a lemezeket a hajótest görbe felületébe kell beilleszteni, az

ehhez szükséges információ a mai modern hajógyárakban a rendelkezésre álló CAD/CAM rendszerekből beszerezhető. A sík lemezek kívánt alakúra történő vágását az elmúlt évtizedben magas fokon automatizálták, nagyon fejlett szerszámgépeket vezettek be ehhez a feladathoz. A vágást magát leginkább oxigénnel és acetilénnel vagy plazmával végzik.

LEMEZVÁGÁS

Ahol a lemezből egy vagy több bonyolult alakú darabot kell kivágni, *vágógépet* alkalmaznak. Az ilyen gépeket, ha a vágást gázzal végzik, lángvágógépnek hívják. Az összes láng- vagy plazma-vágógép rendelkezik automata vezérléssel, azonban ezek bonyolultsága széles skálán változhat; az alábbiakban soroljuk fel a hajógyárakban megtalálható *vezérlési formákat*:

(a) 1:1 léptékű sablon- vagy rajzvezérlés,

(b) 1:10 léptékű rajz,

(c) NC (numerical control, számjegyvezérlés).

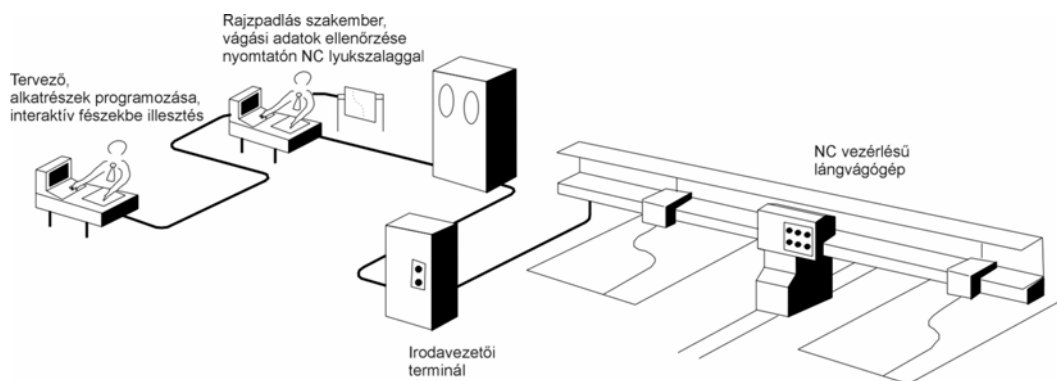
(a) A vágógép vezérlésére használható egy természetes nagyságban készült sablon vagy rajz, ami ott előnyös kifejezetten, ahol azonos darabot kell nagy darabszámban kivágni. A tétel mérete nyilvánvalóan korlátozott, a pozíciót pedig, ahol a nagy táblán az adott tétel elhelyezkedik, a gép kezelője dönti el. Sablon esetén mechanikus követő használható, rajznál egy elektronikus levilágító készülék követheti a körvonalat.

Bármelyik esetben egyszerű nem-automatizált gépet lehet alkalmazni, ha a kezelőnek kell követnie a sablon körvonalát vagy végigvezetni a követő fejet a rajzon. A hajóépítésben azonban korlátozott az ilyen gépek használhatósága, legfeljebb egyforma csomólemezek, stb. kivágására alkalmasak.

(b) A korábbi lángvágógépek a hajógyárakban 1:10 léptékű rajzvezérlésűek voltak, amelyeket, ahogy a hajótervezésnél láttuk, a rajzpadlás személyzete készített. A gép vezérlőszerkezetét a lemezvágó műhelyen belül egy elsötétített fülkében helyezték el. A fotocellás követőfej a rajzasztalon elhelyezett rajz vonalát követte, végighaladva a rajzoló szakember által papírra vetett vonalon a starttól a végpontig olyan sorrendben, amit a rajzoló határozott meg. A vezérlést a műhelyben elhelyezett gépre kapcsolták, amelynek kocsiára szerelt tartókon voltak az égőfejek. Általában két tartó volt felszerelve, így a gép egyidejűleg két lemezt vághatott, amelyek egyformák vagy tükröszimmetrikusak voltak. Mindkét fejre három fűvóka volt felszerelve, amelyekkel a különböző leélezéseket is meg tudták valósítani. A láng távolsága lemeztől automatikusan volt szabályozva, és vágás közben a sebesség is vezérelve volt, bár két vágás között a fej mozgását fel lehetett gyorsítani. Ezeknek a gépeknek a későbbi változatai már két követőfejjel rendelkeztek, így az is lehetséges volt, hogy egy lemez mindkét felét, amikor a körvonalak eltérőek voltak, egyidejűleg lehessen kivágni. Ezzel a géptípussal olyan tartozék is járt, amellyel a lemezeket a kívánt helyeken meg lehetett jelölni, hasonlóan a kézzel történő megjelöléshez.

(c) A hajógyárak zöme ma már számjegyvezérlést használ a lemezek kivágásához, az optikai vezérlés elavult. A fő ok, hogy az 1:10 léptékű rajzok készítése magas szintű szaktudást igényel, és az ilyen emberek képzése költséges. Emellett azonban az is jelentős, hogy a plazma-íves eljárással elérhető nagyobb vágási sebességek már nehézkessé teszik az optikai vezérlést.

Számjegyvezérlésnél a gépet egy lyukszalag vezérli, amelyen a kivágandó alak koordinátái vannak rögzítve. Az egyszerűbb idomoknál a körvonal főként egyenesekből és körívekből áll, a koordinátákat ilyenkor kézzel is be lehet adni, de számos lemeznél a körvonal sokkal bonyolultabb. Ezeknek a körvonalaknak a manuális programozása jelentősen csökkentené az eljárás hatékonyságát, emiatt különféle kódolt adatrendszereket fejlesztettek ki az elején, amelyek a digitális programozáshoz megfelelőek voltak. Azonban a CAD/CAM rendszerek megjelenésével az integrált szoftver ma már tartalmazza, amint a hajótervezésnél láttuk, a rajzoló szakember számára az alkatrészek programozását is, illetve azok elhelyezését a lemeztáblán, illetve a vágási információt, amellyel automatikusan el lehet készíteni az NC szalagot. A szalagot be lehet olvasni a vezérlőbe, amely a lángvágógép szervomechanizmusa számára elkészíti a vezérlő jeleket. Az általános elrendezés a 4.1.3.1 ábrán látható. Ezeket a gépeket is, hasonlóan az 1:10 léptékű optikai vezérlésű gépekhez, el lehet látni olyan tartozékokkal, amelyek a táblákat megjelölik.



4.1.3.1 ábra Számjegyvezérlésű lángvágó berendezés

SZÉLEZŐ-GÉPEK

A lángvágógépekre lényegében ott van szükség, ahol a lemeztáblából bonyolult formájú darabokat kell kivágni. Sok lemeztábla azonban a hajó héjazatából, mint pl. a sík oldallemezek, fedélzetek, tankfedelek, válaszfalak, stb., csak egyengetést és a szélek megmunkálását igényli, illetve minimális méretigazítást. Ezt a munkát egy szélező-gépen lehet elvégezni, amely általában láng- vagy plazmavágóval működik.

A lángvágó szélező-gép alapjában három tartóból áll, amelyek tartják az égőfejeket, és a gép a lemezmegmunkáló terület két szélén levő két sínen mozog. Egyik tartón két égőfej van, ezek a lemeztábla két szélének igazítását végzik mozgás közben, a másik két tartó pedig egy-egy fejet tart, amelyek a tartón keresztirányban mozognak, és a lemeztábla végeit igazítják. Mindegyik vágófej felszerelhető három fűvókával, és így a szükséges leélezést is el lehet velük végezni. A lemez, a tartó és a vágófej beállítása kézzel történik, azt követően azonban minden programozott.

A lángvágó szélező-gépek bevezetése előtt mechanikus gépekkel végezték a lemeztáblák szélének megmunkálását, és ott, ahol nem acéllal kell dolgozni, ezek előnyösebbek. Nagyobb vágósebességet lehet velük elérni, mint lánggal, a hidraulikusan lerögzített lemezt a kocsira szerelt forgó szerszám függőleges éle

munkálja meg. A leélezésnél azonban a hagyományos gyalukésekkel felszerelt régebbi gépek több menetet igényelnek, így lassabban dolgoznak a lángvágóknál. A kritikusabb hegesztések előkészítésénél azonban, ahol fontos a leélezésnél kapott felület minősége, a mechanikusan megmunkált lemezek előnyösek. A *mechanikus szélezést* tulajdonképpen a plazma-íves szélező-gépek szorítják ki, mivel ezek jó felületet adnak nagyobb vágási sebesség mellett.

FÚRÓGÉPEK

Néhány lemezbe vagy szelvénybe lyukakat kell fúrni, pl. csavarozott fedelekbe és hordozható tartókba. A fűrőgépek leginkább oszlopos *radiális fűrőgépek*.

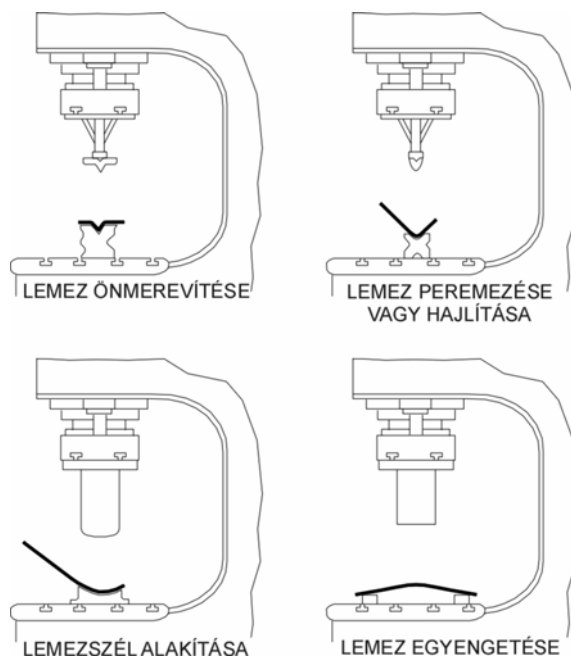
LEMEZOLLÓK

Lemezből készült kisebb darabokat, amilyenek pl. a különféle csomólemezek, hidraulikus működtetésű *lemezollókon* lehet kivágni. A lemezollókba a görgős megfogókön mozgatott lemeztáblát kézzel adagolják be, a pozicionálás is úgy történik.

SAJTÓK

Hidraulikus sajtókat széles körben alkalmaznak a hajógyárakban számos célra.

Használhatóak hajlításra, egyengetésre, karimázásra, peremezésre és hasonló műveletekre (ld. 4.1.3.2 ábra). A lemezeket hidegen munkálják meg, és a munkához legfeljebb görgős megfogókra van szükség. A sajtók üzeme olcsó, de szaktudást igényel és csak kisebb darabszámok esetében jöhet szóba.



4.1.3.2 ábra Hidraulikus sajtóval végzett munkák

LEMEZHENGEREK

Hidraulikus működtetésű nehéz hengereket is használnak arra, hogy a lemezeknek és szelvényeknek a kívánt görbületet megadják. A gép lényege a két alsó meghajtott henger, amely behúzza a lemezt, a felső kisebb átmérőjű henger szabadon fut (ld. 4.1.3.3 ábra). A felső henger egyik vagy mindkét végét lehet szabályozni függőlegesen, az alsó hengerek pedig közelebb vagy távolabb állíthatók be. A korszerű hajlító-hengerekkel akár 45 mm vastagságú lemezeket is lehet formálni, akár félkör is hajlítható velük. Ezek a nagy hengerek

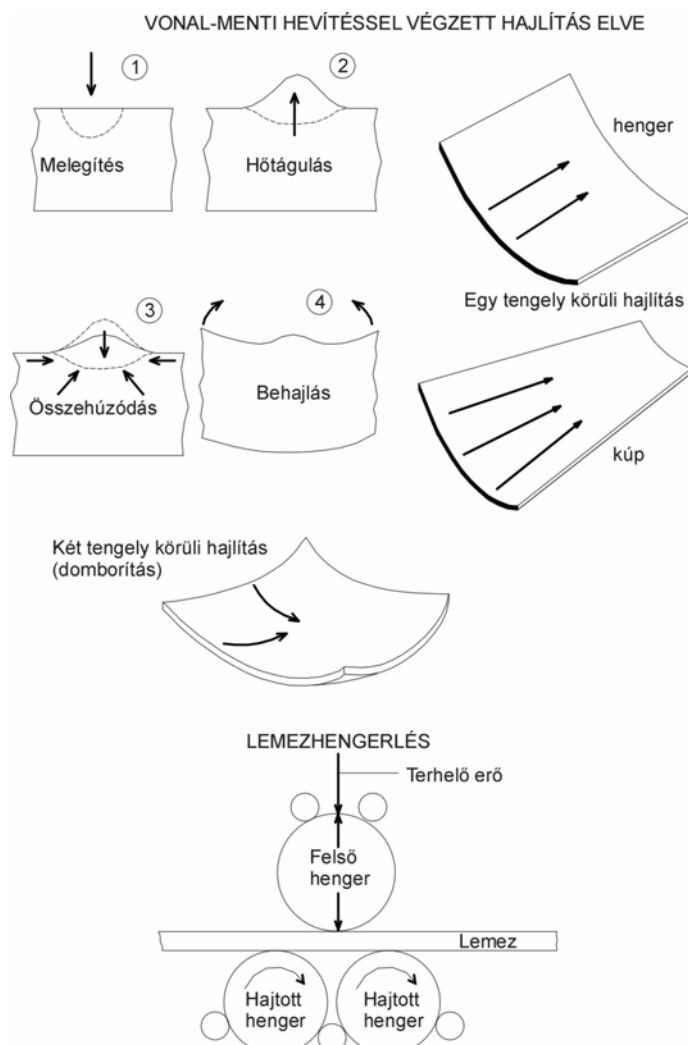
rendelkezhetnek olyan tartozékokkal, amelyekkel komoly peremezési műveleteket lehet végrehajtani, a felső tartóra gyakorolt terheléssel pedig önmerevített válaszfalakat lehet létrehozni.

A lemezek teljes körben való meghajlítására is szükség van árbocokhoz és árbocdaru gémekhez, illetve az aktív orrkormányok alagútjaihoz. Ezekhez különleges vízszintes vagy függőleges hengereket alkalmaznak.

HEVÍTÉSSSEL TÖRTÉNŐ DOMBORÍTÁS

A *hevítés segítségével történő domborítás* a hajóépítésben elterjedt eljárás akár egy akár két tengely körüli görbület létrehozására a lemeztáblában.

Ez az eljárás azonban a legutóbbi időkig igen nagy szaktudást igényelt, és nem volt garantálható a nyert alak pontossága.



4.1.3.3 ábra Héjlemez-táblák alakítása

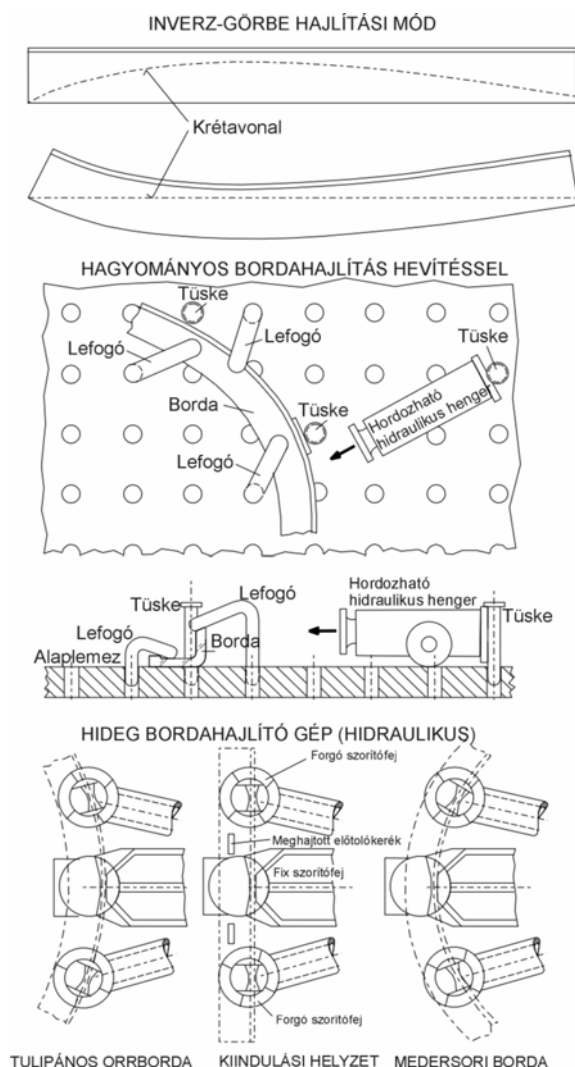
Hőt vezetnek be egy lemeztábla felületén levő vonal mentén hegesztőpisztoly segítségével, az azonnali hűtést pedig levegővel vagy vízzel végzik. A keskeny sávon felmelegített anyag a lemeztábla nagy tömegének hűtőhatása miatt nem tud a felület mentén deformálódni, emiatt a lemezfelületre merőlegesen tágul ki. Lehűlésnél azonban az összehúzódás a lemez felületén következik be, ez arra készteti a lemezt, hogy konkáv alakot vegyen fel a melegített oldalon (ld. 4.1.3.3 ábra). A gyakorlott szakember képes arra, hogy a kívánt alakot megközelítőleg létrehozza a melegítési vonalak segítségével. A hevítéssel történő görbítés vagy domborítás többnyire időigényesebb a hengerlésnél, viszont előnye az, hogy merevítők vagy más lemeztáblák

hozzáhegesztésekor jobban megtartja az alakját. Ez gyakran fontos szempont, mivel az alakhűség létfontosságú lehet a szekciók helyükre történő hegesztésénél, amikor minden korrekció sok időbe telik.

Japánban az utóbbi években kifejlesztettek egy teljesen számítógéppel irányítható hővel történő domborítási eljárást hajóépítési célokra. Ez a gép igen nagy pontosságú, megismételhető az elvégzett művelet, ezért majdnem kétszerese a termelékenység, mint a kézi eljárásnak.

Bordahajlítás. A hagyományos eljárás a hajótest merevítőinek hajlítására a hajójavításban még mindig előfordul, ezért erről is beszélni kell. A '*hajlító-sablon*' olyan lágyacél lapos-acél rúd, amelyet a *bordasablon rajz* alapján hajlítanak méretre, és amelyet a *bordahajlító táblára* helyeznek. Ez utóbbi egy robosztus öntöttvas tábla,

amely lyukakkal van ellátva, ezek közül a borda formájához legmegfelelőbbeket kiválasztják, és kirajzolják a felületen a borda formáját, figyelembe véve a vízvonalak összetartása miatti korrekciót. A borda lehülés során várható alakváltozását is figyelembe veszik, és ennek megfelelően deformálják a hajlító-sablont, mielőtt



4.1.3.4 ábra Bordahajlítás

csapokkal és kampókkal a hajlító-táblára rögzítik. A kemencében felhevített bordát a lerögzített sablonhoz hajlítják amilyen gyorsan lehet. A munka nagyon megterhelő, nehéz kalapácsokat és hidraulikus hengereket használnak hozzá. A borda nemcsak síkbeli alakját kell, hogy felvegye, hanem arra is ügyelni kell, hogy a gerinc a hajlítástól ne hajtódjon ki, ezt állandó ütögetéssel biztosítják.

Amint már említettük, a vízvonalak a hajó vonaltervében csak a hajóközépen párhuzamosak a hajó hossz tengelyével, így azoknál a bordáknál, amelyeknél a hajó oldala azzal szöveget zár be, a borda gerincét el kell csavarni a héjlemezre merőlegesen. A művelethez külön csavaró-gép áll rendelkezésre, de a munka nagy figyelmet kíván.

Amint a hajlítás elkészült, a bordát hagyják lehűlni, de le kell szorítani, hogy megtartsa az alakját. Hideg állapotban összehasonlítják a táblán kirajzolt vonallal. Közben a hajlító-sablont átfordítják, hogy a hajó másik oldalához szükséges azonos bordát meg lehessen

hajlítani.

HIDEG BORDAHAJLÍTÁS

Ma már mindennapi gyakorlat a hajóbordák hidegen történő hajlítása erre a célra kifejlesztett gépek segítségével. A hajlítás egy vízszintes hidraulikus hengerrel történik, a bordát fogókészülékek tartják rögzítve (4.1.3.4 ábra). A gépeken minden szelvény típust lehet hajlítani, a méret szab határt. A helyes alak eléréséhez 'inverz görbe' módszert vagy számjegyzérlést alkalmaznak. Az 'inverz görbe' módszerrel a rajzoló szakember a CAD/CAM rendszerrel határozza meg az inverz görbét, amelyet krétával rajzolnak rá az egyenes szelvényre, amelyet aztán addig hajlítanak, amíg a krétavonal egyenes lesz (ld. 4.1.3.4 ábra). A hidraulikus működtetésű hideg bordahajlító gépet hasonlóképpen vezérelni lehet lyukszalaggal NC vezérlő berendezéssel, mint a

lángvágógépet, ahol a borda vonalát a számítógéppel kiegyenlített vonalterv adataiból lehet meghatározni.

Robotok. A robotokat az utóbbi években már olyan vezérlő berendezésekkel lehet beszerezni, amelyek sokkal alkalmazhatóbbá teszik őket a hajóépítő műhelyekben uralkodó viszonyokhoz. Például ma már a legtöbb robot az '*adaptív vezérlés*' valamilyen formájával van felszerelve, amely visszajelzést ad a környezetről, és így lehetővé teszi a robot karjához beállított pálya automatikus korrekcióját, illetve funkciójának helyesbítését. Az 'off-line' programozás lehetősége és a szimulációs csomagok megléte viszont arra ad lehetőséget, hogy távolról is irányítani vagy tesztelni lehessen a robotot. Ezen a módon a robot zavartalanul dolgozhat, miközben új programok készülnek számára.

A világ hajógyárai és a hajógyarak rendszereinek szállítói közül sokan fejlesztettek ki hajóépítésben használható robotokat. Ezeknek a fejlesztéseknek a nagy része teljesen automatikussá tette azokat a hegesztési eljárásokat, amelyekről korábban szó volt, de ezen kívül a láng- és plazmavágás alkalmazása és kipróbálása, illetve a helyszíni sörétszórás és festés ill. jelölés is célterület. A hajóépítéshez eddig kifejlesztett robotok vagy nagy méretű darugémmel felszerelt gépek, vagy kis hordozható készülékek. Az előző gyakran csak tartja és mozgatja a rá felszerelt tényleges robotot, illetve fel van szerelve a vezérlés által megkövetelt érzékelőkkel, így a vágási és hegesztési eljárásokhoz használatos. Az utóbbi kézi módon szállítható vagy saját meghajtással rendelkezik a helyváltoztatáshoz, néha még függőleges irányban is, vagy a robotfunkciók tartalmazzák a mozgást is, és a nehezebb szituációk során helyi varratok készítésére használják őket, vagy esetleg tisztításra és festésre.

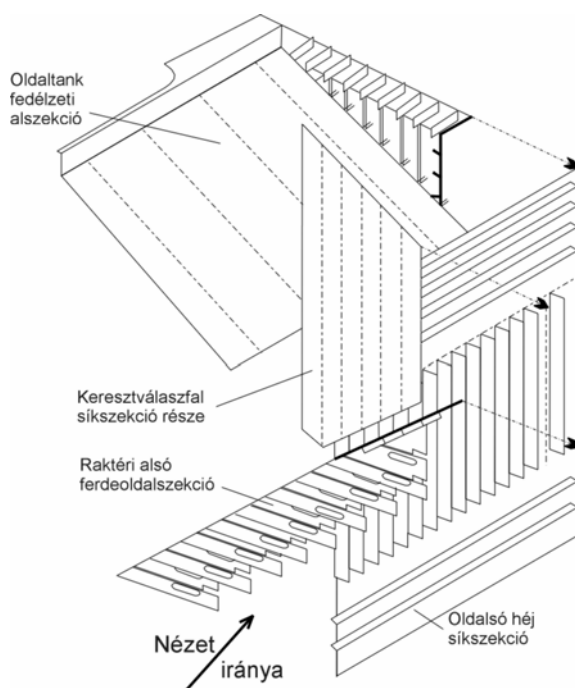
A robotprogramozó rendszerek közül sokat csatlakoztatni lehet a hajógyár CAD rendszeréhez, így a robot számára készült programokat 'off-line' üzemmódban le lehet futtatni a 3-dimenziós grafikai programokon, amelyek szimulálni tudják a robot munkáját, mielőtt azt a valóságban üzembe állítanák.

A robotok alkalmazása egyszerre két oldalról nézve is előnyös. Először is a nehéz és kényelmetlen helyzetben végzendő munkák alól mentesülnek a dolgozók, másodsor pedig nő a termelékenység és csökkennek a gyártási költségek.

Szekciógyártás

A II. Világháború folyamán rövid idő alatt kellett nagy számú kereskedelmi és hadihajót építeni. Ez erősen felgyorsította a hegesztés alkalmazásának elterjedését a hajógyártásban, és a tömeggyártási eljárások is gyakrabban jelentek meg az iparágban. Ebben az időben vált elfogadottá a *szekciógyártás* (más néven előgyártás), vagyis az a hajóépítési mód, amikor a hajó egyes különálló részeit a műhelyben előre összeállítják és meghegesztik, majd ezeket a sólyatéren ill. a dokkban hegesztik össze komplett hajótestté, sőt, ez a technika tudományos háttérrel is rendelkezett. Az egységeket gyakran a hajógyártól messze eső területen építették össze, az összeszerelést pedig a hajógyáron belül olyan program szerint végezték el, ami még ma is elismerést kelthet. Ezeknek az ezen a területen igen látványos eredményeknek nagy részét az USA hajógyáraiban érték el, ahol a háborús időszakban szükségessé váló többlet hajótér legnagyobb részét építették ezeknek az új fejlesztéseknek a segítségével. Sajnos ennek

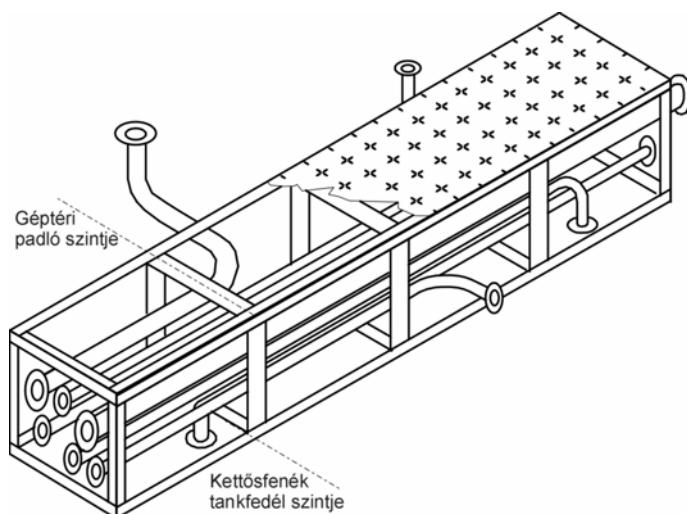
hirtelen jellegű építési programnak az eredményei nem mindig voltak kielégítőek; a hegesztett szerkezetekkel kapcsolatban például nem voltak még megfelelő tapasztalatok, emiatt nem mindig volt kidolgozott technológiája az eljárásnak. Azóta, hogy a szekciógyártás fokozatosan elfogadottá vált a kereskedelmi hajók építésénél az említett ország hajógyáraiban, a létesítményeket a technológia alkalmazásához átalakították máshol is, és komoly tapasztalatokat szereztek a szekciógyártásban. Ma már valamilyen szinten minden hajó szekciógyártásban épül.



4.1.3.5 ábra Tömégáru szállító hajó oldalszekciója

A szegecselt technológiával készülő egységeknél ritkán alkalmazták a szekciógyártást, mivel a hegesztés sokkal előnyösebb volt ennél az építési módnál. Hegesztésnél például a formák egyszerűbbek (nincs szükség átlapolásra a lemezek toldásánál a héjazat esetében) és a tűréshatárok is szélesebbek. A szekciókat fedett területen lehet összeépíteni, ami a legtöbb mérsékelt égövi hajógyárnál előnyt jelent, nemcsak azért, mert jobb a munkafeltételek, hanem a hegesztéshez szükséges feltételek jobb kielégítése miatt is. Lehetőség van például arra, hogy a szekciókat forgassák, ami kézalatti

hegesztést tesz lehetővé, és annak elvégzése sokkal egyszerűbb, ezért a várható eredmények is jobbak. Hatalmas előnyöket rejt, ha a függőleges és fejfeletti hegesztést minimális szinten lehet tartani. A központi szolgáltatások is jobban hozzáférhetőek a műhelyben, gáz a vágáshoz, levegő a véséshez és elektromos hálózat a hegesztéshez, ezeket oda lehet vinni, ahol arra éppen szükség van. A gyártástervezési technikákat a szekciógyártási sorrendhez lehet alakítani, az anyag- és munkaigényt egységcsoportok szerint lehet tervezni, és a hajóépítés egész folyamata annak megfelelően irányítható, ahogy a hajó építésének helyén (súlytér vagy dokk) a tervezett idő megkívánja. Bár a szekciógyártás már elterjedt, egészen az 1970-es évekig az európai, ezen belül a brit hajógyárakban is, a szekciógyártás fő területe a 2- és 3-dimeziós hajószerkezeti modulok előgyártása volt, amelyekbe a berendezéseket és rendszereket a hajó építésének helyén vagy a vízrebocsátás után a vízi szerelőcsarnokban építették be. A csőrendszereket, a szellőzést és a gépi berendezéseket a kész hajótestbe független egységként telepítették. Hasonlóképpen a lakótér is a helyszínen került elkészítésre, a bútorokat és felszereléseket ott szerelték össze. Emiatt, bár az acélszerkezet gyártási és összeépítési módszerei hatékonyak és időtakarékosak voltak, a felszerelések beépítésének egyedi és nagyrészt irányítatlan módszerei a hajó egészének gyártástechnológiájával nem voltak összhangban.

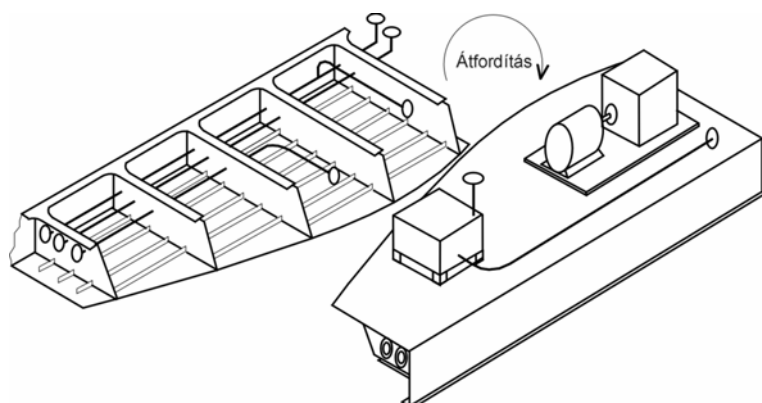


4.1.3.6 ábra Csőrendszer-modul

Manapság már ahelyett, hogy a rendszerek és felszerelések beépítését a teljes hajóra terveznék meg, elterjedt gyakorlat, hogy azok telepítését *zónákra* osztják, a zóna általában egy nagyobb teret jelent, amelyet tovább lehet lebontani blokkokra vagy kisebb szerelési egységekre.

Az egyes szerelési egységek vagy blokkok készültési foka

elérheti a 85-90%-ot. Mind az acélszerkezet, mind a rendszerek és felszerelések tervezése magas szintű a szerelési egységeket ill. blokkokat tekintve, a szerkezet gyártása és a felszerelések telepítése



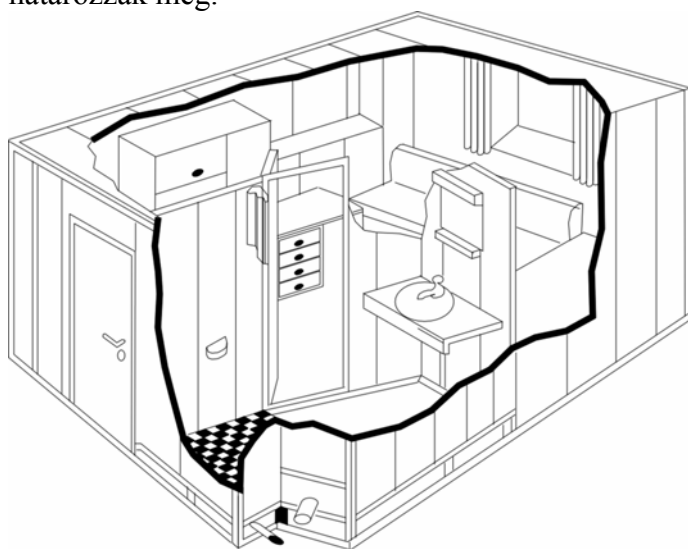
4.1.3.7 ábra Mindkét oldalon készre szerelt rész-szekció

pedig olyan munkahelyeken történhet, ahol a munkaeőr megkapja a kellő eszközöket és anyagokat.

Rész-szekciók. Amikor a lemezek és szelvények megmunkálása befejeződik, azokat a hajó szekcióiba be lehet építeni. A gyártóműhelyekben gyakran elkülönített területeket jelölnek ki a különböző jellegű szerelési egységek számára, pl. a sík lemezből készülő paneleknek, a hengerléssel hajlított vagy domborított héjelemeknek, a mátrix vagy más néven 'tojástartó' szerkezeteknek és a kisebb rész-szekcióknak. Ezeket mindet lehet rész-szekcióknak nevezni, ha nem közvetlenül kerülnek beépítésre a hajóba, hanem előtte egy nagyobb egységben, egy szekcióban egyesítik őket. A panel rész-szekciók általában nagy fokú automatizálással készülnek, az előkészített lemezeket összeállítják és fűző-hegesztésekkel (heftelés) tartják a helyükön, mielőtt a varratokat automatával végighegesztenék mindkét oldalon vagy egyoldali eljárás alkalmazásával. A panelt megjelölik, és a merevítőket ráhegesztik automata vagy félautomata eljárással. Olyan kisebb rész-szekciók, mint a keretbordák, amelyeket a lemezből készült gerinc és szintén lemez öv alkot, szintén ebben a stádiumban kerülnek beépítésre a szekcióba. A térbeli héjlemezeket támaszokra helyezik és úgy hegesztik össze, az előre meghajlított merevítőket pedig a sík panelekhez hasonlóan illesztik és hegesztik fel. A *mátrix* vagy

'tojástartó' rész-szekciókhoz szintén használnak támaszokat, például a kettősfenékbe kerülő végigmenő és bordaközi lemezgerincekhez a hossz- és keresztirányú keretbordáknál.

A szekciógyártás menete. A legtöbb esetben a 2-dimenziós rész-szekciókat 3-dimenziós blokk-szekciókká építik össze. A blokk-szekció méretét a legideálisabb már a szerkezeti tervezés korai szakaszában meghatározni. Figyelembe kell venni ehhez a korlátokat, mint pl. a daruzási súlyhatárok vagy a kezelhető maximális méretek, valamint a szerkezet természetes vonásait, mint nyílások, stb., amelyek garantálják, hogy a blokkok önhordóak és könnyen hozzáférhetőek. A panel rész-szekciók, amelyek a blokkba kerülnek, olyan méretűek lehetnek, amelyeket a megmunkálható lemeztábla-méret korlátoz, és ez természetesen később befolyásolja a blokk hosszát is. A géptéri környezetben a blokk méretét és elrendezését a zóna felszerelésének megfontolásai határozzák meg.



4.1.3.8 ábra Lakókabin modul

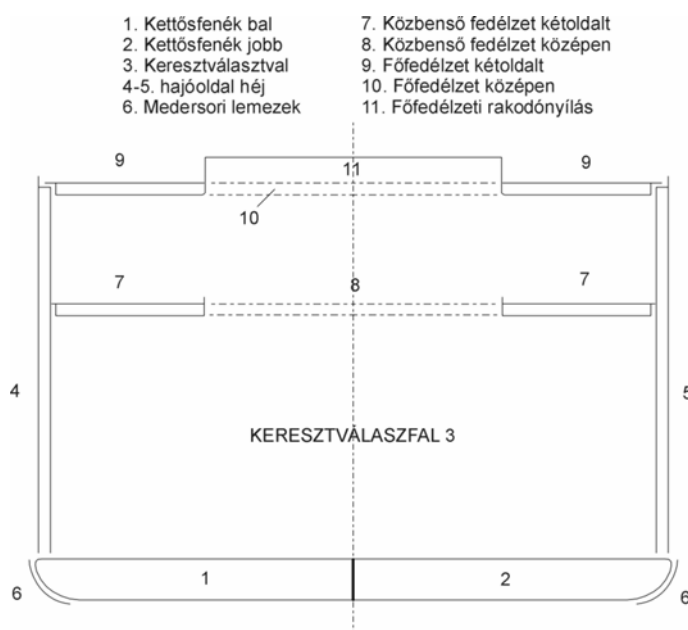
Mindegyik blokkot a lehető legtöbb kézalatti hegesztési lehetőséggel kell megtervezni, ehhez viszont fordíthatónak kell lennie. A blokkokat a felszerelés és rendszerek telepítése érdekében is forgatják, különösen a géptér hátsó részén levő gépalapok esetében, ahol a csővezetékeket, stb. az alap alatt kell beszerezni, ami egyszerűbb a blokk felfordított állapotában, és utána fordítják vissza, hogy az

alap feletti felszerelést telepíthessék (ld. 4.1.3.7 ábra). A blokk súlypontját ehhez meg kell határozni, és az emeléshez szükséges füleket úgy kell kiosztani, hogy ez a művelet végrehajtható legyen, és a munka befejezése után a blokkot a helyére lehessen építeni a dokkban vagy a sólyán ill. a vízi szerelőcsarnokban.

Felszerelés-modulok. A gépi berendezések, csőrendszerek és egyéb felszerelések egységeit, amelyek egy adott zónához szükségesek, modulokba lehet építeni, és abban az állapotban beszerezni a blokkgyártás során. Az ilyen gyártási módra különösen alkalmasak a csőrendszerek, és a CAD fázisban végzett körültekintő tervezéssel olyan csoportokba lehet őket osztani, hogy a csőmodulok az illető zónához jól kialakíthatóak legyenek.

A modulok sokfélék lehetnek, egy egyszerű csőkötegtől kezdve, amely a bordákhoz csőbilincsekkel van rögzítve, a komplett segédüzemi egységeken át, amelyek saját alapjukon foglalnak helyet, és még ki is lehet őket próbálni beépítés előtt, egészen a nagy moduláris egységig, amely több hasonló egységgel együtt alkotja a géptér berendezésének összességét. Az utóbbi módszert egy olyan európai hajógyárban

fejlesztették ki, ahol a makro-modulok nagysága a 10 m x 10 m x 4 m tartományban van, ezeket hengerelt zárt szelvényekből képezik ki (amelyek telepítés után belső oszlopokként funkcionálnak), és a hajószerkezet vízszintes részeihez illesztik hozzá, pl. a készre hegesztett keretborda övekhez. Az ilyen módon kialakított makro-modulok együttese, amely a főgépet körülveszi, szinte megkülönböztethetetlen a hagyományos géptértől. A hajógyár ösztönzi beszállítóit, hogy berendezéseiket ilyen modul formában szállítsák.



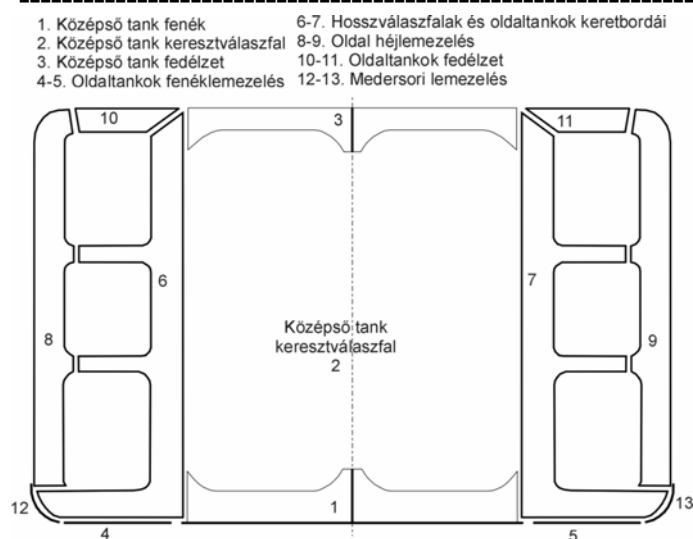
4.1.3.9 ábra Darabáru szállító hajó szekció-összeépítési sorrendje

Nem lehet természetesen minden felszerelést modulokba foglalni, és sok egységet külön kell az adott zónához csatlakoztatni a megfelelő időben a szerelés során. A gyártástechnológiai követelmények betartása érdekében azonban kifejlesztették a *'paletta' elvet*, ahol az adott zónához tartozó egységek felosztása a CAD/CAM fázisban történik, azok elkészítése, beszállítása,

gyártása, stb., és rendelkezésre bocsátása az érintett munkahelyen, amikor az adott rész-szekció éppen olyan készültségi állapotban van, hogy be tudja fogadni őket.

A *'nyitott műhely' elrendezés*, amely a gyártás alatt levő blokkok vagy kisebb hajók elhelyezését mutatja egy műhelyen belül, segíthet a tételek és modulok beszerelésénél. A felépítmény moduljait külön gyártják, és felszerelik a lakótérhez szükséges összes szerelvénnel, ezután kerülnek beépítésre komplett egységként. Moduláris kabinokat mindenütt találunk a korszerű hajóépítésben, ezek gyártására külön cégek specializálódtak. A 4.1.3.8 ábra mutat egy tipikus *önhordó kabin/toalet modul*, amely tartalmazza a csővezeték, a szellőzést, az elektromos szerelvényeket, a kábelezést és az összes beépített bútort. Az ilyen modulokhoz a lakóblokkot külön kell megtervezni, és körültekintően meghatározni a modulok behelyezésének sorrendjét.

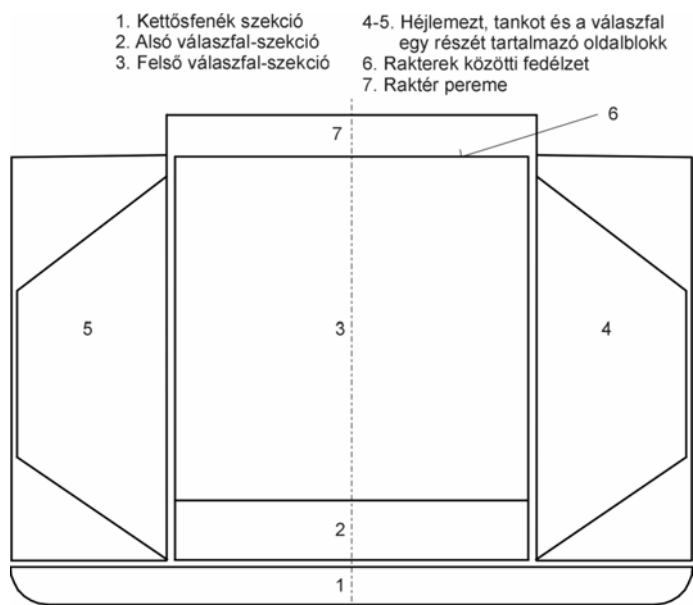
Szekciók összeépítése. Amikor a panel és blokk rész-szekciók készen vannak, van egy kis biztonsági idő biztosítva, mielőtt a sályán vagy a dokkban összehegesztik őket, hogy bármilyen véletlen hibát ki lehessen küszöbölni a gyártási menetrenden belül. Tárolásuk általában a szekcióépítő műhely melletti területen történik, ennek mérete a hajógyári



4.1.3.10 ábra Nagy olajszállító tankhajó szekció-összeépítési sorrendje

gyakorlattól függ, egyes hajógyárak a biztonságra mennek, és nagyobb számú szekciót tárolnak, mások a minél rövidebb építési átfutási időre törekcszenek.

A szekciók összehegesztésének sorrendje egy adott hajó esetében hajógyáranként más és más, mivel számos tényező



4.1.3.11 ábra Tömegáru szállító hajó szekció-összeépítési sorrendje

függvénye. A korábbi hajók összeépítésénél tapasztalt nehézségek és a hajógyár topográfiai és berendezésbeli korlátai alapján lehet kialakítani a standard gyakorlatot.

Ezeket már a vasszerkezet tervezési fázisában figyelembe kell venni, mivel csak így lehet elérni, hogy minimális legyen a nehéz helyzetben elvégzett hegesztések mennyisége.

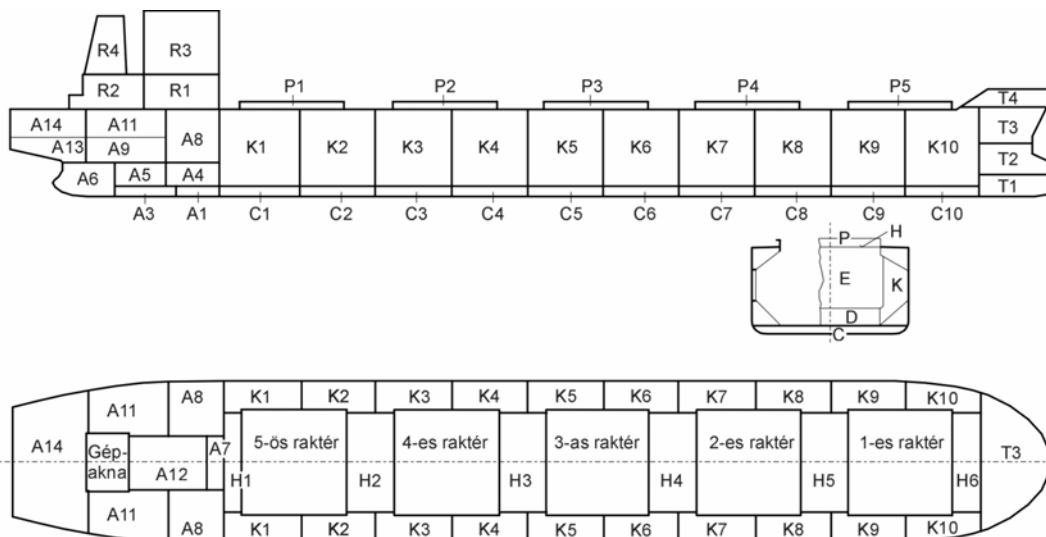
Általában, ahol lehetőség van rá,

a hajó hátsó részén a géptérrel kezdik a munkát, magától értetődően alulról felfelé haladva, tehát a haladás iránya előre és felfelé.

Korábban erre azért volt szükség, hogy a gépészeknek és felszerelésekkel dolgozóknak mielőbbi hozzájutást biztosítsanak ezekhez a terekhez, az előgyártás miatt azonban ma már ez nem fontos. Ugyanakkor továbbra is ezen a területen marad a legtöbb munka, amit még el kell végezni. Ez különösen a *hajócsavar tengely csapágainak fűrésására* vonatkozik, azt csak akkor szabad elvégezni, ha a hátsó szekciókon már minden hegesztés be van fejezve és ellenőrzés után ki van javítva. A 4.1.3.9, 4.1.3.10 és 4.1.3.11 ábra tipikus szekció-összeépítési sorrendet mutat darabáru szállító hajó, olajszállító tankhajó és tömegáru szállító hajó építésénél. A 4.1.3.12 ábra egy tömegáru szállító hajó szekcióinak összeállítását mutatja be.

A szekciók összeépítésénél nagy fontossága van a helyes *hegesztési sorrendnek*. Ezt úgy kell megválasztani, hogy el lehessen kerülni a túlzott 'bezárt' feszültségeket; ez az

oka, hogy a keresztező varratoknál a merevítőket csak akkor hegesztik meg, amikor a lemezek kereszt- és hosszvarratai teljesen készen vannak, ahogy arról a hegesztésnél volt szó.

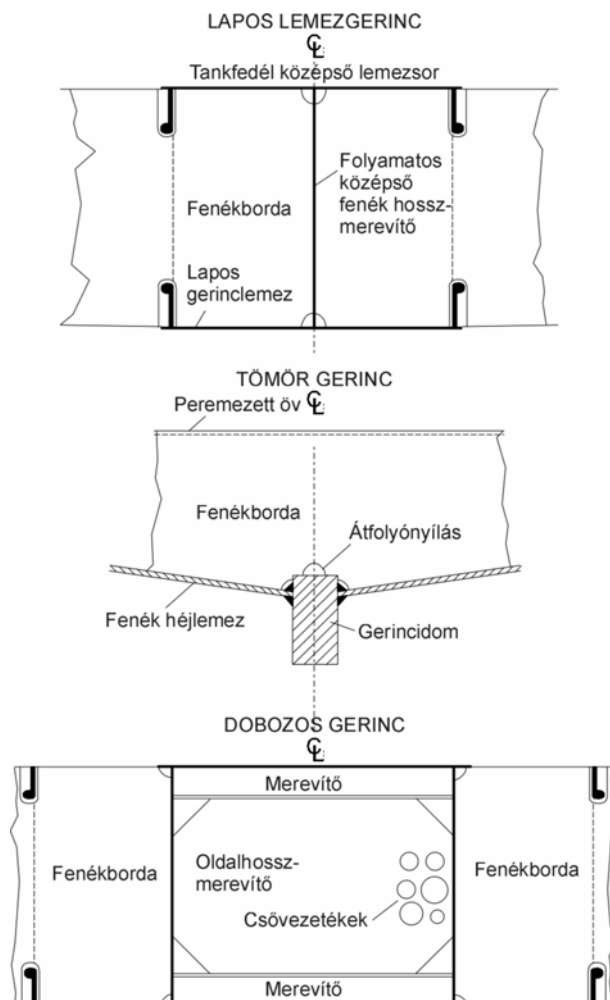


4.1.3.12 ábra Tipikus szekció-összeépítési sorrend

A szekciók összeépítésénél gondot okoznak a tűrések, ez a 3-dimenziós szekciók esetében még inkább fennáll, mint az a 2-dimenziósoknál tapasztalható, és főként a hajó végeinél, ahol nagyobb alakítást igényelnek az anyagok. A szekciógyártó műhelyekben emiatt nagyon szigorú minőségellenőrzést kell biztosítani, nemcsak a méretekre, hanem a beállításokra is, ha az időigényes, drága és fárasztó munkát el akarjuk kerülni a szekciók összeépítésénél a sólyán vagy a dokkban. Ezen a területen nagy előrelépés volt, amikor a térbeli héjszekciókhoz pontosan legyártott támasztókat kezdtek használni, valamint a programozott hegesztési sorrend bevezetése, a kisebb hő-bevezetést igénylő hegesztési berendezések alkalmazása, az egyes alkatrészek méretellenőrzése, illetve a lézer beállító eszközök előnyének kihasználása. A tapasztalat segítette a tűrésadatok adatbázisának felállítását, ami nagyon hasznos a hasonló hajók nagyobb darabszámban való építésénél. *Szekciók összeépítése vízen úszó hajótestnél.* A tömegáru szállító és tankhajók méretének hatalmas arányú növekedése miatt azok a hajógyárak, amelyek nem rendelkeznek az ilyenek építéséhez szükséges létesítményekkel, különféle módokkal próbálkoztak, hogy az ilyen nagy hajók szekcióit a sólyán vagy dokkon kívül építsék össze. A legtöbb esetben a feladat az, hogy a hajótest két részét a vízen úszó állapotban csatlakoztassák. Ilyen esetben a két felet igen pontosan kell egymáshoz összehozni, amit a két fél hajótest ballasztolásával lehet elérni.

Ezt követően a két felet fogókészülékekkel össze kell húzni; a végső fázisban pedig hidraulikus hengerekkel és a helyes pozíciót biztosító egyenesbe állító eljárásokkal dolgoznak.

Egyik ilyen módszer, amely eléggé elterjedt, amikor egy testtank (kofferdam) van kialakítva a csatlakozás környezetében, a hajótesthez épített *keszon* segítségével a tankot és a keszont szárazra ürítik. Annak érdekében, hogy a hajó púposodását megakadályozzák a keszon ürítése közben, arra van szükség, hogy a ballasztot azzal



4.1.3.1.1 ábra Lehetőségek a gerinc kialakítására

egyidejűleg átszivattyúzzák a keszon irányában mindkét fél hajó tartályaiban. Amint a hegesztési varrat környezete száraz, elkészíthető a teljes varrat, azonban, mivel ez igen kritikus fontosságú hegesztés, a röntgenvizsgálat a teljes varratra kiterjed. A keszont akkor távolítják el, amikor a hegesztés környezetének festése is kész.

Hasonló módszer, amikor keszon helyett egy 'U' formájú gumiprofil biztosítja a munkát, amelyet minden hajó esetében pontosan be kell igazítani.

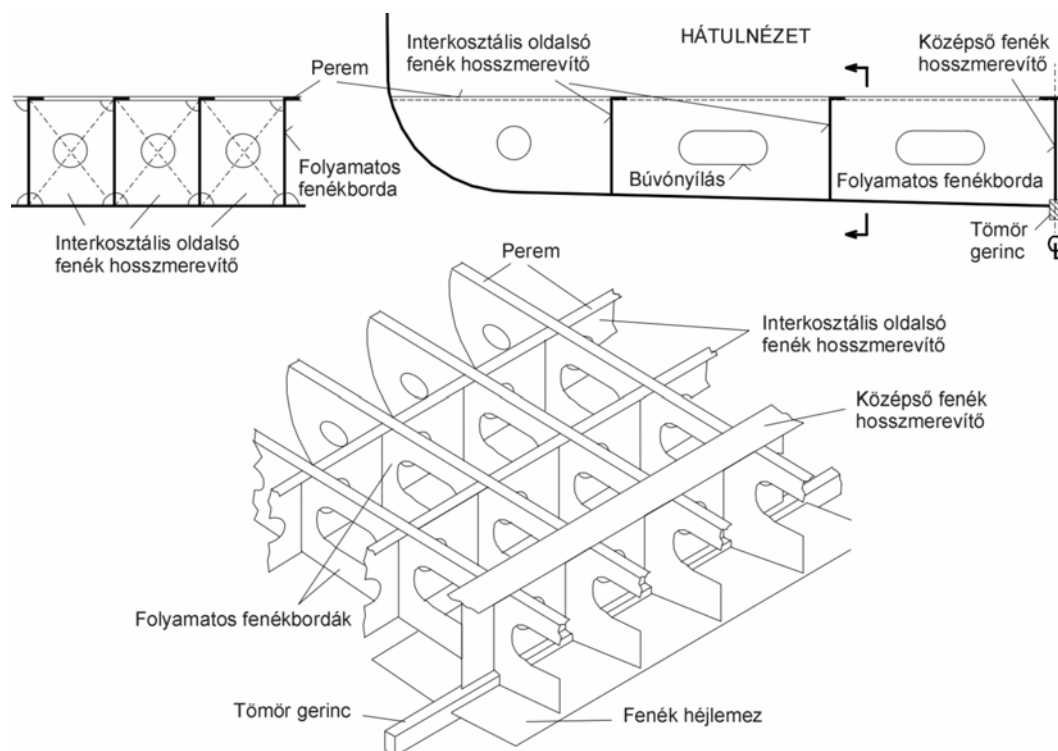
Mindez egyszerűsödik, ha rendelkezésre áll egy megfelelő méretű *szárazdoka*, abban ugyanis a hajó két felét a vízszint fölé lehet emelni, és utána a kiegyenlítést és a hajó-felek kellő alátámasztását elvégezni, majd a hegesztést és festést befejezni. A hegesztés ilyenkor az általános szabályok szerint történhet.

4.1.3.1 Fenékszerkezet

A hajókat régebben *szimpla fenékkal* építették, a folyékony üzemanyagot és az ivóvizet külön kialakított tankokban tárolták. A *kettősfenék* szerkezet, amely biztonságot nyújt a fenék héjszerkezetének sérülése esetén, illetve folyadékok számára tanktérfogatot biztosít a hajó legalsó részén, csak a 20. század első éveiben kezdett kifejlődni. A kisebb hajók, mint a vontatók, kompok és 500 bruttó regisztertonnál kisebb raktérméretű teherhajók ma is szimpla fenékszerkezettel épülnek. A nagy óceánjáró hajók, eltekintve a régi építésű tankhajóktól, valamilyen formában el vannak látva kettős fenékkal. A szerkezeti elemekre vonatkozó követelmények a Lloyd's előírásai.

Gerincek

A fenék vasszerkezetének a hajó szimmetriasíkjában levő része a *gerinc*, amely valóban a hajótest legmerevebb része. Ez az, amely leginkább hozzájárul a hossz-szilárdsághoz, és hatékonyan osztja el a *dokkolásból eredő helyi feszültségeket*. A gerinc leggyakoribb

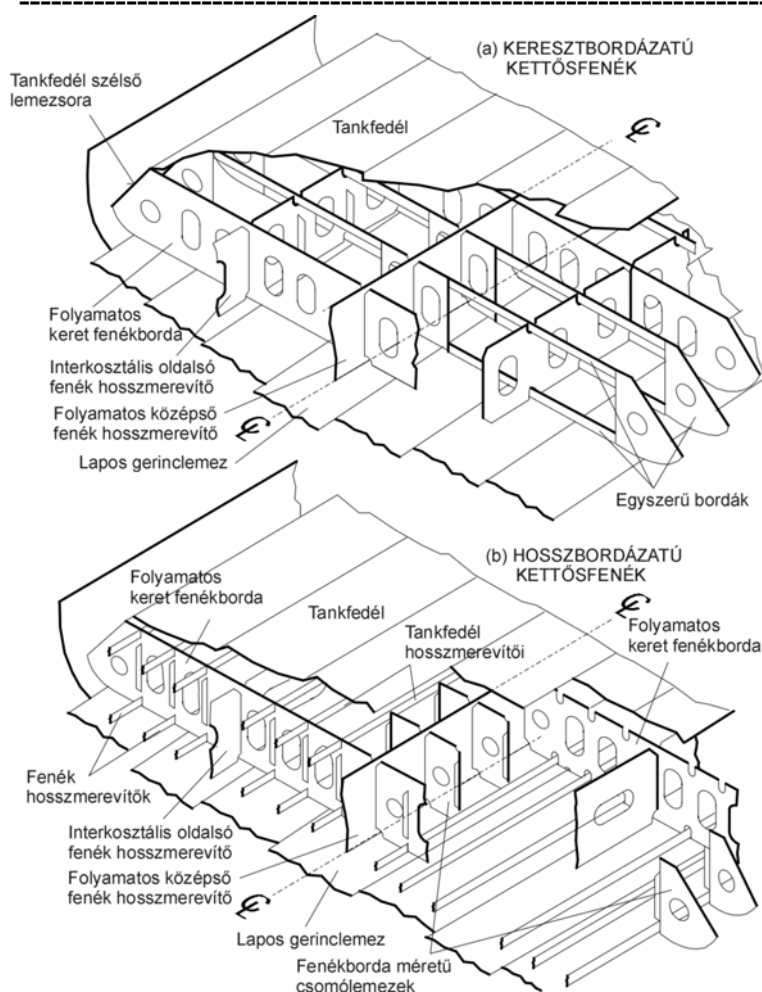


4.1.3.1.2 ábra Szimplafenék szerkezet

formája a '*lapos gerinc*', ezt építik be a legtöbb óceánjáró és egyéb hajóba (ld. 4.1.3.1.1(a) ábra). A gerinc másik változata, amelyet kisebb hajókon találunk, a '*tömör gerinc*' (4.1.3.1.1(b) ábra). Ilyen gerincet találunk trawler típusú halászhajókon, vontatókon, stb., illetve a kisebb kompokon.

Ahol tartani kell a megfenekléstől, ez a gerinctípus a megfelelő, mert masszív profilt képez, hátránya viszont a többletmerülés, amelyhez nem jár hordképesség. Ahol kettősfenék van kialakítva, ott szinte magától értetődik a lapos gerinc alkalmazása, a tömör gerincet általában a nyitott fenékszerkezettel azonosítják, de ott is alkalmazható a lapos gerinc.

Dobozos gerincet alakítanak ki (4.1.3.1.1(c) ábra) a kettősfenék részeként néhány hajónál. Ezt a géptér mellső válaszfalától a kollíziós válaszfalig vezetik, és a *kettősfenékben vezetett csöveket* helyezik el benne. Amikor rakodás van, olyankor is hozzá lehet férni a csövekhez, a dobozba a géptér mellső válaszfalán kialakított nyíláson át lehet bejutni. Nem szükséges a géptér mögött hasonló dobozt kiépíteni, a csöveket a tengelyalagútban lehet vezetni. A doboz szélessége legfeljebb 2,0 m, a felső lemezt (tankfedél) és az alsót (gerinc) merevíteni kell, hogy a keresztirányú *fenékborðák szilárdságának folyamatosága* biztosítható legyen.

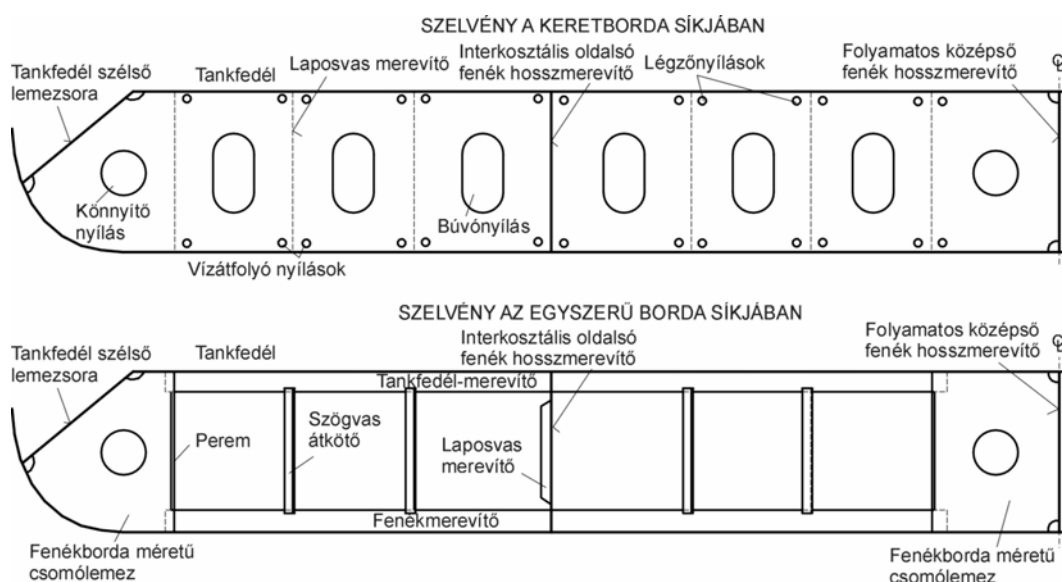


4.1.3.1.3 ábra Kettősfenék konstrukció

Szimplafenék szerkezet

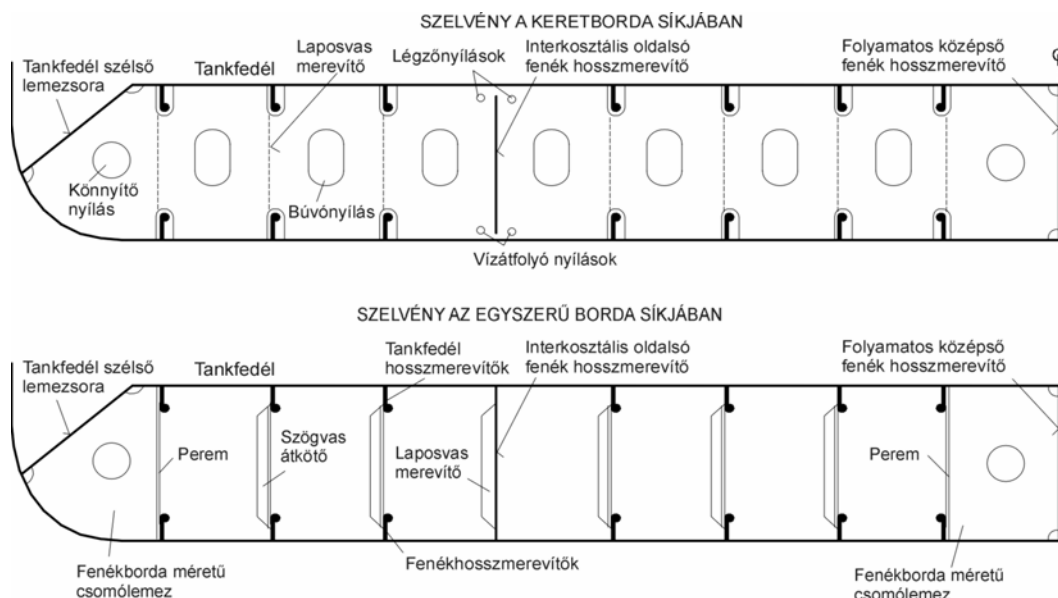
Kisebb hajóknál, amelyek *szimplafenékkal* épülnek, minden bordakeretnél lemezből kiszabott gerincű *függőleges fenékbordát* kell alkalmazni, amely felső élére övet kap merevítésül. A hajó szimmetriatengelyében *fenék hosszmerítő* van beépítve, és ennek mindkét oldalán további hosszmerítőket kell alkalmazni.

Ha a hajó szélessége kisebb, mint 10 m, oldalanként egyet kell beépíteni, ha a szélesség 10 és 17 m között van, két-két oldalsó hosszmerítőre van szükség, és minden olyan fenékpanelnél, ahol a szélesség/hosszúság



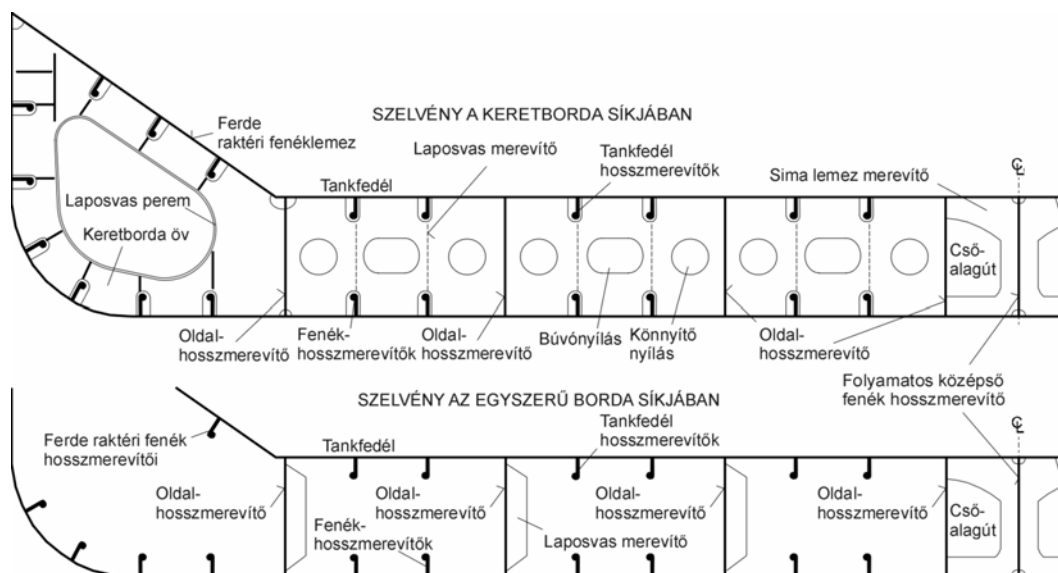
4.1.3.1.4 ábra Keresztbordázatú kettősfenék szerkezet

viszonyszám négynél nagyobb, további átmenő vagy *interkosztális (bordaközi)* merevítésre van szükség. A folyamatos központi és az interkosztális oldalsó hosszmerítők felső éle övvel van merevítve, és a lehető legmesszebbre el vannak vezetve előre és hátra.

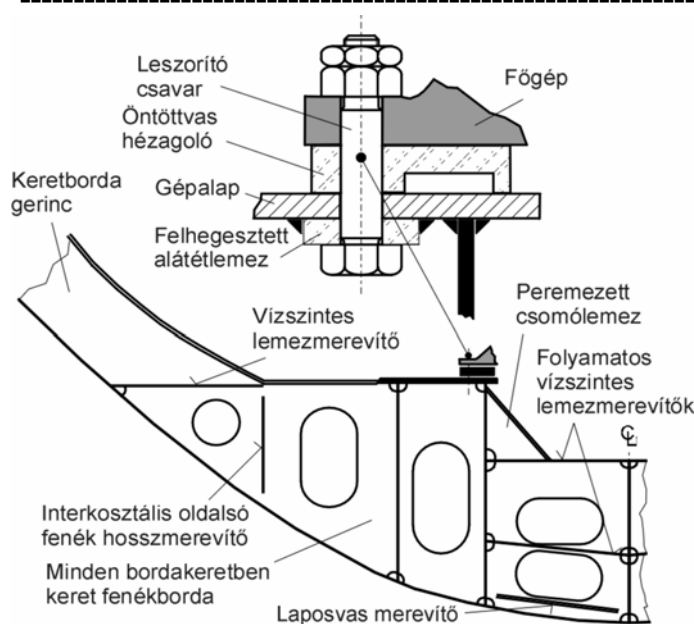


4.1.3.1.5 ábra Hosszbordázatú kettős-fenék szerkezet

A szimplafenék szerkezet a 4.1.3.1.2 ábrán látható, és a jobb érthetőség érdekében 3-dimenziós kép is van a szerkezetről, hogy látni lehessen, melyik szerkezeti elem



4.1.3.1.6 ábra Tömegáru szállító hajó kettős-fenék szerkezete



4.1.3.1.7 ábra Főgép-alap

folyamatos ill. interkosztális. Mind a szimpla-, mind a kettősfenék szerkezetekben vannak folyamatos és interkosztális elemek, kíván valamennyi gyakorlatot annak megértése, hogy ezek a megfogalmazások mit takarnak. Amennyiben az ilyen terekben rakományt szállítanak, a fenékbordákra fapadlózatot lehet lefektetni, ez azonban nem tekinthető belső fenéknek, mivel nem nyújt védelmet elárasztás ellen a héjlemez

sérülése esetén.

Kettősfenék szerkezet

A fenék héjlemeze felett egy meghatározott minimális magasságban belső fenéket (más néven tankfedeleket) lehet kialakítani, amely a medersorig terjed és vízmentesen zárt. Ez a konstrukció jelentős biztonságot nyújt, mivel a fenéklemez sérülése esetén kizárólag a kettősfenék árasztódik el. A tank térfogata nem vész kárba, mivel folyékony üzemanyag és ivóvíz szállítására lehet felhasználni, amelyre a hajónak szüksége van, amellet ballasztolási kapacitást is biztosít.

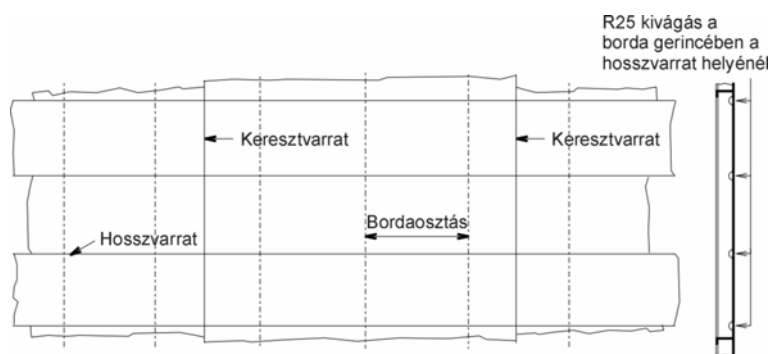
A hajón kialakított *kettősfenék magassága* az osztályozó intézetnek a középső hosszmerítőre vonatkozó előírásától függ. Ennél azonban lehet magasabb, hogy biztosítani tudja a *kettősfenék-tankban* szállítandó üzemanyaghoz, ivóvízhez és ballaszthoz a szükséges térfogatot. Hatékony úszáshelyzet-szabályozáshoz (trim) a ballaszttankokat általában minél közelebb helyezik el a hajó végeihez, ezért, ha szükséges, ezekben a terekben a kettősfenék magassága megnövelhető.

A géptéri zónákban szintén magasabb kettősfenék szokásos, hogy a kenőolaj és üzemanyag tárolására nagyobb térfogat álljon rendelkezésre. A *kettősfenék magasságának változtatását* nem lépcsősen oldják meg, hanem egy hosszirányú lejtős belső fenékkel, nem tolerálható ugyanis semmilyen hirtelen változás a hossz-szilárdsági paraméterekben.

A kettősfenék lehet *hossz- vagy kereszt-merevítésű* (ld. 4.1.3.1.3 ábra), ha azonban a hajó hossza meghaladja a 120 métert, kívánatosnak tartják a *hosszborda-rendszert*. Ennek az a magyarázata, hogy a hosszabb hajóknál az elvégzett tesztek és a tapasztalat alapján a belső fenék és a fenéklemez hajlamos a ráncolódásra, ha hegesztett keresztirányú fenékbordák vannak kialakítva. Ez a helyi kihajlás a héjzat hosszirányú hajlításának hatására következik be, amely ellen jó védelmet ad a lemez hosszirányú

merevítése. A géptéri zónákban levő, a farkamrával szomszédos kettősfenék tereket az előírások szerint *keresztbordázattal* kell ellátni.

A belsőfenék lemezelése. Kereskedelmi hajóknál a *belsőfenék lemeze* a szélén ferdére van kialakítva, hogy a *medersorban* megkönnyítse a *fenékvíz* eltávolítását. Abban az esetben, ami szintén nem ritka, ha egyenesen megy ki a hajó oldaláig, külön *fenékvíz gyűjtő aknákat* képeznek ki (ld. rendszerek).



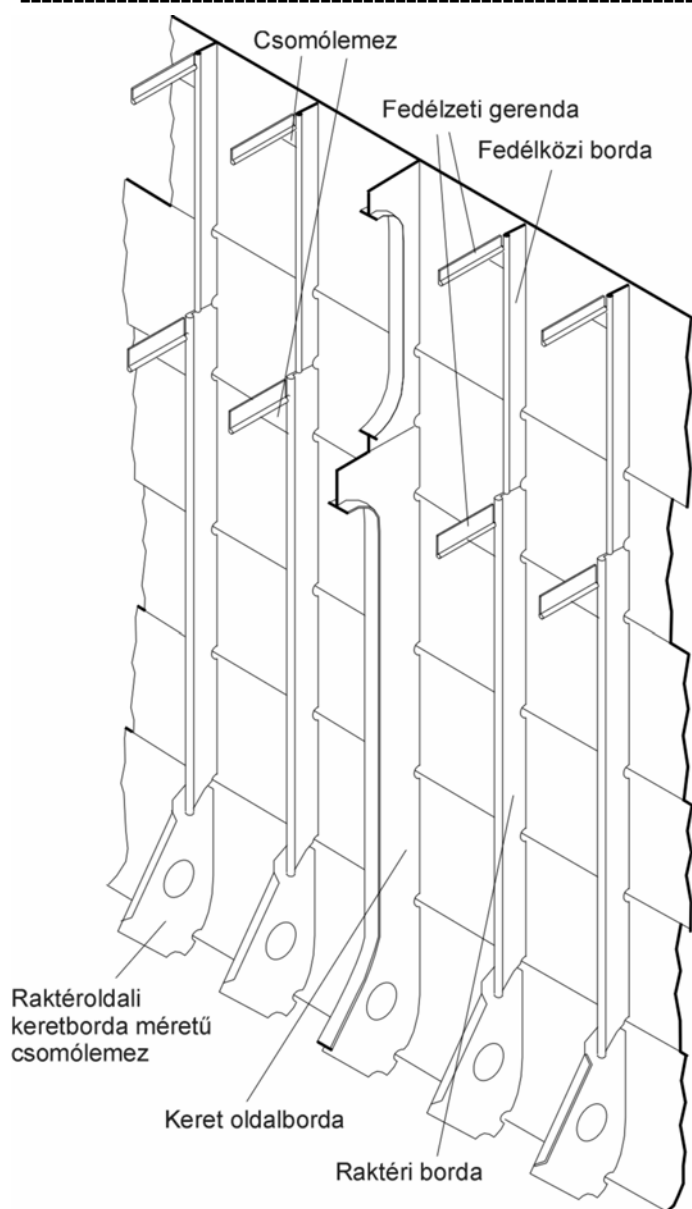
4.1.3.2.1 ábra
Héjlemezés

A személyszállító bizonylatra pályázó járműveken hatósági előírás a *tankfedélre*, hogy a hajó oldaláig ki kell vinni. Ez ugyanis nagyobb biztonságot jelent, mivel a

jelentős medersori térfogat megakadályozza, hogy az ott előforduló sérülés miatt a víz a kettősfenék fölé kerüljön.

A hajó középső síkjában a belső fenék középső lemezsorát a középső hosszmerévítő övének lehet tekinteni, amelynek többi eleme a tartó hosszanti lemezgerince és a gerinclemez. Emiatt azt általában vastagabbra készítik, mint a belsőfenék többi lemezsorát. Hagyományosan *fapadlózat* kerül a darabáru szállító hajóknál a rakterekben a belső fenék fölé, de megnövelhető a belső fenék vastagsága, és akkor a fa elhagyható. További lemezvastagság növelésre van szükség, ha az ilyen hajókból tömegáru jellegű rakományt markolóval raknak ki, illetve fapadló esetén még egy réteget kell lefektetni.

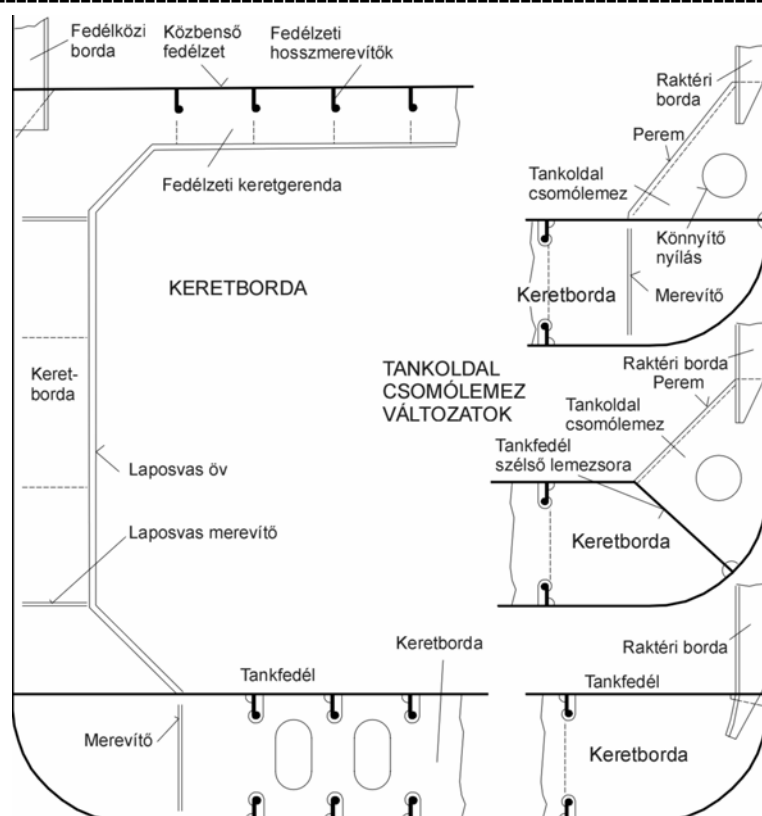
Fenékbordák. Lemezből kiszabott gerincű keresztirányú *fenékbordákat* kell beépíteni, akár hossz- akár keresztbordázatú a fenékszerkezet. A fenéktank terek végeinél és a vízmentes válaszfalaknál *víz- és olajmentes lemez fenékbordákat* kell elhelyezni. Ezek víz- és olajállóságát azzal biztosítják, hogy a fenékbordák gerinclemezén minden lyukat elzárnak, és gallért hegesztenek minden szerkezeti elem köré, amelyek áthaladnak rajtuk. Máshol '*egybefüggő lemez fenékborda*' kerül minden bordakeretbe, hogy a fenék haránt-irányú merevítése elegendő legyen, és a belső fenék alá legyen támasztva. Ezek folyamatos konstrukciójúak a középső fenék hosszmerévítőtől a medersorig, viszont a tankban való mozgás érdekében *búvó-nyílásokat* alakítanak ki rajtuk, illetve könnyítve van minden egyes szabad lemezfelületük. Emellett a tankok belsejében alsó és felső szélüknél levegő illetve folyadék számára *átfolyó-nyílásokat* vágnak rajtuk. Az egybefüggő lemez *fenékbordák osztása* változik a rajtuk levő terhelés és a keletkező helyi feszültségek szerint. A közbenső bordakereteknél az egybefüggő lemez fenékbordák között '*csomólemez fenékbordák*' vannak kialakítva. A csomólemez fenékbordák keresztirányban elhelyezett rövid *csomólemezekből* állnak, amelyeket a középső fenék- hosszmerévítőnél és a tankoldalnál helyeznek el (ld. 4.1.3.1.4 és 4.1.3.1.5 ábra).



4.1.3.2.2 ábra Keresztbordázatú oldalsó héjlemezelés

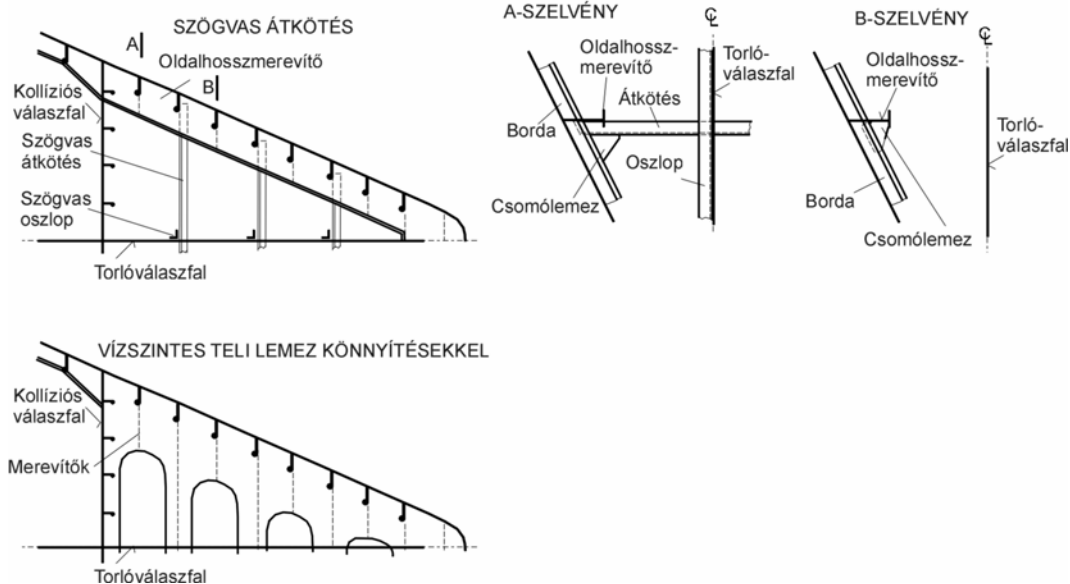
Keresztbordázatú kettősfenék. Ha a kettősfenék keresztbordázatú, akkor a belsőfenék és a fenéklemez fő megtámasztása a keresztirányban beépített egybefüggő lemez fenékbordák és az egyszerű harántbordákkal összekötött csomólemez fenékbordák feladata (4.1.3.1.4 ábra). Egybefüggő lemez fenékbordát helyeznek el minden bordakeretben a géptéri zónákban és a hullámok döngető-hatásának kitett zónákban (ld. később). Azonos módon el kell ezeket helyezni a kazánok alatt, a kereszt-válaszfalaknál, testtankok válaszfalainak merevítőihez csatlakozó csomólemezek végénél, illetve a kettősfenék magasságában bekövetkező minden átmenetnél. Ahol a hajóból az árut rendszeresen markolókkal rakják ki, minden bordakeretnél el kell helyezni az egybefüggő lemez fenékbordát. Más terekben az egybefüggő lemez fenékbordák távolsága egymástól maximum 3

m lehet, a közöttük levő bordakeretekben csomólemez fenékbordák vannak beépítve. A csomólemez fenékbordák csomólemezei peremezve vannak, szélességük legalább 75%-a a középső fenék hosszmerevítő magasságának az adott bordakeretnél. A csomólemez fenékbordáknál az egyszerű harántbordák fesztávolságának csökkentése érdekében, mivel az nem lehet több 2,5 méternél, függőleges *szögacél* vagy *U-szelvény összekötő merevítőket* lehet elhelyezni. Az egybefüggő lemez fenékbordáknál függőleges merevítőket hegesztenek fel általában *lapos-acélból*, de további merevítéseket lehet alkalmazni, ha ezek olaj- vagy víztank végének környezetében vannak. Egy-egy interkosztális oldalsó fenék hosszmerevítő van beépítve mindkét oldalon, ha a hajó szélessége 10 és 20 m között van, illetve két-két ilyen hosszmerevítőre van szükség ennél szélesebb hajóknál.



4.1.3.2.3 ábra Keretborda és tankoldal csomólemez

HELYI MEREVÍTÉS A HAJÓORRBAN SZÖGVAS ÁTKÖTÉSSEL VAGY TELI LEMEZSEL



4.1.3.2.4 ábra Megerősítések a hajó mellső részén pumpálás ellen



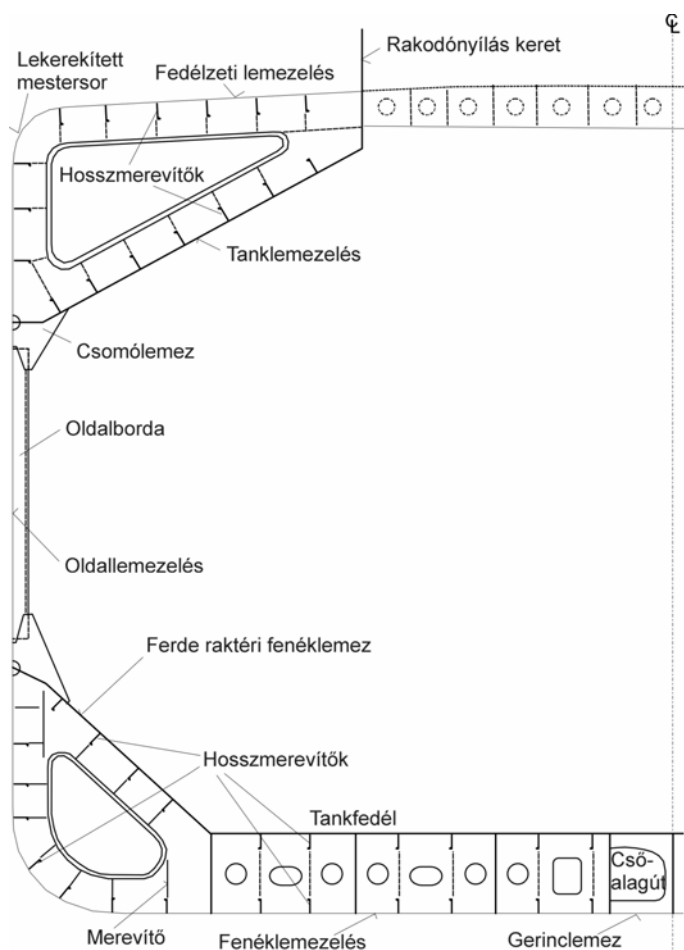
A csomólemez fenékbordák síkjában az *oldalsó fenék hosszmerítő* függőleges lapos-acél merevítőt kap. A géptérben és a hullámok hatásának kitett zónákban további oldalsó fenék hosszmerítőket helyeznek el.

Hosszbordázatú kettősfenékben egybefüggő lemez fenékbordát kell elhelyezni minden bordakeretben a főgépek alatt és minden második bordakeretben előtte és mögötte. Ezeket kell beépíteni a kazálapok, keresztválaszfalak alatt is és a testtancok



egybefüggő lemez fenékbordák osztása
nem haladhatja meg a 3,8 métert, a hullámok hatása alatti zónákban pedig minden második bordakeretben be kell építeni őket. A közbenső bordakereteknél csomólemezeket kell beépíteni a tank oldalánál és a középső fenék hosszmerítőnél, ezek távolsága legfeljebb 1,25 m lehet. A csomólemezeket *peremezni* kell, és a legközelebbi hosszbordához kell őket kötni (4.1.3.1.5 ábra).

térben és a főbb gépi berendezések alatt,



4.1.3.2.7 ábra Tömegáru szállító hajó főborda-szelvény

ezeket a géptér teljes hosszában végig kell vezetni, és ezen túl is három bordakerettel tovább. Előre haladva a hosszmerévítő mérete a hosszbordázat méretére csökkenthető. A hullámok döngető hatásának kitett zónákban szintén szükség van kiegészítő oldalsó fenék hosszmerévítőkre. Mivel a *fenék hosszbordáinak fesztávolsága* nem haladhatja meg a 2,5 métert, függőleges szögacél vagy U-szelvény összekötő merevítőket lehet elhelyezni, amelyek a ritkábban elhelyezett egybefüggő lemez fenékbordák között megtámasztják a hosszbordákat.

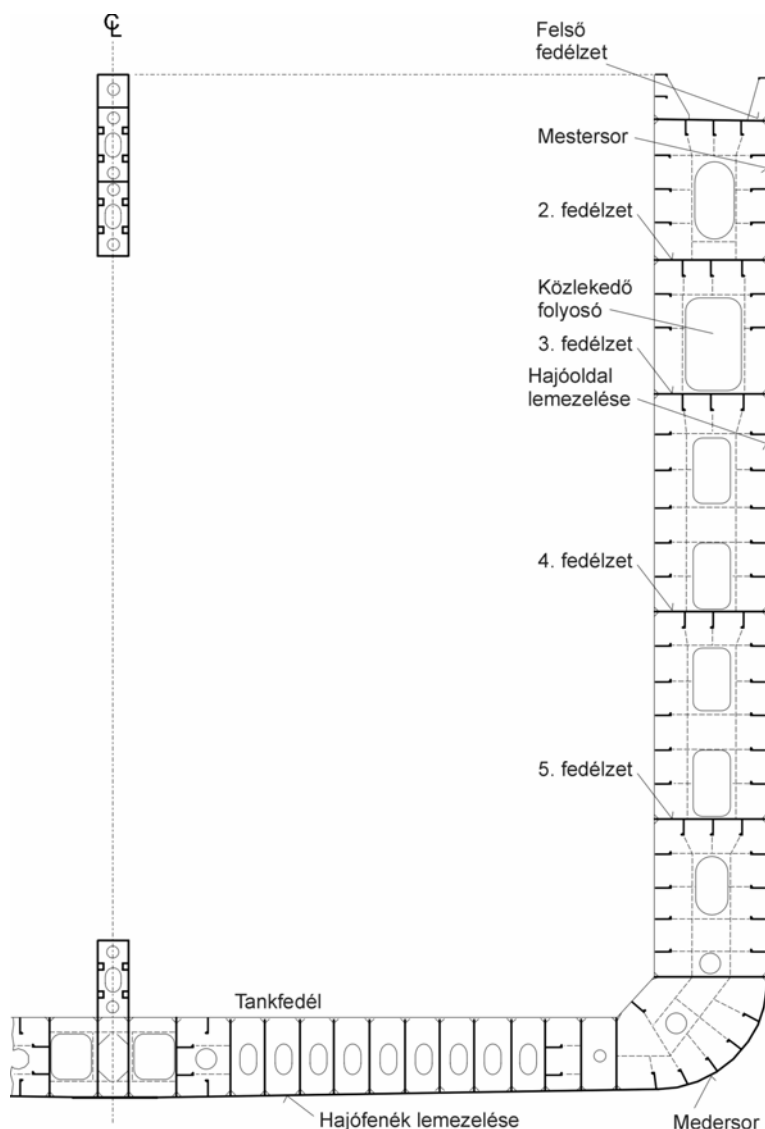
Kiegészítő merevítések a hullámok döngetésének kitett zónában. Ha a minimális tervezett merülés a hajó elejé

bármilyen ballasztmeneti vagy részterhelési állapotban kevesebb, mint a hajó hosszának 4,5%-a, akkor a fenékszerkezetet a hajó hosszának mellső 30%-ában a 65 m hosszúságot meghaladó tengerjáró hajóknál döngetés ellen meg kell erősíteni. Ahol a kettősfenék keresztbordázatú, egybefüggő lemez fenékbordákat kell beépíteni a döngetési zónában minden bordakeretnél. Interkosztális oldalsó fenék hosszmerevítők beépítése szükséges, ezek maximális osztása a keresztborda keretek osztásának 3-szorosa, és a teljes magasságú oldalsó fenék hosszmerevítők között fél-távolságban félmagasságú interkosztális oldalsó fenék hosszmerevítőket kell biztosítani. Ha a kettősfenék hosszbordázatú a döngetési zónában olyan esetben, amikor a minimális tervezett merülés a hajó elején a hajó hosszának 4%-ánál kevesebb lehet, egybefüggő lemez fenékbordákat építenek be minden második bordakeretnél, és interkosztális oldalsó fenék hosszmerevítőket helyeznek el egymástól legfeljebb olyan távolságra, amely a *keresztirányú bordaosztás* 3-szorosának felel meg. Ahol a minimális tervezett merülés elől a hajóhossz 4 és 4,5%-a között lehet, egybefüggő lemez fenékbordát lehet beépíteni minden harmadik bordakeretben, és az interkosztális oldalsó fenék hosszmerevítők egymástól mért távolsága legfeljebb a keresztborda osztás négyszerese lehet. Mivel a hosszbordák a fenéklemezt hosszirányban merevítik, figyelemre méltó, hogy kevesebb oldalsó fenék hosszmerevítőre van szükség, mint

keresztbordázatú fenéknél, hogy ellenálljon a döngető erők által okozott fenékszerkezet deformálódásnak.

Ahol a ballasztmeneti merülés elől kevesebb, mint a hajóhossz 1%-a, a döngetésnek kitett zónában nagyobb figyelmet szentelnek a kiegészítő megerősítésnek.

A legnagyobb döngető erők akkor jelentkeznek, amikor a hajó a legkevesebb ballasztal halad, illetve formája hosszú és karcsú, mivel ilyenkor a hajó orra jobban bemerül a vízbe nagy hullámoknál és az orr tulipános alakja is szerepet játszik.



4.1.3.2.8 ábra
Konténerszállító hajó
főborda-szelvény

Fenékszerkezet tömegáru szállító hajóknál. Amikor a hajó nehéz tömegáru, vagyis érc szállítására van osztályozva, hosszabrdázat a megfelelő a kettősfenéknél. Arra van szükség, hogy az egybefüggő lemez fenékbordák sűrűbben legyenek kiosztva, a maximális távolság közöttük 2,5 m lehet, emellett további interkosztális oldalsó fenék hosszmerítőt is biztosítani kell, ezek távolsága nem lehet több, mint 3,7 m (ld. 4.1.3.1.6 ábra).

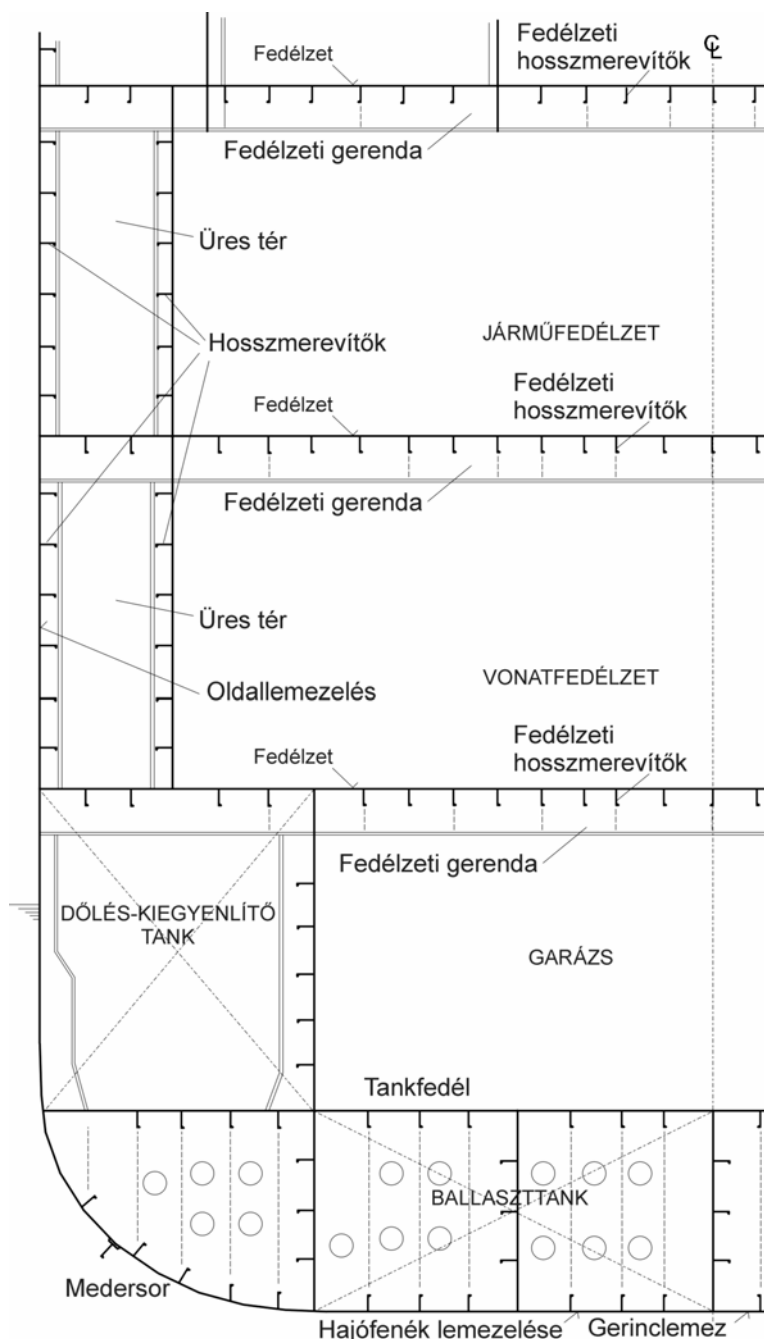
A kettősféneknek magasabbnak kell lennie, mint egy szokásos teherhajónál, mivel nagyobb mennyiségű

ballasztra van szükség; gyakran *csőalagutat* is ki kell alakítani ezen a téren keresztül. A nagyobb rakománysúly miatt a belsőfenék lemezelése, a fenékbordák és a hosszmerítők jelentősen merevítve vannak.

A kettősfének tereinek próbái. Ezeknek a tereknek a vízmentességét az építés befejezése után akkora víznyomással kell próbálni, amely a szolgálat során előforduló legnagyobb nyomásnak felel meg, azaz a *légző-cső felső nyílásáig*. Alternatívaként levegővel is

lehet próbálni a védő festékbevonatok felhordása előtt. A légnyomást 0,21 bar túlnyomásra kell felnyomni, majd leengedni a próbanyomásra, amely 0,14 bar. A gyanús hegesztéseket szappanos vízzel ellenőrzik. A *víznyomásos próbákat* azokon a tankokon hajtják végre, amelyeket a felügyelő választ ki a levegővel végzett próbák alapján.

Gépalapok



4.1.3.2.9 ábra Ro-ro hajó főborda-szelvény

Már történt arról említés, hogy a géptéri zónákban szükség van további keresztben elhelyezett fenékbordákra és interkosztális oldalsó fenék hosszmerítőkre, amelyek hatékonyan hordják a gépek terhet és biztosítják a szerkezet merevségét. A *főgép-alapok* valójában ebbe a kettősfenék-szerkezetbe vannak integrálva, és a belső fenék a *gépalap* környezetében lényegesen vastagabb. A gépalapot gyakran úgy alakítják ki, hogy a gép egy kettős tartószerkezet övein nyugszik, amelynek gerincei egyvonalban vannak a kettősfenék oldalsó hosszmerítőivel, a gerinceket oldalirányban megtámasztó csomólemezek pedig a kettősfenék fenékbordáival esnek azonos síkba (ld. 4.1.3.1.7 ábra). A *kazánalapok* hasonlóan épülnek fel mind hossz-, mind keresztirányban.

4.1.3.2 Oldalszerkezet

Héjlemezelés

A *héjlemezelés* képezi a hajó vízmentes burkolatát, ugyanakkor hozzájárul a hossz-szilárdsághoz és viseli a függőleges nyíróerők terhelését. A *héjlemezelés belső merevítése* lehet hossz- és keresztirányú, és azt a célt szolgálja, hogy megakadályozza a lemeznek a különböző terhelő erők hatására történő benyomódását.

A fenék- és héjlemezelés sík és görbített ill. domborított acéllemez-táblák soraiból áll, a táblák általában hosszában vannak elhelyezve, és tompahegesztéssel vannak egyesítve egyetlen felületbe. A *függőleges* (hajó hossztengetelyére merőleges) *varratok* először készülnek, mert a hajó hossz-szilárdságában fontosabb szerepük van, mint a vízszintes (hosszirányú) varratoknak (ld. 4.1.3.2.1 ábra). A merevítő szerkezeti elemek, akár hossz-, akár keresztirányban vannak elhelyezve, a héjazathoz általában *szakaszos sarokvarratokkal* vannak hozzáhegesztve, végüknél azonban bizonyos hosszúságban a varrat folyamatos. Folyamatos a merevítő hegesztése a héjlemezhez a farkamrában, a fenéklemezben a hajó hosszának 30%-ában elől, illetve ott, ahol nagyobb szakítószilárdságú acélt alkalmaznak. A bordakereten a héjlemez hossz- és keresztirányú varratainál *könnyítéseket* alkalmaznak.

Medersori stabilizátor. A legtöbb hajó fel van szerelve valamilyen alakú *medersori stabilizátorral*, amelynek feladata elsősorban a jármű billegő mozgását csillapítani.

Feneklemezelés. A *gerinclemez szélessége és vastagsága* a hajó teljes hosszában állandó, ha lapos gerincet építenek be. Ennek vastagsága soha nem lehet kisebb a hozzá csatlakozó fenéklemezelés vastagságánál.

A *fenéklemezelés lemezsorainak vastagságát* maximálisra kell választani a hajó hosszának középső 40%-án, ahol a hajlítófeszültségek a legnagyobb értékűek. A fenéklemezelés a hajó végei felé kisebb vastagságú lehet, kivéve a hullámok döngető hatásának kitett zónát (ld. előző pont).

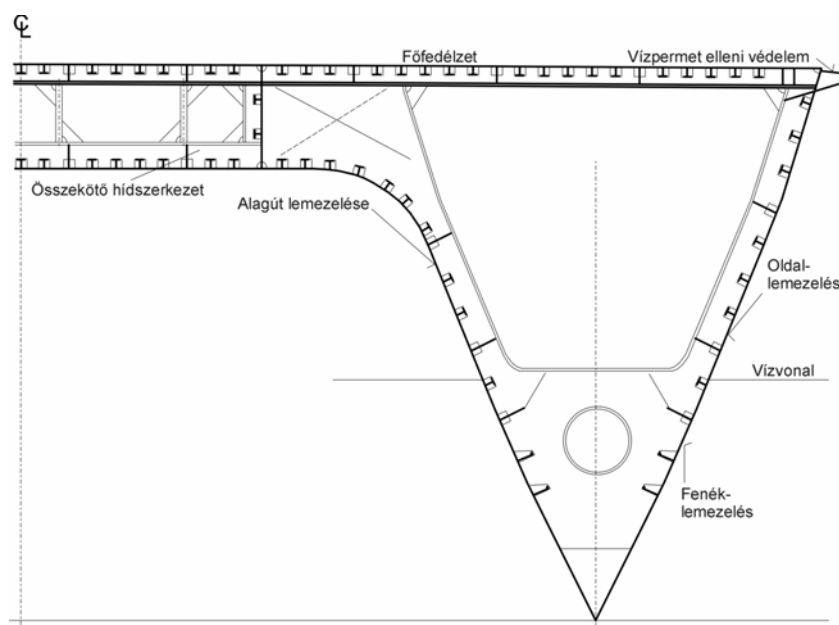
Oldalsó héjlemezelés. A fenéklemezeléssel azonos módon az *oldalsó héjlemez vastagságát* is maximálisra kell választani a hajó hosszának középső 40%-án, és az előírások szerint csökkenteni lehet a vastagságot a végek felé.

A 'jégtörő' osztályozójel-kiegészítő megjelölés esetén megkövetelt erősítés és a többéves jégben való hajózásra alkalmassá tevő különleges megjelölés befolyásolja mind a héjlemez mind a merevítőket, azonban túlzottan kimerítő ahhoz, hogy itt tárgyalni lehessen. Ezt a témát a Lloyd's Register of Shipping osztályozó intézet 'Előírások és követelmények hajók osztályozásához' 3. részének (Hajók szerkezete) 9. fejezetében lehet részletesen megtalálni.

Előnyt jelent még az is, hogy zátonyra futásnál jelent némi védelmet, illetve növeli a hajó hossz-szilárdságát. A medersori stabilizátor lengéscsillapító hatása ugyan viszonylag gyenge, de hatékony, és a hajó elkészülte után semmi költséget nem jelent. Elhelyezése során arra törekszenek, hogy az áramvonalak mentén helyezkedjék el és ne jelentsen semmilyen többletellenállást, amikor a hajó úton van; a minimális ellenállás érdekében a hajó modellkísérletei során több változatot kipróbálnak.

A medersori stabilizátor általában a hajó teljes középső szakaszán végigfut, gyakori, hogy hátrafelé messzebb kifuttatják, mint előre, pozíciója gyakorlatilag merőleges a medersor felületére.

A medersori stabilizátornak számos konstrukciója létezik, sok jól kidolgozott elrendezést alkalmaztak annak érdekében, hogy a csillapító hatást növelni lehessen anélkül, hogy nőne a hajó ellenállása. Nem árt az óvatosság a medersori stabilizátor tervezése során, igaz ugyan, hogy nem kritikus teherhordó eleme a hajótest szerkezetének, az a zóna azonban, ahol elhelyezkedik, meglehetősen nagy feszültségeket visel el, mivel messze esik a semleges száltól. Volt már olyan eset, hogy a medersori stabilizátortól indult ki repedés, és tovább terjedt a medersori lemezben, amely végül az egész szerkezet hibájához vezetett.



4.1.3.2.10 ábra
Nagysebességű hajó
(katamarán) főborda-
szelvény

A medersori stabilizátort általában nem közvetlenül a medersori héjlemezre hegesztik fel, hanem egy alapprofilra, amelyet folyamatos sarokvarrattal a héjlemezhez hegesztenek. Az alapprofil és a stabilizátor

hegesztése változtatva készül egyoldali sarokvarrat (ld. 4.1.3.2.5 ábra). El kell kerülni, hogy azonos keresztmetszetbe kerüljön az alapprofil toldó hegesztése és a héjlemez hegesztése, ugyanez a helyzet az alapprofil és a stabilizátor hegesztéseivel is. A 65 m-nél hosszabb hajóknál a medersori stabilizátor toldásánál a tompavarratokba lyukat fúrnak a 4.1.3.2.5 ábra szerint.

Az alapprofil vastagsága nem lehet kevesebb, mint a medersori héjlemezé, illetve minimálisan 14 mm, ha az kevesebb, anyagának fokozata pedig a medersori lemezével megegyező. A viszonylag kis szilárdságú váltott sarokhegesztés biztosítja, hogy amennyiben a stabilizátor algásodik, és hiba keletkezik a hegesztésben, a medersori héjlemez nem sérül meg.

A medersori stabilizátorok végüknél fokozatosan vannak elfogyasztva (legalább 3:1 arányú ferdeséggel), és mindig egy belső merevítő elemnél érnek véget.

4.1.3.2.2 táblázat

Fő jégzóna kiterjedése

| <i>Osztály</i> | <i>Terhelt jégvízvízvonala felett (mm)</i> | <i>Üres jégvízvízvonala alatt (mm)</i> |
|----------------|--|--|
| 1AS | 600 | 750 |
| 1A | 500 | 600 |
| 1B | 400 | 500 |
| 1C | 400 | 500 |
| 1D | 400 | 500 |

4.1.3.2.3 táblázat

| <i>Jégosztály</i> | <i>Zóna</i> | <i>Jégmerezítés minimális kiterjedése</i> | |
|-------------------|--|---|-----------------------------------|
| | | <i>jégvízvízvonala felett (mm)</i> | <i>jégvízvízvonala alatt (mm)</i> |
| 1AS | Elöl (hajóhossz 30%-án) | 1200 | Kettősfenékig vagy tetejéig |
| | fenékbordák | | |
| | Elöl (hajóhossz 30%-án kívül) és közepén | 1200 | 1600 |
| | Hátul | 1200 | 1200 |
| 1A | Elöl (hajóhossz 30%-án) | 1000 | 1600 |
| 1B | Elöl (hajóhossz 30%-án kívül) és közepén | 1000 | 1300 |
| 1C | Hátul | 1000 | 1000 |
| 1D | Elöl | 1000 | 1600 |

Megjegyzés! Elöl azt jelenti, hogy a hajóhossz 40%-án belül a mellső függélytől hátrafelé.

4.1.3.3 Válaszfalak és oszlopok

Ebben a pontban a hajó belső függőleges szerkezeteivel foglalkozunk. A szerkezet nagy része, különösen az oszlopok és a teherhordó haránt válaszfalak, viseli azokat a függőleges terheléseket, amelyek a hajót érik. A fő vízmentes válaszfalak a hajóteret számos vízmentesen elválasztott térre osztják fel, ezért fontos szerkezetük és egymástól való távolságuk tanulmányozása. Azokról a válaszfalakról is szó esik, amelyek a kisebb vízmentes tereket határolják, amilyenek pl. a testtankok és a tengelyalagút.

4.1.3.3.1 Válaszfalak

Azokat a függőleges elválasztó elemeket, amelyek a hajón keresztben vagy hosszában lehetnek beépítve, '*válaszfal*' elnevezés alatt ismerjük. Ezek közül a legfontosabbak az úszóképes hajótest *kereszt- és hosszválaszfalai*, amelyek a hajóteret *vízmentes terekre* osztják fel. A szerkezet szempontjából kevesebb fontossággal rendelkeznek azok a könnyebb válaszfalak, amelyeket '*térelválasztó*' néven emlegetnek, és amelyek a vízmentes tereket osztják kisebb részekre, amelyek aztán lakótérként, raktárként, stb. funkcionálnak.

A hajótest megfelelő szilárdsággal rendelkező fő válaszfalai vízmentes kivitelben készülnek, hogy amennyiben a válaszfal egyik oldalán levő vízmentes tér lékesedik, megakadályozza a többi tér elárasztását. Emellett arra is szolgálnak, hogy a hajótest fontos szerkezeti elemeként nemcsak a hajótestet terhelő függőleges erőket hordják, hanem megakadályozzák a hajótest keresztirányú deformációját. Elfogadott gyakorlat, hogy a vízmentes keresztválaszfalak megfelelő szilárdsággal rendelkeznek a hajófenéktől egészen a szilárdsági (teherhordó) fedélzetig, amely lehet magasabban a szabadoldal-fedélzetnél. Végül a fő válaszfalak már sok esetben igen hatékonyan állították meg az egyik raktérben vagy a géptérben keletkezett tűz továbbterjedését.

Vízmentes válaszfalak elhelyezése teherhajóknál

A lékesedésről szóló pontban láttuk, hogy az előírások megszabják a vízmentes válaszfalak minimális számát, amelyeket egy darabáru szállító hajón el kell helyezni. A hajó elején ki kell alakítani egy kollíziós (ütközési) válaszfalat, a farnál farkamrát kell kialakítani, ennek mellső válaszfala meg van szabva, és a géptér mindkét végén el kell helyezni egy-egy vízmentes válaszfalat. Ez azt jelenti, hogy egy középső gépteres hajónál a *vízmentes válaszfalak minimális száma* négy. A géptérnek a farban való elhelyezése ezt a számot háromra csökkentheti, mivel a farkamra mellső fala egyben a géptér hátsó fala lehet.

Ezek közül a válaszfalak közül talán a legfontosabb a mellső *kollíziós válaszfal*. A tapasztalat szerint minden második hajónál, amely ütközéses balesetet szenved, a hajóorr megsérül. Ez az oka, hogy egy meglehetősen komoly szerkezetű válaszfal kialakítása kötelező, és azt nem szabad annyira előre telepíteni, hogy az ütközés során megsérüljön. Viszont nem szabad annyira távol lennie az orrtól, hogy az elárasztott tér túlzott orrtrimet okozzon. A Lloyd's Register a válaszfal helyét azoknál a hajóknál, amelyek hossza nem lépi túl a 200 métert, a hajóhossz (Lloyd's Length, Lloyd hossz) 5 és 8%-a között levő értékben határozza meg a terhelt vízvonaltól. A

valóságban ezt a válaszfalat annyira elől helyezik el, amennyire lehet, hogy a lehető legnagyobb raktérkapacitást lehessen nyerni. A *farkamra-válaszfal* célja, hogy a tönkcsöveket egy vízmentes térbe zárja be, ezzel megakadályozza, hogy a héjlemeznek a hajócsavar-tengelyek törésekor esetleg bekövetkező sérülése miatt lékesedés történhessen. Ennek helye annyira hátul van, hogy a farkamra lékesedésekor ne keletkezzék túlzott fartrim. A *géptéri válaszfalak* önmagában zárt teret biztosítanak a gépek és kazánok számára, ezzel megakadályozzák, hogy valamelyik szomszédos raktér lékesedésekor ezek a létfontosságú berendezések károsodjanak. Emellett az itt keletkező tűz továbbterjedését is megakadályozzák.

A minimális számú vízmentes válaszfal csak a legkisebb teherhajókon fordul elő. A méret növekedésével az osztályozó intézet egyre több válaszfal alkalmazását javasolja, részben a nagyobb keresztzilárdság érdekében, részben pedig a térelválasztás biztonsága miatt. A 4.1.3.3.1.1 táblázat azokat a vízmentes válaszfal darabszámokat tartalmazza, amelyet a Lloyd's Register ajánl darabáru szállító hajóknál. Ezeket egyenlő távolságban szokták elhelyezni, de a hajótulajdonos esetleg egy adott fuvarozási területen hosszabb rakteret igényel, amelyet akkor hagy jóvá az intézet, ha a hajó keresztzilárdságát szolgáló kiegészítő merevítést biztosítanak. Az is elképzelhető, hogy a Lloyd's Register jóváhagyja egyetlen vízmentes válaszfallal is a konstrukciót, ha a kieső válaszfalakat helyettesítő elegendő jóváhagyott szerkezeti kompenzáció van beépítve. Konténerszállító hajóknál a válaszfalak osztása a szállított konténerek standard hossza alapján történik.

4.1.3.3.1.1 táblázat

| Válaszfalak szárazáru szállító hajóknál | | | |
|---|------------|---------------------------------|------------------|
| <i>Hajóhossz (m)</i> | | <i>Válaszfalak teljes száma</i> | |
| <i>-tól</i> | <i>-ig</i> | <i>Középső géptér</i> | <i>Fargéptér</i> |
| | 65 | 4 | 3 |
| 65 | 85 | 4 | 4 |
| 85 | 105 | 5 | 5 |
| 105 | 115 | 6 | 5 |
| 115 | 125 | 6 | 6 |
| 125 | 145 | 7 | 6 |
| 145 | 165 | 8 | 7 |
| 165 | 190 | 9 | 8 |
| 190 | | Egyedileg kell elbírálni | |

A fő vízmentes válaszfalak mindegyikét a legfelső folyamatos fedélzetig kell vízmentesre kialakítani; ha azonban a szabadoldalt a második fedélzettől mérik, csak addig a fedélzetig kell vízmentesnek lenniük. A kollíziós válaszfal a legfelső folyamatos fedélzetig tart, a farkamra válaszfala azonban csak a vízvonal feletti első fedélzetig kell, hogy vízmentes legyen, feltéve, hogy az a farig, illetve egy vízmentes farkamra-fenékbordáig vízmentesre van kialakítva.

Tömegáru szállító hajók esetében újabb szempontot kell figyelembe venni a vízmentes válaszfalak kiosztásánál, ha a tulajdonos kisebb szabadoldalt szeretne jóváhagyni.

Tömegáru szállító hajóknál lehetőség van csökkentett szabadoldal jóváhagyására az 1966-os The International Load Line Convention (nemzetközi merülési vízvonal konvenció) hatálya alatt, ha egy vagy több teret el lehet árasztani anélkül, hogy a hajó elsüllyedne. Nyilvánvaló okokból sok hajótulajdonos szeretné a megengedett legnagyobb merülésre a jóváhagyást megkapni az ilyen típusú hajóknál, ezért a válaszfalak kiosztása rendkívüli fontossággal bír.

Vízmentes válaszfalak elhelyezése személyhajóknál

Ahol a hajónak személyszállítási bizonylatra van szüksége (12-nél több utas), ott a járműnek ki kell elégítenie az 1974-es International Convention on Safety of Life at Sea (nemzetközi konvenció az élet biztonságáról a tengereken) követelményeit. Ez a konvenció szigorúan szabályozza a személyszállító hajó válaszfal-kiosztását, és az előírások betartását a konvenciót aláíró tengerhajózással rendelkező országok hatóságai ellenőrzik. Az Egyesült Királyságban pl. ez a hatóság a Marine and Coastguard Agency (tengerészeti és parti-őrség ügynökség).

A vízmentes válaszfalak konstrukciója

A vízmentes keresztválaszfalak lemezelését általában vízszintes lemeztábla sorokból hegesztik össze, így megfelelő kétdimenziós egységeket alakítanak ki. A kisebb válaszfalak egy egységet alkothatnak; a nagyobbak két vagy több egységből vannak összeállítva. A gyakorlat mindig is a vízszintes lemezsorokat részesítette előnyben, mivel a válaszfal alsó részén nagyobb a lemezvastagság, mint felette. Ennek oka, hogy a lemezvastagság közvetlen összefüggésben van azzal a nyomással, amelyet a válaszfal egyik oldalán levő tér elárasztása esetén a vízoszlop magassága gyakorol a válaszfalra. A magassági koordinátán kívül a lemezvastagságot a merevítők osztása is befolyásolja. A keresztirányú vízmentes válaszfalak merevítői általában függőlegesek, mivel így a merevítők fesztávolsága kisebb lehet, és a terhelést kisebb deformációval képesek elviselni. A merevítők rendszerint *egyenlőtlen szárú szögacélok* vagy *aszimmetrikus bulba-szelvények* (offset bulb plate, OBP), a merevítők mérete az alátámasztatlan hosszról, a merevítők osztásától és a végbekötések merevségétől függ. Ez utóbbi a *végbekötések konstrukciójának* függvénye, a rakterekben levő merevítők simán vagy csomólemezzel vannak a tankfedélhez és a fedélzethez hegesztve, a magasabban, két fedélzet között levő merevítők végét egyáltalán nem kell bekötni (ld. 4.1.3.3.1.1 ábra). A függőleges merevítőket meg lehet támasztani *vízszintes válaszfal keresztmerevítő*kkal, így csökkenthető a merevítők mérete a kisebb fesztávolság miatt. Vízszintes merevítőket leginkább azokon a válaszfalakon találunk, amelyek egy *tanktér határoló falát* alkotják, erről később még lesz szó.

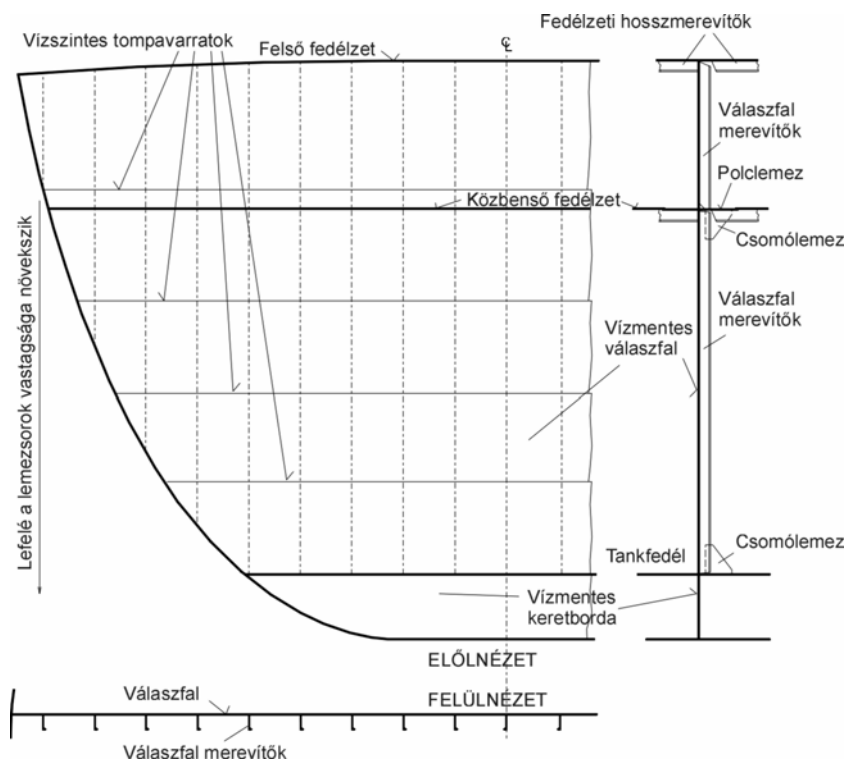
A mai korszerű hajókon gyakran találunk *önmerevített válaszfalakat*, az *önmerevítés* tervezésekor a mélységet és osztást olyanra kell megválasztani, hogy a hagyományos merevítőkkal azonos szilárdságot biztosítsanak (ld. 4.1.3.3.1.2 ábra). Az *önmerevítés*, akár *V-alakú*, akár *váltakozott*, függőlegesen van elhelyezve, mint a hagyományos merevítők a kereszt- és rövid alátámasztó funkciójú hosszválaszfalakon. Az *önmerevítés* a hegesztés előtt készül, ezért a válaszfal lemeztáblái függőlegesen helyezkednek el, és vastagságuk végig olyan értékű, amely a válaszfal alján szükséges vastagsággal egyezik meg. Ez azt jelenti, hogy maga a lemezelés valamivel nehezebb,

mint ami a hagyományos válaszfalnál lenne, ami rontja azt a súlycsökkentő hatást, hogy nem kell merevítőket alkalmazni.

A válaszfal szélét mindkét oldalt *folyamatos sarokhegesztés* köti a héjazathoz, fedélzethez és tankfedélhez.

A válaszfalakat a *súlytérén* azt megelőzően építik be a hajótestbe, hogy a fedélzet felkerülne. A *közbenső fedélzetek* vonalában egy 300-400 mm széles '*polclemez*' kerül felhegesztésre a válaszfalon, és amikor a közbenső fedélzetet behelyezik, az ezen a lemezen fekszik fel. A fedélzet *átlapoltan* van a polclemezre hegesztve, az *átlapolás* kb. 25 mm. Önmerevített válaszfalagnál arra van szükség, hogy kipótolják lemezdarabokkal az önmerevítés profilját a polclemeznél.

Ahol lehet, el kell kerülni, hogy csövek és szellőzőcsatornák menjenek át a vízmentes válaszfalakon. Ha azonban, amint előfordul számos esetben, ez nem lehetséges, olyankor a *csőátvezetést* a válaszfalnál peremes kivitelűre kell készíteni. Ahol szellőzőcsatornának kell áthaladnia, ott *vízmentes záró-elemet* kell beiktatni.



4.1.3.3.1.1 ábra
Szokásos vízmentes válaszfal

A vízmentes válaszfalak próbálása

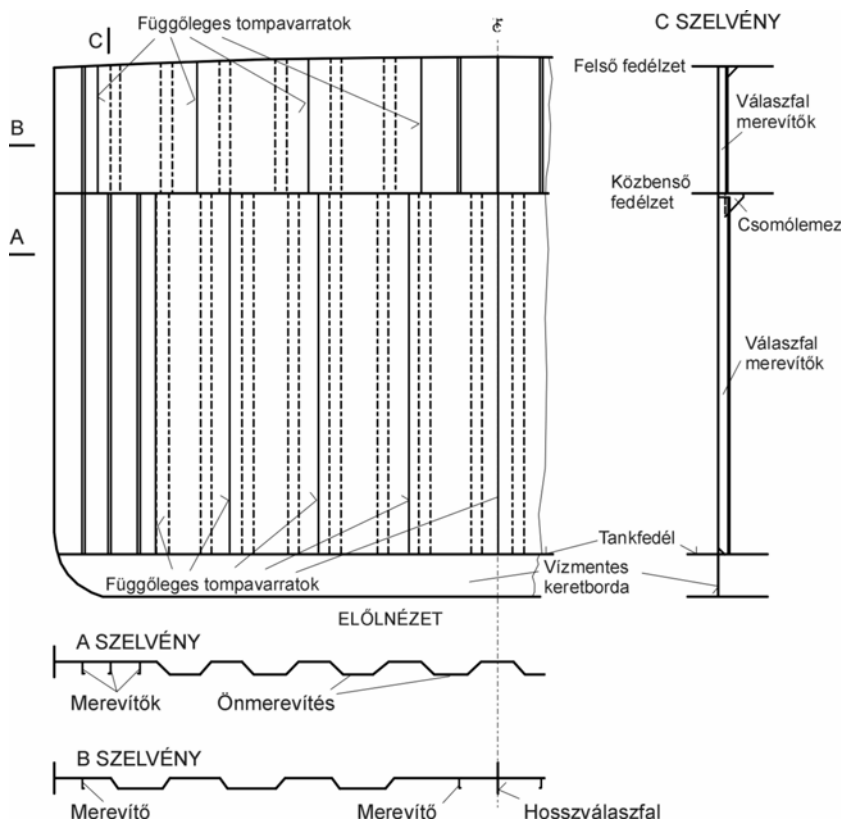
A kollíziós válaszfalat, amely az *orrkamra válaszfala*, és a *farkkamra válaszfalát*, amennyiben nem képezik *tankok végfalát*, úgy kell próbálni, hogy a terhelt vízvonalig fel kell tölteni a kamrákat vízzel.

Azokat a

válaszfalakat, amelyek tank végfalát képezik, amely rendszeresen ki van téve a folyadéknyomásnak, vízszugárral kell próbálni. Ezt az eljárást elegendőnek fogadják el, mivel túlzott költségeket okozna, ha egy rakteret fel kellene tölteni vízzel egy vízmentes válaszfal próbálásához.

Vízmentes ajtók

A vízmentes válaszfalak akkor képesek feladatukat tartósan teljesíteni, ha sértetlenek. Ugyanakkor bizonyos esetekben elengedhetetlen, hogy a vízmentes válaszfal két oldalán levő terek között *átjárási lehetőséget* biztosítsanak, ami szükségessé teszi vízmentes ajtók beépítését.

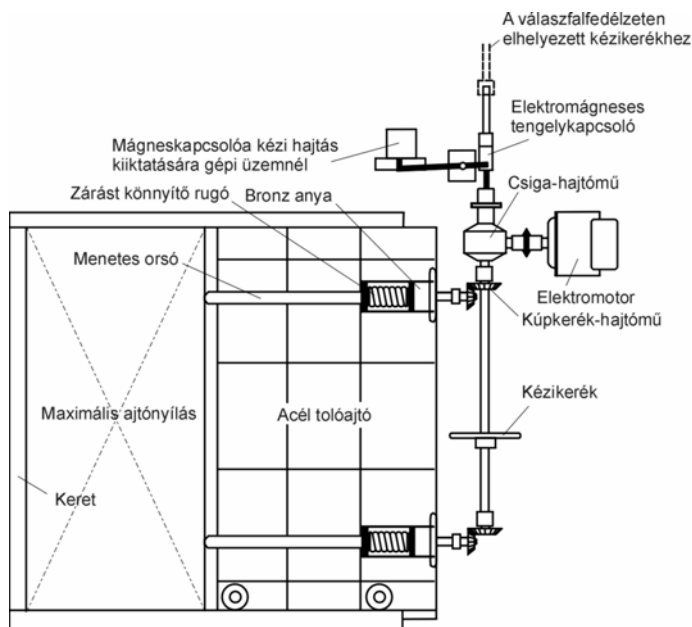


4.1.3.3.1.2 ábra
Önmerevített
vízmentes válaszfal

A leggyakoribb példa erre áruszállító hajók esetében az, hogy a géptér és a tengelyalagút között közvetlen átjárásnak kell lennie.

A személyhajókon még gyakrabban találunk vízmentes ajtókat, amelyek lehetővé teszik az utasoknak, hogy az utastér egyik teréből a másikba átjussanak. Amikor ajtót építenek be egy vízmentes válaszfal

alsó részén, ügyelni kell arra, hogy a válaszfal szilárdsága ezzel ne csökkenjen.

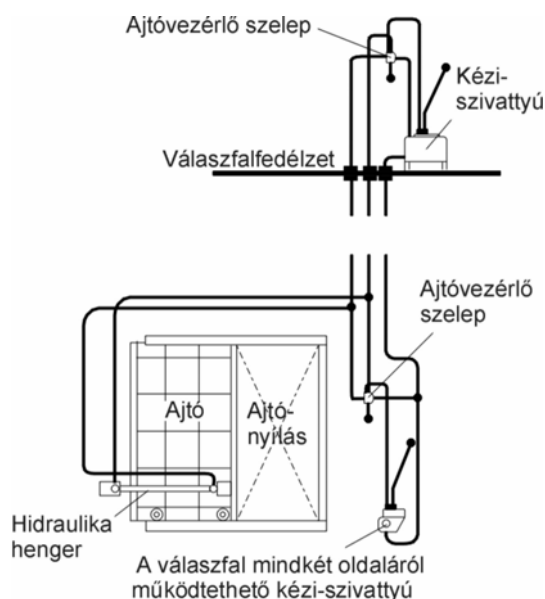


4.1.3.3.1.3 ábra Gépi
működtetésű vízszintesen
eltolható vízmentes ajtó

A nyílást peremmel kell ellátni és meg kell erősíteni, ha a függőleges merevítőket is át kell vágni a nyílás miatt. Ha az átvágás helyett a merevítők távolságát növelik meg egymástól, hogy közöttük elférjen a nyílás, a merevítők méretét a nyílás mindkét oldalán meg kell növelni, hogy a nyílás nélküli válaszfal szilárdságával azonos szilárdságot lehessen elérni.

A tényleges nyílást minél kisebb méretűre kell kialakítani, pl. a tengelyalagútba vezető nyílás magassága kb. 1.000-1.250 mm, szélessége pedig kb. 700 mm. Személyhajók utasterében a nyílások valamivel nagyobb méretűek.

A vízvonál alatt lágyacél vagy öntött *acél vízmentes tolóajtókat* építenek be függőleges vagy vízszintes konstrukcióval.



4.1.3.3.1.4 ábra Kézi hidraulikával működtetett vízmentes vízszintes tolóajtó

A *sarokpántos típusú ajtókat* elárasztásnál szinte lehetetlen becsukni, ezért tilos alkalmazni őket. A tolóajtónak akkor is működőképesnek kell lennie, ha a hajó 15°-ra meg van dőlve, azon kívül az ajtó közvetlen közeléből is működtethetőnek kell lennie, de a válaszfal feletti fedélzeten elhelyezett működtető helyről is. A távirányítás helyén jelzőszerkezetnek kell mutatnia, hogy az ajtó nyitva vagy zárva van. A *függőleges tolóajtókat* függőleges csavarorsóval lehet bezárni, amelynek felső vége a válaszfal feletti fedélzeten van és el

van látva forgatókarral. A csavarorsó az ajtóhoz rögzített bronz anyát mozgatja tengelyirányban, az ajtónál is van forgatókar, hogy ott is be lehessen zárni. Gyakran fordulnak elő *vízszintes tolóajtók* is, ezek működtetéséhez a függőleges tengely hasonló módon a válaszfal feletti fedélzetre van felvezetve, a tengelyen levő forgatókarral az ajtó távolról is becsukható, de a helyszínen is. Az ajtó zárását gépesíteni lehet, az elektromotor a függőleges tengelyt csigahajtóművön át forgatja, amely kúpkerek-hajtóművön át hajtja meg a menetes orsót az ajtóhoz rögzített bronz anyában. A vízszintes tolóajtót hidraulikus henger is működtetheti, amelyhez a nyomást kézi szivattyú biztosítja mind a helyszínről, mind a fedélzetről (ld. 4.1.3.3.1.4 ábra). A személyhajókon, ahol a vízmentes ajtók száma sokkal nagyobb, azokat hidraulikus hengerek zárják be, amelyeket távvezérléssel hoznak működésbe egy központi helyről a válaszfal feletti fedélzetről vagy még magasabb helyről.

A *vízmentes ajtókat vízszaggárral próbálják* zárt állapotban, a személyhajókon beépített ajtókat azonban a *válaszfal feletti fedélzetig mért vízoszlop nyomással próbálják*. Ezt a próbát akkor is el lehet végezni, amikor az ajtót még nem építették be a hajóba.

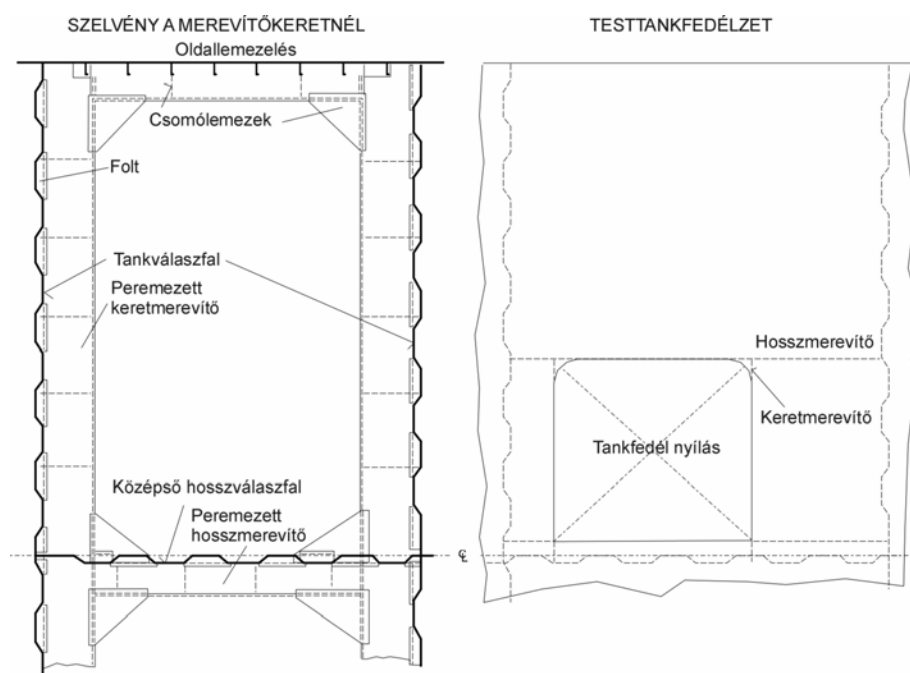
Az osztályozó intézet által jóváhagyott helyeken a felső közbenső fedélzetek között a vízvonál felett megengedett a sarokpántos vízmentes ajtók alkalmazása is. Ezek hasonló megoldásúak lehetnek, mint az időjárásálló ajtók, amelyeket a felépítményekben találunk, de a csapoknak bronzból kell készülniük.

Testtankok

Elfogadott gyakorlat volt korábban, hogy a középső gépteres hajóknál a géptérrel szomszédosan *testtankot* alakítottak ki, amelyet ballasztmenetben feltöltöttek, ezzel üres-menetben javítani lehetett az úszáshelyzetet anélkül, hogy trimet okozott volna. Ezeket a tankokat arra is fel lehetett használni, hogy árut szállítsanak bennük, különösen speciális folyékony árut. A vonalhajókon, ahol bizonyos folyékony

rakomány szállítása gyakori volt, előnnyel járt ezeknek a testtankoknak a géptér melletti elhelyezése, mivel melegíteni lehetett a rakományt. A korszerű áruszállító hajóknál azonban körültekintően kell kiválasztani a testtankok helyét, hogy elkerülhető legyen a különböző rakodási állapotoknál a hajótest túlzott igénybevétele. Ma már a legtöbb hajón a géptér hátul vagy a hajó hátsó harmadánál van elhelyezve, és előtte testtankok vannak kialakítva az üres-meneti ballaszt számára.

A testtankok konstrukciója. Azok a válaszfalak, amelyek a testtankok végfalát képezik, abban különböznek a raktéri válaszfalaktól, hogy rendszeresen ki vannak téve a folyadékoszlop nyomásának.



4.1.3.3.1.5 ábra
Testtank-
konstrukció

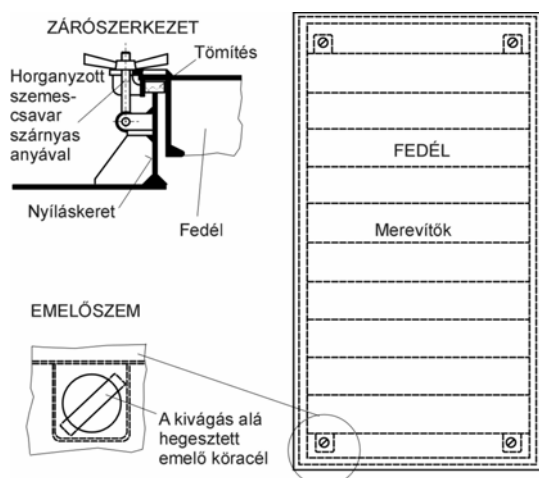
A szokásos raktéri válaszfalaknál megengedhető, hogy az olyan ritka alkalmakkor, amikor a raktér átmeneti elárasztását el kell viselnie, nagy feszültség ébredjen bennük és

alakváltozást szenvedjenek, ezzel szemben a testtank válaszfalánál, amely rendszeresen ki van téve ilyen terhelésnek, követelmény a nagyobb merevség, és a feszültség értéke kisebb kell, hogy legyen.

Végső soron ez azt jelenti, hogy a lemez vastagsága és a merevítő szelvények mérete nagyobb a testtankok esetében, sőt, további merevítésekre is szükség lehet.

A válaszfalak lemezelésének vastagsága nagyobb az alsó részen, a lemezt még vastagabbra kell választani, ha a merevítők osztását növelni kell. A válaszfal merevségének biztosításához a függőleges merevítőket nagy méretűre kell választani és egymáshoz minél közelebb kell őket elhelyezni. Csomólemezekkel kell bekötni a végüket, vagy más hasonló bekötést kell alkalmazni. A függőleges merevítők mérete akkor csökkenthető, ha vízszintes keresztmerevítőket alkalmaznak, amelyek folyamatos merevítő-keretet képeznek a válaszfalon és a hajó oldalsó héjlemezén. Ezeknek a vízszintes merevítőknek a végét peremezett csomólemezekkel kötik be az oldalsó hosszmerevítőhöz, és a csomólemezek vége az oldalbordákhoz bekötött függőleges csomólemezekkel van megtámasztva, ugyanilyen csomólemezek vannak elhelyezve

minden harmadik bordánál. Az oldalsó hosszmerítőt megfelelően kell bekötni az egyszerű bordákba (ld. 4.1.3.3.1.5 ábra).



4.1.3.3.1.6 ábra Testtank záró-fedél konstrukció

Ahol a testtankokban folyékony üzemanyagot vagy olajrakományt akarnak szállítani, a szabad felület miatt arra van szükség, hogy a hajó teljes szélességét elfoglaló tankban *középső hosszválaszfalat* helyezzenek el. Ez a válaszfal lehet vízmentes vagy könnyített, ahol vízmentes, a merevítők méretének és bekötésének a tank végválaszfalánál leírt kivittel azonosnak kell lennie. Ha könnyített, a *könnyítések*

felületének elegendőnek kell lennie ahhoz, hogy a folyadékoszlop nyomást kiegyenlítsék a két oldalon, a válaszfal merevítése pedig sokkal könnyebb szelvényekből készülhet, a könnyítés bizonyos korlátozása megakadályozza a túl gyors kiegyenlítődést.

A testtankok kialakításánál mind a V-alakú, mind a váltogatott profilú önmerevített lemezeket jól fel lehet használni, a hagyományos merevítés hiánya esetén ugyanis a tankok tisztítása egyszerűbb. Amennyiben a hagyományos hegesztett szelvényekből álló merevítést alkalmazzák, előnyt jelent, ha a merevítőket a tankon kívül helyezik el, ami ugyancsak a tank tisztítását teszi egyszerűbbé a sima válaszfal felület miatt.

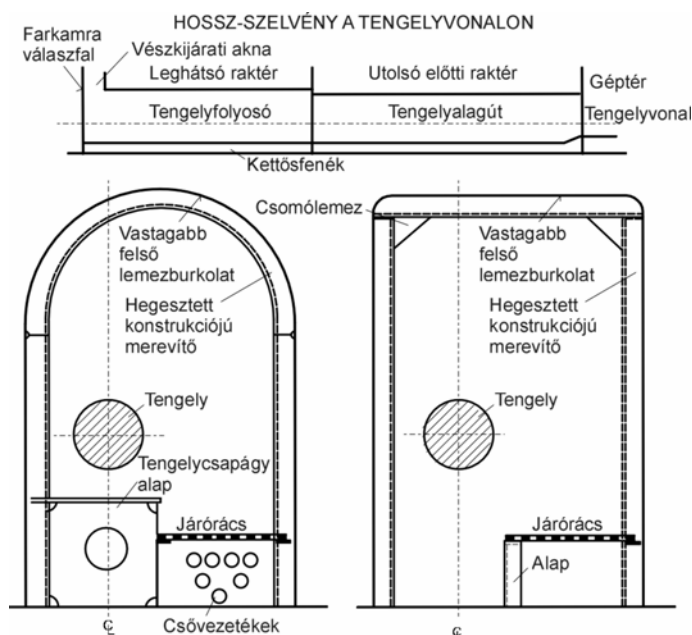
Azokon az áruszállító hajókon, ahol a testtankokban különböző folyékony rakományt is szállítanak, *elválasztó testtankot (kofferdam)* lehet két szomszédos tank között elhelyezni. Mivel ezek közvetlenül a géptér előtt is kialakíthatóak, általában csőalagutat képeznek ki rajtuk keresztül, amelybe a géptérből lehet bejutni. Ebben az alagútban vezethető a fenékszívó rendszer csőkötege, mivel azt nem kívánatos az olajrakományt tartalmazó testtankokon keresztül átvezetni.

Testtankok próbálása. A testtankok próbájánál akkora vízoszlop nyomást kell létrehozni, amely üzem közben keletkezhet bennük (azaz a légző-cső tetejéig). Ez nem lehet kevesebb, mint 2,45 m a tank feletti fedélzet felett.

Felső oldaltankok

A szokásos tömegáru szállító hajókon felső oldaltankokat alakítanak ki, amelyeket ballasztvízhez lehet használni, de könnyű gabona szállítására is alkalmasak. A ferde válaszfal vastagságát ennél a tanktípusnál hasonló módon lehet meghatározni, mint a testtankok válaszfalánál. A jelenlegi gyakorlat szerint a felső oldaltankot belül elhelyezett hosszmerítőkkel látják el, amelyet keretbordák támasztanak meg. A keretbordákat a fő rakodónyílások keretével egy síkban helyezik el; nagyobb hajókon pedig a tank felszélességénél a tank teljes hosszán végigmenő *sima lemezválaszfalat* építenek be a fedélzet és a ferde lemez közé.

Tengelyalagút



4.1.3.3.1.7 ábra Tengelyalagút konstrukciók

Amikor a hajó géptérét nem teljesen hátul helyezik el, szükség van a hajócsavar tengely(ek) zárt alagútban való elhelyezésére, amely a géptéri hátsó válaszfal és a farkamra mellső válaszfala között van beépítve. Ez védi a tengelyt a rakománytól, és vízmentes teret alkot, amely megakadályozza, hogy a hajóba víz kerüljön amennyiben a farkamra-válaszfalba szerelt tömítőszelence megsérülne. Az *alagút*

méretének biztosítani kell a felügyeleti hozzáférést és a tengelyek javítását. Az alagút mellső végénél, a géptéri válaszfalon mindkét oldalról nyitható vízmentes tolóajtó van elhelyezve. A tengelyalagútból két *kimenekülési lehetőséget* kell biztosítani, a másik kiút általában a tengelyalagút hátsó végénél egy vízmentes aknában elhelyezett *hágcsó*, amely a vízvonallal valamelyik fedélzeten kialakított *vész-búvónyíláshoz* vezet.

Amikor a hajófar karcsú formája szükségessé teszi, a géptér mögötti leghátsó raktér teljes lemezfeneket kaphat a tengelyalagút felső szintjén, mivel ilyenkor a szokásos tengelyalagút két oldalán fennmaradó keskeny rakodótér nem lenne hasznosítható. Az így keletkező többlettér a *tartalék hajócsavar tengely tárolására* szolgál. A tengelyalagút arra is felhasználható, hogy a hátrafelé menő csővezetéseket abban vezessék, így nemcsak hozzáférhetőek, hanem a rakománytól is védve vannak.

A tengelyalagút konstrukciója. Az alagút lemezének vastagságát a vízmentes válaszfalakéhoz hasonlóan határozzák meg. Ahol az alagút teteje kör-keresztmetszetű, a felső rész lemezt vastagságát csökkenteni lehet, ahol azonban sík, ott növelni kell. A rakodónyílások alatti részen a lemezt vastagabbra kell venni, kivéve, ha megfelelő vastagságú fapadlóval van borítva. Az alagút lemezét merevítő függőleges szelvények mérete hasonló, mint a vízmentes válaszfalak merevítőinél, alsó végüket pedig a tankfedélhez kell hegesztetni (ld. 4.1.3.3.1.7 ábra). Amikor elkészült, a tengelyalagutat vízszugárpróbának kell alávetni.

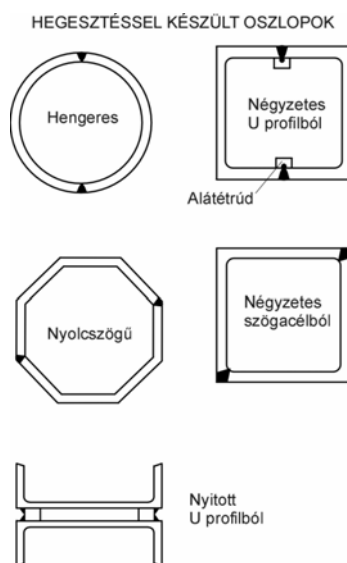
A tengely mentén adott távolságra egymástól *csapágyalapokat* kell kiépíteni, ezek tartják a tengely csapágait. A tengely egyik oldalán járót kell kialakítani a tengely felügyeletének elvégzéséhez, emiatt az egycsavaros hajóknál a tengelyalagút aszimmetrikusan helyezkedik el a hajó középsíkjához képest. Ez a járó általában szögacél tartókon elhelyezett rácsokat jelent, a csöveket így a járó alatt lehet elvezetni.

4.1.3.3.2 Oszlopok

Az *oszlopok* legfontosabb feladata, hogy a fedélzetek és az azokon elhelyezett rakományok súlyát átadják a hajófenék szerkezetének, ahol a vízkiszorítás felfelé ható felhajtóerő a súlyerők ellen hatnak. A második fontos feladata az oszlopoknak a szerkezet függőleges összekötése. Az áruszállító hajók hajótest szerkezetében két különböző kialakítású oszlopot találunk, a rakterekben levők elsősorban az első funkciót teljesítik, a *géptéri oszlopok* pedig a második célt szolgálják. A főként nyomóterhelés alatt álló *raktéri oszlopok* vége gyakran csomólemezzel van bekötve a többi szerkezeti elembe, a géptéri oszlopok azonban megfelelő méretű csomólemezekkel csatlakoznak a szerkezethez, hogy a húzóterheléseket is fel tudják venni. Az ilyen típusú oszlopokat találjuk a tankokban is, ahol a szerkezet terhelés alatti deformációja az oszlopokban húzófeszültséget ébreszt.

A raktéri oszlopok osztása

Mivel a rakterekben elhelyezett oszlopok a rakodást akadályozzák, gyakoribb a nagyobb távolságra elhelyezett *dobozszerkezetű nagyobb oszlopok* alkalmazása, mint a kisebb keresztmetszetű zárt szelvényből készülő egymástól kisebb távolságra elhelyezett oszlopoké.



4.1.3.3.2.1 ábra Oszlopok keresztmetszete

Az áruszállító hajókon leggyakrabban alkalmazott elrendezésnél az oszlopokat két sorban helyezik el, mindkét oldalon egy sorban, a rakodónyílás sarkainál vagy a nyílás közepénél, ahol a nyílás széle és a hajóoldal között levő *fedélzeti keretgerendákat* támasztják alá. A fedélzeti gerenda mérete függ az alátámasztatlan hosszától, ezért, ha a rakodónyílás közepénél van elhelyezve az oszlop, és nem a nyílás sarkait támasztja alá, a fedélzeti keretgerendák mérete nagyobb, mint a másik esetben.

Valójában az oszlopokat teljesen el lehet hagyni, ha a rakomány teljesen szabad teret követel, ilyenkor azonban a fedélzeti keretgerenda mérete még nagyobb, a rakodónyílás kereténél pedig a végét a válaszfalhoz csomólemezekkel

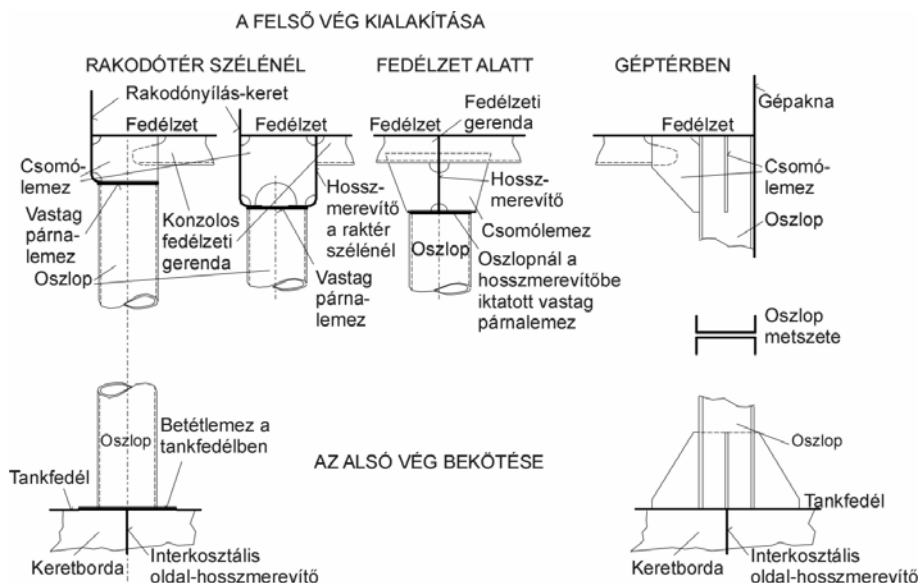
kell bekötni. A többi fedélzeti gerendát, amelyek konzolosan támasztják a rakodónyílás kerete és a hajóoldal közötti fedélzetrészt, megfelelő méretűre kell megnövelni.

Oszlopokat lehet elhelyezni a hajó szimmetriasíkjában is a *rakodónyílás* végeinél, ezek alátámasztják a rakodónyílás keretét is képező nehéz fedélzeti gerendát, amely a rakodónyílás keret segítségével az oldalsó fedélzeti gerendákat is alátámasztja. Hasonló okból találhatunk oszlopként funkcionáló könnyített hosszválaszfalakat is a hajó szimmetriasíkjában a rakodónyílás végei és a következő válaszfal között.

A hajó szerkezetének folyamatosságát biztosítják a *közbenső oszlopok*, amelyek közvetlenül a raktéri oszlopok felett vannak beépítve. Ha erre nincs lehetőség,

valamilyen megerősítéssel kell biztosítani, hogy a közbenső oszlop átadja a terhelést a raktéri oszlopnak.

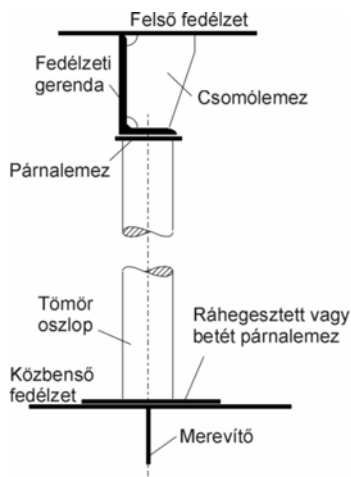
Az oszlopok konstrukciója



4.1.3.3.2.2 ábra
Oszlopok
bekötése

Már láhattuk, hogy a raktéri oszlopok elsősorban nyomásra vannak igénybe véve, tehát ha el akarjuk kerülni az üzem közbeni *kihajlást*, a keresztmetszet

tervezésénél nemcsak a terhelés mértékét kell figyelembe venni, hanem az oszlop hosszát is.



4.1.3.3.2.3 ábra Kisméretű tömör oszlopok

A nyomott rúdnál az ideális keresztmetszet a csőszelvény, a legtöbb esetben azt használják a raktéri oszlopokhoz, de zárt szögletes vagy nyolcszögletű szelvényt is találunk. Gazdasági okokból a szelvényeket acéllemezről gyártják, a szögletes zárt szelvényt gyakran alakítják ki *szögacélból* vagy *U-szelvényből* (ld. 4.1.3.3.2.1 ábra).

Az ilyen szelvényeknél gyártástechnológiai okokból az oszlop belsejében szakaszos hegesztéssel elhelyeznek egy kisebb méretű szelvényt vagy lapos-acélt, így az oszlopszelvény hegesztése csupán külső hegesztési munkát igényel.

Az oszlopok alá és fölé *párnalemezt* kell behegeszteni, mivel nagyon fontos, hogy az oszlop mindkét végén jól el legyen osztva a terhelés. Az oszlop felső vége a csomólemezekkel rögzített kettőző lemezhez folyamatos varrattal van bekötve. Maga a kialakítás módja főként a hajó rakodónyílás-keretének alakjától függ, és attól, hogyan vannak bekötve a fedélzeti gerendák. Az oszlop alja vastag párna- vagy kettőzőlemezen áll, amelyet a tankfedélre fektetnek, és az oszlop helyének egybe kell esnie a fenékborda és oldalsó fenék hossz-merevítő találkozási pontjával a kettős-fenékben. Ahol erre nincs lehetőség, két hossz-merevítő között kialakított fenékbordát és rövid

interkosztális oldalsó fenék-hosszmerevítőt lehet beépíteni a terhelés elosztása érdekében.

A géptéri bordákat szögacél, U-szelvény vagy lemezből hengerléssel készített profil hegesztésével készítik, és megfelelő méretű csomólemezekkel kötik be a vasszerkezetbe (4.1.3.3.2.2 ábra).

Kisméretű oszlopok

A lakóterekben és a viszonylag kisebb hajókon *tömör kör-keresztmetszetű acél oszlopokat* helyeznek el, amelyek átmérője ritkán nagyobb 150 mm-nél. Ezeknek a felső és alsó végén *kovácsolt bekötőlemez* lehet, a felső végüket a végigfutó *szögacél fedélzeti hosszmerítőhöz* hegesztik. Másik lehetőség, amikor az oszlop felső végét folyamatos varrattal hegesztik egy fordítva felhegesztett szögacél fedélzeti hosszmerítőhöz, amelyet felülről csomólemezek kötnek be. Az alsó végét alátét- vagy párnalemezzel közvetlenül a fedélzethez rögzítik, amely alulról megfelelően merevítve van (ld. 4.1.3.3.2.3 ábra).

Manapság a tömör oszlopok helyett zárt szelvényű oszlopokat alkalmaznak, ezek felső és alsó végét a szokásos módon kötik be.

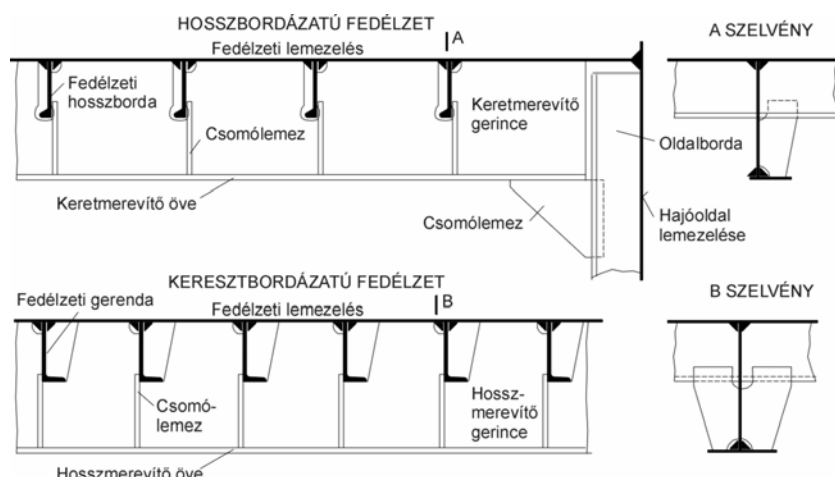
4.1.3.4 Fedélzetek, felépítmények és fedélzeti házak

A hajón különböző magasságban levő *fedélzetek* különböző célokat szolgálnak; vagy *vízmentes fedélzetek*, *szilárdsági (teherhordó) fedélzetek*, vagy egyszerűen a rakomány és az utasok elhelyezésére szolgáló fedélzetek. A vízmentes fedélzeteket azért építik be, hogy biztosítsák a hajótest vízmentességét, ezek közül a legfontosabb a *szabadoldali fedélzet*, amely a legfelső azok közül a fedélzetek közül, amelyek rendelkeznek megfelelő eszközökkel a szabadba eső részükön kialakított nyílások állandó lezárására. A hajótest szilárdságához valamilyen mértékben az összes fedélzet hozzájárul ugyan, a legfontosabb azonban az a fedélzet, amely a hosszirányú hajlító terhelést viselő keresztmetszet felső övét alkotja, erre utalunk 'szilárdsági fedélzet' néven. A könnyebb szerkezetű fedélzetek, amelyek nem vízmentesek, esetleg azért kerülnek beépítésre, hogy az utasok elhelyezésére szolgáló tereket biztosítsák, és lehetővé tegyék a rugalmasabb rakomány-elrendezést. Az áruszállító hajókon ezek a könnyebb szerkezetű fedélzetek alkotják azokat a *közbenső fedélzeteket*, amelyek biztosítják, hogy a rakományt ne kelljen olyan sok rétegben egymásra rakni, ami annak károsodását idézné elő.

A rakomány be- és kirakodása érdekében a fedélzeteken nyílásokat vágnak, ezeket pedig *nem-vízzáró vagy vízzáró rakodótér-fedelekkel* kell lezárni. Egyéb nyílásokra is szükség van a fedélzeteken keresztül az emberek közlekedésénél; a géptéri zónában pedig aknaszerű nyílásokat építenek ki, hogy a gépi berendezéseket építés után vagy közben beemelhessék, ha pedig javításra vagy cserére van szükség, kiemelhessék őket (*gépakna*), illetve, ami szintén nem elhanyagolható, világítási és szellőztetési lehetőségeket kell biztosítani a géptérnek. Ezek az utóbbi nyílások a fedélzeti házaktól vagy felépítményektől védelmet kapnak, az utóbbiak fő funkciója egyébként a lakó- és hajózási helyiségek elhelyezése. A legfelső folyamatos fedélzeten elől az *orrfelépítmény*

(forecastle, fokszli), hátul a *farfelépítmény* (poop) kerülhet kialakításra, hogy a tenger hullámai ellen nagyobb védelmet nyújtson a hajó végeinek.

4.1.3.4.1 Fedélzetek



4.1.3.4.1.1 ábra
Fedélzeti merevítők

A hajókon az időjárásnak kitett fedélzetek *domborulattal* (bucht, camber) rendelkeznek, amelynek alakja általában parabola, de ha csak rövid szakaszokat kell

figyelembe venni akkor egyenes. Lehet előnye annak, ha bizonyos hajókon a fedélzetet vízszintesre alakítják ki, főleg, ha azon konténereket szállítanak, és a hajó szelvényeinek szabályos alakúaknak kell lenniük. A belső terekben a fedélzet általában vízszintes.

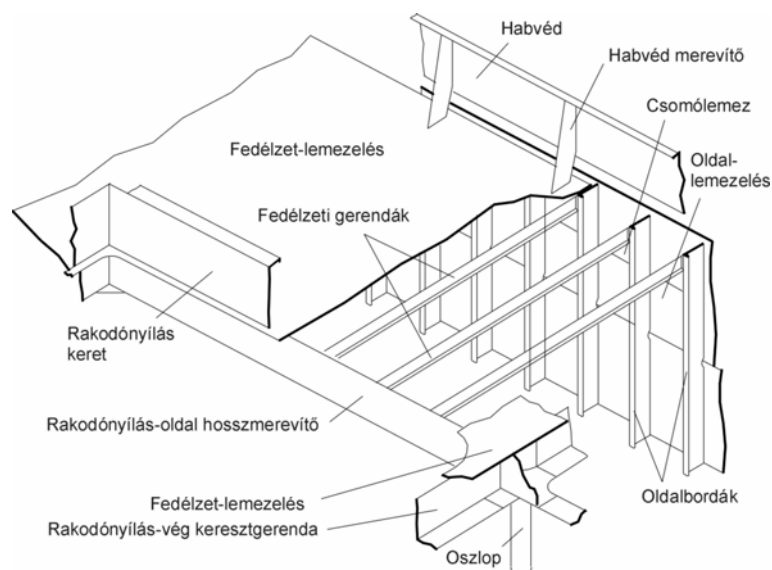
A fedélzeteket lemezszekcióként gyártják, a kereszt- vagy hosszborða-rendszerű merevítőkkel és az esetleges nyílások környezetében alkalmazott helyi merevítésekkel együtt. A keresztborðákat hosszmerevítők támasztják alá, a hosszborðákat pedig keretborðák (ld. 4.1.3.4.1.1 ábra).

Fedélzet-lemezelés

A fedélzeteken a legvastagabb lemezt a szilárdsági fedélzeten levő rakodónyílásokkal egyvonalon építik be. Azok a lemezek, amelyek a rakodónyílások vonalán belül vannak, kevés fontossággal bírnak a hajó hossz-szilárdságában, ezért lényegesen vékonyabbak. A hosszirányú hajlító igénybevételből a legnagyobb feszültségek a hajóközép környezetében ébrednek, ezért a fedélzetlemez legnagyobb vastagságát a hajóhossz 40%-án a hajó középső szakaszán végig meg kell tartani, majd fokozatosan csökkenteni lehet a hajó végén megengedett legkisebb vastagságra. A lemez vastagságát egyes helyeken, ahol a szerkezetben történő *hirtelen átmenetek* vagy *koncentrált terhelések* miatt nagyobb feszültségek ébredhetnek, meg lehet növelni.

Ott is megnövelhető a lemezvastagság, ahol nagy *fedélzeti rakományt* szállítanak, ahol *villás targoncák* vagy más kerek járművek közlekednek, és a testtankok környezetében. Ahol a szilárdsági fedélzet lemezvastagsága konténerszállító hajóknál meghaladja a 30 mm-t, Grade B, ha pedig a 40 mm-t túllépi, Grade D acélt kell alkalmazni a hajó középső szakaszán, a felépítmény végeinél és a rakodótér zónájában. A *szilárdsági fedélzet koszorúsora* (azaz a fedélzet szélső lemezsora, amelyet a mestersorhoz hegesztenek), a középső zónában és a konténerszállító hajóknál a raktér környezetében azoknál a hajóknál, amelyek hossza nem éri el a 260 métert, Grade B

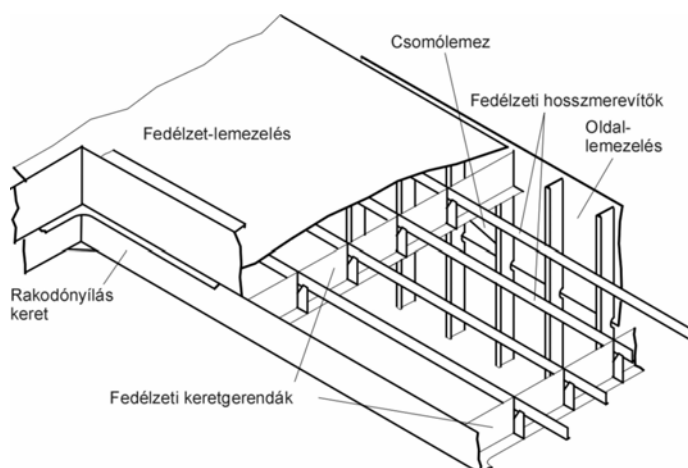
acélból kell, hogy legyen, ha vastagsága 15-20 mm, Grade D, ha 20-25 mm és Grade E, ha vastagabb 25 mm-nél.



4.1.3.4.1.2 ábra
Keresztbordázatú fedézet-konstrukció

Ahol az acélfedézet hőmérséklete 0°C alá csökken hűtött árut szállító hajóknál, az acél minőségének Grade B, D és E-nek kell lennie a vastagságtól függően. Olyan fedézetek lemezelésének kiválasztása, amelyek nem szilárdsági fedézetek, hasonló, azonban a

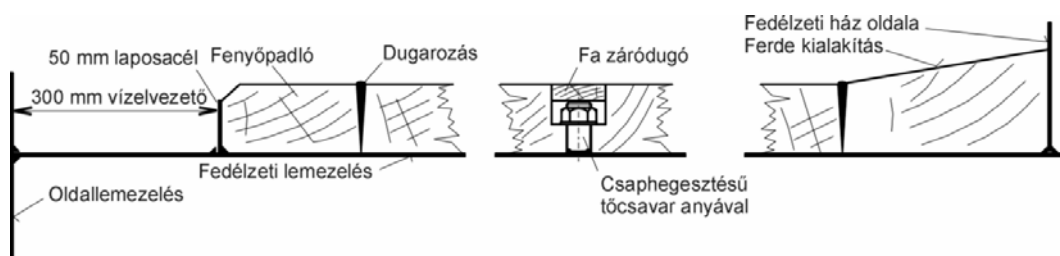
merevítők mérete kisebb.



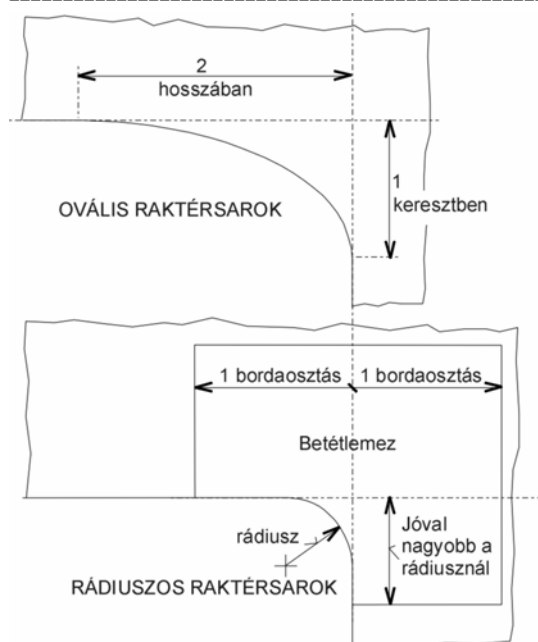
4.1.3.4.1.3 ábra Hosszbordázatú fedézet-konstrukció

Az időjárásnak kitett fedézeteket *fapadlózattal* lehet burkolni, vagy valamilyen elfogadott mesterséges burkolattal, ami nemcsak a látványt javítja, hanem hőszigetelést is biztosít a lakóterek felett. Mivel ez bizonyos mértékben hozzájárul a hossz-szilárdsághoz,

csökkenthető a fedézetlemez



4.1.3.4.1.4 ábra A fedézet védőburkolata



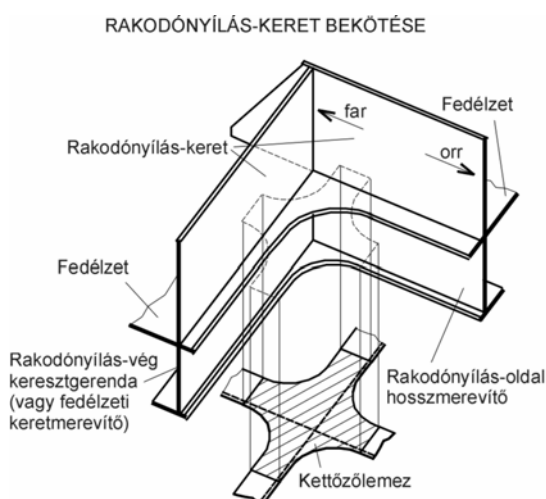
4.1.3.4.1.5 ábra Fedélzet lemezelése rakodónylás sarkánál

vastagsága; a *felépítmények belső fedélzeteit* is vékonyabb lemezből lehet készíteni, ha védőbevonatot kapnak.

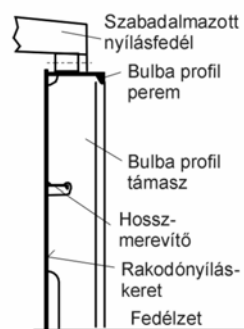
Bármilyen bevonat felhordása előtt a fedélzetlemezt korrózió ellen kezelni kell, hogy a lemez a bevonat alatt védve legyen (ld. 4.1.3.4.1.4 ábra).

A rakodónylásokkal azonos keresztmetszetben minden további nyílást lehetőleg kerülni kell a fedélzeten, és a rakodónylás sarkától távolságot kell tartani. Ha mégis kell ilyen nyílást kiképezni, a fedélzet szilárdsági keresztmetszetének csökkenését valahogy kompenzálni kell. A

fedélzetben kialakított valamennyi nagy nyílásnak lekerekített sarkokkal kell



KERET ÉS NYÍLÁSFEDÉL



4.1.3.4.1.1.1 ábra Rakodónylás keret kialakítása

rendelkeznie, a sarkokat betétlemezekkel meg kell erősíteni, kivéve, ha a sarok kiképzése parabola vagy ellipszis, amelynek nagytengelye a hajó hossz tengelyével párhuzamos, ugyanis az ilyen kialakítás a helyi feszültségeket csökkenti

(ld. 4.1.3.4.1.5 ábra).

A fedélzetek merevítése

A fedélzetek merevítői kereszt- vagy hosszborá-rendszerűek lehetnek, azonban a szilárdsági fedélzeten a nyílások keresztmetszetében előnyben kell részesíteni a hosszirányú merevítést. Amikor a fedélzet hosszmerítésű, a merevítők mérete függ osztásuktól, a hajó hosszától, attól, hogy a rakodónylások vonalán belül vagy azon kívül helyezkednek el, fesztávolságuktól és a fedélzeti rakomány nagyságától. A hosszmerítőket fedélzeti gerendák támasztják alá, ezek magas lemez gerincből állnak, amely peremezett vagy ráhegesztett övet kap, és csomólemezekkel vannak az oldalbordához bekötve (4.1.3.4.1.1 ábra). A hajó hosszának mellső 7,5%-án belül az orrfelépítmény feletti fedélzet és a szabad fedélzet keresztben elhelyezett fedélzeti

gerendáit kisebb osztással kell elhelyezni és a hosszirányú merevítők méretét meg kell növelni, a megerősítés célja az, hogy megakadályozza a fedélzetlemez kihajlását, amikor a hullámok terhelése nyomófeszültséget ébreszt benne.

A keresztmerevítésű fedélzeteket minden bordakereten fedélzeti gerendával kell ellátni, a merevítők mérete függ fesztávolságuktól, osztásuktól és a hajón való helyüktől. A hajó orr-részen levő szabad fedélzet gerendái, hasonlóan a hosszmerevítőkhez ebben a zónában, nagyobb méretűek, és a bordakeretek távolsága is csökkentve van ezen a zónán belül. Azok a fedélzeti gerendák, amelyek testtankok, orr- és farkamra tankok illetve olajtankok közelében vannak, szintén nagyobb méretűek lehetnek, mivel merevségüknek meg kell egyeznie a tank végfalának merevítőiével. A fedélzeti gerendák alátámasztását a fedélzeti hosszmerevítők biztosítják, amelyek mérete megegyezik a hosszmerevítésű fedélzet esetén alkalmazott keretgerendák méretével. A hajó hosszának mellső 7,5%-án belül az orrfelépítmény feletti fedélzetnél és a szabad fedélzetnél ezeket a fedélzeti keretgerendákat közelebb helyezik el egymáshoz. Máshol a kiosztás olyan, hogy megfeleljen a fedélzeti rakomány súlyának és a beépített oszloprendszernek. Mindegyik gerendát '*gerendakönyök*' néven ismert csomólemezzel kötik be a bordához, és a rakodónyílásokkal egyvonalon '*fél-gerendák*' vannak beépítve, amelyek megfelelő alátámasztást biztosító bekötéssel csatlakoznak a hosszmerevítőként funkcionáló *rakodónyílás kerethez* (ld. 4.1.3.4.1.2 ábra). Mind hossz-, mind keresztgerendáznál a merevítők méretét meg kell növelni a rakodófedélzeten, ha villástargoncák vagy más kerekes járművek közlekedésére számítani kell.

A rakodónyílások előtt és mögött a nyíláskeret meghosszabbításában hosszmerevítőket kell elhelyezni a fél-gerendák belső végének megtámasztására. A nyíláskeretek mellső és hátsó végénél keretgerendákat kell beépíteni, amelyeknek a nyíláskeret hosszirányú részébe való bekötésénél vízszintes kettőző-lemezeket alkalmaznak (4.1.3.4.1.1 ábra). Ahol a rakodónyílásnál a fedélzetlemez folyamatos a keret és az alatta levő merevítők között, és benyúlik a nyílásba, a keret oldalsó tartóját csomólemez formájában meg kell hosszabbítani előre és hátra.

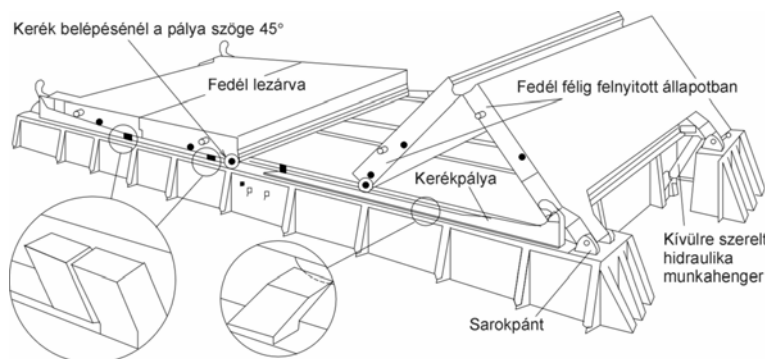
4.1.3.4.1.1

Rakodónyílások

A vízmentes fedélzeteken kialakított *rakodónyílások konstrukciójára* és a zárószervezetekre vonatkozó alapvető rendelkezéseket az 1968-as Conditions of Assignment of Freeboard of the Load Line Rules (*merülés-vonalakhoz tartozó szabadoldal engedélyezésének feltételei*, ld. lékesedés) tartalmazza. A Lloyd's Register képleteket közöl, amelyekkel meghatározható az *acél záró-fedelelek merevítőinek minimális mérete*, amely kielégíti a Load Line Rules követelményeit. A Load Line Rules csak a maximális megengedett feszültségeket és alakváltozásokat adja meg, amelyeket a záró-szerkezetek bizonyos terhelések alatt elszenvednek. Ezeknek a rendelkezéseknek az értelmében azok a hajók, amelyeket olyan elfogadott acél záró-fedelelekkel látnak el, amelyek közvetlen biztonsági felszerelésekkel rendelkeznek, csökkentett B-100 vagy B-60 szabadoldal engedélyt kaphatnak, amennyiben kielégítik a lékesedés térbeosztási feltételeit, általában azonban standard B típusú áruszállító hajó

szabadoldalra kapnak engedélyt. Amennyiben olyan *önhordó acél fedeleket* alkalmaznak, amelyek nem rendelkeznek közvetlen biztonsági felszereléssel, csak a standard B típusú szabadoldal engedélyezhető. Ahol *fa vagy acél gerendákat* helyeznek a nyílásra, és azt *ponyvával* fedik be, a hajó növelt B típusú szabadoldalra kap engedélyt, azaz merülés-szigorítás alá esik. Ez azt jelenti, hogy ma már a legtöbb hajót kizárólag a megerősített kivitelű *önhordó acél nyílászáró fedelekk*el szerelik fel.

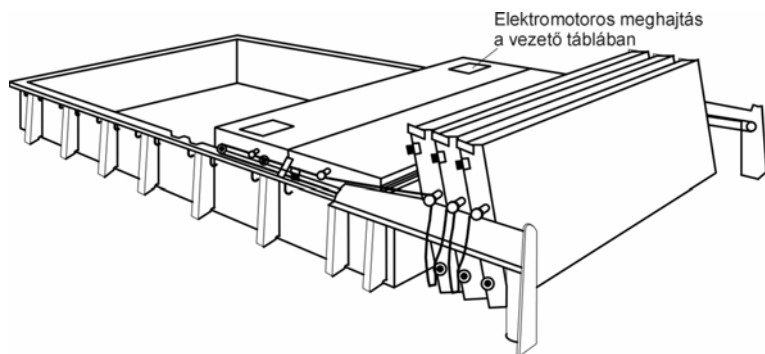
Nyílászáró fedelek



4.1.3.4.1.1.2 ábra Két irányba letolható rakodónyílás fedél

A szabadalmaztatott *acél záró-fedelekből* számosat találunk, mint pl. amelyeket a MacGregor-Navire International AB gyárt, amelyek

megfelelnek az 1966-os International Conference on Load Lines (*nemzetközi konferencia a merülési vonalakról*) által körvonalazott követelményeknek, azon kívül összhangban vannak az *osztályozó intézetek előírásaival* is. Az eszközöket, amelyek a nyílások biztonságossá tételét és azok vízmentességének megőrzését szolgálják, átadásnál is felügyelik, és



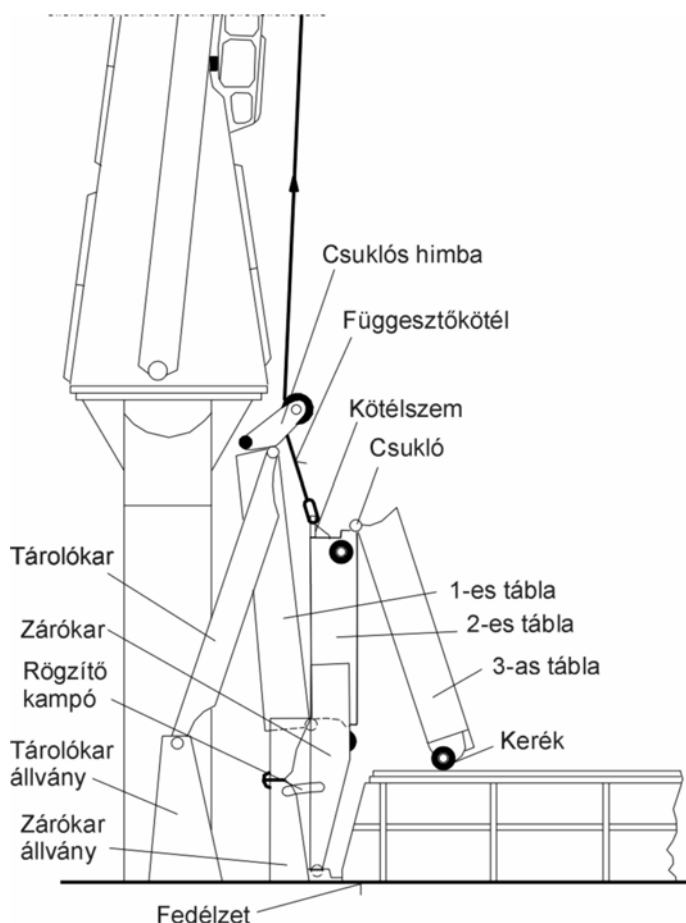
4.1.3.4.1.1.3 ábra Hajtogatott rakodónyílás fedél

időszakosan is vannak ellenőrzések. Ezeknek a szabadalommal védett *fedelekn*ek a *működési elve* többféle lehet, fő változataik az előre ill.

hátra letolható, a hajtogatott, a feltekeredő, az egymásra-csúszó, a leemelhető önhordó és az oldalra kigördülő. Ezeket a 4.1.3.4.1.1.2, 4.1.3.4.1.1.3 és 4.1.3.4.1.1.4 ábra szemlélteti.

A letolható fedelet a vezető panelbe (amely először kerül rá a nyílásra záráskor) beépített elektromotorok mozgatják, ezek lánckerekeket hajtanak meg, a lánc pedig a panelek külső oldalán levő lánckerekekkel mozgatja a többi panelt. Nyitáskor a vezető panel a többi után tároló helyzetbe mozgatja, majd saját maga is odakerül, záráskor a folyamat ellenkező irányban zajlik le. A letolható fedelet a nyílás végénél a hajó szimmetriasíkjában elhelyezett hidraulikus henger vagy ugyanott felszerelt

elektromotor is működtetheti, amely a nyílás két oldalán végigvezetett végtelen láncsal mozgatja a vezető panelt.

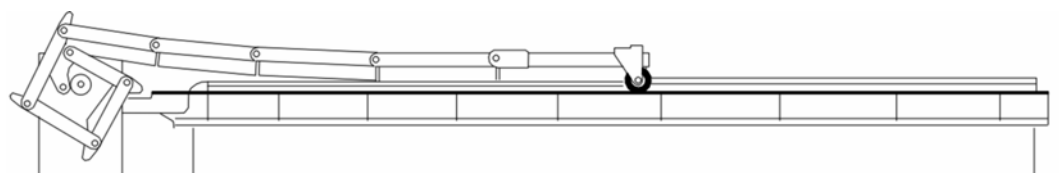


4.1.3.4.1.1.4 ábra Fedélzeti emelőszerkezettel működtetett rakodónyílás fedél

A panelek függőleges állapotban vannak a nyíláskeret egyik vége mögé becsúsztatva, ami helytakarékos megoldás; nagyobb rakodónyílásoknál a fedelet kétfelé lehet letolni és a nyílás mindkét végén tárolni. A hajtogatott fedeleket egy erre a célra beállított emelőszerkezet nyitja-zárja, de történhet a vezető panelre ható külső hidraulikus hengerrel is.

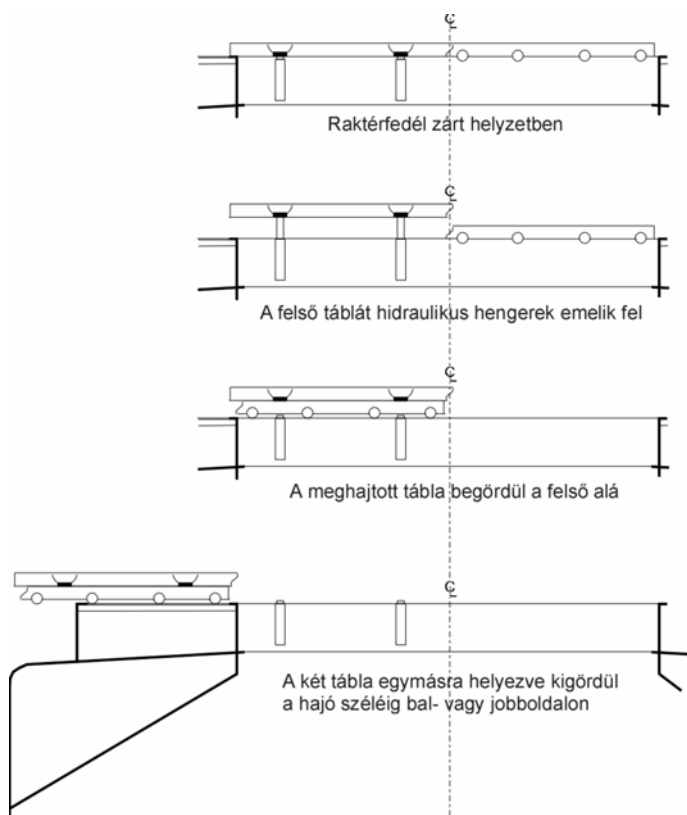
A feltekeredő fedél lényegében egy csuklós elemekre osztott fedél, amelyet nyitáskor egy meghajtott tároló-dobra csavarnak fel a rakodónyílás végénél. A zárás ennek ellenkezője. Az egymásra-csúszó fedél a panelek tárolását egymásra csúsztatva oldja meg,

ez feleslegessé teszi az emelő-berendezések elhelyezését és alkalmazását, előnye leginkább nagyon nagy nyílásokkal rendelkező hajóknál, pl. konténer- vagy tömegáru szállító hajóknál szembeötlő, ahol a nyílás részleges nyitásával dolgoznak. A kétrészes fedél egy hidraulikusan megemelhető panelből és egy motorosan meghajtottból áll, amely a másik alá megy be. Mindkettőt mozgatni lehet egymásra csúsztatott állapotban a nyílás egyik oldaláról a másikra, ami lehet a kiviteltől tekintve hossz- vagy keresztirányban.



4.1.3.4.1.1.5 ábra Feltekeredő rakodónyílás fedél

A leemelhető önhordó fedeleket általában konténerszállító hajókon használják, mozgatásukra a hajó saját daruját vagy kikötői darukat alkalmazzák.



4.1.3.4.1.1.6 ábra Egymásra csúszó rakodónyílás fedél

Zárt állapotban a többi acélfedélhez hasonlóan időjárásálló konstrukció. Az oldalra kigördülő fedelek a hajtogatott fedelekhez hasonló elven működnek, de tárolásuk nyitott állapotban vízszintes helyzetben történik. Az említetteken kívül még számos más kialakítású nyílásfedelet lehet találni a piacon, a közbenső fedélzetekhez pedig olyanok, amelyek a fedélzetbe illeszkednek, ez manapság igen fontossá vált, amikor a fedélközben is tárolnak rakományt. A vízmentességet a szabadalmaztatott fedelek illeszkedő felületekkel és

gumitömítésekkel oldják meg; a fedelek zárása a tömítőanyag ellenében kézi vagy automatikusan záródó záró-elemekkel történik (ld. 4.1.3.4.1.1.2 ábra).

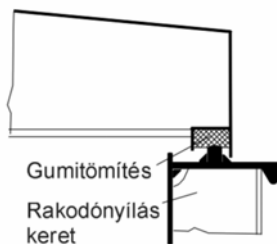
Rakodónyílás keretek

Ezek az alkatrészek a fedél konstrukciójával változhatnak.

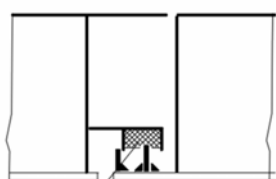
A keretek és a zárószerkezetek magassága egyes esetekben a *nyílás pozíciójától* függ. A pozíciókat a *zónáknak* megfelelően jelölik ki, amelyek közül egyesek nagyobb kockázattal bírnak. Az 1-es pozíció azt jelzi, hogy a nyílás az időjárásnak kitett szabadoldal fedélzeten, az emelt szállásfedélzeten vagy a felépítmény-fedélzeten helyezkedik el az orrtól a hajóhossz 25%-án belül.

A 2-es pozíció azt jelenti, hogy a nyílás az időjárásnak kitett felépítmény-fedélzeten helyezkedik el az orrtól a hajóhossz 25%-án kívül. Azoknak a nyílásoknak, amelyek az 1-es pozícióval vannak megjelölve, legalább 600 mm magasságú kerettel kell rendelkezniük, azoknak pedig, amelyek pozíciója 2-es, legalább 450 mm magasságúval, a magasságot burkolt fedélzetnél a burkolattól kell mérni. Annak, hogy ezeket a magasságokat csökkenteni lehessen, vagy teljesen el lehessen hagyni a keretet, az a feltétele, hogy közvetlen biztosítású acél fedelet kell felszerelni, és bizonyítani kell, hogy a hajó biztonsága semmilyen időjárási és tengerviszonyok mellett sem fog csökkenni.

METSZET A KERESZTSÍKBAN



METSZET A HOSSZSÍKBAN

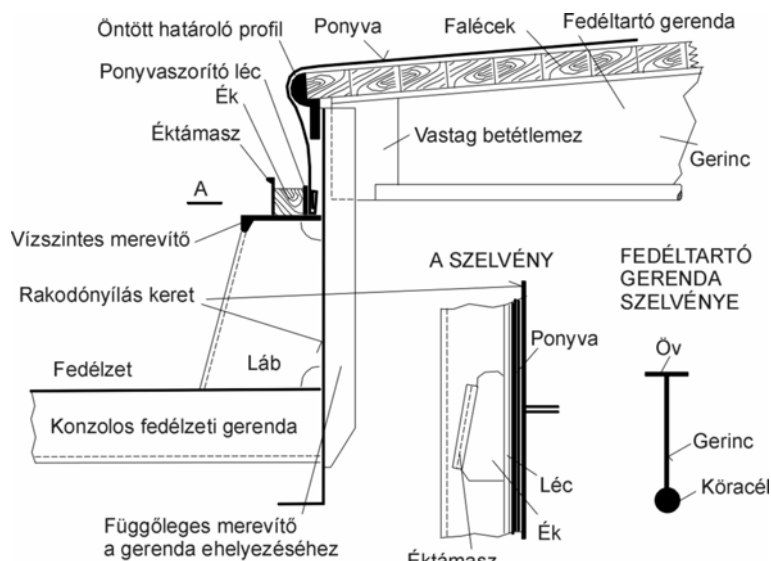


Gumitömítés

megfelelő

4.1.3.4.1.1.7 ábra Vízmentes tömítések rakodóníylás fedélhez

Ahol a keret magassága 600 mm vagy több, a keret felső szélét vízszintes aszimmetrikus bulba szelvénnel kell merevíteni, és a fedélzethez merevítő csomólemezekkel (támaszokkal) kell bekötni. Azokat a kereteket, amelyek magassága nem éri el a 600 mm-t, valamilyen szelvénnel merevíteni kell a felső élükön. Az acél nyílászkereteket leviszik a fedélzeti gerendák alsó éléig, és azokkal megfelelően összekötik (4.1.3.4.1.1.1 ábra). Az önhordó leemelhető acél fedelek saját merevítéssel rendelkeznek, nem igényelnek tartógerendákat. Mindegyik leemelhető szelet a teljes nyílásszélességet befedi, egy nyíláshoz kb. négy szükséges. Elég szilárdsággal rendelkeznek ahhoz, hogy a hajó megkapja a B típusú szabadoldal engedélyt, a



4.1.3.4.1.1.8 ábra Leemelhető önhordó rakodóníylás fedél

vízmentességhez azonban ponyvával vannak befedve és ki vannak ékelve. Ahol kiemelhető gerendákat alkalmaznak, azok fából vagy merevített acéllemez szeletekből készülhetnek. Ezeknél és más merevített gerendáknál az előírás szerinti merevítő-méretekkel kell alkalmazni, de

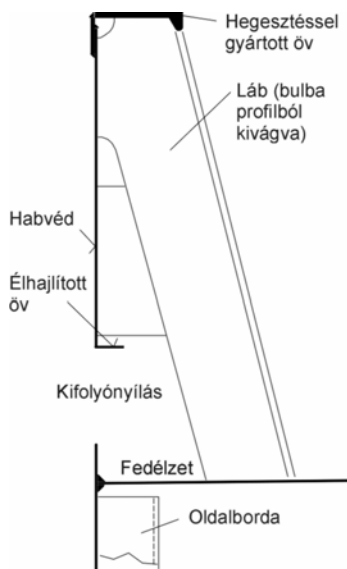
szabadoldal-növelés az ára annak, ha ilyen fedeleket építenek be. A gerendákat a nyílászkeretekben kialakított fészkekbe helyezik, a fedeleket pedig legalább két réteg *ponyvával* kell védeni. A keretnél a ponyvát ékekkel rögzítik, a fedél szeleteit pedig lakatos rudak vagy más biztosító berendezések zárják le (ld. 4.1.3.4.1.1.8 ábra).

4.1.3.4.1.2 Habvédek

Az időjárásnak kitett fedélzeteken elhelyezett *habvédek* a személyzet védelmére szolgálnak, ezért nem számítanak a fő szerkezeti elemek közé. Emiatt könnyebb szerkezetek, merevítőiket pedig a hajó szerkezeti elemeihez úgy kell bekötni, hogy ne okozzanak nagy feszültségeket a habvédekben. A habvédekben *víz kifolyó nyílásokat* kell

kialakítani, hogy a fedélzetre jutó víz gyorsan lefolyhasson. A nyílások méretének az 1968-as Load Line Rules (merülési vonalakra vonatkozó előírások) követelményeivel összhangban kell lennie.

A habvédek konstrukciója



4.1.3.4.1.2.1 ábra Habvéd

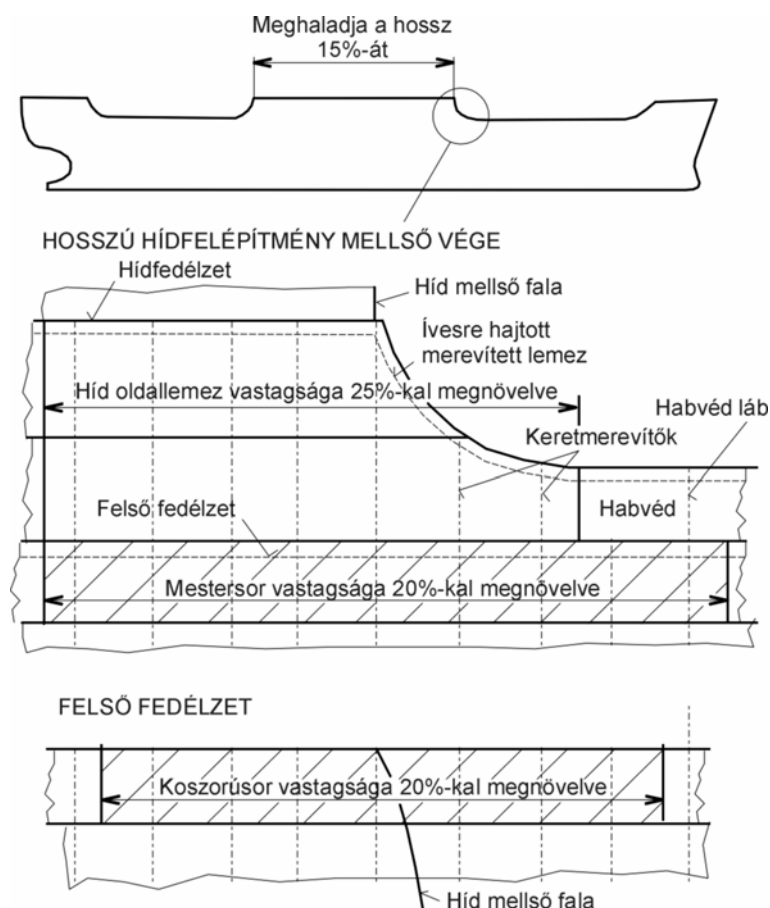
A *habvédek magasságának* az időjárásnak kitett szabadoldal- és felépítmény-fedélzeteken legalább 1 m-nek kell lennie, azonban ez az érték csökkenthető, ha a hajó üzemét zavarja. A habvéd függőleges lemez, amelynek felső szélét *korlátszelvénnel* (leginkább bulba, szögacél vagy lapos-acél) merevítik, a fedélzethez pedig támaszokkal kötik be (4.1.3.4.1.2.1 ábra). Olyan hajók orrfelépítményén, amelyek B-100 és B-60 szabadoldal engedéllyel rendelkeznek, a támaszokat sűríteni kell. Ahol a habvédet valamilyen okból meg kell szakítani, a sarkokat jól le kell kerekíteni, és kompenzációs megerősítést kell alkalmazni. Nem helyezhetők el nyílások a habvéden a felépítmények végénél.

4.1.3.4.2 Felépítmények és fedélzeti házak

A *felépítmények* fogalmát úgy lehet meghatározni, hogy azok a hajó oldaláig vagy majdnem addig terjedő építmények a *szabadoldal-fedélzet* felett. A *fedélzeti házak* olyan építmények a fedélzeten, amelyek jóval a hajó oldalon belül vannak. Mindkét típusú szerkezet fontossággal bír a terhelt merülés-vonal megállapítása során, mivel védelmet nyújtanak a szabadoldal-fedélzeten kialakított nyílások számára. Különleges fontossága van ebben a vonatkozásban a *felépítmények végválaszfalainak*, főleg a *híd mellső válaszfalának*, amelynek ki kell állnia a tengeren a hullámok erejét. A hajóközépen vagy a farfedélzeten levő híd szerkezetet a hatósági előírások szerint úgy kell kezelni, mint a gépakna védőszerkezetét.

Van azonban arra is lehetőség, hogy lemondjanak ezekről a fedélzeti házakról és felépítményekről, és jelentősen megnöveljék a védelem nélkül álló gépakna merevítőit; azonban az egészen kis hajók kivételével nem valószínű, hogy ilyen megoldást válasszon valaki. A *legfelső fedélzeten*, amennyiben a fedélzet szélének felhajlása (sprung, sheer) nem elég nagy, szükség van *orrfelépítmény* kialakítására, ami további védelmet nyújt hullámokkal szemben való hajózásnál. Mind a far-, mind az orrfelépítményt teljesen ki lehet használni, a *farfelépítmény* gyakorlatilag a teljes lakóteret magában foglalja korszerű hajóknál. A legénység lakótere a farfelépítmény leghátsó részén helyezkedik el, a hajózási helyiségek pedig a *híd* szerkezetében helyezhetők el.

A tengerjáró személyhajók felépítményei sokkal kiterjedtebbek, több fedélzetet is magukban foglalnak, és az utasok legnagyobb része ezekben kap helyet, sőt, a legénység egy része is.



4.1.3.4.2.1 ábra
Hídfelépítmény kialakítása

A hajó szilárdságát jelentősen befolyásolhatják az olyan szerkezeti kialakítások, ahol a felépítményekben és fedélzeti házakban *megszakítások* vannak, nem mennek végig. Az ilyen megszakításoknál, amint azt a hajószilárdság tárgyalásánál láthattuk, igen nagy feszültségek ébredhetnek, ezért *kiegészítő megerősítéseket* kell eszközölni helyileg, ahogy ezeket a következő szerkezet-kialakítási szempontok bemutatják. Azok a hosszabb felépítmények, amelyek a hajó hosszának 15%-át,

illetve a hajó középső szakaszának 50%-át meghaladják, külön figyelmet érdemelnek, mivel részét képezik a hajó teherhordó keresztmetszetének, tehát olyan merevítőkkel kell rendelkezniük, amelyek a teherhordó acélszerkezet merevítőinek felelnek meg.

Orrfelépítmény

A tengerjáró hajóknak rendelkezniük kell orrfelépítménnyel, amelynek a hajó hosszának legalább 7%-ára kell kiterjedni az *orrőkétől* mérve, azon kívül elő van írva az *orr minimális magassága* is az orrfelépítményen a nyári terhelt merülés-vonal felett. A felső fedélzet felhajlásának növelésével az orrészben annak érdekében, hogy magasabb lehessen az orr, el lehet hagyni az orrfelépítményt, azonban ilyen megoldást ritkán látunk. Az orrfelépítményben az oldal és végfal lemezelésének vastagsága függ a hajó hosszától és a bordák és merevítők kiosztásától, a kettő közül az oldal lemeze kicsit vastagabb. Abban az esetben, ha olyan hosszú az orrfelépítmény, hogy végválaszfala a hajó középső részének 50%-ába beleesik, további merevítés van előírva.

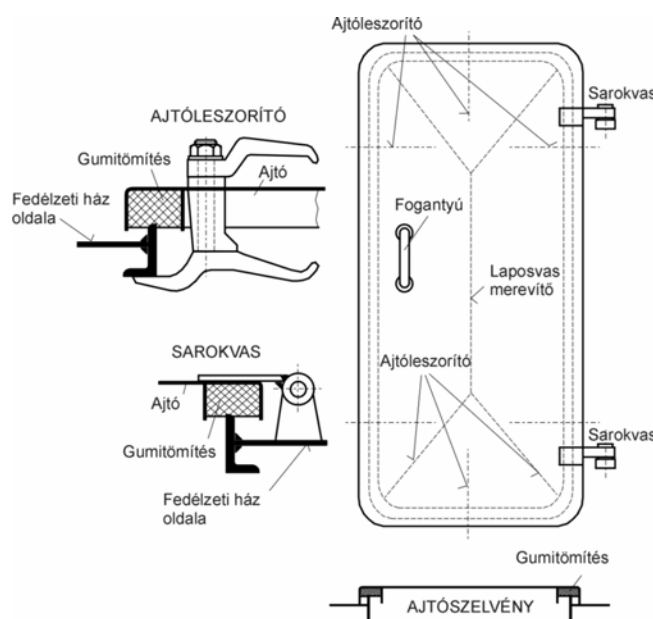
Hídszerkezetek

Az oldallemez vastagsága azoknál a *hídfelépítményeknél*, amelyek hossza meghaladja a hajóhossz 15%-át, nagyobb, mint más építményeknél, a merevítők méretének meg kell egyeznie azokéval, amelyek a hajó oldallemezéhez vannak előírva. A hídfelépítmények és *hajóközépen levő fedélzeti házak* mellső végfalának vastag lemezből kell készülnie, a hátsó végfal lemeze vékonyabb lehet az oldal- és homloklemeznél. Hasonlóképpen a homlok végfal merevítőinek mérete is nagyobb, mint az oldalnál és a hátsó végfalnál. Ahol a *hídfedélzeten* nagyobb építményeket kell emelni, ott a hídfedélzet további merevítést kap fedélzeti keretgerendák vagy rész-válaszfalak formájában. Ezek célja a hídfedélzeten levő fedélzeti házak oldalának és falainak merevítése, és amennyiben lehetséges, az alatta levő vízmentes válaszfalak síkjában kell ezeket elhelyezni. A *felépítmény-fedélzeteket* terhelő koncentrált erők helyén, pl. *mentőcsónak-daruk* alatt, szintén kell fedélzeti keretgerendákat beépíteni.

Azoknak a hosszabb felépítményeknek a végeinél, amelyek részt vesznek a hajó hajlítoszilárdságában, megfelelő megerősítéseket kell eszközölni. Az ilyen nagy mértékű keresztmetszet-változásoknál a *felső fedélzet vonalában a mestersor vastagságát* meg kell növelni 20%-kal, a koszorúsorét 20%-kal, a híd oldalsó lemezéét pedig 25%-kal. Az utóbbi lemez csatlakoztatása a mestersorral nagy sugarú lekerekítéssel van megoldva, amint a 4.1.3.4.2.1 ábrán látható, és a felső éle övet kap, illetve merevítő lemezekkel van megerősítve, amelyek egymástól legfeljebb 1,5 m-re lehetnek. A kisebb hídfelépítmények végénél kisebb erősítés is elegendő, mivel azonban a helyi feszültségek itt is nagyok lehetnek, a felső fedélzetnél a mestersor vastagságát növelni kell 20%-kal és a koszorúsorét 20%-kal.

Farfelépítmény-szerkezet

Ahol a hajóközépen nincs fedélzeti ház vagy hídfelépítmény, a *farfelépítmény mellső végfalát* vastag lemezből kell készíteni, merevítőinek mérete pedig azonos a hídfelépítmény homlokfalánál előírtakkal. Ezek a szerkezetek viszonylag erősen ki vannak téve az elemeknek, ezért minden esetben elegendő megerősítésre van szükség.



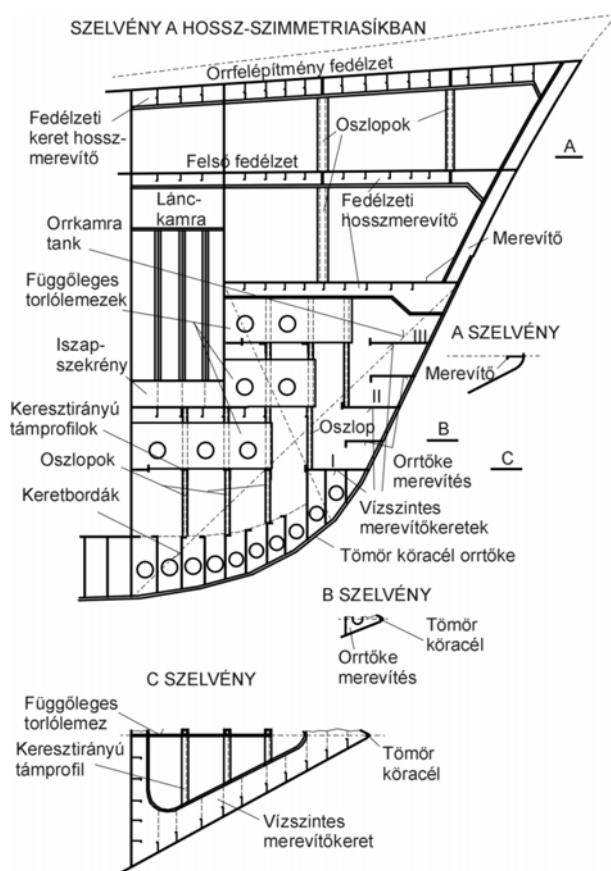
4.1.3.4.2.2 ábra Külső vízmentes ajtó

Ha a farfelépítmény mellső fala a hajó középső szakaszának 50%-án belül van, az így keletkező teherhordó keresztmetszet változásnál jelentős megerősítést kell alkalmazni, amennyiben a híd hossza a hajóhossz 15%-át meghaladja. Ahol a *farfelépítmény fedélzetére* még fedélzeti házat építenek, azt fedélzeti keretgerendának vagy rövid kereszt-válaszfalnak kell alátámasztania azonos módon, mint

a hajóközépen kialakított felső fedélzeti házak esetében. A farfelépítmény fedélzetén levő bármilyen fedélzeti ház hátsó falát megnövelt méretű merevítőkkel kell ellátni, mivel azok az időjárásnak jobban ki vannak téve, mint más fedélzeti házak hátsó végfalai.

Személyhajók felépítményei

Láthattuk a hajószilárdság tárgyalásánál, hogy a hajlító igénybevételtől ébredő feszültségek eloszlása a keresztmetszetben lineáris, tehát a semleges szálban zéró, a felső fedélzetben és a fenékben pedig maximális értékű. Ha hosszú felépítményt alakítanak ki a hajón, a feszültség továbbra is lineárisan oszlik meg, a *szilárdsági* (teherhordó) *fedélzet* viszont feljebb kerül a felső fedélzetnél, a



4.1.3.5.1 ábra Hajóorr-konstrukció

szerepét a *felépítmény-fedélzet* veszi át. Ha felépítmény rövid, a felső fedélzetnél ugrás következik be a feszültségeloszlásban, amely a szilárdsági fedélzet, és a felépítmény-fedélzetben kisebb feszültségek ébrednek, mint a felső fedélzetben. A hosszú felépítményt azért nevezik 'együtthordó felépítménynek', mivel az építmény részét képezi a hossz-szilárdságot adó *teherhordó keresztmetszetnek*, tehát ennek megfelelően kell megépíteni.

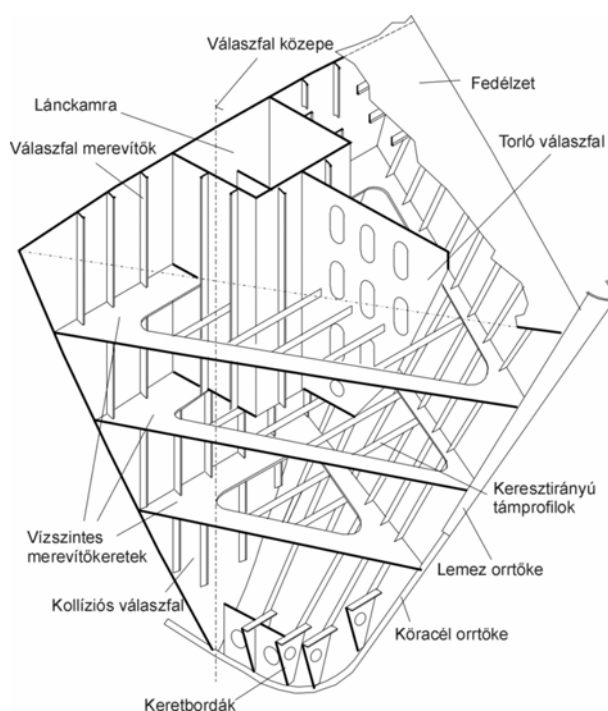
A nagy felépítményekkel ellátott személyszállító hajókon jelenleg az a gyakorlat, hogy megfelelő méretű merevítőkkel a szerkezetet teherhordóvá teszik. Számos régebben épült hajónál elmozduló (expanziós) bekötéseket alkalmaztak, ezek valójában keresztirányú átvágások,

amelyek célja, hogy a hajótestben ébredő feszültségek ne menjenek át a felépítményekre. A korábbiakban már említettük, hogy a fedélzeti építmények végeinél a feszültségek nem teljesen a hajlított tartók elmélete szerint viselkednek, a keresztmetszet-változásoknál nincs hatékony hossz-szilárdság folytonosság. Az elmozduló bekötések elrendezése emiatt úgy volt megoldva, hogy ez a 'végeffektus' bekötésről bekötésre adódott át, így a felépítményben kisebb méretű merevítőket lehetett alkalmazni. Sajnos az elmozduló bekötés gyakran kiváló volt a 'bemetszés' bevitelére a szerkezetbe, ahonnan repedések indulhattak ki. Az alumínium-ötvözetekből készülő felépítmények kínálnak alternatívát az expansziós bekötések helyett, mivel ennek az anyagnak a lényegesen kisebb rugalmassági tényezője azt eredményezi, hogy

a felépítményekben és fedélzeti házakban sokkal kisebbek a feszültségek, mint amelyek acél felépítményekben ébrednének, ha minden más feltétel azonos.

Külső vízmentes ajtók

A szabadoldal-fedélzeten és a többi fedélzeten emelt építmények vízmentességét, amelyek a fedélzeti nyílások védelmét szolgálják, meg kell őrizni. A fedélzeti házakba biztosítani kell a bejutást, ezért az *elemek ellen védett ajtókat* kell kialakítani ezeken a közlekedésre szolgáló nyílásokon. Az ilyen nyílásoknak meg kell felelniük az 1968-as Load Line Rules (merülés-vonalakra vonatkozó előírások) előírásainak, és acél ajtókkal kell őket zárhatóvá tenni, amelyek mindkét oldalról használhatóak és zárhatóak. Az időjárás elleni védelmet az ajtókeretben levő gumitömítés biztosítja (ld. 4.1.3.4.2.2 ábra).



4.1.3.5.2 ábra Hajóorr-szerkezet

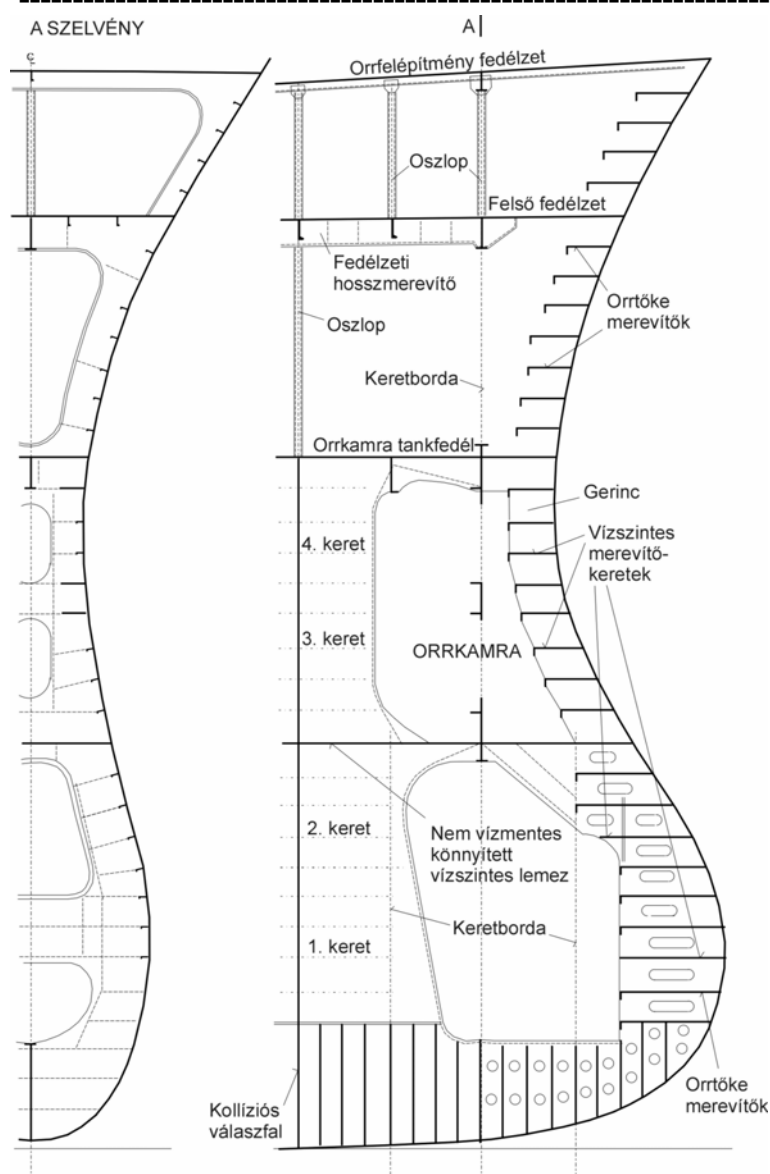
4.1.3.5 Orrszerkezet

A hajó *orrésze* a kollíziós válaszfal előtti tér szerkezetét jelenti. Ebbe beleértendő a *lánckamra* is, mivel azt rendszerint a kollíziós válaszfal előtt képezik ki a második fedélzet vagy a felső (fő-)fedélzet alatt, illetve magában az orrfelépítményben. A 4.1.3.5.1 ábra az orrész szerkezetének teljes képét mutatja, amiből kiderül, hogy a pumpálás elleni merevítések különösen fontos szerepet játszanak. Erről már volt szó részletesen korábban, mivel azok a héjlemezeléssel szoros kapcsolatban vannak.

Az orrfelépítmény fedélzetén szilárd alapozást kap a *horgonycsörlő*, az alap miatt a fedélzet meg van erősítve. A fedélzet lemezének vastagsága lokálisan meg van növelve, a csörlő alatt pedig nagy keresztmetszetű szelvényből készült rövidebb oszlopokat illetve helyi interkosztális fedélzeti hosszmerevítőket, vagy a hajó szimmetriasíkjában elhelyezett oszlopválaszfalat építenek be.

Orrtőke

A hagyományos hajókon tömör *orrtőkét*, vagyis egy tömör köracélt építenek be a gerinctől a vízvonaltájáig, felette pedig az *orrtőke felső részeként* egy fél-henger formára hajtott lemezt helyeznek el.



4.1.3.5.3 ábra Bulbaorr

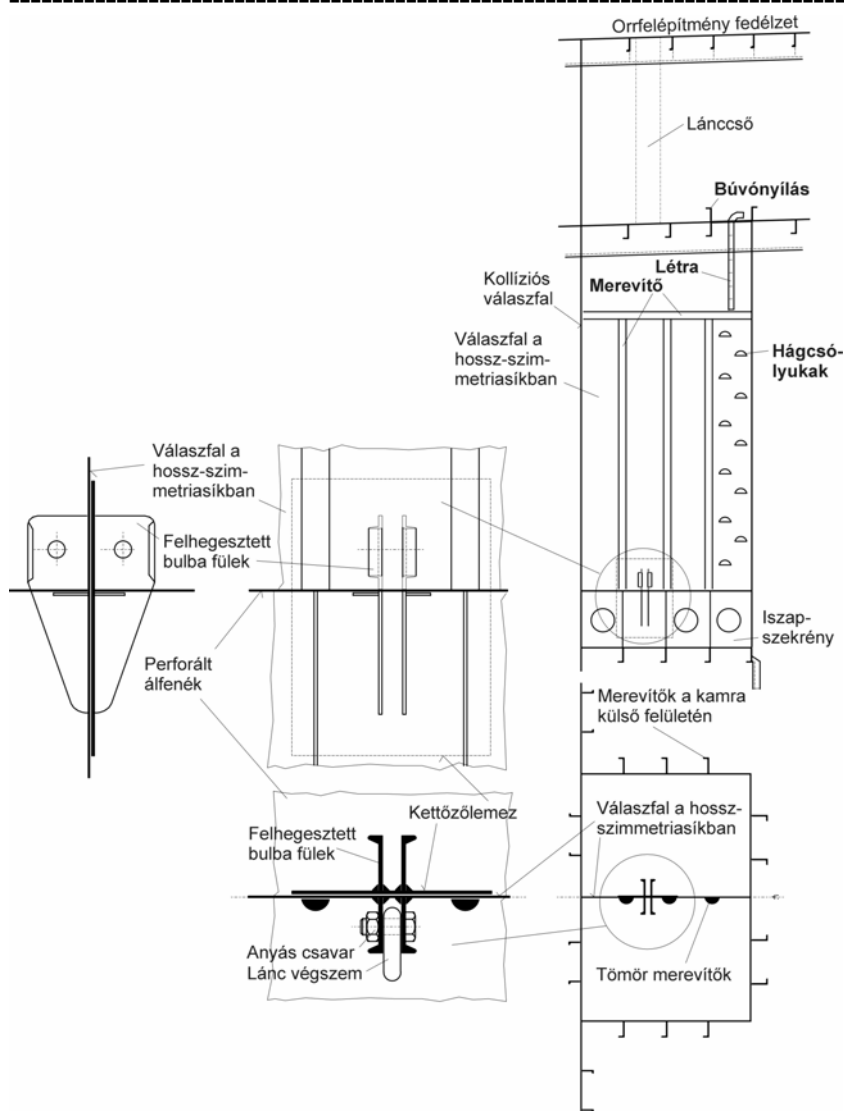
Ez alkotja az úgy nevezett *'puha-orr'* orrtőkét, amely ütközésnél a terhelés hatására összezsugorodik, ami az ütközés hatását a legkisebbre szorítja le. A még régebben épült hajók orrtőkéje tömör szögletes szelvényből készült, amelyet a hajótesthez szegecseltek, mivel pedig függőlegesre alakították ki, merevsége miatt hatalmas károkat okozhatott ütközésnél. Kisebb hajók, mint pl. vontatók és halászhajók, még ma is épülhetnek *tömör orrtőkével*, amely egészen az orrtőke tetejéig ugyanolyan, a nagyobb személyhajók közül sok pedig még ma is *öntött vagy kovácsolt orrtőke alsórészével* épül.

Azoknak a hajóknak, amelyek Ice Class AC (AC jégosztály) osztályozási jel kiegészítést kapnak, különlegesen tervezett

orrésszel kell rendelkezniük, és azoknak, amelyek más jégosztályba vannak sorolva, megnövelt méretű merevítőkre van szükségük az orrtőkénél.

A tömör köracél alsó vége a gerinclemez belső oldalára van felhegesztve, a lekerekített keresztmetszetű orrtőke felső részébe pedig mindkét oldalt a héjlemez van behegesztve (4.1.3.5.1 ábra). Az orrtőke felső részét, amely kör-alakúra van hajlítva, meg kell erősíteni vízszintes lemezekkel a fedélzetek között és a legalsó fedélzet alatt, hogy az orrtőke fesztávolságát csökkenteni lehessen.

Ahol a lemez görbületi sugara nagy, további merevítést kell biztosítani a hajó szimmetriatengelyében elhelyezett függőleges merevítővel.



4.1.3.5.4 ábra
Lánckamra-
konstrukció

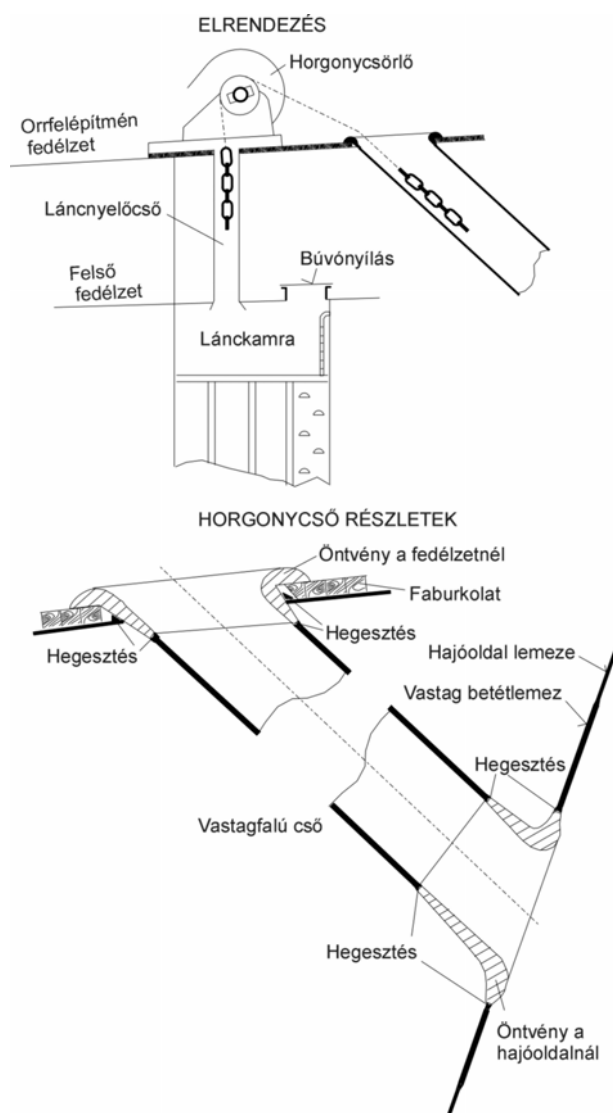
Ezeknek a lemezeknek a vastagsága nagyobb, mint azoké, amelyeket a hajó elején a héjlemezre megkövetelnek, a vastagság azonban fokozatosan csökkenhet arra az értékre, amennyinek az orrtőke tetejénél a héjlemeznek kell lennie.

Bulbaorrok

Azok a hajók, amelyek üzemi sebessége nagyobb, illetve azok, amelyek hasábos teltsége nagy, gyakran épülnek *bulbaorral*, amely a vízvonál alatt előrenyúl. Az érvek a bulbaorr

mellett és ellen a hajóépítési elméleti szakkönyvek anyagát képezik, azt azonban figyelembe kell venni, hogy a hajótest vízbemerült részének több más különlegességéhez hasonlóan ez a tulajdonság is általában azt a célt szolgálja, hogy csökkentse a jármű mozgással szembeni ellenállását bizonyos körülmények között. Az építés oldaláról nézve a bulbaorr nem jelent túlzott nehézséget, ha a bulba alakjának tervezése körültekintő volt.

Általában azonban a lemezt jelentősen meg kell domborítani, hacsak a viszonylag kényelmes hengeres formát nem alkalmazzák, és hegesztik be az orrtőkébe egy egységként. Ez utóbbit egyébként sikeresen hajtották végre; általában azonban az előrenyúló alak az oldalsó héjlemez folytatását alkotja. A bulbán belül minden bordakeretnél fenékborda van beépítve, amikor pedig a bulba nagy, a hajó szimmetriasíkjában *könnyített hosszválaszfal* is található. A hosszú bulbákban minden negyedik bordakeretnél van keretborda (ld. 4.1.3.5.3 ábra). A héjlemez a bulbaforma környezetében vastagítást kap, hasonlóan az íves keresztmetszetű orrtőke vízvonál alatti részéhez.



4.1.3.5.5 ábra Horgonycső

Ezt a vastagabb lemezt használják minden olyan felületen, ahol a horgonyoktól és a láncoktól sérülés keletkezhet; a horgonyoktól és láncoktól keletkező esetleges sérüléseket az orrtőke tervezésénél is figyelembe kell venni.

Lánckamra

A lánckamrát gyakran közvetlenül a *kollíziós válaszfal* előtt helyezik el, ahogy azt a 4.1.3.5.1 ábra mutatja, a fő- vagy a második fedélzet alatt. Elhelyezhető az orrfelépítményben is vagy a kollíziós válaszfal mögött, az utóbbi esetben azonban önmagában vízmentesnek kell lennie, és el kell látni fenékszívó csővel.

Horgonycsövek

A *horgonycsövek* vezetik a láncokat a csőről a horgonyokhoz, ezért megfelelően kell kialakítani őket. Nem ritka, hogy az erőket és a szerkezetet figyelembe vevő méretarányos modellt készítenek, és azzal a horgonycsövek különböző helyzeteit próbálják ki, hogy a legkedvezőbb konstrukciót lehessen megvalósítani.

Ennek a modellnek nem kell működőképesnek lennie, elkészíthető kartonból és fából, a horgony sima leengedéséhez és felhúzásához, illetve jó felfekvéséhez a legjobb elrendezést ezzel is meg lehet határozni.

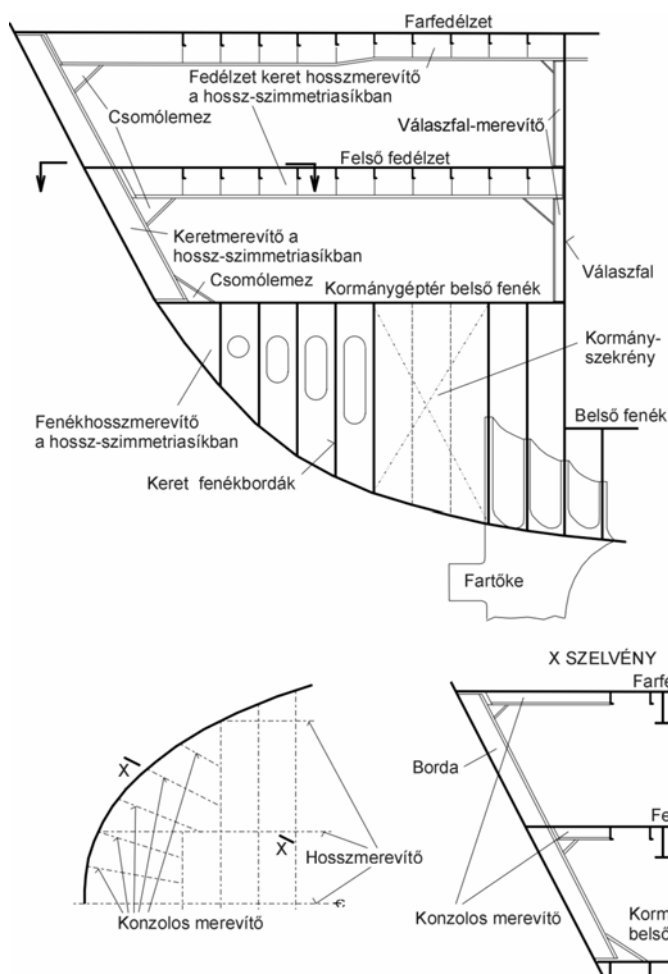
A horgonycsövek keresztmetszete általában kör, a héjlemeznél és a fedélzeten pedig öntött alkatrészeket hegesztenek fel, hogy a lánc rongálását megakadályozzák (ld. 4.1.3.5.5 ábra). A héjlemezen a horgonycső környezetében megerősítéseket kell alkalmazni. A nagyobb sebességű hajónál a horgony számára a héjlemezben gyakran fűszket alakítanak ki; ez csökkenti a légellenállást, és megelőzi a komolyabb sérüléseket ütközés esetén.

Orrkormány-berendezések

A mindkét irányban haladó kompotat mindkét végükön felszerelik kormánylapáttal, az elől levőt mindig rögzítik menet közben.

Orrsugár-kormányok

A szűk helyeken kis sebességnél való manőverezésnél nagyon hasznosak tudnak lenni



4.1.3.6.1 ábra Cirkáló far

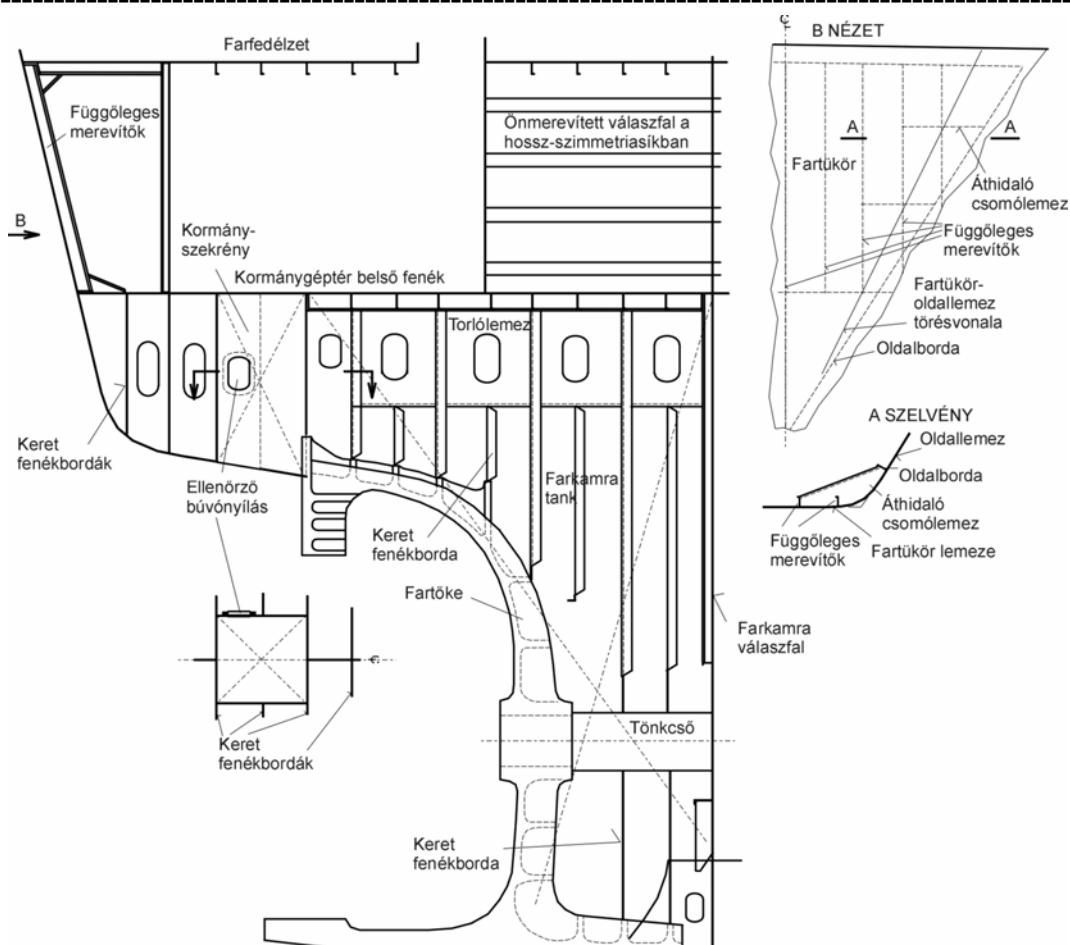
az orrsugár-kormány egységeket. Ezeket leggyakrabban kutatóhajókba építik be vagy fűróhajókba, ahol a pontos pozicionálás elengedhetetlen. Szükségesek azonban nagyobb hajókon és csatornában közlekedő járműveknél is kikötéshez. A sugárkormány általában állítható szárnyú vagy irányváltásra képes járókerékből áll, amelyet egy keresztirányú alagútban helyeznek el; az alagút fala a hajó vízmentes héjazatának része. Az egységet a hídról irányítják, a meghajtó motor az alagútban vagy annak közelében van. A

járókerék csak kis tolóerőt tud létrehozni; a legnagyobb eddig beépített egység kb. 16 tonnát, de ez elegendő, mivel kis erők is igen hatékonyak. Az azonban tény, hogy a legnagyobb tolóerőre majdnem nulla sebességnél van szükség, amint a hajó gyorsulni kezd, az egység egyre kevesebb hatást ér el.

A hajóépítés oldaláról nézve a legfontosabb szempont a hajótestre keresztben elhelyezett alagút végeinél a héjlemezben az áramvonalas forma kialakítása. Már bebizonyosodott, hogy ennek elhanyagolása esetén a hajótest ellenállása és emiatt a szükséges teljesítmény jelentősen megnőhet. A legjobb módszer ennek elkerülésére az alagút két végének lezárása használaton kívül. Ehhez pillangószelephez hasonló működésű, hidraulikusan működtetett ajtókat alkalmaznak.

4.1.3.6 Farszerkezet

A hajó farrészének tervezésekor nagy figyelmet kell fordítani arra, hogy a víz áramlását a hajócsavar előtt és mögött javítani lehessen.



4.1.3.6.2 ábra Tranzom far

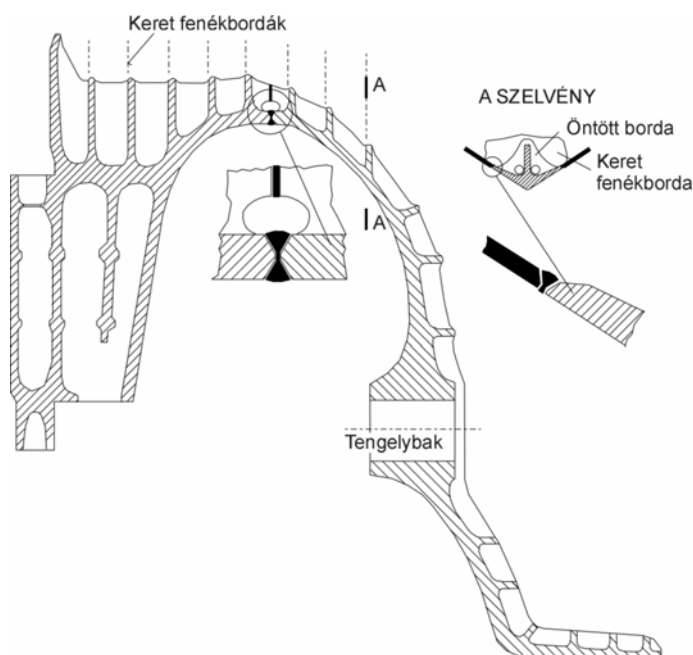
A *lekerekített (cirkáló) far* (ld. 4.1.3.6.1 ábra) sok évtizeden át a leginkább alkalmazott farkialakítás volt az óceánjáró hajóknál, ma azonban a legtöbb hajót *tükrös (tranzom) farral* építik (ld. 4.1.3.6.2 ábra).

A cirkáló far alakja kedvező, és hidrodinamikusan is hatékony, a tranzom farnál azonban nagyobb lehet a hátsó fedélzet, egyszerűbb szerkezetű, és szintén kedvező áramlást biztosít a farnál.

A kormánylapátnak nagyon sok típusa létezik, az adott hajónál alkalmazott típusú és alakú kormány feladata mindig a legjobb manőverező képesség biztosítása. Mind a far alakja, mind a kormány típusa befolyásolja a *fartőke* formáját, azonban ebbe még a szükséges hajócsavar mérete is beleszól. Rendkívül fontosak azok a részletek a hajó farrészénél, amelyek lehetővé teszik a hajócsavar tengelynek és kormánytengelynek, hogy áthaladjon a vízmentes héjlemezen. Ezekről a részletektől az egész hajó biztonsága függ. Ahol a hajó haladásához szükséges tolóerőt egynél több hajócsavar szolgáltatja, *nadrágcsövek* vagy *tengelybakok* alkalmazása szükséges a tengelyek külső szakaszának alátámasztásához.

A hajófar szerkezete

A cirkáló far konzolos formája miatt erős hullámhatásnak van kitéve, ezért megerősített acélszerkezetet kell kialakítani. Minden bordakeretnél keret fenékborda van kialakítva,



4.1.3.6.3 ábra Öntött fartőke-konstrukció

és a szimmetriasíokban hosszmerítőt kell elhelyezni a lemezelésnél és a fedélzetnél is. A far fenéklemezét sugárirányban elhelyezett bordák vagy keretbordák merevítik, a fedélzetet pedig ugyanazokban a síkokban rövid fedélzeti gerendák, amelyek a következő keresztirányú fedélzeti keretgerendáig vannak vezetve. További merevítést lehet biztosítani a lemeznek a függőleges sugárirányú bordák és gerendák helyett vízszintes

merevítő-keretekkel amelyeket a következő bordakeretig vezetnek és abba kötnek be. A tranzom far esetén nincs szükség sugárirányú merevítésre, mivel a far oldallemeszt függőleges merevítővel lehet megerősíteni (4.1.3.6.2 ábra). A tranzom far acélszerkezetének alsó részét keret fenékbordák alkotják a szimmetriasíkokban elhelyezett hosszmerítővel. A pumpálás elleni merevítésekkel a fedélzetek tárgyalásánál foglalkoztunk.

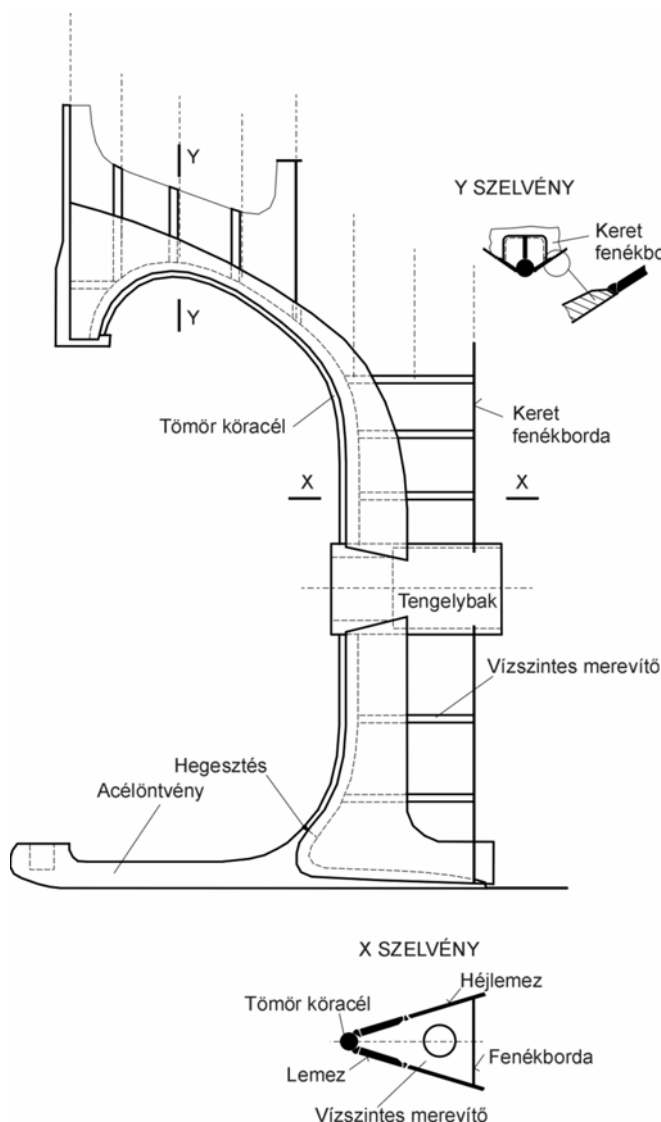
Fartőke

Már szóba került, hogy a *fartőke* alakjára befolyással van a far profilja és a kormány típusa. A hajó hátsó részén kialakuló komoly rezgések megelőzésére elegendő helyet kell hagyni a hajócsavar és a hajótest között, ez pedig nagy mértékben meghatározza a fartőke méretét. A fartőke lehet acélöntvény, kovácsolt darab, illetve lemezből és merevítő szelvényekből hegesztett szerkezet.

A nagyobb hajóknál általában az öntvényt vagy a lemezszerkezetet választják, az öntéssel a hajógyáron kívül arra szakosodott cégek foglalkoznak. Az öntés és a szállítás egyszerűsítésére a nagyobb fartőkét egynél több darabból készítik, és a sólyán vagy dokkban az összeépítés során hegesztik össze ezeket. A *hegesztett szerkezetű fartőkék* rendszerint a hajógyárban készülnek, a lemezekből és merevítőkből hegesztett szerkezet az öntéssel készített alakot utánozza (ld. 4.1.3.6.4 ábra). A *kovácsolt fartőkét* szintén arra szakosodott cégek gyártják, és szintén egynél több darabból készülnek a nagy méretű bonyolult alakú konstrukciók.

A fartőke függőleges részének szelvényei áramvonalasak, hogy lehetőleg ne keletkezzenek örvények a fartőke mögött, amelyek a hajótest ellenállásának növekedéséhez vezetnének. Az öntött acél keresztmetszetek hegesztett kötéseinél alapos

előkészítés és előmelegítés szükséges. Mind az öntött, mind a hegesztett szerkezetet vízszintes merevítők támasztják meg.



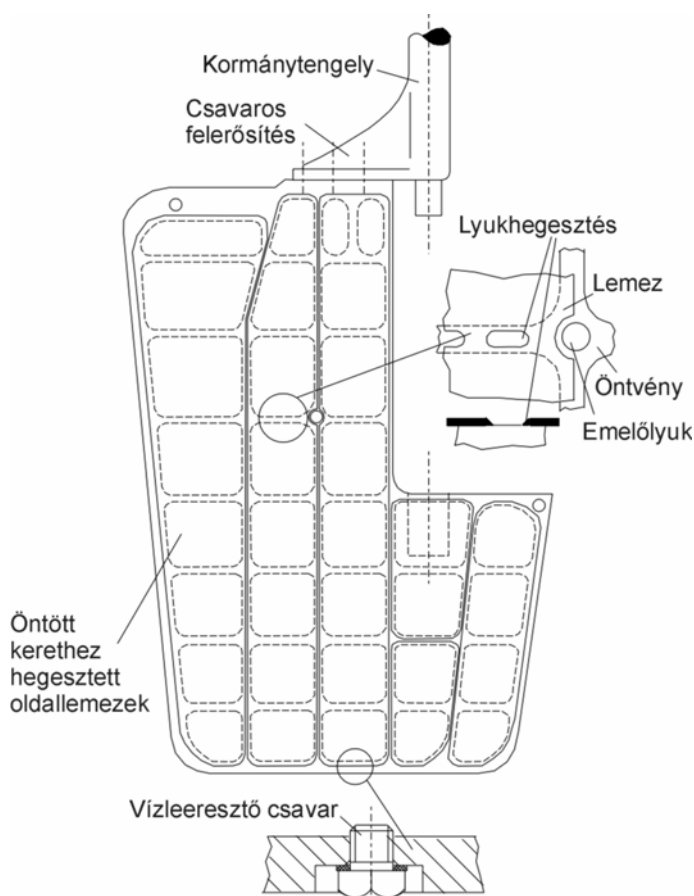
4.1.3.6.4 ábra Hegesztett fartőke-konstrukció

A 4.1.3.6.3 és 4.1.3.6.4 ábra két fartőke alakot mutat, egyik öntött, a másik hegesztett, így jól láthatóak a kész szelvények hasonlóságai. Különös figyelmet érdemel a fartőke és a hajótest szerkezetének bekötése, mivel ha ez nem megfelelő, a fartőkében dolgozó hajócsavar forgása komoly rezgéseket kelthet. A kormányoszlopot fel kell vezetni a hajótestbe, és be kell kötni a tranzom keret fenékbordákba, amelyek vastagított lemezből készülnek. A fartőke függőleges oszlopát is be kell vinni a hajótest szerkezetébe, és a keret fenékbordákba be kell kötni, az alsó vízszintes nyúlványt pedig előre kell vinni, és össze kell kötni a gerinclemezzel. Az oldalsó héjlemez közvetlenül a fartőkéhez van hegesztve, gyakran képeznek ki a fartőkén olyan mélyedést, amely lehetővé teszi, hogy a héjlemez tökéletesen befeküdhessen a

fartőke szelvényébe.

Kormányok

A mai hajók többségén félig kiegyensúlyozott kormánylapát található, ami azt jelenti, hogy laterális felületüknek kisebb része a forgástengely előtt helyezkedik el (általában 20%-nál kevesebb). Vannak kiegyensúlyozott kormányok (25-30% a forgástengely előtt) és kiegyensúlyozatlanok is, az utóbbiaknál a teljes felület a forgástengely mögött van. A kiegyensúlyozás célja az elfordításhoz szükséges nyomaték csökkentése, mivel így a laterális nyomás központja a forgástengely közelébe kerül. A teljesen kiegyensúlyozott kormánylapát azonban kis elfordításnál meghajtja a kormányművet, amely nem annyira gépi kormányzásnál okoz gondot, hanem a szervokormány nélküli kézi kormányos hajóknál.



4.1.3.6.5 ábra Öntött kormánylapát-konstrukció

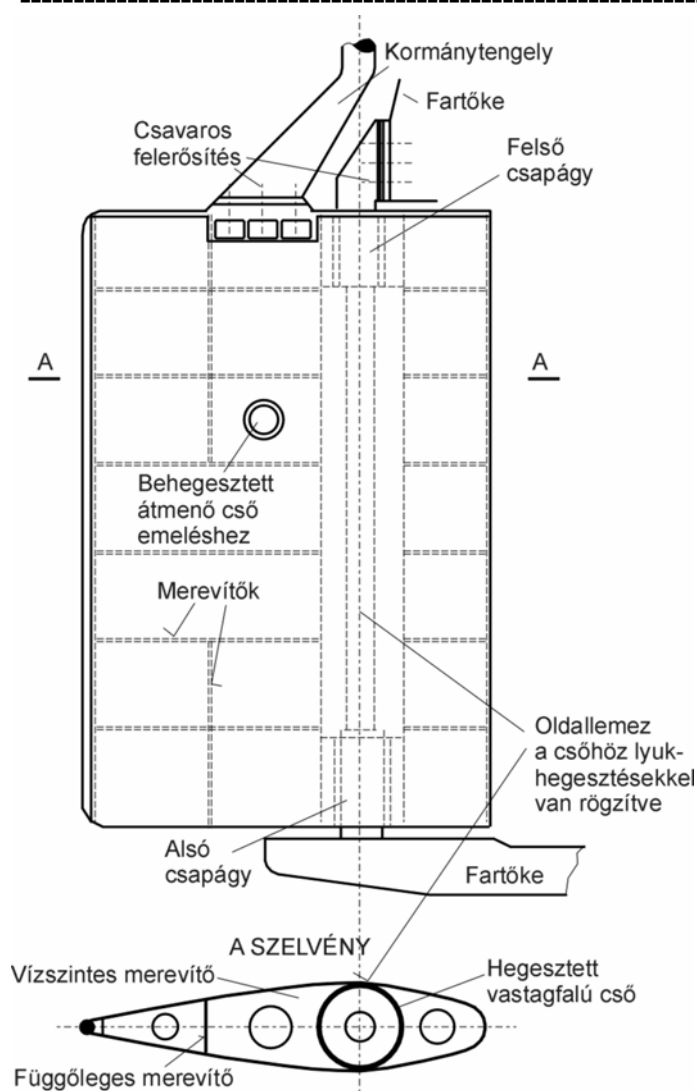
Számos különböző kormány-konstrukció létezik, szabadalmazott típusok is vannak, amelyek mindegyike valamilyen szempontból jobb a többinél. A 4.1.3.6.4 ábrán két általánosan ismert kialakítású kormány látható a 4.1.3.6.3 ábrán bemutatott két fartőke típushoz.

Kormánylapát-konstrukciók. Manapság a kormánylapát áramvonalas keresztmetszetű, kivéve az egészen kis hajókon használt kormányokat, a hegesztett lapát oldallemezein belül lemezmerevítők vannak. Gyártásnál az egyik oldali lemezt készítik el teljesen, és felhegesztik rá a függőleges és

vízszintes lemezbordákat. A másik lemez, amelyet gyakran 'záró-lemez' néven emlegetnek, ezt követően már csak kívülről hegeszthető rá a belső merevítők. Ennek az a módja, hogy a záró-lemez felhelyezése előtt a bordákra lapos-acélokat hegesztenek fel, majd ezeket a záró-lemezen vágott nyílásokon át hegesztik hozzá a 4.1.3.6.4 ábra szerint. Más kormánylapátok állhatnak öntött keretből és bordákból, az oldal-lemezt és a záró-lemezt pedig hegesztik, szintén a 4.1.3.6.4 ábrán látható módon.

A kormánylapátok el vannak még látva alul egy dugóval lezárt leeresztő furattal és egy emelőlyukkal, amely lehet pl. a kormánylapáton átvezetett és behegesztett rövid cső, amelyet aztán záró-fedéllel látnak el mindkét oldalon. A belső korrózió megelőzése a belső felület megfelelő védelmével történik, a kormánylapátot esetleg meg lehet tölteni semleges műanyag habbal. A *kormánylapát nyomáspróbájánál* a felső felülete felett 2,45 m vízoszlopnymást alkalmaznak.

Kormánylapát csap. A csapok, amelyeken a kormánylapát a kormánytőkében vagy a fartőke vízszintes hátsó sarkantyújában elfordul, kúposra vannak kialakítva, a csap hossza nagyobb az átmérőnél. A régebbi hajóknál a csapokat sárgaréz vagy bronz perselyekkel látták el, az érintkezett a vízzel kent csapágyfészekkel, amelynek anyaga *pockfa* (lignum vitae, egy trópusi fenyőfajta) volt. Ma már szintetikus anyagok vannak használatban fa helyett, pl.



4.1.3.6.6 ábra Hegesztett kormánylapát-konstrukció

'Tufnol', sőt, luxus óceánjáró személyhajóknál rozsdamentes acél is előfordul. Mindegyik esetben a csapágó kenőanyaga az a víz, amelyben alá van merítve. A legutóbbi időkig nem volt praktikus dolog a kormánylapát csapját olajkenésű fémcsapággal ellátni, azonban a Queen Elizabeth 2-nél ezt az újítást vezették be.

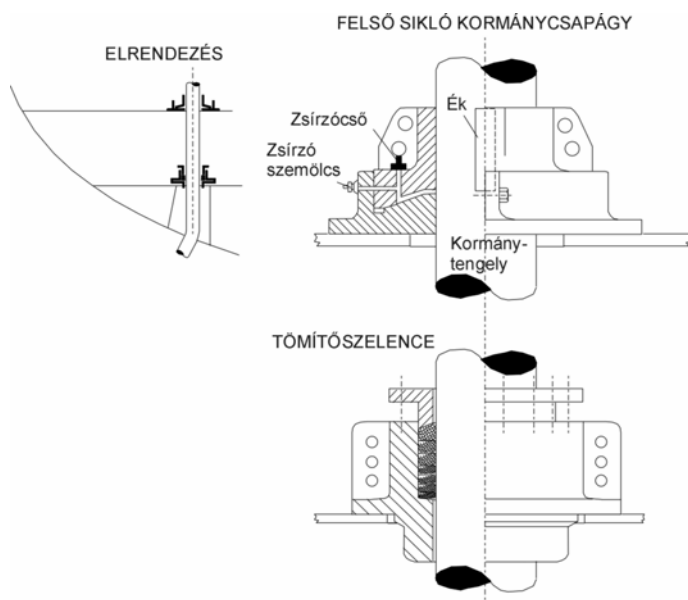
Kormánytengely. A kormánylapát tengelye általában öntött vagy kovácsolt acélból készül, átmérőjét a terhelő csavaró-nyomaték és hajlító igénybevétel alapján határozzák meg. Alsó vége a kormánylapáthoz van csavarozva, a csavarok keresztmetszetének elégségesnek kell lennie, hogy a csavaró-nyomatékból adódó nyíróerőt elviselje. Ennek a tengelykapcsolónak ki kell bírnia, hogy a kormánylapát csapját kiemeljék a kúpos

csapágóból ellenőrzés és javítás céljából.

Kormánycsapágó. A kormánylapát súlyát részben a kormánycsap, részben a hajótestben kialakított tartócsapágó viseli. Egyes kormánylapát típusoknál, pl. a zászló-alakúnál, amely kizárólag a hajótesten belül ül fel, ez a tartócsapágó viseli a teljes súlyt. A kormány tartócsapágó tömítő-szelencét is tartalmazhat a kormánysekrény felső végénél, amint azt a 4.1.3.6.5 ábra mutatja. A kormánylapát súlyának zöme a tartócsapágóra fog nehezedni, ha a kormánycsapon túlzottan nagy kopás jön létre, az ábrázolt tartócsapágó pedig, amelynek kúpos felületét öntöttvasból képezik ki, nem kopik olyan mértékben.

Kormánysekrény. A kormánylapát tengelye a kormánysekrényen halad át, amelyet általában nem készítenek vízmentesre, hanem felső végén helyeznek el egy tömítő-szelencét, ahol a kormánytengely belép a vízmentes hajótestbe (4.1.3.6.7 ábra). Ezt a sekrényt olyan rövidre készítik, amennyire lehet, hogy a kormánylapát tengelye minél rövidebb legyen a két csapágó között, és a fartőkéhez csatlakozó keret fenékborda

alkotja a szekrény mellső falát, a többi válaszfalat pedig hegesztett szerkezetként alakítják ki. A szekrény egyik oldalán vízmentes búvó-nyílást alakítanak ki, amelyen át a hajótesten belülről meg lehet tekinteni a kormánytengelyt szükség esetén.

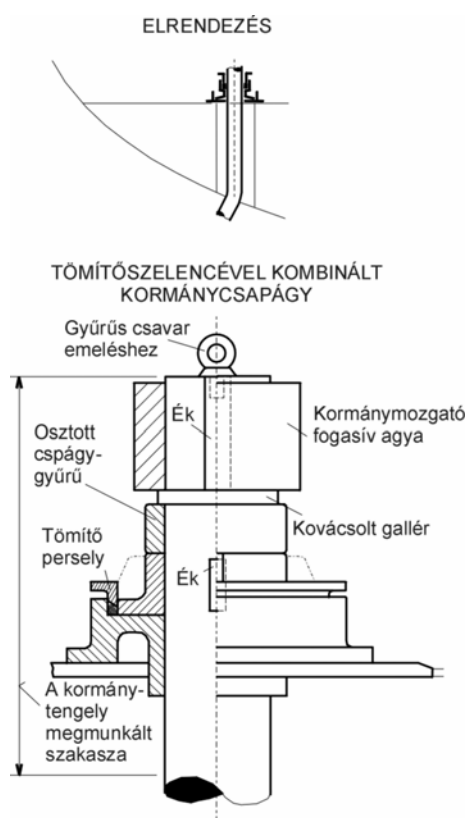


4.1.3.6.7 ábra
Kormánycsapágyak I

Kormánymű

Ha a fő *kormánymű* a hajón nem több azonos különálló egységből van kialakítva, akkor szükséges, hogy a hajónak legyen egy *fő- és egy segéd-kormánymű*ve. A fő kormányműnek képesnek kell lennie a kormánylapát átfordítására az egyik 35°-os végállásból a másik oldali 35°-os végállásba a hajó legmélyebb megengedett merülésénél és maximális előremeneti

sebességénél, és vissza legfeljebb 28 másodperc alatt. A működtetés történhet gépi erővel, ha szükséges és a kormánytengely átmérője 120 mm felett van.



4.1.3.6.8 ábra Kormánycsapágyak II

A segéd-kormányműnek képesnek kell lennie a kormánylapát átfordítására az egyik 15°-os végállásból a másik oldali 15°-os végállásba legfeljebb 60 másodperc alatt a hajó legmélyebb merülésénél és maximális előremeneti sebességének felénél vagy 7 csomónál, amelyik több. Géppel működtetett segéd-kormányművet kell beépíteni, amennyiben az előírt követelmény csak azzal teljesíthető vagy ahol a kormánytengely átmérője nagyobb, mint 230 mm. Az olajszállító tankhajóknál, vegyszerszállító tankhajóknál vagy gázszállító hajóknál, ha a *BRT (bruttó regiszter tonna)*, ld. nemzetközi egyezmények) a 10.000 tonnát eléri vagy több, és minden más hajónál 70.000 BRT esetén vagy afelett a fő kormányműnek kettő vagy több azonos gépi egységből kell állnia, amelyek képesek a kormányt a fenti feltételek teljesítésével működtetni, amennyiben az összes gépi egység egyszerre üzemben van. Ha személyszállító

hajóról van szó, ezt a követelményt akkor is teljesíteni kell, ha a gépi egységek közül egy működésképtelen.

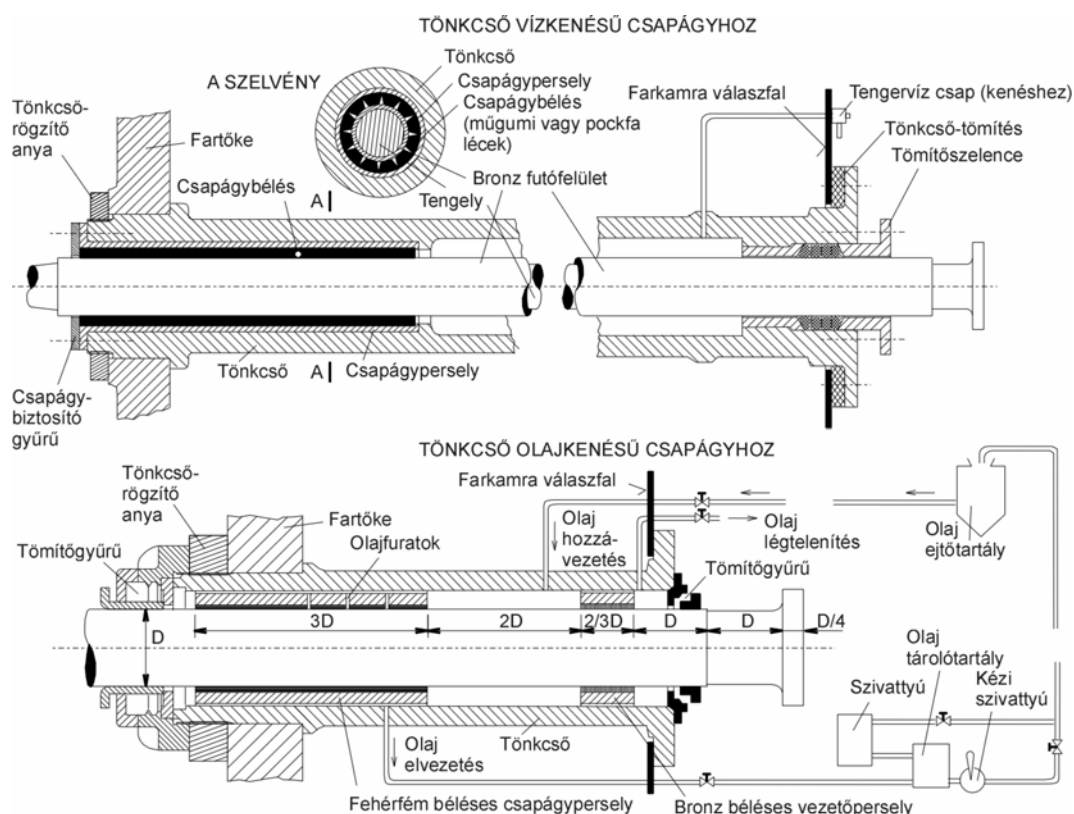
A kormányművek működtetésének a gépi fő- és segéd-kormányművek esetében a hídról és a kormánymű-géptérből kell történnie, a segéd-kormánymű működtetésének függetlennek kell lennie a fő-kormánymű működtetésétől (de ez nem lehet a kormánykerék vagy kormánykar azonos másolata).

Az óceánjáró hajók kormányműve általában elektrohidraulikus típusú.

Ahol a kormánytengely átmérője 230 mm felett van, alternatív energiátáplálást kell biztosítani automatikusan a hajó vészüzemi áramforrásáról vagy olyan *független tápegységről*, amely a *kormánymű-géptérben* van elhelyezve.

Tönkcső

A tönkcső alkotja a *hajócsavar tengely hátsó csapágyát*, egyben a *tömítő-szelencét* is, ahol a tengely kilép a vízmentes hajótestből. Két kivitelét találjuk meg a tönkcsőnek a mai gyakorlatban, az egyik az elterjedtebb, amelynek csapágycsapágyai vízkenésűek és hátsó vége a szabadba nyitott. A másik típus zárt mindkét végén, és a csapágyfelületek fémből vannak, a kenés pedig olajjal történik. Az előzőnél a csapágyakat hagyományosan pockfa (lignum vitae) lécekből készítették, a hajócsavar tengely (a főgép és a hajócsavar közti tengelyrendszer leghátsó darabja) pedig sárgaréz perselyt kapott, ma már azonban elterjedtebb fa helyett a Tufnol. Az utóbbi tönkcső konstrukciót olyan hajóknál

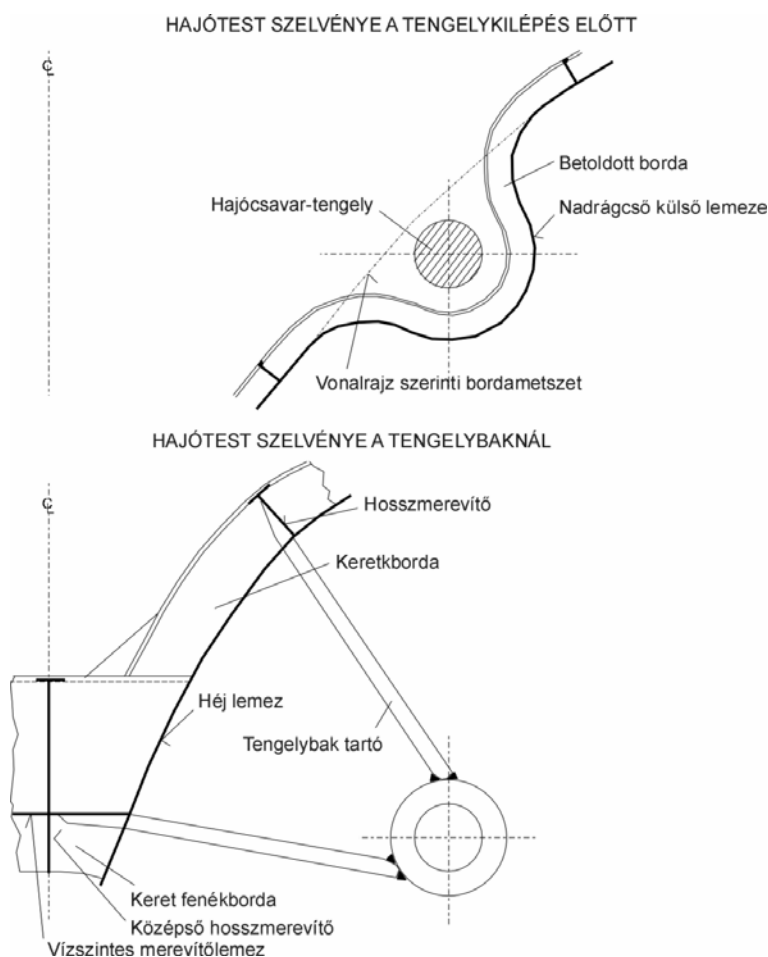


4.1.3.6.9 ábra Tönkcsővek

használják főként, ahol a géptér a farban van, ahol a rövid tengely viszonylag merev, és csak kisebb deformációk fordulhatnak elő a tengely sérülése nélkül. Ennél a szabadalommal védett megoldásnál mind a két végén tömítő-szelence akadályozza meg az olaj kiszivárgását a vízbe, a csapágyak felülete fehérfém (nagy ólomtartalom), az olajat pedig tartályból keringetik a kenési helyekre. Mindkét tönkcső-típust ábrázolja a 4.1.3.6.9 ábra.

Nadrágcső és tengelybakok

A két- és többcsavaros hajók olyan hajócsavar tengelyekkel rendelkeznek, amelyek a héjlemezen a hajófar előtti területen haladnak át. A tengely konzolos részét nadrágcső vagy tengelybak támasztja alá. A nadrágcsővek gyakoriak nagy többcsavaros személyszállító hajók esetében, ezek tulajdonképpen a héjlemez különleges kialakítását alkotják, amelyek adott távolságra a héjlemezről követik a tengelyvonalat. A hajótesten belülről így viszonylag nagy hossz mentén megoldható a tengely megközelíthetősége, és a tengely nagyobb védelmet élvez.



4.1.3.6.10 ábra Nadrágcső és hegesztett tengelybak

Számos nagyobb sebességű hajónál bebizonyosodott, hogy csökkent az ellenállása, amikor nadrágcsőveket alakítottak ki tengelybakok helyett. A legkorszerűbb nagy luxus személyhajóknál azonban néhány esetben kizárólag egy új konstrukció alapján továbbfejlesztett tengelybakokat alkalmaznak a tengelyek alátámasztására.

Nadrágcső és tengelybak konstrukciók. A nadrágcsövet alkotó hajlított vagy domborított lemezek és merevítőik egy öntvényben végződnek, amelyet 'szemüvegkeret' néven emlegetnek, és

amely a tengely leghátsó csapágyát hordozza. A nadrágcső lehet öntött vagy hegesztett konstrukciójú, harántmetszetben zárt szerkezetet képez, amelyet a megerősített lemez keret fenékbordákhoz kötnék be. A konzolok, amelyek a tengelyek súlyát viselik, innen

indulnak ki, lehetséges a két vagy több részből való szekciógyártás, hogy az összeépítés során jobban be lehessen állítani a helyzetüket (ld. 4.1.3.6.10 ábra). A tengelybakok öntéssel vagy hegesztéssel készülnek, különösen ügyelni kell a merevítő karok keresztmetszetére, hogy elkerülhető legyen az ellenállás növekedése és a kavitáció. A legfontosabb azonban a hajó fő szerkezetébe történő jó bekötés, mivel a szerkezet nagy merevséget igényel. A kisebb hajóknál a felső tartókar egyszerűen egy kettőző lemezzel hegeszthető a héjlemezhez, a nagyobbakon azonban a karok felső vége áthalad a héjlemezen, és be van kötve egy megerősített lemez keret fenékbordába, amely további helyi merevítéseket kap (4.1.3.6.10 ábra).

Hajócsavarok

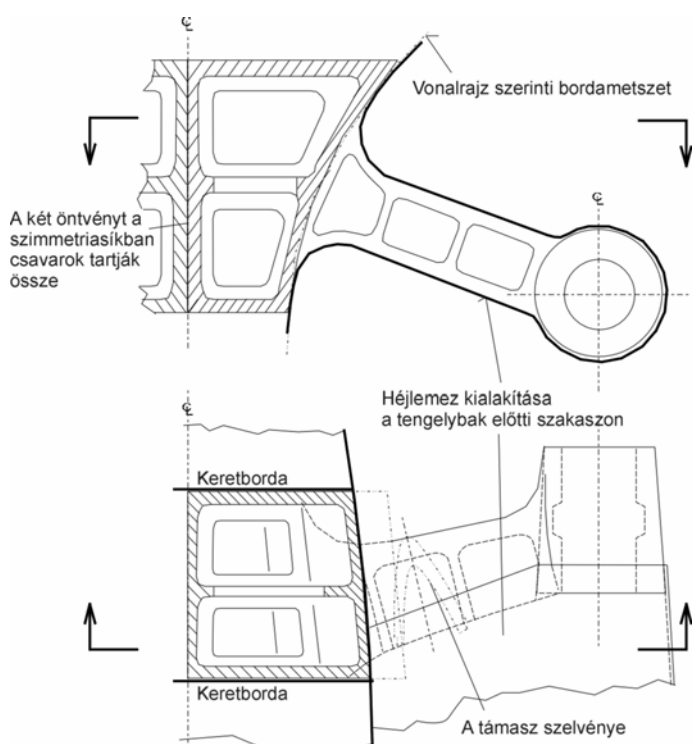
A *hajócsavarok* három és hat közötti számú azonos szárnnyal rendelkeznek, a szárnyszám a tervezésnél felmerülő szempontok függvénye. Nagyon lényeges dolog a hajócsavar elhelyezésénél, hogy megfelelő vízoszlop magasság legyen felette az üzemi merülésnél, és ne legyen túl közel a hajótesthez.

A hajócsavar agya kúpos furattal rendelkezik, amelyet a hajócsavar tengely kúpos végére illesztenek, és a kúp mellett retesz is gondoskodik a nyomaték átadásáról; a megfelelő erőt a hajócsavar feltolásához a tengelyvég anya szolgáltatja. A hajócsavar még jobb biztosításához rendelkezésre áll olyan szabadalommal védett konstrukciójú anya, amelyben beépített hidraulikus henger növeli a súrlódást a hajócsavar agy és a tengelyvég között. Az úgy nevezett 'Pilgrim nut' (vándoranya) akár reteszmentes környezetben is használható. A véganya védelméről csavarral biztosított védőkupak gondoskodik.

Állítható szárnyú hajócsavarok. Az állítható szárnyú hajócsavarok szárnyait külön szerelik fel az agyra, a szárnyak profiljának emelkedése pedig azok elforgatásával szabályozható, vagy akár meg is fordítható az agyban elhelyezett mechanizmus segítségével a hajócsavar forgása közben. A szárnyprofil állásszöge mechanikusan vagy elektro-mechanikusan változtatható annak érdekében, hogy különböző üzemállapotokban a főgépek mindig le tudják adni teljes teljesítményüket. Azonban az ilyen hajócsavarok radiális emelkedés-eloszlása nem változtatható, tehát csak egyetlen üzemállapotban optimális, amelyre a tervezést végezték, minden más üzemállapotban rosszabb a hatásfok, mint az arra tervezett hajócsavaré. Az ilyen típusú hajócsavarokat leginkább a dízelmotoros vontatókon és halászhajókon használják, ahol a hajócsavar-szárnyak állásszögét változtatják, hogy teljes nyomatékot tudjon leadni a motor akkor is, ha vontatást (illetve hálóvontatást) végez a hajó kis sebességgel és akkor is, ha szabad menetben önjáró hajóként halad nagyobb sebességgel. A szárnyak emelkedését meg lehet fordítani annak érdekében, hogy gyorsan meg tudjon állni a hajó, majd elindulhasson hátramenetben úgy, hogy a motor és a hajócsavar forgásiránya nem változik.

Az utóbbi években nagy átmérőjű állítható hajócsavarokat szereltek fel nagy tömegű szállító hajókra.

Gyűrűben dolgozó hajócsavarok. Az adott átmérőjű nagy terhelésű (kis sebességnél és nagy szlip értéknél dolgozó) hajócsavar tolóerejének növelésére a hajócsavart el lehet helyezni egy körülötte kialakított gyűrűben. Az egycsavaros vontatók és halászhajók

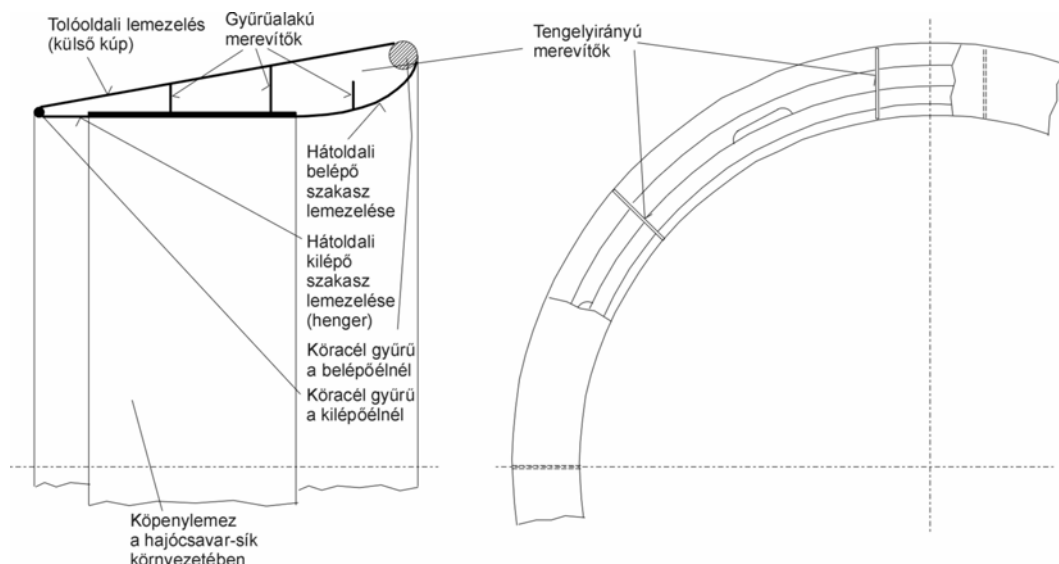


4.1.3.6.11 ábra Öntött tengelybak (szemüvegkeret)

gyakran használják ki a szabadalmazott fix 'Kort gyűrűt', ahol nagy ellenállású vontatott rakomány esetén a haladási sebesség kicsi, a hajócsavar által tapasztalt szlip pedig nagy. Ez a gyűrű hátsó részén vízszögár összehúzó szakasszal rendelkezik, a gyűrű hossza viszonylag kicsi az átmérőhöz képest, hogy el lehessen kerülni az iránystabilizáló hatást, ami a kormányzást megnehezítené. Amikor a hajó önjáróként halad, a szlip sokkal kisebb, olyankor a gyűrűs hajócsavar elveszíti előnyét. A gyűrűs hajócsavarok

alkalmazásának van azonban egy olyan esete, amikor a nagyon nagy méretű egycsavaros hajóknál a nagy gépteljesítményt korlátozott átmérőjű hajócsavaron keresztül kell leadni, ezért érdemes gyűrűt alkalmazni.

Számos hajó épült olyan gyűrűvel, amely nemcsak a hajócsavar terhelését képes megnövelni, hanem forgatható függőleges kormánytengelyre



4.1.3.6.12 ábra Hajócsavar-gyűrű

van felszerelve és uszonnyal ellátva, és így a hajó hatékony kormányzására lehet használni.

A fix és a forgatható (kormány-) gyűrűk konstrukciója és gyártása nagyon hasonló, a 4.1.3.6.12 ábra egy 2,5-3 m átmérőjű gyűrűt mutat. A gyűrű minimális átmérőjű hengeres belső lemeze nagyobb vastagságú, az helyezkedik el a hajócsavar szárnyvégeknél, és attól előre-hátra egy adott távolságon. A gyűrű szilárdságát ezen ahengeres részen elhelyezett két teljes gyűrű-alakú merevítő biztosítja, emellett a belső lemezt még további lemezgyűrű merevíti, amely a külsővel nem érintkezik. A gyűrű-formájú merevítőket hosszirányúak támasztják meg.

4.1.3.7 Különleges szerkezetű hajótestek**4.1.3.7.1 Tankhajók konstrukciója**

A nagy mennyiségű folyékony rakomány szállítására szolgáló hajókat általában *tankhajóknak* nevezzük. A tankhajókat leginkább az olaj szállításával hozzák összefüggésbe, a kisebb tankhajók azonban számos egyéb folyékony árut is szállítanak, és egyre nagyobb a száma azoknak tankhajóknak, amelyeket vegyszerek nagy mennyiségben történő szállítására építenek.

Olajszállító tankhajók

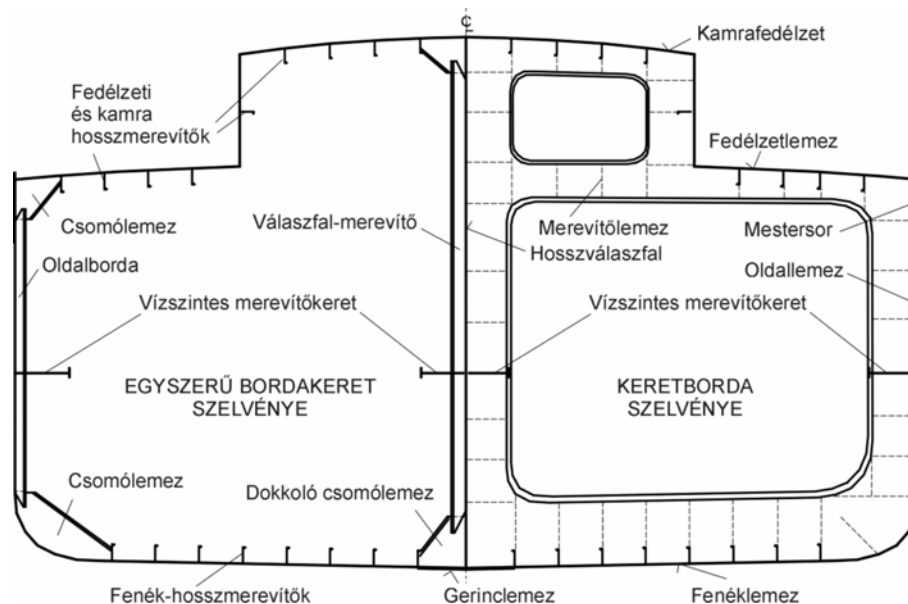
Azok a kisebb tankhajók, amelyek hossza nem lépi túl a 75 métert, és főként a parti forgalomban vesznek részt, csak egyetlen hosszválaszfalal rendelkeznek a szimmetriasíkban, amely a hajóteret keresztirányban két tankra osztja. A géptér hátul van elhelyezve, a hajó szimmetriasíkja mentén pedig gyakran képeznek ki *expanziós kamrát* a tankok felett (ld. 4.1.3.7.1.1 ábra). A nagyobb tankhajók, amelyek óceáni útvonalakon közlekednek, legalább két hosszirányú válaszfalal rendelkeznek, amelyek így három tankra osztják a hajóteret, a géptér ezeknél hátul foglal helyet (ld. 4.1.3.7.1.2 és 4.1.3.7.1.3 ábra).

Ezúttal főként a nagy óceánjáró típusok szerkezetét tárgyaljuk, ezeket két osztályba lehet sorolni. Egyik osztályba tartoznak azok a hajók, amelyek a kőolaj-finomítás termékeit szállítják, illetve más folyékony árukat, mint pl. melasz, ezek kisebb hajók a 12.000 és 50.000 tonna közötti tartományban hasznos terhelés szempontjából. A másik osztály a kőolajszállítókat jelenti, amelyek akár 500.000 tonnás hasznos terhet is szállíthatnak. Az elsőbe tartozók nagyobb számú tankkal rendelkeznek, a szivattyú-berendezés is sokkal összetettebb, mivel ugyanazon a vonalon egy időben számos különböző rakomány felvételét is lehetővé teszi.

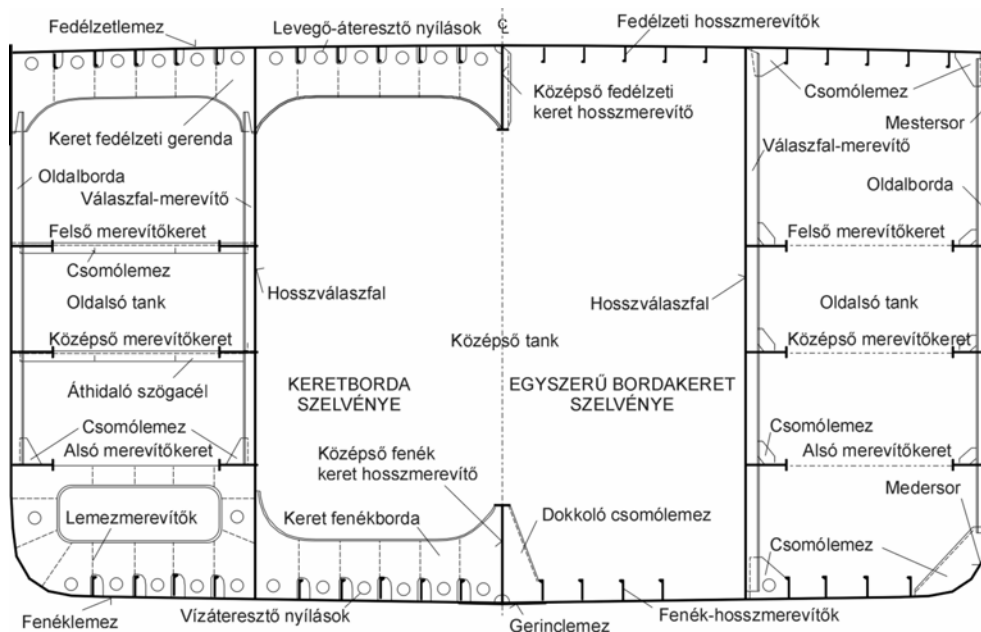
Mindkét hajótípus hagyományosan egyetlen szabad fedélzettel épül, a hajóteret hosszválaszfalak osztják fel, a tankokban pedig az acélszerkezet vegyes merevítésű mind hossz-, mind haránt-irányú merevítőkkel. A hajó acélszerkezetének kialakítására a tankok zónájában a *MARPOL konvenció* tartalmaz előírásokat (ld. 5.1 pont). 1980 óta az új építésű kőolajszállítóknak 20.000 tonna hasznos terheléssel vagy afelett és az új építésű olajszármazék-szállítóknak 30.000 tonnás vagy nagyobb hasznos terhelés esetén az előírások szerint rendelkezniük kell külön ballaszttankokkal (segregated ballast tanks, SBTs). Az SBT-k térfogatát úgy kell meghatározni, hogy a hajó rakomány nélkül közlekedve ballasztal biztonságosan hajózhasson anélkül, hogy a rakomány számára szolgáló tankokba ballasztot kellene tölteni. Ezeket az SBT-ket a rakterek zónájában kell a hajó hossza mentén elhelyezni, és az elrendezésnek azt is biztosítania kell, hogy biztonságot jelentsenek olajszivárgás ellen abban az esetben, ha a hajó megfeneklik vagy összeütközik egy másik járművel.

Ezeknek a tankoknak a védőfunkciója azt eredményezi, hogy a rakomány zónájában részlegesen vagy teljes mértékben kettősfeneket vagy oldaltankot biztosítanak. A MARPOL későbbi módosításai előírják minden 5.000 tonnás hasznos terhelésű vagy nagyobb tankhajónál, amelyek építését 1993 után kezdték el, hogy a rakomány számára szolgáló tankok a teljes rakományzóna hosszában ballasztal vagy más terekkel

legyenek védve, amelyekben nem rakomány vagy üzemanyag van, illetve más olyan anyagokat tartalmazó terekkel, amelyek az olajszenyezés ellen hasonló védelmet nyújtanak. A hajótípusokat ismertető pont foglalkozik a *kettős héjazatú olajszállító tankhajókra* vonatkozó előírások bevezetésével és tárgyalja a *szimpla héjazatú olajszállító tankhajókat*.



4.1.3.7.1.1 ábra Parti tankhajó expanziós kamrával

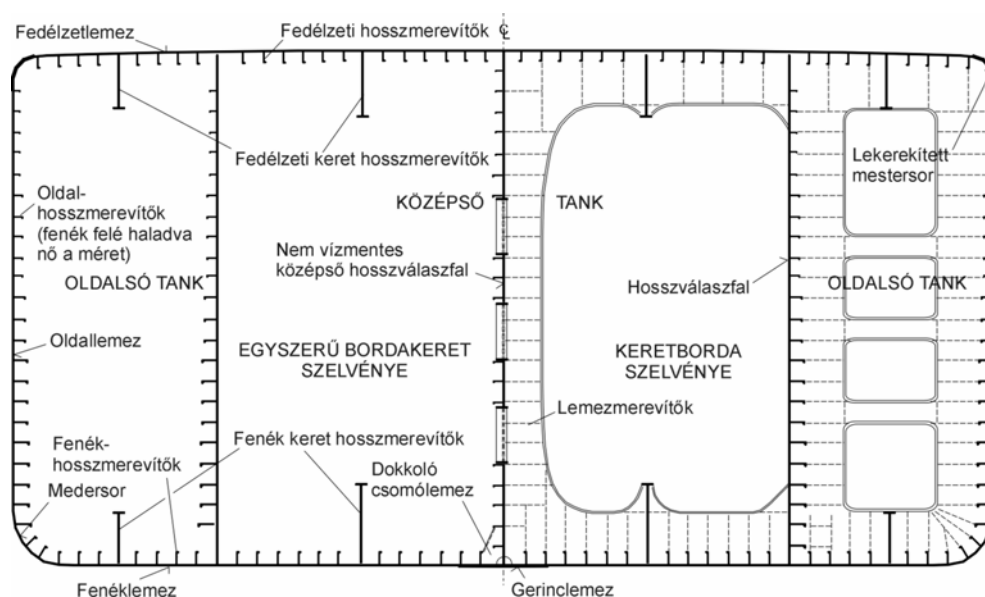


4.1.3.7.1.2 ábra Olajszállító tankhajó főborda-metszete

Tankhajók szerkezeti elemeihez használható anyagok

Az egész acélszerkezetben lágyacélt kell alkalmazni, azonban azoknál a zónáknál, amelyekben nagyobb feszültségek ébredhetnek vagy a nagyobb hajókhoz magasabb szakítószilárdságú acélok is alkalmazhatóak.

Lágyacél. A szárazáru szállító hajókhoz hasonlóan itt is előírás, hogy Grade B, D és E acélokat kell használni a hossz-szilárdságnál mértékadó teherhordó keresztmetszet elemeihez, ahol a tankhajókban a legnagyobb feszültségek ébrednek. Ezek az előírások összhangban vannak a héjlemez-anyagokat tartalmazó táblázattal. Grade E lemezeket, amelyeket 'repedésmegállító lemezsor' koncepcióval azonosítunk, kell alkalmazni (ld. hajószilárdság) a hajóhossz középső szakaszán azoknál a hajóknál, amelyek hossza nagyobb, mint 250 m illetve a 4.1.3.7.1.1 táblázatban foglalt esetekben.



4.1.3.7.1.3 ábra Nagy tankhajó főborda-metszete

Magasabb szakítószilárdságú acél. Gyakran használnak magasabb szakítószilárdságú acélokat a nagyobb tankhajók fedélzeti és fenékszónáihoz. Amint az 5. fejezetben láthattuk, ez lehetővé teszi az érintett szerkezeti elemek méretének csökkentését, ami mind a hajóépítő, mind a tulajdonos számára előnyös. Az ilyen lemez- és szelvényanyagok alkalmazási területét a 4.1.3.7.1.3 ábra mutatja, amely egy nagy tankhajó középső részének metszetét ábrázolja.

A tankokon belül elhelyezkedő acélszerkezeti elemek

Az óceánjáró tankhajók fenék- és fedélzetlemeze hosszbordázatú a tankok környezetében. Az oldallemez azonban lehet akár hossz-, akár keresztbordákkal merevítve, a hosszválaszfalak pedig a legnagyobb tankhajók kivételével hosszanti vagy függőleges irányban elhelyezett szelvényekkel vannak merevítve. A Lloyd's Register általában az egész hajón hosszbordázatot ír elő, ha a hajó hossza túllépi a 150 métert.

4.1.3.7.1.1 táblázat
Grade E acél alkalmazása tankhajóknál

| <i>Hely</i> | <i>Vastagság</i> |
|---|---------------------|
| Koszorúsor, mestersor, lekerekített koszorúsor. | Nagyobb, mint 15 mm |
| Medersor, fedélzeti lemezsor a hosszválaszfalnál. | Nagyobb, mint 25 mm |
| Főfedélzeti lemezelés, fenéklemezelés, gerinc, hosszválaszfal felső sora. | Nagyobb, mint 40 mm |

Keresztmerezítésű oldallemez. Ahol a kisebb és közepes méretű tankhajóknál keresztbordázatot alkalmaznak, a bordákat oldalsó hosszmerítőkkel támasztják meg (4.1.3.7.1.2 ábra), a hosszmerítők száma a hajó oldalmagasságától függ. Az oldalbordák végénél csomólemezes kötések vannak kialakítva, az alsó csomólemez magában foglalja a medersor görbületét, és a legközelebbi fenék hosszmerítőig vannak vezetve, de ahhoz nincsenek bekötve. A felső végén levő csomólemez a fedélzethez van bekötve hasonlóan, és az oldalsó hosszmerítőknél is csomólemezes bekötést alakítanak ki.

Hosszbordázat. A fedélzeti és fenék-hosszmerítők szelvényei a legnagyobb méretűek, mivel azok merevítik a teherhordó hajókeresztmetszet legjobban igénybevett öveit. Az oldallemezen a legfelső hosszboardák szelvénymérete a legkisebb, és lefelé haladva mindegyik következő merevítő nagyobb az előzőnél egészen a medersorig. A medersornál levő hosszboarda mérete majdnem eléri a fenékborda méretét. A legfontosabb tulajdonsága a hosszboardázatnak, hogy a hossz-szilárdság átadása folyamatos egyik keresztmetszetről a másikra, különösen a tankok végeit képező válaszfalaknál. Ez a tulajdonság még fontosabbá válik a hajóhossz növelésével, a fenék és a fedélzet hosszboardái folyamatosak a válaszfalnál, ha a hajó hossza túl nagy, hacsak az osztályozó intézet alternatív megoldást nem engedélyez (ld. 4.1.3.7.1.4 ábra). A magasabb szakítászilárdságú acélból készült hosszboardáknak a hajó hosszától függetlenül folyamatosaknak kell lenniük.

A hosszboarda szelvények lehetnek *bulba profilok*, amelyek gerince megnövelhető, hogy nagyobb hajóknál a szükséges szelvényméret kiadódjék. Nem ritka azonban az sem, hogy tankhajóknál lemezgerincből és szimmetrikusan elhelyezett övből készült hosszboardákat alkalmaznak.

Keretbordák a fenék, oldal és fedélzet merevítéséhez. A fedélzet és a fenék lemezének hosszboardáit rendszeres távolságra elhelyezett *keretbordák* támasztják meg. Hasonlóképpen, ha az oldallemez hosszboardázatú, ott is szükség van keretbordákra. A keresztválaszfalak között a haránt keretbordákat egyenlő távolságra helyezik el egymástól, kisebb hajóknál ez a távolság kb. 3 m, nagyobbaknál 5 m vagy még több. A keretbordákat szokás szerint lemezgerinc alkotja, amelyet nagyobb lapos-acél övvel látnak el. A gerincmagasságnak elegendőnek kell lennie ahhoz, hogy még azoknál a kivágásoknál is, ahol a hosszboarda áthalad rajta, megfelelő gerincmagasság maradjon. A hosszboardáknál függőleges lemezmerítőt helyeznek el, és ha a keretborda mérete megkívánja, vízszintes merevítőket is beépítenek.

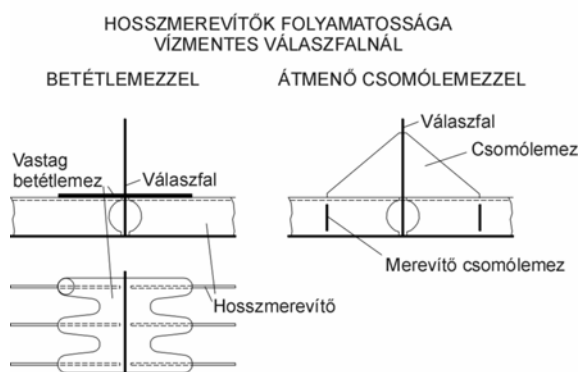
Átkötések. Vízszintes átkötésekre van szükség az oldalsó tankokban, amelyek a függőleges keretbordákat a hajóoldalhoz és a hosszválaszfalhoz kötik, ha az utóbbiak hosszbordázatúak (4.1.3.7.1.3 ábra). Az átkötések szilárdságát olyanra tervezik, hogy képesek legyenek merevíteni az oldalsó tank végválaszfalának szerkezetét a folyadéknomás hatására fellépő haránt-irányú alakváltozás ellenében.

Két vagy három vízszintes átkötést kell kialakítani attól függően, mekkora a hajó oldalmagassága, de átlós átkötéseket is találunk számos hajónál. Az átkötés gyakran csak egy sík lemezből áll, ha túl nagy a fesztáv, függőleges merevítést kap, vízszintesen pedig kihajlás ellen van merevítve. Végeinél az átkötést csomólemezek kötik a függőleges keretborda-gerinchez.



4.1.3.7.1.4 ábra Tankhajók hosszbordázata

Fenék- és fedélzeti hosszmerítők. A fenéklemez merevítése szükségessé teszi azoknál a hajóknál, amelyek két hosszválaszfalal rendelkeznek, hogy vagy a szimmetriasíokban egy megfelelő gerincmagasságú hosszmerítő legyen beépítve az olajmentes keresztválaszfalak között, és ezt akár öt haránt-irányú fenék keretborda támassza meg, vagy egy kisebb szimmetriasíokban levő dokkoló hosszmerítő legyen biztosítva, amely megtámasztja a hosszválaszfalak között elhelyezett fenék keretbordákat. A szimmetriasíokban levő fenék hosszmerítőt peremezett csomólemezek támasztják meg a keretbordák között középen, ezekre gyakran 'dokkoló csomólemezek' néven hivatkoznak. Ezek támasztják meg a középső fenék hosszmerítőt, amely a vastag gerinclemezrel együtt képezi azt a tartót, amelyen át a dokkolási terhelések átadódnak a hajószerkezetnek, amikor a járművet a gerincblokkokra ráültetik. További merevítés érhető el a szimmetriasíokban levő hosszmerítőnél,



de a többinél is, függőleges lemez merevítőkkel. Az olajmentes keresztválaszfalnál a szimmetriasíokban levő fenék hosszmerítő függőleges válaszfal keretmerevítőbe megy át. A fedélzet is alá van támasztva folyamatos vagy interkosztális hosszmerítővel a

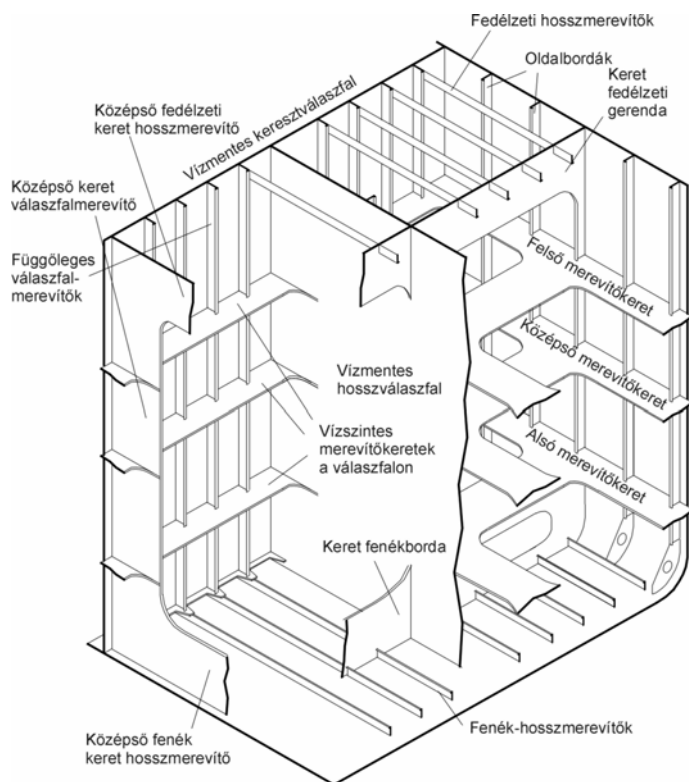
szimmetriasíkban, amely a fenék-hosszmerevítővel és a válaszfal keretmerevítővel folyamatos gyűrűt képez a hajó szimmetriasíkjában (4.1.3.7.1.4 ábra).

Kettős héjlemez konstrukciók

A kettősfenék szerkezetek hosszbordázatúak, a konstrukció hasonló más hajótípusoknál találhatóhoz, megtalálhatóak a haránt-irányú keret fenékbordák. Hasonló a szerkezet a kettős-oldal terében és a lejtős oldalú oldaltankoknál, ahol merevített haránt keret fenékbordák vannak beépítve minden szelvényben, ahol a fenékben a keretbordák el vannak helyezve, illetve a válaszfalaknál, stb. (ld. 4.1.3.7.1.7 ábra).

Válaszfalak

A válaszfalak kiosztását a rakomány-tankok zónájában a *rakomány-tankok maximális megengedhető hossza* határozza meg. A MARPOL előírja, hogy a rakomány-tankok hossza egyenként nem lehet nagyobb 10 méternél vagy egy bizonyos hosszánál, amely a hajóhossz százalékában van kifejezve, és amely függvénye a beépített hosszválaszfalak számának, valamint a hajó oldala és a legkülső hosszválaszfal közötti minimális távolságnak. Azoknál a tankhajóknál, amelyek kettő vagy több hosszválaszfallal rendelkeznek, az oldaltankok és a középső tankok hossza akár a hajóhossz 20%-át is elérheti. A Lloyd's Register a haránt-válaszfalak elhelyezésénél előírja, hogy annak összhangban kell lennie a 4.1.3.3.1.1 táblázattal, amely a far-gépteres hajókra érvényes.



4.1.3.7.1.5 ábra Vegyes bordázatú olajszállító tankhajó

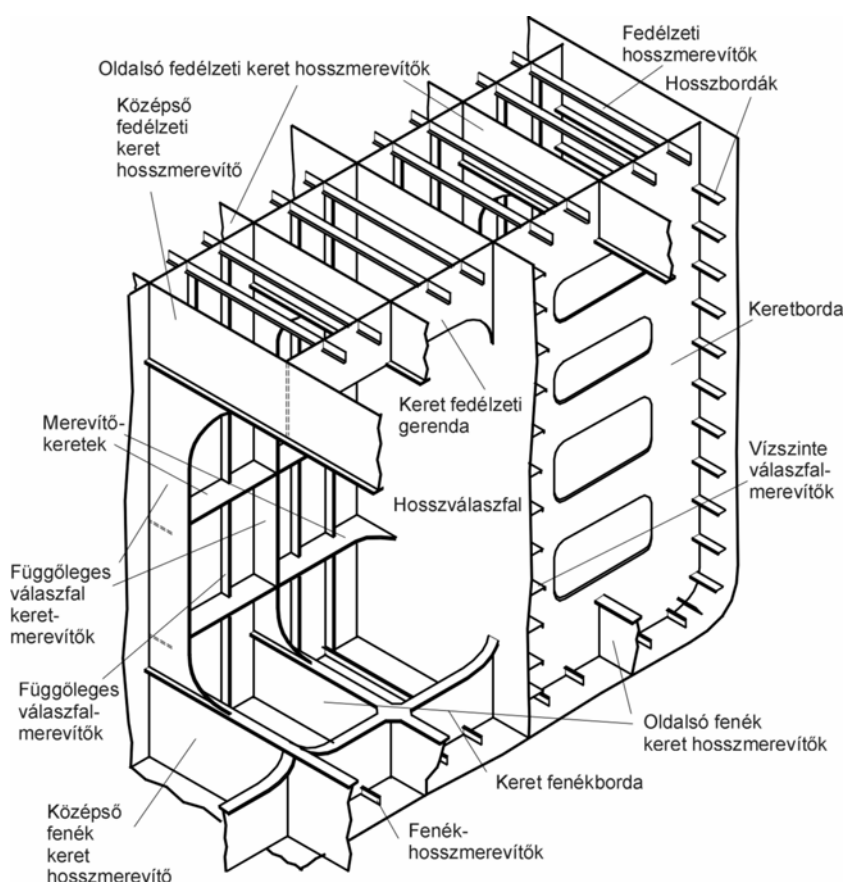
Testtankokat (kofferdam) kell elhelyezni a rakományzóna végeinél, ezeket két, egymástól legalább 760 mm távolságra levő olajmentes haránt-válaszfallal lehet leválasztani. Helyettük azonban elfogadják az intézetek azt a megoldást, hogy a rakományzóna mögött (egyes olajtermék szállítóknál előtt) szivattyúgépház, előtte pedig ballaszt tank legyen kialakítva. A kofferdam előírás minden olyan helyen is, ahol lakóter lenne határos olajrakomány szállítására szolgáló tankkal.

A keresztválaszfalak konstrukciója megegyezik a

többi hajótípusnál elírtakkal, a válaszfal olajmentes. A merevítőket függőlegesen helyezik el, de alkalmazható önmerevített lemez is, az önmerevítések iránya lehet függőleges vagy vízszintes. A függőleges merevítők vagy önmerevítések

megtámasztására vízszintes keretmerevítők szolgálnak, a vízszintes önmerevítéseknél a keretmerevítők függőlegesek. A válaszfal további merevítését adja a szimmetriasíkban levő függőleges keretmerevítő, amely általában egyik oldalán a válaszfalnak nagyobb gerincmagasságú, mint a másikon, kivéve, ha a tank nagyon hosszú, akkor a keretmerevítő a válaszfal mindkét oldalán azonos méretű lehet.

Az *olajmentes hosszválaszfalak* merevítése lehet hagyományos vagy önmerevítés, az utóbbi vízszintesen van elhelyezve. A szimmetriasíkban függőleges önmerevítésű hosszválaszfalat is el lehet helyezni. A szokásos merevítés függőleges, ahol az oldalszerkezet merevítői függőlegesek, ahol pedig hosszbordázatú, ott a válaszfal is hosszmerevítőket kap. Amikor a hosszválaszfal önmerevítésű vagy hosszbordázatú, függőleges keretmerevítőket kell beépíteni. Önmerevítésű hosszválaszfalak beépítése csak olyan hajókon engedélyezhető, amelyek hossza 200 m alatt van.



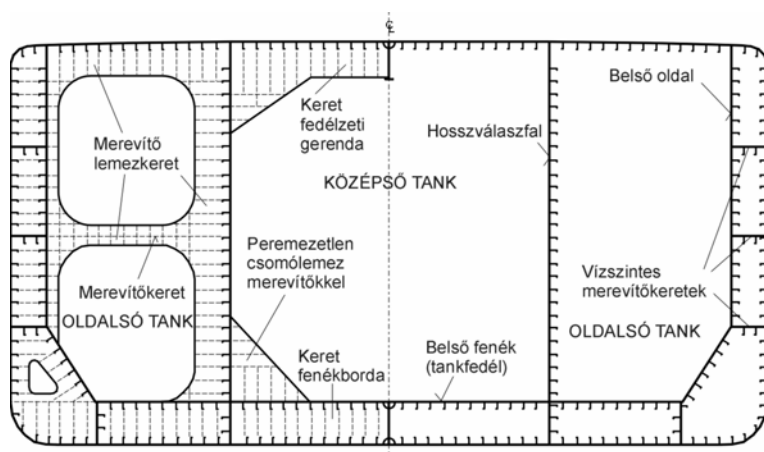
4.1.3.7.1.6 ábra
Hosszbordázatú
olajszállító tankhajó

Rakodónyílások

Az időjárásnak kitett fedélzeten olajmentes *rakodónyílások* biztosítanak bejutást a tankokba. Ezeket a nyílásokat a lehető legkisebb méretűre kell kialakítani, a sarkokat jól le kell kerekíteni, az sem ritka, hogy kerek nyílásokat helyeznek el. A nyílások kerete acélból készül, és magassága legalább 600 mm kell, hogy legyen, a nyílást megfelelően

illeszkedő fedél zárja, amelynek anyaga acél vagy más elfogadott anyag. Vannak szabadalmaztatott olajmentes rakodónyílások, amelyeket az intézetek jóváhagytak, a fedél anyaga acél vagy üvegszálas műanyag.

A kofferdamokba és ballasztvíz-tankokba a fedélzeten kialakított hasonló nyílásokon át lehet bejutni, vagy vízmentes búvó-nyílást kell kialakítani, amelynek fedele megfelelő vastagságú. A fedélzeten kialakított egyéb nyílások között vannak a táguló-tér dugók és a tank tisztítására szolgáló nyílások, ezeket mindig a nyitott fedélzeten kell kialakítani, zárt terekben nem lehetnek.



4.1.3.7.1.7 ábra Kettős oldalú olajszállító tankhajó

A tankok próbázása

Az egyes rakománytankokat és kofferdamokat külön-külön lehet *nyomáspróbának* alávetni, amikor elkészültek. Ennek módja, hogy a tankot vízzel meg kell tölteni, és a vízoszlopnak 2,45 méterrel

kell magasabbnak lennie a tank legmagasabb pontjánál, kivéve a rakodónyílásokat, kofferdam esetében a töltésnek a nyílás felső széléig kell megtörténnie. Vízpróba végzése nem szerencsés a sólyán vagy a szárazdokkban, figyelembe véve az elárasztott tankok méretét, mert a tartószerkezetre és a szerkezeti anyagokra nagy terhelést jelent. Ezért meg van engedve, hogy a próbát a vízen úszó hajón végezzék el, mindegyik tankot külön töltik fel úgy, hogy a tankok felét teletöltik, akkor az üres tankokban ellenőrzik az oldallemezt és a feneket. A vizet ezután az eddig üres tankokba szivattyúzzák át, és a kiürített tankokban ellenőrzik a fenék- és oldallemezt. Ezt a próbát a védőbevonatok felhordása után szokták elvégezni, feltéve, hogy a hegesztéseket már korábban alaposan ellenőrizték.

A gyakorlatban gyakran használják a szerkezeti vízpróba és a légpróba kombinációját. A légpróbát a sólyán is el lehet végezni, a tankokban levegőnyomást hoznak létre a kettősfenék tankok próbájához hasonlóan. A felügyelők által kiválasztott egy darab középső tankon és két oldalsó tankon vízpróbát végeznek.

A tiszta vízhez szolgáló ballaszttankokat a rakománytankokkal azonos módon vizsgálják, a fenéktankok és testtankok próbájára vonatkozó előírások azonban hasonlóak a szárazáru szállítókra vonatkozókhöz, vagyis nyomáspróbánál a tank legfelső pontja felett kell lennie a vízoszlop tetejének 2,45 méterrel. Azokat a válaszfalakat, amelyek nem tank végfalak, vízszugárral próbálják.

Orrszerkezet

A hajó rakománytankok előtti részén testtankokat lehet kialakítani. Ebben a zónában és az orrkamrában a bordázat lehet kereszt- vagy hosszirányú, illetve a kettő kombinációja.

Testtank. Ha a bordázat keresztirányú, a hajó elő részén magas fenékbordát kell elhelyezni minden bordakeretben, és azt be kell kötni a szimmetriasíkokban levő fenék hosszmerévítőbe vagy az ottani hosszválaszfalba, illetve meg kell támasztani interkosztális oldalsó fenék hosszmerévítőkkel, amelyek osztása legfeljebb a keresztborda-osztás háromszorosa lehet. Ha mindkét oldalt hosszválaszfal van elhelyezve a rakománytankokban, ezeket tovább lehet vezetni a testtank mellő választfaláig szimmetriasíkokban elhelyezett hosszválaszfal helyett. A magas

fenékbordákhoz csatlakozó oldalbordákat oldal-hosszmerevítők támasztják meg, ezek osztása legfeljebb 5 m, ezeket vagy keret oldalbordák támasztják meg, amelyeket be kell kötni vagy a magas fenékbordákba, hogy függőleges merevítő-keretet kapjunk, vagy a keresztválaszfal vízszintes keretmerevítőjébe, hogy vízszintes merevítő-keret jöjjön létre. Alternatív megoldásként keskeny tankokban könnyített membránokat lehet elhelyezni vízszintesen 5 m osztással.

A hosszboardázatú testtankokban az oldallemezett keret oldalbordák merevítik öt bordaosztásonként. Ahol a tank mélysége meghaladja a 16 métert, az oldalsó keretbordák, akár csak a keretbordák a keresztboardázatú tank esetében, egy vagy több hosszirányú keretmerevítővel, vagy átkötésekkel, vagy pedig könnyített membránokkal vannak megtámasztva, az utóbbiakat a keretbordák síkjában keretgerendák merevítik. Amennyiben a tank szélessége meghaladja a hajószélesség 50%-át, hosszválaszfalat kell beépíteni, ez lehet a szimmetriasíkban elhelyezett nem vízmentes válaszfal. Ahol a tank szélessége a hajószélesség 70%-át meghaladja, ajánlatos legalább egy vízmentes válaszfalat elhelyezni a szimmetriasíkban.

Orrkamra. A keresztboardázatú orrkamra szerkezete hasonló a szokásos szárazáru szállítóéhoz, és tartalmazza a szokásos pumpálás elleni szerkezeti elemeket. Ha az orrkamra hosszboardázatú, az oldalsó keretbordák maximális osztása 2,5 és 3,5 m között van, értéke függ a hajó hosszától, és be vannak kötve az oldalsó keretbordákkal azonos síkban levő fedélzeti gerendákba. Az orrkamrában hosszboardázat esetén keretbordák vannak kialakítva a hosszirányú merevítők megtámasztására, az orrkamra fedélzete pedig támoszlopokat kap a szimmetriasíkban.

Farszerkezet

Az óceánjáró tankhajókon a géptér hátul van elhelyezve, a géptéri zónában a fenék keresztboardázatú kettősfenék. Ennek a kettősfenéknek a konstrukciós részletei megegyeznek a szokásos szárazáru szállító hajóéval, minden bordakeretben magas fenékborda van kialakítva, ezeket oldal-hosszmerevítők támasztják meg, a gépalap elemei pedig integrálva vannak a fenék szerkezeti elemeibe.

A géptéri zónában és mögötte lehet kereszt- vagy hosszboardázatú az oldal és a fedélzet. Ha keresztboardázatúak, a legalsó fedélzet alatt legfeljebb öt bordaosztásonként keretbordákat kell elhelyezni, amelyeket oldal-hosszmerevítők támasztanak alá. A keretbordákat fel lehet vezetni a farfelépítménybe; amennyiben pedig egyetlen farfelépítményben van minden lakótér elhelyezve, ezeket a keretbordákat a felépítménybe is fel lehet vezetni. Hasonló nagy méretű keresztbordák vannak elhelyezve a géptérben minden hosszirányú merevítő megtámasztására. A keresztirányú keretmerevítők osztása megegyezik a keretbordák osztásával, kivéve a közbenső fedélzetek közötti tereket a farkamra felett, ahol a maximális osztás négy bordaosztással egyenlő.

A *farkamra* és a far konstrukciója a kereskedelmi hajók megoldásait követi, a farkamrában a szimmetriasíkban hosszválaszfal van elhelyezve.

Felépítmények

Annak érdekében, hogy olajszállító tankhajóknál kisebb szabadoldal engedélyezhető legyen, a rakott állapotban érvényes merülés-vonal kiadásának feltételei (ld. lékesedés) szorgalmazták, hogy olyan zárt építmények legyenek telepítve a szabadoldal- és más fedélzetekre, amelyek védik az ott levő nyílásokat. Ugyanezek az előírások követelik meg orrfelépítmény biztosítását, amely a hajóhossz első 7%-át fedi.

Szerkezetileg az építmények megegyeznek a más hajókon levőkkel, külön figyelmet kell fordítani a teherhordó keresztmetszet változására az építmények végeinél.

Különlegesen oda kell figyelni az ilyen keresztmetszet változásokra, amennyiben azok a hajótest középső szakaszára esnek. Mivel a géptér hátul van, a farfedélzet mellső vége érdemli a legnagyobb figyelmet, szerkezetileg ugyanaz a helyzet, mint a híd mellső végénél, mivel integritása lényeges.

A kisebb szabadoldal magassággal bíró tankhajók esetében különleges szerkezeti kialakítást jelent az a követelmény, hogy átjárási lehetőséget kell biztosítani a felépítmény legalsó szintjén a különféle lakó létesítmények között. Ez még mindig létezik olyan járműveken, ahol minden lakótér hátul van, bár az előírások korlátot vagy hasonló biztonsági berendezést is engedélyeznek a fedélzet szintjén. Az átjáró kialakítása ebben az utóbbi esetben a tulajdonos kívánsága szerint történik, ami többletberuházással nagyobb biztonságot teremt, és karbantartása is pénzbe kerül. A másik különlegesség a főfedélzeti habvéd hiánya, az előírások nyitott korlátot írnak elő legalább a nyitott fedélzet hosszának felén, ezeket viharos időben gyakran mossza a tenger.

Úszó termelő, raktározó és kirakó járművek

Az *úszó termelő, raktározó és kirakó* (floating production, storage and offloading, FPSO) *járművek* illetve az *úszó raktározó egységek* (floating storage units, FSU) ma már a part-menti olajkitermelés mindennapi tartozékai.

A tipikus FSU 100.000 tonna hasznos terhelésű jármű, tárolásra szolgáló köbtartalma 112.000 köbméter, ami kb. 10-napi termelést jelent. A kőolajat az úszó termelő egységről (floating production unit, FPU) átszivattyúzzák az FSU-ra egy víz-alatti toronyrendszer (submerged turret loading, STL) segítségével. Az FSU-ról a kőolajat olajkompokkal (shuttle tankers) szállítják ki a partra, miután gégecsöveken át FSU-ról átrakták rájuk. Az FPSO kombinálja egy egységen belül az FPU és az FSU feladatát. Számos olajszállító tankhajót alakítottak át FPSO-vá vagy FSU-vá, de a tendencia egyre inkább az ilyen hajók új tervezés alapján történő építése. Az alapvető hajótest konstrukció hasonló a szokásos tankhajókéhoz, de vannak ezekre a hajókra jellemző különleges vonások. A hajókat egy toronyrendszer segítségével kötik ki a hajók elején, amely lehetővé teszi a hajó szélbeállítását, és így csökkenti a hajó teherhordó keresztmetszetét terhelő igénybevételt. Mivel azonban a hullámok szinte a jármű egész élettartama során az orr felől jönnek, a teherhordó keresztmetszetben a kifáradási igénybevételek nagyobbak, mint egy szokásos tankhajónál lennének. A szokásos tankhajó a fedélzetén alig hord terhet, egy FPSO azonban fel van szerelve jelentős olajipari berendezésekkel, amelyek akár 20.000 tonnát is nyomhatnak. Ezt a terhelést át kell adni a hajó acélszerkezetének, ami azt jelenti, hogy a függőleges összetevők bonyolultabbak és nagyobb mértékűek, mint egy tankhajónál. Emellett, mivel az FSU és FPSO járművek egész életüket szigorú körülmények között töltik, és soha nem kerül sor

szárazdokkolásra, a vasszerkezetet rendszerint jobban megerősítik a szükséges nagyobb korrózióvédelem miatt.

Vegyszerszállító tankhajók

A vegyszerszállító tankhajók szerkezeti kialakítása és elrendezése a leggyakrabban hasonló az olajszállító tankhajókéhoz. A meglevő vegyszerszállító tankhajóknál az elrendezés kettősfeneket tartalmaz a rakománytankok zónájában, kettős héjlemez-konstrukciót vagy fedélzeti kofferdamokat, illetve ezek kombinációját. Bizonyos veszélyesebb rakományok szükségessé tehetnek olyan tankokat, amelyek nincsenek kapcsolatban a hajótest szerkezetével, vagy úgy vannak telepítve, hogy a tank szerkezetére nem adódnak át a hajótestet terhelő feszültségek. Ebben az utóbbi esetben a szerkezeti elemek kialakítása és az elrendezés hasonló lehet a következő pontban leírt, folyékony gázok szállítására szolgáló hajókhoz.

4.1.3.7.2 Cseppfolyós gáz szállítására szolgáló hajók

Sok olyan hajó van üzemben, amelyek feladata gázok szállítására cseppfolyós állapotban tömegárúként. A legtöbbjük cseppfolyós állapotba hozott olyan gázok szállítására szolgál, amelyeket kőolajból állítanak elő, azaz cseppfolyós petróleum-gázokéra (liquefied petroleum gas, LPG), kisebb részük azonban azzal a céllal épül, hogy cseppfolyós földgázt (liquefied natural gas, LNG) szállítson.

Cseppfolyós petróleum-gáz (LPG)

Az LPG megjelölést az olajipar eredetileg a kőolajból előállított gáznemű szénhidrogénekre használta, nevezetesen a propán és bután (PB) gázokra, illetve azok keverékére. Az LPG gázokat háztartási és ipari felhasználásban tiszta fűtőanyagként alkalmazzák. Ezek a gázok cseppfolyósíthatóak, és az alábbi három módon szállíthatóak:

- (1) nyomás alatt szobahőmérsékleten,
- (2) forráspontig lehűtött állapotban (-30 és -48°C között) atmoszférikus nyomáson,
- (3) félig lehűtött állapotban és atmoszférikusnál magasabb nyomáson.

Számos egyéb gázt, amelyek fizikai jellemzői hasonlóak, pl. ammónia, propilén és etilén, szintén lehet szállítani az LPG szállító hajókon. Ezeket a gázokat is cseppfolyósítják, és hasonló paraméterekkel szállítják, mint az LPG-t, kivétel az etilén, amelynek forráspontja sokkal alacsonyabb (-104°C), amelyet emiatt teljesen vagy félig hűtött állapotban kell szállítani.

Cseppfolyós földgáz (LNG)

Az LNG természetes állapotban előforduló gáz, amelyből a legtöbb szennyezőanyag, amilyen a kén és széndioxid, el van távolítva. Lehűtik forráspontjáig (-165°C) vagy annak közelébe atmoszférikus nyomáson vagy közel ahhoz, és ebben a formában leginkább cseppfolyós metánként szállítják. A metán forráspontja 45,6 bar nyomásnál és -82,5°C hőmérsékletnél van, azaz ezen nyomás alatt és hőmérséklet felett a cseppfolyósítás nem következik be, tehát a cseppfolyós metán mindig alacsony hőfokú és nagy nyomású.

Az IMO Nemzetközi Gázszállító Előírások

1975-ben 9. közgyűlésén az IMO elfogadta a nagytömegű cseppfolyós gáz szállítására szolgáló hajók szerkezetének és berendezésének előírásait (Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk), az A.328 (IX) kódszám alatt, amely nemzetközi érvényű előírásokat tartalmaz azokhoz a hajókhoz, amelyek nagy tömegben szállítanak cseppfolyós gázt. A dokumentum 1986-ban vált kötelezővé, és általában IMO Nemzetközi Gázszállító Előírások néven ismeretes. Ennek a kódnak a követelményeit az osztályozó intézetek, így a Lloyd's is, belefoglalták azokba a szabályokba, amelyek a cseppfolyós gázok szállítására szolgáló hajók építését szabályozzák.

Az előírások vonatkoznak az ütközés vagy zátonyra futás esetén bekövetkező rakománytárolók károk lehetséges csökkentésére és a hajó úszóképességének megőrzésére, a hajó biztonságát, a rakomány tárolását és kezelését szem előtt tartó intézkedésekre, az építésnél felhasználható anyagokra, a környezet megóvására, a tűzvédelemre, a rakománynak üzemanyagként való felhasználására, stb. Különleges fontosságú a hajó építése szempontjából az a fejezet, amely rakomány tárolására vonatkozik, és amely az alapvető rakománytároló típusokat határozza meg és jelzi, ha szükség van egy szekunder védőrendszerre is, vagyis a rakománytárolón kívül elhelyezett burkolatra, amely védi a hajótest szerkezetét az alacsony hőmérséklet következtében előálló ridegedési hatástól, ha esetleg a rakomány szivárgás útján kijutna a primer tankszerkezetből. Az alábbiakban vannak felsorolva a különböző rakománytároló típusok.

Integrált tankok. Azok a tankok ilyenek, amelyek a hajótest szerkezetének szerves részét képezik, és amelyeket ugyanazok a hatások és terhelések érik, mint a hajótest hozzájuk csatlakozó szerkezeti elemeit. Ezeket LPG szállítására használják atmoszférikus vagy ahhoz közeli viszonyoknál, pl. butánnál, ahol nincs szükség a hőtágulás és a tank összehúzódásának kiegyenlítésére.

Membrántankok. Ezek nem önhordó tankok, amelyek vékony falból (membrán) állnak, amelyet a szigetelésen keresztül a hajótest szomszédos szerkezeti elemei tartanak. A membrán tervezésénél arra törekednek, hogy a hő vagy más tényezők hatására bekövetkező tágulás vagy összehúzódás ne okozzon felesleges feszültségeket a membránban.

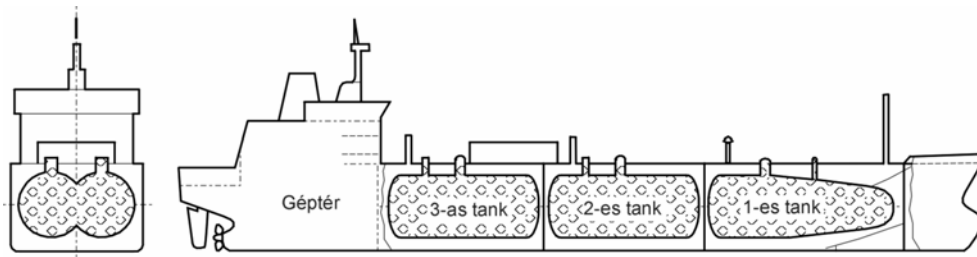
Fél-membrán tankok. Ezek terhelt állapotban nem önhordó tankok. A tank sík felülete alá van támasztva, így a súly- és dinamikus erők átadódnak a hajószerkezetre, a lekerekített sarkok és szélek azonban nincsenek megtámasztva, így a tank alakváltozására mód van. Az ilyen tankokat LNG szállítására hozták létre, de alkalmazzák őket néhány LPG szállító hajón is.

Független tankok. Ezek a tankok önhordóak és függetlenek a hajótesttől.

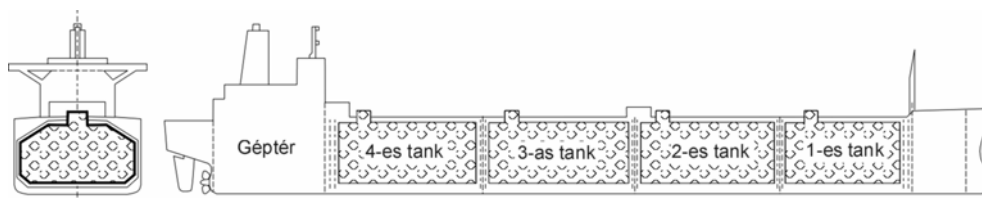
Membrántankokat elsődlegesen LNG rakományok szállítására használnak (ld. 4.1.3.7.2.4 ábra).

Három típusuk ismeretes:

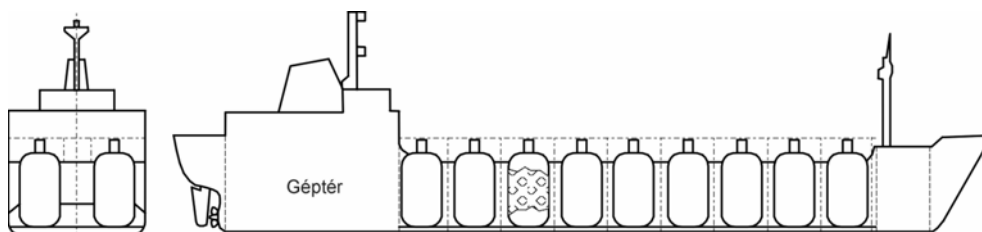
'A típus', amelynek tervezésénél elsődlegesen a hagyományos hajószerkezeti elemzés módszereit alkalmazzák. Ilyen tankokban szállítható LPG atmoszférikus vagy ahhoz közeli nyomáson, illetve LNG (ld. 4.1.3.7.2.4 ábra).



4.1.3.7.2.1 ábra Félig hűtött, atmoszférikusnál nagyobb nyomású LPG gázt szállító hajó



4.1.3.7.2.2 ábra Forráspontig lehűtött LPG gázt szállító hajó



4.1.3.7.2.3 ábra Nyomás alatt szobahőmérsékletű LPG gázt szállító hajó

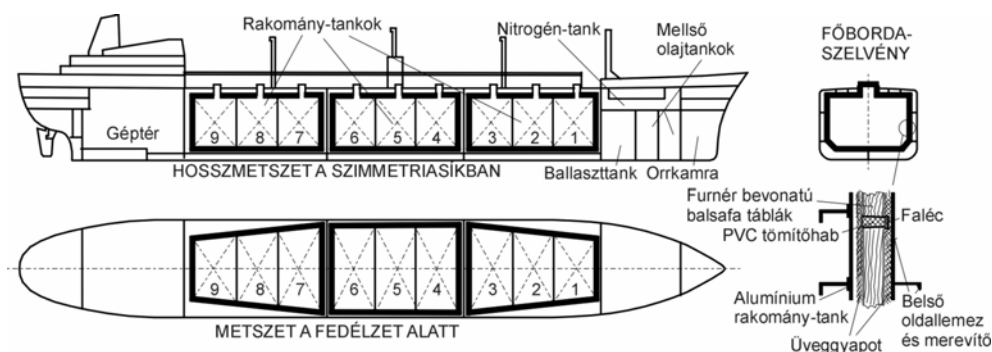
'B típus', amelynek tervezésénél fejlettebb elemző eszközöket és módszereket használnak a feszültség szintek, kifáradási élettartam és repedés továbbterjedés jellemzőinek meghatározására. Ezeknél a tankoknál az általános tervezési elv az úgy nevezett '*repedés-felderítés az üzemzavar bekövetkezése előtt elv*', amely lehetővé teszi, hogy a *szekunder biztonsági rendszer* kisebb legyen (ld. 4.1.3.7.2.5 ábra).

Általában az ilyen tankokban LNG rakományt szállítanak.

'C típus', amelyeket ugyanúgy terveznek, mint a *nyomás alatti edényeket*, ugyanis a legfontosabb tervezési kritérium a gőznyomás. Normális esetben LPG rakományhoz és esetenként etilénhez használják.

Belső szigetelésű tankok. Ezek nem önhordó tankok és hőszigetelő anyagokból állnak, amelyek belső felülete a rakománnyal érintkezik, amelynek terhelését a szomszédos belső acélszerkezet vagy egy független tank viseli. Két típusuk van.

'1-es típus', ahol a szigetelés vagy a szigetelés és egy vagy több védőburkolat kombinációja képezi a primer védőrendszert. A belső acélszerkezet vagy a független tank alkotja a szekunder védőrendszert.



4.1.3.7.2.4 ábra Cseppfolyós metánt szállító hajó

'2-es típus', ahol a szigetelés vagy a szigetelés és egy vagy több védőburkolat kombinációja képezi mind a primer, mind a szekunder védőrendszert, és ilyen minőségében világosan felismerhető.

A védőburkolatok önmagukban nem alkotnak védőrendszert a cseppfolyós anyag számára, emiatt nem különböznek a membránoktól. Ezek a tankok a kód későbbi kiegészítésében szerepelnek, és 1-es típus LPG rakományok szállítására szolgálnak.

Szekunder védőrendszer. A szekunder védőrendszer követelményei a 4.1.3.7.2.1 táblázatban találhatók.

Cseppfolyós petróleum-gáz szállító hajók

Az LPG szállítására szolgáló hajókat rakománytároló rendszerük alapján osztályozzák.

Túlnyomásos tankok. A teljesen túlnyomásosra kialakított hajók szállítóképessége általában nem éri el a 2.000 m³ propán, bután vagy száraz ammónia mennyiséget, amelynek szállítása kettő és hat közötti számú vízszintesen elhelyezett szigetetlen henger-alakú nyomásálló edényben történik, amelyeket teljesen vagy részben a fedélzet alatt helyeznek el. Ezeket a C típusú független tankokat általában 17,5 bar üzemi nyomásra tervezik, amely megfelel a propán telített-gőz nyomásának 45°C-on, vagyis azon a külső hőmérsékleten, amelynél magasabb a hajó üzeme során nem fordul elő. A tankokat szokásos minőségű acélból készítik, alapozásuk bölcsőalakú, ha pedig fedélzet alatt helyezkednek el, a fedélzet fölé nyúló dómval vannak ellátva, amelyhez az összes szerelvény csatlakozik. A nagyon hosszú tankokban *torló-válaszfalakat* helyeznek el. A tankok alakja rendszerint nem teszi lehetővé a fedélzet alatti tér jó kihasználását.

4.1.3.7.2.1 táblázat

Szekunder védőrendszerre vonatkozó előírások

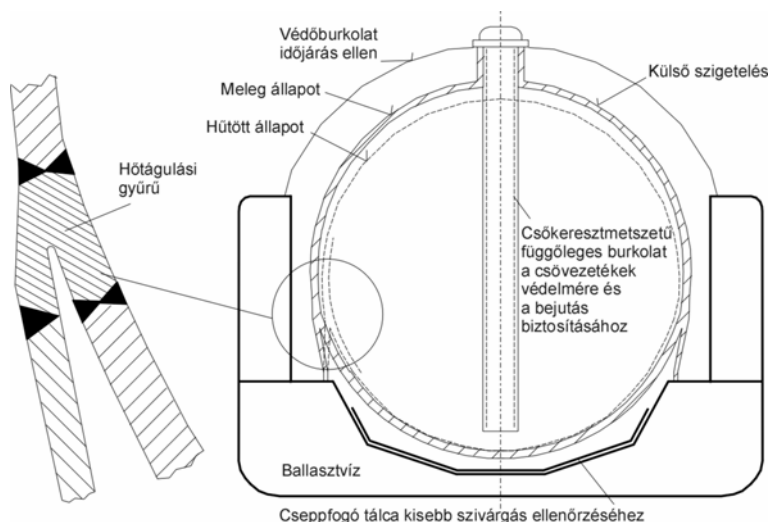
| Tank típusa | Rakomány hőfoka atmoszférikus nyomáson | | |
|------------------|--|---|------------------------------|
| | -10°C és afelett | -10°C és -55°C között | - 55°C alatt |
| Integrált | Nincs szükség szekunder védelemre | A hajótest alkotja a szekunder védelmet Általában nincs engedélyezve | Külön szekunder védelem kell |
| Membrán | | Teljes szekunder védelem | |
| Fél-membrán | | Teljes szekunder védelem | |
| Független | | | |
| A típus | | Teljes szekunder védelem | |
| B típus | | Részes szekunder védelem | |
| C típus | | Nincs szükség szekunder védelemre | |
| Belső szigetelés | | | |
| 1-es típus | | Teljes szekunder védelem | |
| 2-es típus | | Teljes szekunder védelmet tartalmazza | |

Félig túlnyomásos (vagy félig hűtött) tankok. A félig túlnyomásos hajók hordképessége kb. 5.000 m³ rakományig terjed, és hasonlóak a teljesen túlnyomásos hajókhoz. A független C típusú tankok általában szokásos acélminőségekből készülnek, amelyek megfelelőek a - 5°C hőmérséklethez és a maximálisan kb. 8 bar nyomáshoz. A tank külső felülete szigetelt, és a hűtő vagy újra-cseppfolyósító berendezés a rakományt hidegen tartja, valamint fenntartja az üzemi nyomást. A rakománytankok gyakran fekvő hengerek, amelyek két nyereg alakú tartóra vannak fektetve, több konstrukció azonban olyan alakú, amely jobb helykihasználást biztosít a fedélzet alatt, és így javítja a hasznos teher arányát (ld. 4.1.3.7.2.2 ábra).

Hűtött tankok. A teljesen lehűtött rakományú hajók hordképessége 10.000 m³ és 100.000 m³ között van, a kisebbek ezek közül a több termék szállítására szolgáló hajók, ezzel szemben a nagyobb hajók általában egyetlen terméket szállítanak állandó útvonalon. A tankok szinte kizárólag prizmaalakú független A típusúak, amelyek felső részén az oldal ferde, hogy minél kisebb legyen a szabad felület, a fenék pedig a lehető legjobban illeszkedik a medersor alakjához.

A legtöbb esetben a tank a szimmetriasíkban elhelyezett *folyadékzáró hosszválaszfal*al van kettéosztva, amely fel van vezetve a dóm alsó széléig, a dóm a fedélzet felett helyezkedik el, így használható bejutásra és a csöcsatlakozások elhelyezésére, stb. A tankok szigetelt tartóblokkokra vannak helyezve, így a felületekhez hozzá lehet férni ellenőrzés céljából, és a dőlés és trim átvételének megakadályozására kialakított pályák biztosítják a hajószerkezettől független alakváltozásokat. A rakterek elárasztásának esetén *felúszás-gátló ütközők* akadályozzák meg, hogy a tankok elmozduljanak a tartókról. A tankok olyan ütmunka értékű acélból készülnek, amelyek a propán - 43°C forráspontján, mint üzemi hőmérsékleten kellő szilárdsággal rendelkeznek.

A hajó kettősfenékkal épül, amely a fenék és a medersor zónáját magában foglalja, a szekunder védelmet az alacsony hőmérsékleten megfelelő ütőmunka értéket mutató acél alkalmazása biztosítja a belső fenéknél, a ferde oldalú medersori tanknál, a belső héjlemez egy részénél és a felső oldaltank ferde fenekénél.



4.1.3.7.2.5 ábra Kvaerner-Moss hengeres tank

A kereszt-válaszfalak a rakterek között egy vagy két lemezűek lehetnek (kofferdam). A szigetelést az ilyen hajóknál vagy a tankra, vagy a szekunder védőfelületre helyezik.

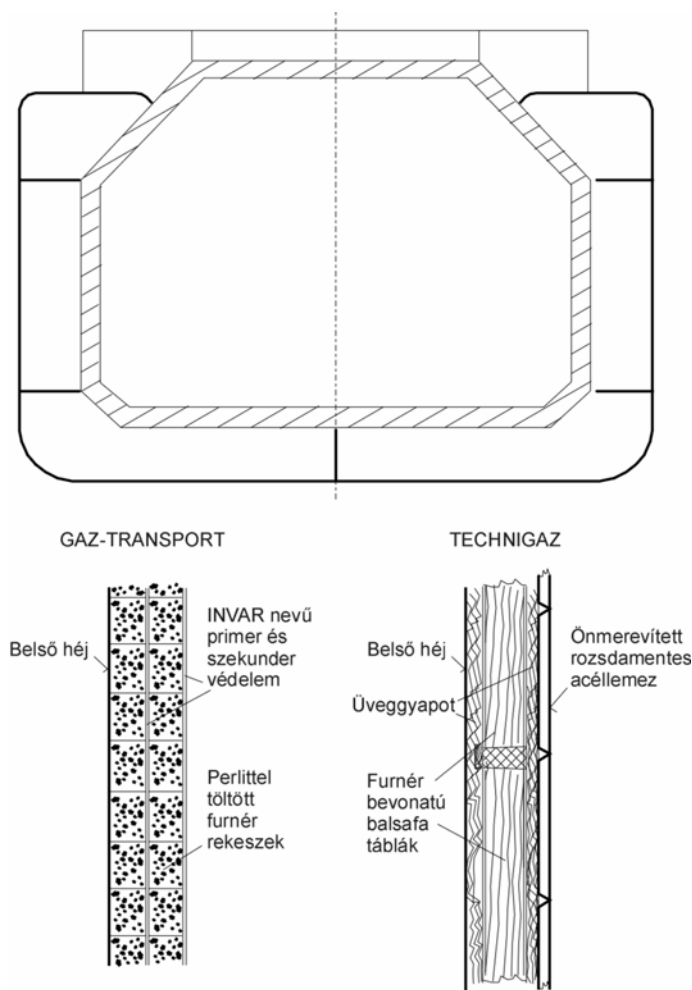
**Cseppfolyós földgáz
szállítására szolgáló hajók**
Több, mint húsz

szabadalommal védett konstrukció létezik az LNG szállító hajók gáztároló tankjaira, amelyek többsége a membrán vagy független kategóriába sorolható. A következőkben a leggyakrabban alkalmazottakat ismertetjük. Az LNG szállító hajók legfontosabb közös jellemzője a kettős héjlemez konstrukció, amelyen belül vannak a tankok elhelyezve a szekunder védőrendszerrel.

Független A típusú tankok. A legkorábbi LNG szállító hajók, mint pl. a 'Methane Princess' és a 'Methane Progress', alumínium ötvözetből készült önhordó tankokkal voltak felszerelve, amelyekben a szimmetriasíokban válaszfalat helyeztek el (ld. 4.1.3.7.2.4 ábra). A *balsafa szigetelést* a belső héjlemezre rakták fel (szekunder védelem), és mindegyik szigetelt raktérben három tank volt elhelyezve. Az ilyen kategóriájú tankokkal felszerelt későbbi hajóknál a tank prizmaalakú volt.

Független B típusú tankok. A Kvaerner-Moss csoport olyan független B típusú tároló-rendszert tervezett, amelynek fogadtatása nagyon kedvező volt, ezért számos LNG szállító hajón alkalmazták. A tankok alumínium ötvözetből vagy 9% nikkel tartalmú acélból készült gömbök, amelyeket ugyanabból az anyagból való függőleges hengeres szoknyába hegesztenek be, ez képezi a hajótesttel a kapcsolatot (ld. 4.1.3.7.2.5 ábra). A gömb alakváltozása szabadon bekövetkezhet, amit a szoknya felső része kompenzál. A gömb külső felülete és a szoknya egy része *poliuretán hab szigeteléssel* van borítva. A rendszer rendelkezik egy részleges szekunder védelemmel, ami a tank alatt levő cseppfogó tálcából és az oldalaknál fröccsenés elleni védőburkolatból áll. B típusú minősítésével összhangban minden egyes tank el van látva érzékelőkkel, amelyek érzékelik a szivárgást és időt biztosítanak, mielőtt a repedés kritikus méretűvé válna. Szférikus tankokkal a rendelkezésre álló raktér csak rosszul használható ki, megfelelő méretű hajótestre van szükség, amelyben elfér kb. 5 nagy gömb összesen 125.000 m³

rakományszállító képességgel. A fedélzet felett a gömbök elégséges védelemmel rendelkeznek az időjárás ellen.



4.1.3.7.2.6 ábra Membránrendszerek

Membrántankok. A két legismertebb membrántank konstrukció két francia céggel asszociálható, mert ők fejlesztették ki azokat, a *Gaz Transport* és a *Technigaz*. A Gaz Transport rendszer mind a primer mind a szekunder védelemhez az 'Invar' nevű 36% nikkeltartalmú acélt használja. Az Invar hő-tágulási együtthatója nagyon alacsony, ami szükségtelenné teszi a tankszerkezetben a rugalmas elemek beiktatását. Az alkalmazott Invar membránlemez vastagsága mindössze 0,5-0,7 mm, így a szerkezet nagyon könnyű. A szigetelés furnérlemez dobozokból áll, amelyeket perlittel töltenek meg (ld. 4.1.3.7.2.6 ábra).

A Technigaz rendszer

rozsdamentes acél membránrendszert használ, ahol a tankokat önmerevített lemezből készítik olyan módon, hogy mindegyik lemez szabadon változtathatja az alakját, függetlenül a szomszédos lemezektől. Ez képezi a belső primer védelmet, a balsafa szigetelés és a szekunder védelem, amely a korábban az A típusú tankoknál ismertetetthez hasonló, szintén ki van alakítva (ld. 4.1.3.7.2.6 ábra).

B típusú fél-membrán tankok. A japán *IHI* hajóépítő cég tervezte azt B típusú fél-membrán tankot LNG szállításához, amelyet számos LPG szállítón is alkalmaznak. A merőleges határoló falakkal rendelkező tank merevítés nélküli sík falakból áll, felső része lejtős, élei és sarkai lekerekítettek, amelyek nincsenek alátámasztva, így lehetőség van a hő-tágulásra. A tank 15-25 mm vastag alumínium ötvözetből készül, amelyet egy réteg PVC szigetelésre fektetnek, és a részleges szekunder védelem 25 mm vastag furnérból készül, amely integrálva van a PVC hab szigetelésbe.

A gázszállító hajók általános elrendezése

A gázzsállítók általában olyan elrendezésűek, amely hasonló a tankhajókéhoz, vagyis a géptér és a lakótár hátul van elhelyezve, a rakomány tárolására szolgáló tankok pedig a hajó teljes hosszára el vannak osztva egészen az orrkamráig, ahol az orrfelépítmény helyezkedik el.

Az LPG rakományok sűrűsége 0,58 és 0,97 között változik, az LNG szállító hajókat viszont gyakran 0,5-ösre tervezik, így különösen az LNG szállítók, de a legtöbb esetben az LPG szállítók egyik fő jellemzője a kis merülés és a nagy szabadoldal. Mivel a rakománytankokba ballasztvíz nem kerülhet, megfelelően biztosítani kell annak elhelyezését a kettős héjazatú testterekben, a kettősfenékben, a medersori tankokban és a felső oldaltankokban.

A kettős héjlemezelés sok LNG szállítónál kötelező biztonsági konstrukciós megoldás, és követelmény az olyan LPG szállítók tankjainál, amelyeknél ez nincs megvalósítva, hogy azokat a héjlemeztől egy minimálisan megszabott távolságra kell elhelyezni.

A hajóorr és a hajófar kialakítása ezeknél a hajóknál nem különbözik a többi hajótól. A rakományzóna bordázata kereszt- vagy hosszirányú, amely elsősorban attól függ, mekkora a hajó, ahogy más hajótípusoknál is van, a belső héjlemez különleges figyelmet kap, ha szükség van a tároló-rendszer alátámasztására.

A gázzsállító hajók mindegyikénél helyet kell biztosítani a tankok körül, amelyeket ellenőrizni kell gázszivárgás szempontjából, sok hajónál ezeket a tereket inert gázzal töltik ki, amelyet egy erre szolgáló, a hajón elhelyezett berendezés végez. A cseppfolyós gázrakomány szállítása állandó nyomás alatt történik, így levegő nem juthat be a tankokba, tehát gyúlékony keverék nem keletkezhet.

Az LPG szállító hajókon cseppfolyósító berendezés van telepítve, a tankokban a hőhatás miatt elkerülhetetlen párolgásból keletkező gőzt elszívják, és a cseppfolyósító berendezésbe kerül, ahonnan cseppfolyósítva kerül vissza a tankba. Az LNG szállító hajóknál a keletkező gőzt a kazánban üzemanyagként elégetik gőzhajóknál, másoknál kiengedik az atmoszférába, bár ez sok kikötőben nincs engedélyezve, emiatt számos más megoldást dolgoztak ki a probléma kiküszöbölésére.

Lloyd's osztályozás

Cseppfolyós gázokat szállító hajókra a Lloyd's Register két osztály valamelyikét határozza meg, nevezetesen '100A cseppfolyósított gázzsállító tankhajó' (liquefied gas tanker), ahol a jármű osztályozása megengedi a cseppfolyósított gázok nagy tömegben való szállítását integrált vagy membrántankokban, illetve '100A1 cseppfolyósított gázzsállító' (liquefied gas carrier), ahol a jármű feladata cseppfolyósított gázok szállítása független tankokban. Az osztályozó megjelölést ki lehet egészíteni a tankok típusára, a szállított termékek nevére, a maximális gőznyomásra és a minimális rakomány-hőfokra, stb. vonatkozó kiegészítéssel.

4.1.3.8 Korrózióvédelem**4.1.3.8.1 A korrózió természete és formái**

Szinte minden fém természetes tulajdonsága, hogy reakcióba lép a környezetével. Ennek eredménye a *korróziós termék* létrejötte, amely általában olyan anyag, amelynek vegyi összetétele közel áll ahhoz az eredeti ásványéhoz, amelyből a fémet előállították.

Atmoszférikus korrózió

A hajó építése során nagyon fontos az *atmoszférikus korrózió* elleni védelem, mind a műhelycsarnokokban, mind a sólyán. Komoly rozsdásodás indulhat meg, ahol a *levegő relatív nedvességtartalma* 70% felett van; a többnyire víz mellett levő hajógyárakban a levegő elég nedves ahhoz, hogy szinte az egész év során elősegítse az atmoszférikus korróziót. De még a nedves légkörben is komolyan befolyásolja a rozsdásodás előrehaladását a levegőben levő szennyeződések mennyisége, amelyek a füstgázokból és a tengeri sós levegőből származnak.

Korrózió a vízbemerült felületen

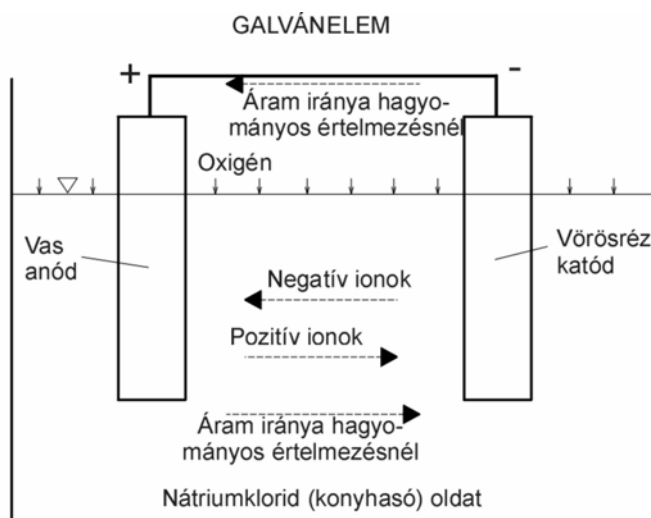
Amikor a hajó üzemben van, a fenék felülete teljesen víz alatt van, a vízvonal környéke pedig időszakosan merül be a vízbe. Normál üzemi körülmények között a hajótestnek ezt a zónáját csak úgy lehet megvédeni a túlzott mértékű korróziótól, ha a szükséges *korrózióvédelmi intézkedéseket* megteszik. Acél hajótesteknél az ilyen környezet ideális feltételeket biztosít az *elektrokémiai korrózió* kialakulásához.

A korrózió elektrokémiai természete

A fémek eredeti ásványi állapotuk visszanyerése során általában energiát szabadítanak fel. Normál szobahőmérsékleten vizes oldatokban a fématom beépülése az ásvány molekulájába úgy történik, hogy a fém oldatba megy. A folyamat során az atom egy vagy több elektront lead, ettől *ionná* válik, azaz elektromosan feltöltött atommá, miközben elektromos áramot termel (ez a leadott energia). Ez a reakció csak akkor zajlik le, ha jelen vagy egy elektronfelvétel is a vizes oldatban. Ez tehát azt jelenti, hogy bármilyen *korróziós reakció* mindig elektromos árammal jár együtt, amely az egyik fémes területről folyik egy másikra egy oldaton keresztül, ahol az elektromos áramot az ionok mozgása jelenti. Az ilyen oldatot *elektrolit oldat* néven emlegetik; a tengervíz pedig nagy sótartalma miatt igen jó elektrolit oldat.

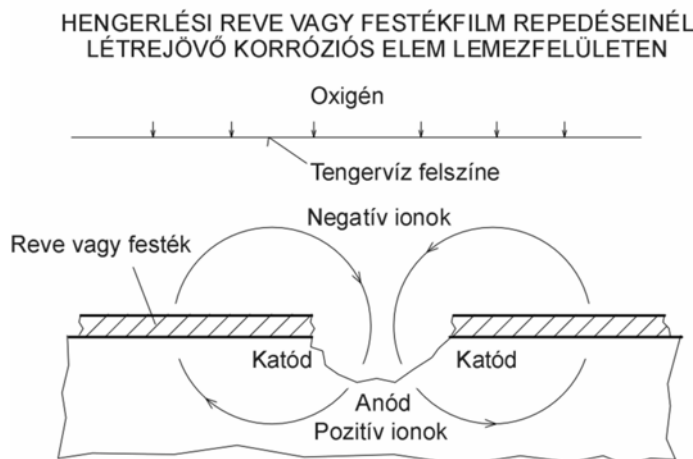
Az egyszerű korróziós elemet két különböző fém alkotja elektrolit oldatban (galvánelem) a 4.1.3.8.1.1 ábrán bemutatott módon. Később látni fogjuk, hogy nem kell feltétlenül két különböző fémnek jelen lennie. Az ábra szerint egy tiszta vaslemez és egy hasonlóan tiszta rézlemez van nátrium-klorid oldatba bemerítve, amely a felületen érintkezik az oxigénnel. Érintkezés hiányában mindegyik lemezen kicsi lesz a korrózió. Amint azonban a két lemezt kívül is összekötjük, hogy elektromos vezetőt hozzunk létre, akkor már a *korrózió sebessége* a vason jelentősen megnő, a rézen azonban meg fog szűnni a korrózió teljesen. A vas *elektróda*, ahonnan az elektronok elvándorolnak, és amely így a hagyományos értelemben vett áramirányt jelenti, az *anód*. Ezen az elektródán zajlik le normális esetben az *oxidáció* illetve korrózió. A rézelektróda,

amelyre az elektronok odavándorolnak, és ahonnan a hagyományos értelemben vett áram elindul, a *katód*, ahol semmilyen korrózió nem történik. Az elektrolit oldaton át az áram útja a negatív *ionok áramlása* az anódra és pozitív ionok áramlása a katódra. Elektrokémiai korrózió vizes oldatokban bármilyen anód-katód területen előfordul, ahol oldat van jelen, akár különböző *potenciállal* rendelkező fémek vannak a környezetben, akár azért eltérő a potenciáljuk, mert a fémfelületen fizikai különbségek vannak. Az utóbbira jó példa a töredezett hengerlési revével borított acéllemez tengervízben (4.1.3.8.1.1 ábra), illetve a *korróziós áram*, amely egy megfelelően lefestett lemez és a hibásan festett lemez között folyik.



4.1.3.8.1.1 ábra Korróziós elem

Az atmoszférikus korrózióhoz és az oldatba merült felület korróziójához egyaránt fontos szerepe van az oxigénnek és az elektrolitnak. A levegőnek szabadon kitett lemezek rengeteg oxigénnel érintkeznek, de nincs nedvesség, így emiatt a nedvesség jelenléte lesz a döntő tényező. A teljes bemerítés viszonyai között a döntő tényező az oxigén jelenléte.



Bimetálos (galvanikus) korrózió

Bár minden korrózió alapvetően galvanikus folyamat, a 'galvanikus korrózió' elnevezést általában akkor használják, amikor két különböző fém alkotja a *korróziós elemet*. Számos korróziós probléma a hajókon abból ered, hogy különböző potenciállal rendelkező fém-alkatrészeket építenek össze, amelyek az

üzemi körülmények között korróziós elemet alakítanak ki. A fémek és ötvözetek tengervízben tapasztalható korróziós hajlama nagyon sok kiterjedt vizsgálat tárgya volt, aminek eredményeként a tengervízbe merített fémekre és ötvözetekre *galvanikus sorozatokat* nyertek. A tengervízben érvényes tipikus galvanikus sorozatok a 4.1.3.8.1.1 táblázatban vannak összefoglalva. A fémek helye a táblázatban kizárólag tengervíz-környezetben érvényes; amikor pedig a fémek csoportosítva vannak, azoknak nincs erős hajlamuk arra, hogy egymással párt alkossanak. Egyes fémek azért jelennek meg kétszer, mivel rendelkezhetnek *passzív és aktív állapottal* is. A fémre akkor mondjuk,

hogy passzív, amikor felülete elektrolit oldatnak van kitéve, és a várt reakció nem következik be, a fém nem mutatja a korrózió jeleit. Abban általános az egyetértés, hogy a passzíválódás oka a fém felületén kialakuló elektromos védelem, általában *fémoxid film* alakjában. Ez a vékony védőfilm akkor jön létre, amely együtt jár a fém általános potenciáljának megváltozásával, amikor az átfolyó áram erőssége túllép egy adott kritikus áramerősséget a helyi korróziós elem anódjának fémfelületén.

A leggyakoribb bimetál korróziós probléma hajótestek esetében az, amelyet a lágyacél héjlemez és a bronzból vagy nikkelötvözetből készült hajócsavar okoz. A vízvonál felett előforduló problémák oka olyan szerelvények beépítése, amelyek anyaga bronz vagy alumínium ötvözet. Ahol alumínium felépítményeket alakítanak ki, annak csatlakoztatása az acél hajótesthez, illetve az acél szerelvények felszerelése a felépítményre érdemel külön figyelmet. Ez az utóbbi probléma megoldható, ha a két fém egymástól el van szigetelve és a víz bejutása meg van akadályozva, amint azt a 4.1.3.8.1.2 ábra mutatja. További fejlesztés ezen a téren a robbantott kötésű alumínium/acél csatlakozások alkalmazása, amely szintén az ábrán látható. Ezek a csatlakozások semmilyen apró rést sem tartalmaznak, a szabadon maradó alumínium és acél felületet a festék megfelelően védi.

4.1.3.8.1.1 táblázat

Galvanikus sorrend tengervízbe merített fémekre és ötvözetekre

Nemes (katódos vagy védett) végpont

Platina, arany

Ezüst

Titán

Rozsdamentes acél, passzív

Nikkel, passzív

Nagy szilárdságú bronzok

Vörösréz

Nikkel, aktív

Hengerlési reve

Csapágyfém (sárgaréz)

Ólom, ón

Rozsdamentes acél, aktív

Vas, acél, öntöttvas

Alumínium ötvözetek

Alumínium

Horgany

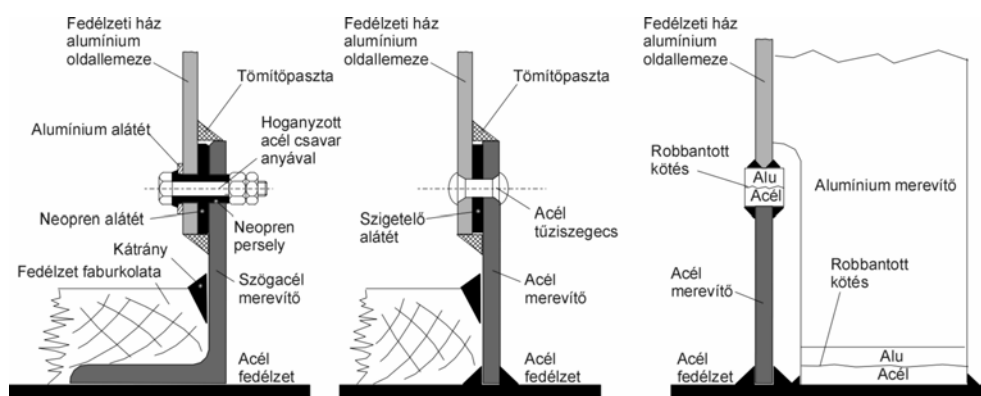
Magnézium

Közönséges (anódos vagy korrodáló) végpont

Belső feszültségekből adódó korrózió

A hajószerkezetek esetében nem ismeretlen az olyan korrózió és abból eredő szerkezeti károsodás, amely a szerkezetet terhelő feszültségekkel függ össze.

A belső feszültségek, amelyeket a *nem homogén hidegalakítás* okoz, gyakran még veszélyesebbek, mint a terhelésből eredő feszültségek. Például gyakran jelentkeznek a helyi korrózió a *hidegen peremezett csomólemezeknél*. Különleges esete volt a belső feszültség okozta korrózióknak a hajószervezetekben az a korróziótípus, amely az alumínium-magnézium ötvözetű *hidegen bevert szegecs*eknél fordult elő az eljárás bevezetésekor, ahol a magnézium tartalom meghaladta a hozzávetőleg 5% értéket. Itt a korróziós folyamat azzal a *szemcseszerkezet átalakulással* függ össze, amelyet a túlzott hidegalakítás idézett elő, és amely anódos tulajdonságú az ötvözet szilárd szemcseszerkezetéhez képest. A korrózió a szemcseszerkezet-tartományok határán indul el. Ma már az alumínium/magnézium ötvözetű szegecs specifikációja korlátozza a magnéziumtartalmat.



4.1.3.8.1.2 ábra Alumínium csatlakoztatása acélhoz

Korrózió/erózió

Az *erózió* lényegében mechanikai folyamat, de előfordulhat együtt az elektrokémiai korrózióval, és a fémekben ilyenkor kétféle romlás mutatkozik. Leginkább azért, mivel amit '*kavitációs károsodás*' néven ismerünk, főként elektrokémiai jelenség, de erózió indítja el. A vízben levő buborékok nekiütődnek a fémfelületnek, és ezek lokálisan eltávolítanak minden védőfilmet, ami ott lehet. Az erodált felület a körülötte levőhöz képes anódossá válni, és elindul a korrózió. Ez a fajta károsító hatás a legtöbb olyan helyen előfordulhat, ahol áramló víz van, a leginkább azonban azokon a helyeken, ahol adott paraméterek miatt turbulens áramlás képződik. Ennek különleges esetét képezzik a hajótestből történő tengervíz-kifolyások, a hatást még súlyosbítja, ha melegvíz távozik. A kavitációs károsodások az olyan környezettel is összefüggésben vannak, ahol gyorsan áramló folyadék van. Az áramlásban bizonyos helyeken (ami gyakran a sebesség növekedésével függ össze, amit az áramlási keresztmetszet szűkülése idéz elő) a helyi nyomásérték az abszolút gőznyomás értéke alá csökken. Gőzbuborékok jönnek létre helyileg, vagyis olyan térfogatelemek, ahol részleges vákuum van, amikor azonban a nyomás megnövekszik ezeken a helyeken kívül, a gőzbuborékok összeesnek, vagyis '*berobbannak*'. Ez az összeesés jelentős energia felszabadításával jár együtt, és ahol ez a fémfelület közelében történik, a felület károsodik. A károsodás *kipattogzás* jeleit mutatja, amelyről eredetileg azt hitték, hogy főként mechanikus hatás eredménye. Azt is

tekintetbe kell azonban venni, hogy elektrokémiai hatás is szerepet játszik a károsodásban a kezdeti eróziót követően.

4.1.3.8.2 Korrózióvédelem

A korrózió elleni védelem két formáját vehetjük figyelembe, a katódos védelmet és védőbevonatok alkalmazását.

4.1.3.8.2.1 Katódos védelem

A korróziót csak ott lehet *katódos védelemmel* megakadályozni, ahol fémek merülnek be elektrolit oldatba. A katódos védelem alapelve az, hogy az anódos korróziós folyamatokat egy ellenkező irányú áram elnyomja. Ez a hozzáadott közvetlen elektromos áram a fémbe annak minden pontján belép, és így a helyi korróziós elemek belül az anódos fém potenciálját csökkenti, amitől az katódossá válik.

A katódos védelemnek két változata létezik, a fogyóanódos rendszer és az alkalmazott áramos rendszer.

Fogyóanódos rendszerek

A *fogyóanódok* olyan fémek vagy ötvözetek, amelyeket a hajótestre erősítenek, és amelyek anódosabbak, vagyis kevésbé nemesek potenciál szempontjából, mint az acél, ha tengervízbe vannak merítve. Ezek az anódok szolgáltatják a katódos védőáramot, eközben azonban elhasználódnak, és így ki kell őket cserélni a védelem fenntartása érdekében.

Ezt a rendszert már sok éve alkalmazzák, általános gyakorlat a horganylemezek elhelyezése bronz hajócsavarok és egyéb víz alatti szerelvények közelében. Kezdetben a horgany anódok nem hoztak mindig jó eredményt, mivel nem a megfelelő horganyötvözeteket használták. A korszerű anódok ötvözetének alapját a horgany, alumínium vagy magnézium képezi, ezek már sok teszten estek át a használhatóságot illetően; nagy tisztaságú horgany anódokat is alkalmaznak. Több gyakorlati szempont mellett a költség dönti el, melyik típust helyezik el.

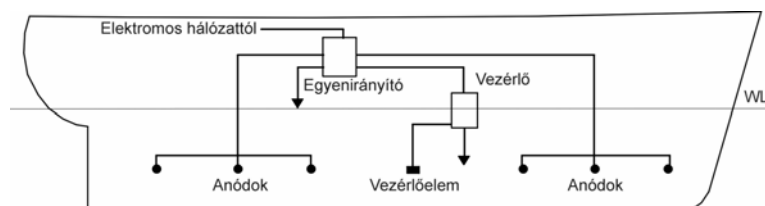
Fogyóanódokat a hajótesten belül is el lehet helyezni, gyakran használják a ballaszttankokban. Ugyanakkor azonban magnézium anódokat az olajszállító tankhajók rakomány és ballaszt szállítására egyaránt használt tankjaiban nem használnak az úgy nevezett 'szikraveszély' miatt. Ha véletlenül valamelyik anód leesik és beleütközik a tank szerkezetébe, amikor a teret gyúlékony gáz tölti ki, robbanás következhet be.

Alumínium anódrendszereket lehet alkalmazni tankhajókon, feltéve, hogy csak olyan helyekre kerülnek, ahol a potenciális energia kisebb, mint 280 J.

Alkalmazott áramos rendszerek

Ezeket a rendszereket kizárólag a vízbemerült külső héj védelmére lehet használni. A rendszerek elve az, hogy feszültségkülönbséget tartanak fenn a héjlemez és a felszerelt anódok között, amely védi a héjlemezt a korrózió ellen, azonban az áramtakarékosság miatt nem védi túlzott mértékben. Megszokott üzemi körülmények között a potenciálkülönbség fenntartását egy külsőleg felszerelt ezüst/ezüstklorid vezérlőelem

biztosítja, amely állandóan méri a feszültségkülönbséget saját maga és a héjlemez között. A mikro-voltokban mérhető feszültséget erősítő segítségével felerősítik, amelyet az összevet az előre beállított védőpotenciál értékével, és azt tartja fenn. A vezérlő elemtől jövő erősített egyenáramú jel alapján egy készülék a hajó elektromos rendszerének felhasználásával nagyobb áramerősséget biztosít, amelyet a héjlemezen levő anódokhoz táplál. Az elektromos hálózatról nyert váltakozó áramú feszültséget egyenirányítják az anódokhoz való hozzávezetés előtt. A 4.1.3.8.2.1.1 ábra ilyen rendszert mutat.



4.1.3.8.2.1.1 ábra
Alkalmazott áramos
katódos védőrendszer

Eredetileg az alkalmazott
katódok fogyó jellegűek

voltak, de a korszerű rendszerekben nem-fogyókat használnak viszonylag nemesebb fémekből; ezek között vannak ólom/ezüst és platina/palládium ötvözetek, illetőleg találhatunk platina és titán anódokat is.

Az egyik hasonló alkalmazott áramos rendszer olyan fogyóanódot használ, ami egy 45 m hosszú sima alumínium huzal, amelyet a hajó a tengeren maga után húz. A kikötőben ez nem ad védelmet.

Annak ellenére, hogy a beruházás költsége magasabb, ezek a rendszerek a tapasztalatok szerint rugalmasabbak, hosszabb élettartamúak, jelentősen csökkentik a hajótest karbantartási igényét és sokkal könnyebbek, mint a fogyóanódos rendszerek.

Gondoskodni kell a védelmükről a kikötőkben más hajók és egyéb nem védett acélszerkezetek közelében.

4.1.3.8.2.2 Festékek

A festék *pigment-anyagot* tartalmaz, amelyet folyadékban oldanak fel, amelyet általában 'hordozó' néven említenek. Amikor vékony rétegben el van terítve, a hordozó idővel megváltozik és tartós filmet képez. A száradási folyamat a következő eljárások valamelyikével érhető el.

- Amikor a hordozó *illékony oldószerben oldott szilárd gyantás anyagot* tartalmaz, az oldószer a festék felhordása után elpárolog, és száraz filmet hagy hátra.
- Az olyan folyadékok, mint pl. a lenolaj, amennyiben az van a hordozóban, úgy képes száraz festékfilmet létrehozni, hogy a környező *levegővel kémiai reakcióba lép*.
- Az is előfordul, hogy vegyi folyamat játszódik le a hordozó alkotóelemei között a felhordás után, és így jön létre a száraz festékfilm. Az *egymással reakcióra képes alkotókat* esetleg két külön edényben tárolják (kétalkotós festékek), és felhordás előtt keverik össze. A másik megoldás olyan alkotóelemek alkalmazása, amelyek csak magasabb hőmérsékleten lépnek reakcióba, illetve a reagáló alkotóelemek oldószerrel vannak hígítva, és így a dobozban a reakció csak nagyon lassan tud végbemenni.

Az acélhoz használatos korrózió-gátló festékek a következő típusúak lehetnek:

- (a) *Bitumen vagy kátrány*. A kereskedelembe kaphatóak a lakkbenzinben oldott bitumen vagy kátrány oldatok. A bitument vagy kátrányt felmelegítve szintén össze lehet keverni más anyagokkal, hogy hordozó jöjjön létre.
- (b) *Olaj-alapúak*. Ezek leginkább száradó növényi olajokat tartalmaznak, mint pl. lenolaj és tungfaolaj. Az oxigénnel való természetes reakció gyorsítása szárítók hozzáadásával érhető el.
- (c) *Olajos-gyantásak*. Ezeknél a hordozó száradó olajba belekevert természetes vagy műgyantákat tartalmaz. A gyanták egy része reagálhat az olajjal, ami a hordozó gyorsabb száradását eredményezi. Más gyanták az olajjal nem lépnek reakcióba, de hőhatásra a gyanta szétterül és az olajjal filmet alkot.
- (d) *Alkid-gyantásak*. Ezek a hordozók további javulást eredményeznek a száradási időben és a száradó-olajok filmképző tulajdonságaiban. Az alkid név az alkotóelemekből adódik, az alkoholokból és a savakból. Az alkidokat nem feltétlenül olajból kell előállítani, mivel alkalmazhatóak az olajos-zsíros savak és az olajmentes savak is.

(Megjegyzés. A (b) és (d) típusú hordozók nem használhatóak víz alatti helyre, az ilyen helyeken csak a (c) típus bizonyos fajtái megfelelőek.)

- (e) *Vegyileg ellenállóak*. Az ilyen típusú hordozók különösen ellenállóak a nehéz körülményeknek kitett helyeken. Ezekkel külön kell foglalkozni, mivel sok fontos hordozó tartozik ebbe a csoportba.
 - (i) *Epoxigyanták*. Az epoxigyanták alapanyagai kőolajból és földgázból előállítható vegyszerek. Ezek a festékek igen jó adhéziós tulajdonságúak amellet, hogy önmagukban is kiválóan ellenállnak a vegyszereknek. Rugalmasságuk és szívósságuk is növelhető más gyanták hozzákeverésével. Az epoxigyanták költségesek a nem kívánt melléktermékek eltávolításának szükségessége miatt gyártásuk során, fényes felületük pedig hajlamos matta változni, ami sok külső dekoratív felületnél alkalmatlanná teszi őket. Ezek a festékek gyakran 'kétalkotós' csomagolásban kaphatóak, ezek egyike az epoxigyanta oldat, a másik a hidegedző oldat amin vagy amid gyanta formájában, ezeket kell felhordás előtt összekeverni. Az így kapott festék viszonylag lassan szilárdul meg 10°C alatt. Az epoxigyanta festékeket nem szabad összetéveszteni az epoxiészter festékekkel, amelyek víz alatti használatra alkalmatlanok. Az epoxiészter festékeket alkid egyenértékesnek kell tekinteni, mivel a leggyakrabban epoxigyantákból és olajos-zsíros savakból készülnek.
 - (ii) *Kőszénkátrány/epoxigyanta*. Ez a hordozótípus hasonló az epoxigyanta hordozóhoz azzal a kivétellel, hogy, mivel kétalkotós termék, a gyantához kőszénkátrányt is kevernek. Az ilyen típusú formula bizonyos mértékig kombinálja az epoxigyanta vegyszerállóságát a kőszénkátrány vízmentességével.
 - (iii) *Klórozott gumi és izomerizált gumi*. A hordozó ebben az esetben plasztikus klórozott gumi oldatából áll, esetleg izomerizált gumiból. Az izomerizált gumit vegyi úton gyártják a természetes gumiból, ezért vegyi összetétele azzal egyezik meg, de molekuláris szerkezete különböző. Mindkét természetes

gumiszármazék jól oldható számos szerves oldószerben, és így olyan hordozó hozható létre, amelynek szilárdanyag tartalma magas. Száradásnál a film vastagsága nagyobb, mintha természetes gumit alkalmaznának. Az ilyen bevonatokkal jelentős vastagságot lehet elérni, ehhez vastagító vagy viszkozitás növelő adalékokat kell hozzáadni, hogy olyan festék jöjjön létre, amelyet sokkal vastagabb rétegekben lehet felhordani. Az ilyen típusú bevonatok különösen a savak és lúgok behatása ellen védenek.

- (iv) *Poliuretán gyanták.* Az izocianátok és a hidroxil-tartalmú vegyületek között fellépő reakció 'uretánt' termel, és ezt a reakciót arra használják, hogy polimer vegyületeket hozzanak létre, amelyekből festékréteg, szál és ragasztóanyag nyerhető. Az így kapott festékfilmek elég nagy figyelmet kaptak az utóbbi években, és mivel elég sokféle izocianát reakció létezik, egy- és kétalkotós poliuretán festékek állíthatóak elő. Ezeknek a festékeknek sok előnyös tulajdonságuk van: szívósság, keménység, fényes felület, csiszoló hatású anyagokkal szembeni ellenállás, valamint ellenállóak a vegyszerekkel és az időjárással szemben. A poliuretánokat az acéltestű hajóknál víz alatti részen nem használják, csak a felépítményeknél, stb., nagyon kedveltek azonban a jachtoknál, ahol fényes felületüket értékelik.
- (v) *PVC-gyanták.* A PVC-gyantákat olyan szerves vegyületek polimerizációjával nyerik, amelyek a vinil gyököt tartalmazzák. Ezekben a festékekben kicsi a szilárd anyag részaránya; emiatt a száraz film vékony, és több rétegben kell felhordani őket, mint a legtöbb festéket. Mivel a PVC-gyantas festékek gyenge adhézióval rendelkeznek a csupasz acél felületen, alkalmazásuk előzetesen felhordott alapozóval együtt történik. A PVC-gyantas festékek a víz alatti acél felületek védelmének a leghatékonyabb festékrendszerek közé tartoznak.
- (f) *Nagy cinktartalmú festékek.* Az olyan festékek, amelyek fémek cinket tartalmaznak pigmentként elegendő mennyiségben ahhoz, hogy biztosíthassák az elektromos vezetőképességet a megszáradt festékfilmen át az acél felülethez, képesek az acél katódos védelmére. A száraz festékfilm pigment tartalmának 90% felett kell lennie, a hordozó lehet epoxigyanta, klórozott gumi vagy hasonló oldószer.

Algásodás elleni festékek

Az *algásodás elleni festékek* olyan hordozókat tartalmaznak a pigmenteken kívül, amelyek a védelem és a szín mellett olyan anyagokkal is rendelkeznek, amelyek mérgező hatásukkal gátolják a tengeri növényi és állati élőlények elszaporodását. Az algásodás elleni hagyományos festékekben használt legismertebb mérgeanyag a réz. Ahhoz, hogy a festék hatását minél tartósabbá tegyék, a mérgező vegyületeknek lassan ki kell oldódniuk a tengervízbe. Amint tehát a kibocsátás sebessége lecsökken az alá a küszöb alá, amely még szükséges a tengeri organizmusok felrakódásának megakadályozásához, az algásodás elleni védelem már nem hatásos. A kereskedelmi hajóknál a hagyományos anyagok hatásos periódusa 12 hónap volt. Az az igény azonban, főként a nagy tankhajók tulajdonosai oldaláról, hogy csökkentsék a magas dokkolási költségeket, különleges összetételű algásodás elleni anyagok kifejlesztéséhez vezetett az 1970-es évek elején, amelyek hatásos élettartama már elérte a 24 hónapot. Ezt követően tovább folytak a fejlesztések, amelyek célja olyan szerves

méreganyagokat tartalmazó *algagátló bevonatok* létrehozása volt, amelyek egyrészt állandó kibocsátási sebességgel rendelkeznek, másrészt a kibocsátás sebessége függ az algásodásnak kitett időszaktól, és a festékfejlesztőknek sikerült olyan bevonatokat feltalálniuk, amelyek emellett a hajó ellenállását csökkenteni tudták sima felületükkel. Ezeket *önpolírozó algásodás elleni anyagoknak* nevezik (SPC, self polishing copolymer), amelyek élettartama arányos az alkalmazott vastagsággal, és emiatt elméletileg korlátlan, az idő folyamán pedig simábbá válnak, nem durvábbá, ezzel pedig a súrlódási ellenállást csökkentik. Bár drágábbak a hagyományos megfelelőkhöz képest, ha figyelembe vesszük azt az állítást, hogy 10 mikron (10^{-2} mm) növekedés a hajótest érdességében az üzemanyag fogyasztást 1%-kal növeli, akkor önpolírozó tulajdonságuk illetve hosszabb hatásos élettartamuk, amely akár ötéves védelmet is képes nyújtani két szárazdokkolás között, vonzóvá teszi őket a hajótulajdonosok számára.

Az első széles körben alkalmazott SPC algásodás elleni festékek előnyeit fő alkotóelemük – a tributilén vagy TBT vegyületek – tulajdonságainak lehet tulajdonítani. A TBT-k különlegesen aktívak az algásodást okozó organizmusok széles skálája ellen, emellett alkalmasak arra is, hogy vegyileg kapcsolódjanak a festékrendszer akril vázához. Amikor tengervízbe merülnek, különleges vegyi reakció játszódik le, amely leválasztja a TBT-t a festék vázáról, amelynek eredménye nemcsak a TBT kontrollált kibocsátása, hanem a festékfilm kontrollált eltűnése vagy polírozása is. Sajnos kiderült, hogy a kibocsátott TBT még kis koncentrációban is, különösen zárt parti vizek esetében, káros hatással van bizonyos tengeri organizmusokra. Ez oda vezetett, hogy a TBT algásodás elleni festékek használatát betiltották szabadidő hajóknál és kisebb kereskedelmi hajóknál több fejlett országban, illetve olyan rendelkezéseket vezettek be, amelyek nagyobb hajóknál korlátozzák a TBT kibocsátását algásodás elleni festékként. 2000 márciusában az IMO Marine Environmental Protection Committee határozattervezetet nyújtott be, amely az új hajóknál a TBT algásodás elleni festékeket megtiltana 2003. január 1-től, és teljes tilalmat vezetne be 2008. január 1-től. A tervezet azóta határozattá vált. Az utóbbi évek során hatékony TBT-mentes algásodás elleni festékeket fejlesztettek ki, és ezek már a cinkalapú bevonatokkal egyenértékű teljesítményűek. Sok ezek közül az újabb festékek közül rézvegyületeket használ aktív algásodás elleni hatóanyagként, de kifejlesztettek biocidmentes termékeket is. Az utóbbi algásodás elleni festékek különösen jók az alumíniumötvözetből készült nagy sebességű hajók védelmére.

Festékekkel való védelem

Gyakran úgy gondolják, hogy minden festékréteg megelőzi az azzal bevont fémet érő korróziós hatásokat egyszerűen azért, mert kizárja a korróziós közeget, vagyis a levegőt vagy a vizet. Ez gyakran a fő, esetenként pedig az egyetlen védelem; vannak azonban olyan festékek is, amelyek annak ellenére biztosítani tudják a védelmet, hogy porózus felületet alkotnak vagy nem folyamatosak.

Például bizonyos pigmentek a festékekben akkor is védelmet nyújtanak az acélnek, ha az ki van téve egyes helyein az elemeknek. Ha gátolva vannak a reakciók a korróziós cella anódja és katódja között, amelyek a pozitív és a negatív ionokat alkotják, a védelem biztosítva van. Az ilyen típusú pigmentekre jó példa a vörös ólomoxid (mínium) és a cinksárga (cinkkromát), ahol az ólomoxid az anódos, a cinkkromát a

katódos inhibitor. A másodlagos védelmi mód azoknál a lyukaknál jön létre, ahol a festék gazdagon pigmentálódott olyan fémrel, amely az alapfémhez képes anódos. A cinkpor a kereskedelemben kapható pigment, amely ezt a feltételt kielégíti a sós vizet környezetbe kerülő acél bevonásánál. Az acél szempontjából a cinkpor a fogyóanyag. Az algásodás elleni festékek a növényi és állatok organizmusok felrakódása elleni védelmet nyújtanak, amely ellenkező esetben megnövelné a hajótest ellenállását, amely viszont nagyobb teljesítményt, ezzel együtt üzemanyagot igényel ugyanakkora sebességhez. Minél több időt tölt a hajó a tengeren, annál kevesebb a ráakodott alga; emellett azonban a működési terület és az évszakok változása is meghatározza az algásodás mértékét, és a modern algásodás elleni vegyületekkel ez a probléma ma már veszít fontosságából.

Felület előkészítés. A felület jó előkészítése lényeges a sikeres festéshez, számos esetben a festés kudarcának fő oka az anyag előzetes előkészítésének nem kellő módja. Új acél festése előtt különösen fontos, hogy minden hengerlési reze el legyen távolítva. A hengerlési reze vékony réteg vasoxid, amely az acélfelületen a lemezek és profilok meleghengerlése során alakul ki. Nemcsak a már ismertetett módon korróziós cellákat hoz létre a nem-egyenletes hengerlési reze, hanem a felületről le is tud válni, és magával viszi a felhordott festékfilmet.

Az acélfelületek előkészítésének leggyakoribb módszerei festéshez az alábbiak:

- szórással történő tisztítás,
- savazás,
- lánggal történő tisztítás,
- kézzel történő előkészítés.

- (a) A *szórással* történő tisztítás a felület előkészítésének leghatékonyabb módszere. A szóró-tisztítás után érdemes a felületet kefével megtisztítani és amint lehet, egy réteg alapozó festéket felhordani, mivel a fém különben nagyon gyorsan ismét rozsdásodni kezd.

A szóró-berendezések közül kettő van, amely gyakran előfordul, az egyik járókerekes berendezés, ahol a csiszolóhatású anyagot nagy sebességgel szórják a fémfelületre, a másik pedig fúvókával működik, ahol a csiszolóanyag-sugár ütközik a fémfelületnek. Az utóbbit el kell látni visszaszívó berendezéssel, különben a kiszórt csiszolóanyag és a por a légkörbe kerül, amint az gyakran előfordul a hajójavító ágazatban. A hajóépítő műhelyekben általában a járókerekes berendezéseket alkalmazzák, amelyek zárt önellátó rendszerek, és összegyűjtik a port, a tiszta csiszolóanyagot pedig újra felhasználják.

Csiszolóanyagként öntöttvas és acél őrleményt vagy acélsörétet használnak leginkább, de nem-fémes csiszolóanyagok is előfordulnak. Sok országban a homok alkalmazása tilos, mert a keletkező finom por szilikózist okozhat.

- (b) A *savazás* azt jelenti, hogy a fémet savas oldatba mártják, amely általában sósavat vagy kénsavat tartalmaz, amely eltávolítja a hengerlési revét és a rozsdát a felületről. A fémet a bemerítés után alaposan le kell öblíteni forró vízzel. Itt is fontos, hogy a kezelést alapozó réteg felhordása kövesse.

- (c) *Oxigén-acetilén láng alkalmazásával* a hengerlési reve és a rozsdá eltávolítható a felületről. Az eljárás teljesen nem távolítja el a revét és a rozsdát, de rossz időjárási viszonyok között hasznos, hogy a láng a lemezt megszáritja.
- (d) *A kézi tisztítás* különféle formái drótkefével nem túlzottan kielégítőek, és csak olyan helyen használják őket, ahol a hengerlési revét az időjárási viszonyok már fellazították, vagyis a lemez már régóta ki van téve az elemeknek.

A szóró-tisztítás a hajóépítésben a legkedvezőbb, mind a kapott eredmény, mind a gazdaságosság miatt; a savazás is jó eredményeket ad, de drága lehet és a gyártási folyamatba nem illeszkedik; a lángtisztítás nem túl eredményes; a kézi tisztítás pedig a legrosszabba eredményeket produkálja.

Ideiglenes védőfestés építés közben. Az acél, miután szóró-tisztítást kapott, még több hónapig nem kerül beépítésre a hajóba, ahol majd véglegese védelmet kap a felhordott festéktől. Célszerű az anyagot ebben az időszakban is megvédeni a rozsdásodástól, mivel a végső festékréteg akkor adja a legjobb védelmet, ha tökéletesen tiszta acélfelületre kerül.

A szórás után azonnal felhordásra kerülő előgyártási alapozó összetételének számos követelményt kell kielégítenie. Gyorsan kell száradnia, hogy néhány percen belül a lemezeket már kezelni lehessen, nem lehet mérgező, és nem okozhat a hegesztés során káros porozitást illetve hegesztés vagy vágás során nem bocsáthat ki egészségre ártalmas gázokat. Emellett kompatibilisnek kell lennie a későbbiekben felhordásra kerülő bármilyen festékkel. Vannak ilyen összetételű festékek, pl. az epoxigyantában oldott cinkpor.

A hajók festékrendszere

A hajó bármely részén az alkalmazott festékrendszernek meg kell felelnie annak a környezetnek, amelynek a szerkezet ki lesz téve. A külső hajószerkezetek festékeit hagyományosan három zónában használhatóra osztották fel.

- (a) A vízvonál alattiak, ahol a lemezek állandóan tengervízbe vannak merülve.
- (b) A hajótest vízvonál feletti része, ahol a bemerülés átmeneti, és nagy a sűrűlódó igénybevétel.
- (c) A legmagasabban levő rész a hajótestből illetve a felépítmény, amely olyan atmoszférának van kitéve, amely sósvíz-permetet tartalmaz, és sérüléseket szenvedhet az áru ki- és berakodása során.

Mostanában azonban, amikor a hajófenék védelmére szívósabb festékeket használnak, a zónák közötti elkülönítés nem annyira egyértelmű, a fenék és a vízvonál körüli rész védelmére ugyanazt a rendszert alkalmazzák.

A hajótest belső felületén a legkomolyabb feladat megfelelő bevonatokat biztosítani a különféle folyékony rakomány és sós ballasztvíz tárolására szolgáló tankokban.

- (a) *Vízvonál alatti külső felület.* A hajófenék korrózió-gátló alapozó bevonatokat kap, majd ezt követi az algásodás elleni festék. Azoknál a festékeknél, amelyeket tengervízbe merült acélhoz használnak, követelmény a lúgos körülmények közötti ellenálló képesség. Ennek oka az, hogy a nátrium-klorid oldatba merített vasötvözetek, amennyiben van elegendő oxigén utánpótlásuk, korróziós cellát hoznak létre, a katódon pedig mosószóda keletkezik. Emellett a festéknek nagy

elektromos ellenállásának kell lennie, hogy korlátot tudjon szabni az acél és a tengervíz között létrejövő korróziós áram erősségének. Ezek miatt a követelmények miatt a hajóknál a vízvonál alatti zónában a nem-hajóépítő használatban acélszerkezetek alapozásához széles körben alkalmazott lenolajban oldott vörös ólomoxid nem ad kielégítő eredményeket. A hajók fenékrészéhez való korrózió-gátló festékek a következők: kátrányos vagy bitumenes típusok, klórozott gumi, kőszénkátrány/epoxigyanta vagy PVC-epoxigyanta. Az algásodás elleni festékeket csak a korrózió-gátló bevonatok felhordása után lehet alkalmazni, és nem szabad, hogy közvetlen kapcsolatba kerüljenek az acél hajótesttel, mivel a bennük levő mérgező alkotóelemek korróziót okozhatnak.

- (b) *Vízvonál környéke és a hajótest felső része.* A korszerű gyakorlat általában megköveteli a komplett festékrendszert a hajótest vízvonál feletti részén. Ennek alapja lehet PVC és alkid gyanta, vagy esetleg poliuretán gyanta.
- (c) *Felépítmények.* Nagyon gyakran alkalmaznak vörös ólomoxidot vagy cinksárgát tartalmazó alapozókat. Ezt követően fehér fedőfestékeket használnak zömében a felépítményekhez. Ezek rendszerint olajos-gyantas vagy alkidos festékek, amelyek alapjául 'nem-sárguló' olajok szolgálnak, a korszerű hajókon a lenolaj-alapú festékeket, amelyek a levegőnek kitéve sárgulnak, lehetőleg elkerülik.

Ahol a felépítmények anyaga alumínium, ólmot tartalmazó festékeket semmi körülmények között nem szabad használni; az alumíniumhoz általában a cinksárga festékek a megfelelőek.

Rakomány- és ballaszttankok

A hajók rakománytankjaiban komoly korrózió jöhet létre, ha mind rakomány, mind tengervíz ballaszt tárolására használják őket, illetve, ha a két út közötti időszakban hideg vagy meleg tengervízzel mossák ki őket. Ez különösen az olajszállító tankhajókra vonatkozik. Azok a tankhajók, amelyek 'fehér olajat' szállítanak, erősebben ki vannak téve az általános korrózióknak, mint a kőolajszállítók, mivel az utóbbi a tank felületére lerakja azt a védőfilmet, amely bizonyos védelmet nyújt a korrózió ellen. Viszont a hátránya ennek a folyamatnak az, hogy a kagylós (pitting) korrózió sokkal nagyobb mértékben jelentkezik amiatt, hogy a felrakódó film nem egyenletes, a tengervíz ballaszttól pedig a csupasz lemez utólag korrodálódik. Az epoxigyantas festékek alkalmazása széles körben elterjedt az ilyen tankokban, de használhatóak a PVC-gyantas és cinkben gazdag bevonatok is. A leggyakoribb festékrendszerek tengeri hajóknál a 4.1.3.8.2.2.1 táblázatban láthatóak.

4.1.3.8.2.2.1 táblázat

Tipikus festékrendszerek új tengeri hajókhoz

| <i>A festék típusa</i> | <i>Rétegek száma</i> | <i>Száraz film vastagsága</i> |
|--|----------------------|-------------------------------|
| <i>1. Hajófenék</i> | | |
| (a) Szórás utáni vagy állandó alapozó | 1 | 25 mikron |
| (b) (i) Klórozott gumi korrózió-gátló rendszer | 3 | 75 mikron/réteg |

| | | |
|--|------------------------------|--|
| vagy (ii) PVC-kátrány korrózió-gátló rendszer | 3 | 75 mikron/réteg |
| vagy (iii) Kátrány-epoxigyanta | 2 | 125 mikron/réteg |
| (c) (i) Gazdaságos algásodás elleni | 2 hajóoldal 1 lapos-fenék | 50 mikron/réteg |
| vagy (ii) Átlagos algásodás elleni | 2 hajóoldal 1 lapos-fenék | 75 mikron/réteg |
| vagy (iii) Minőségi önpolírozó algásodás elleni | 3 | Függ az alábbiól: sebesség fordulódó idő dokkolások között |
| 2. Vízvonal feletti hajótest | | |
| (a) Szokásos rendszer, alapja: | | |
| (i) Vízálló hordozó korrózió-gátló pigment tartalommal plusz | 3 | 50 mikron/réteg |
| (ii) Olajos-gyantás hordozó fényes bevonat jó mechanikai szilárdsággal | 1 | 40 mikron |
| (b) Nagy teherbírású rendszer, alapja: | | |
| (i) Kétalkotós epoxigyantás vörös oxidos alapozó plusz | 1 | 25 mikron |
| (ii) Kétalkotós epoxigyantás vastag bevonat plusz | 1 | 125 mikron |
| (iii) Kétalkotós epoxigyanta alapú fényes fedőfesték bevonat | 2 | 50 mikron/réteg |
| 3. Felépítmény – külső felületek | | |
| (a) Szokásos rendszer, alapja: | | |
| (i) Vízálló hordozó korrózió-gátló pigment tartalommal plusz | 2 | 50 mikron/réteg |
| (ii) Alkidos gyanta hordozó alvázvédő plusz | 1 | 40 mikron |
| (iii) Alkidos gyanta hordozó fedőréteg, fényes l és színtartó | 1 | 40 mikron |
| (b) Nagy teherbírású rendszer, alapja: | | |
| (i) Kétalkotós epoxigyantás vörös oxidos alapozó plusz | 1 | 25 mikron |
| (ii) Kétalkotós epoxigyantás vastag bevonat plusz | 1 | 125 mikron |
| (iii) Kétalkotós poliuretán fedőfesték bevonat, l mészálló, fényes és színtartó | 1 | 40 mikron |
| 4. Száraz rakterek | | |
| (i) Vízálló hordozó korrózió-gátló pigment tartalommal plusz | 2 | 50 mikron/réteg |

| | | |
|--|---|------------------|
| (ii) Olajos-gyantas hordozó alumíniumpehely pigmenttel | 1 | 25 mikron |
| 5. <i>Tankok – kőolaj</i> | | |
| Minőségi kétalkotós kátrány/epoxigyanta | 2 | 125 mikron/réteg |
| 6. <i>Tankok – termékek és vegyszerek</i> | | |
| (i) Kétalkotós epoxigyantas oxid alapozó | 1 | 25 mikron |
| (ii) Kétalkotós epoxigyantas vastag bevonat | 2 | 125 mikron/réteg |

4.1.4 Vízrebocsátás

A *vízrebocsátás* azt a műveletet jelenti, amikor a hajó súlyát a *gerincblokkokról*, *bakokról*, stb., amelyek az építés során a hajó támasztását szolgálták, a bölcsőre helyezik át, amely a *csúszdák*on nyugszik, majd ezt követően annak segítségével a vízbe csúsztatják. A hagyományos vízrebocsátási eljárásnál a hajót farral előre engedik a vízbe, sok olyan hajógyár épült azonban, ahol a vizet folyópart vagy keskeny csatorna jelenti, ezek kényszerből oldalt bocsátják vízre a hajót. Az orral előre történő vízrebocsátás nagyon ritka, mert a vízkiszorítás és a súly ilyenkor nagyon eltérhet a csúszás kezdeti stádiumában, ami a hajót hossz irányban erősen igénybe veszi, emellett a vizet elérő hajó stabilitása is rosszabb, mint a másik két lehetőségénél.

4.1.4.1 Farral előre történő vízrebocsátás

A *tartóberendezés* kioldásakor, amely a vízrebocsátásig a műveletre előkészített hajót a helyén tartja, a *bölcső* a rajta nyugvó hajóval együtt a csúszdák a gravitációs erő hatására lecsúszik. Amint a tat eléri a vizet, a jármű súlyát részben a vízkiszorítás felhajtóereje, részben a csúszdák viselik. Ha ez a vízkiszorítás nem elegendő abban a pillanatban, amikor a hajó súlypontja túljutott a csúszdák végén, a hajó lebillenhet a csúszdáról, ami a fenék héjlemezésének és a csúszdák végének egyaránt túlzott terhelést ad. Ezt csak úgy lehet megakadályozni, hogy a csúszdákat kellő távolságra továbbviszik a víz szélétől. Ahol erre nincs lehetőség, ott meg kell erősíteni a csúszdák végét, és kellően alá kell támasztani a fenéken azt a területet, ahol esetleg sérülés fordulhat elő. Az ilyen intézkedések gyakran nagyon költségesek.

Amint a hajó tovább siklik a vízbe, a vízkiszorítás már elegendő ahhoz, hogy megemelje a fart. A jármű ilyenkor a vízrebocsátó bölcső elején levő *támaszok* körül el tud fordulni. Ezek tervezésekor figyelembe kell venni, hogy el tudják viselni az elfordító erőt, a terhelést alaposan el kell osztani, nehogy a kenőanyag kipréselődjön a csúszó felületek közül. Megfelelő bakolásról is kell gondoskodni a hajó eleje táján, hogy az ott keletkező károkat megelőzzék, amikor a far megemelkedik.

A csúszdák építése

A hagyományos *sólyaterek* viszonylag szilárd kialakításúak ahhoz, hogy az ott épülő hajók súlyát elviseljék. Építés alatt a súly zömét a gerincblokkok viselik, a többi a bakokra jut, illetve, ahol vannak, a *medersori blokkokra*. Azokon a helyeken, ahova valószínűleg kerülni fognak a vízrebocsátásnál megépített csúszdák, elegendő szilárdságú alapozást kell készíteni, mivel vízrebocsátásnál ott megnövekszik a terhelés. A gerincblokkok magasságát úgy kell megválasztani, hogy a talaj felett 1,25-1,5 m magasan legyen a gerinc, ami elegendő átjáró helyet biztosít, viszont nem feleslegesen nagyot, ami az alátámasztás anyagszükségletét növelné (ld. 4.1.4.1.1 ábra). Az orrnál olyan magasan kell elhelyezkednie a gerincnek, hogy lehetővé tegye az *orr bukó mozgását* akkor, amikor a far eléri a vizet, anélkül, hogy felütne. A sikló pályák korábban már tapasztalati úton meghatározott ferdeségéhez való illeszkedés érdekében a *gerincnek a vízszinteshez képest legalább 1:20 arányban lejtetnie kell*, ez egyébként attól is függ, mennyire ferde a sólyatér.

A hajónak a vízrebocsátó bölcsőre való áthelyezése során az a legelterjedtebb megoldás, hogy *ékeket* vernek a bölcsőbe. Ez annyira megemeli a hajót, hogy ki lehet venni az építés során alkalmazott gerinc- és medersori blokkokat illetve bakokat. Nagyobb hajóknál az is előfordulhat, hogy szét kell roncsolni a blokkokat az eltávolításhoz, többféle összezsukható blokk van azonban használatban, ami erre megoldást jelent. Egyik ilyen a *homokdoboz*, amely 80-100 mm magasságú homokréteget tartalmaz egy acélkeretben, amely két fatömb között van elhelyezve. Ezt az acél keretet el lehet távolítani, a homok pedig kipereg. A másik ilyen eszköz egy olyan fatömb, amely átlósan el van fűrészelve, és a két fél összezsavarozva. A csavarok kiütésekor a két fél összezsuklik.

Csúszdák és bölcső

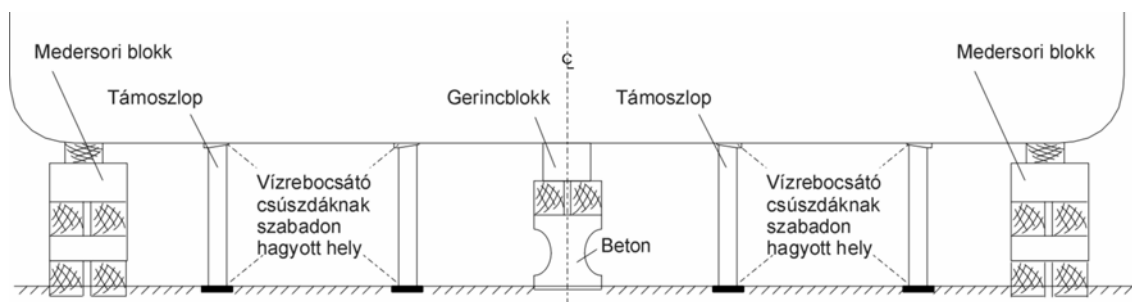
A súlytérre lefektetett és rögzített *csúszdák* lehetnek egyenesek vagy állhatnak két részből eltérő ferdeséggel a kezdeti és a végszakaszokon. Keresztirányban a felületük általában vízszintes, de lejthetnek egymás felé, hogy a hajófenék ferdeségéhez igazodjanak. A csúszdák vonala általában nem egyenes, hanem kb. 1:400 domborulatú körív. Ez azt jelenti, hogy a csúszdák alsó szakasza meredekebb (kb. 1:16), mint a felső szakasz (kb. 1:25). Ennek előnye az, hogy a csúszdák végét elérő hajónak ugyanolyan út megtétele után nagyobb felhajtóerő áll rendelkezésére, ami csökkenti a terhelést a csúszdák végénél. További előny, hogy a hajó mozgásának lelassítása hamarabb történik meg a nagyobb ellenállás miatt. A csúszdák lejtésének elegendőnek kell lennie ahhoz, hogy a jármű elinduljon a víz felé; ha viszont túl meredek, az orrot túlzottan alá kell bakolni; az indító berendezésen levő terhelés is túl nagy lesz. Ahol a csúszda egyenes, ott a lejtést 1:25 és 1:16 között kell kiválasztani.

Általában két csúszdát fektetnek le, a kettő egymástól olyan távolságra van, ami a hajó szélességének kb. egyharmada. Érdemes a *bölcsőre* úgy felfektetni a hajót, hogy az hosszmerévítők alá kerüljön, a csúszda pedig lehetőleg a sőlya megerősített részén legyen (pl. alapozó cölöpök felett), ezek a szempontok határozzák meg a konkrét esetben a fektetés részleteit. A nagyobb hajókhoz akár négy csúszdát is kell használni, ugyanakkor a holland hajógyarak egyetlen központi csúszdát alkalmaznak vízrebocsátásnál. A *csúszdák szélessége* akkora legyen, hogy a hajó súlyából adódó terhelés a vízrebocsátás során ne lépje túl a 20 tonnát négyzetméterenként.

A csúszdákat *tartóblokkokra* fektetik, és olyan hosszan vezetik be a vízbe, hogy magas vízállásnál (tengeren dagálnál) a víz legalább egy méterrel ellepje. A bölcső *szántalpjának* vezetéséhez fém pántot erősítenek fel a csúszdák külső oldalára. Ez a szántalp belső oldalára is felerősíthető, ha azonban a csúszdákon van, az az előnye, hogy a *kenőzsír* szétkenődését is akadályozza. A csúszdák ezen kívül keresztirányban is fel vannak bakolva, hogy az oldalirányú elmozdulást megakadályozzák, és hosszirányban is, hogy ne csússzanak le a hajóval együtt.

A szántalpak, amelyek kb. 80%-át teszik ki a hajó hosszának, alkotják a bölcső alsó részét, a felső rész pedig a tartóblokkokból, ékekből és olyan fatömbökből áll, amelyek a bordák vonalában tökéletesen illeszkednek a hajó profiljához. A nagyon karcsú hajóknál a bölcső mellső vége, amelyet mellső dúcolásnak neveznek, viszonylag magasra felnyúlik, ezért függőleges fadúcokból van építve, amelyeket fém pántokkal fognak össze. Ez a mellső dúcolás akkor kapja a legnagyobb terhelést, ami akár 20-

25%-a is lehet a teljes hajósúlynak, amikor a vízbeérő far megemelkedik. Ezt tehát úgy tervezik és építik meg, hogy elviselje ezt a terhelést; azonban az ilyen karcsú hajóknál megvan annak is a veszélye, hogy a lefelé irányuló erő kilöki a mellső dúcolást a helyéről, vagyis az orr utat tör magának a dúcoláson át. Ennek megelőzése érdekében a hajó mellső része alatt *keresztirányú fesztők* húznak át, és ideiglenes csomólemezeket hegesztenek a héjlemezre a dúcolás felső végénél. Ezen kívül kiegészítő *nyereglemezeket* tesznek a hajó mellső része alá, a héjlemez és a nyereglemezek között fapakolással, amelyek a dúcolásnak adják át a terhet, és azokon keresztül a csúszdáknek.



4.1.4.1.1 ábra A hajó építés közbeni alátámasztása a sólyán

Sok korszerű hajónál az orr viszonylag telt, ezért kevés alátámasztásra van szükség a szántalpak mellső vége felett. Ilyen esetekben rövid lemeztámaszokat hegesztenek fel a héjlemez és a terhet viselő vastag lemezék közé, amint a 4.1.4.1.2 ábra mutatja.

A mellső dúcolás tervezésénél nagyobb nyomást kell feltételezni, mint amit a szántalpak és a csúszdák között levő kenőanyag tartósan elviselhetne. Mivel azonban a hajónak az orrészén való támaszkodása csak rövid ideig tart, a hajó lendülete pedig nagyobb annál, hogy leragadhasson ebben az állapotban, ezért megengedhető ez a nyomásérték.

A bölcső hátsó részén is szükség van jelentős mennyiségű fapakolásra, amit itt is függőleges fadúccokkal és csomólemezekkel oldanak meg, ez alkotja a hátsó dúcolást.

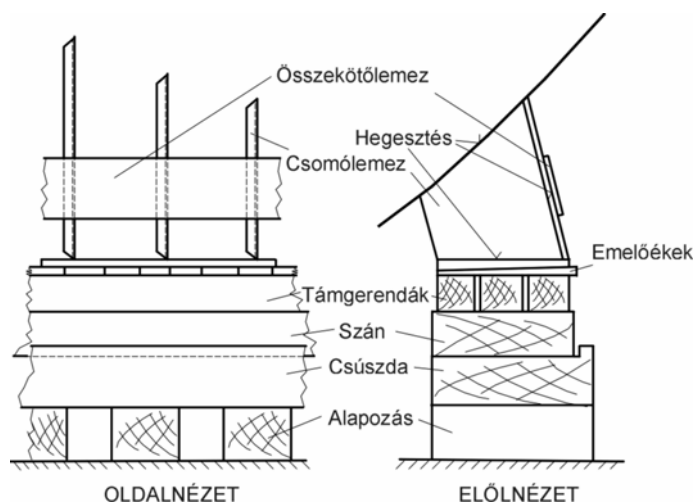
Kenőanyag

Ahhoz, hogy a hajó csúszni kezdjen az indító berendezés kioldásakor, arra van szükség, hogy a csúszó felületek közötti súrlódási tényezőt csökkenteni lehessen, ezt a *vízrebocsátási kenőanyaggal* oldják meg. A kenőanyagnak azt kell biztosítania, hogy a csúszdának a hajó súlypontja alatt elhelyezkedő pontján nagyobb legyen a lejtés annál az értéknél, amelynél egyensúlyban van a gravitációs gyorsító-erő (a hajó súlyának a csúszda felületével párhuzamos összetevője) és a fékező erő (a hajósúlynak a kenőanyagban uralkodó súrlódási tényezővel való szorzata).

A hajó építésének megkezdése előtt meg kell vizsgálni a kenőzsír súrlódási jellemzőit, mivel a gerinc ferdesége a sólyán erősen függ a később lefektetésre kerülő csúszdák lejtésétől.

A hagyományosan alkalmazott kenőanyag faggyú volt, ezt megolvasztva a csúszdákra öntötték, hagyták megszilárdulni, majd egy réteg kenőszappannal fedték be. Jelenleg a

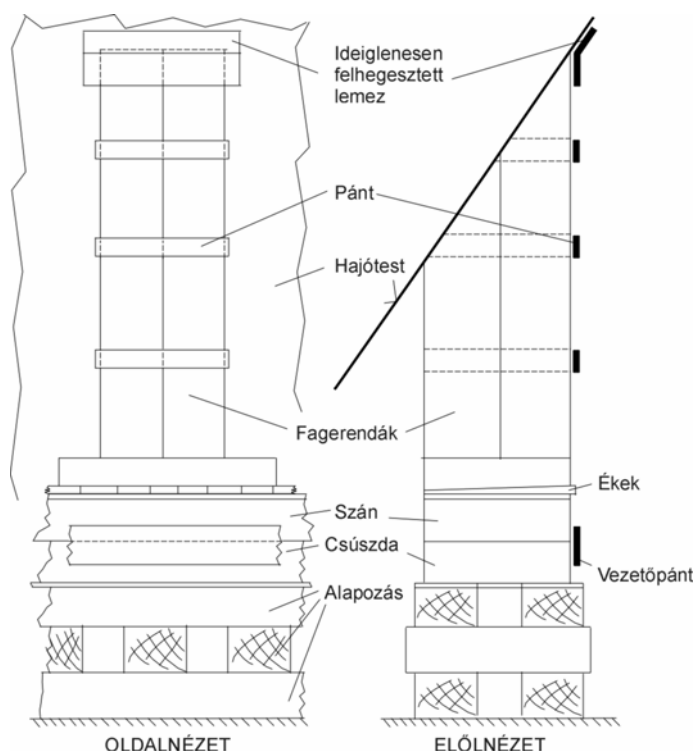
gyakorlat az, hogy ásványi alapú zsírokat kennek a csúszdákra, mivel ezeket a zsírokat alig befolyásolja a hőmérséklet, amellet a vízben nem oldódnak, a csúszdákra viszont jól tapadnak.



4.1.4.1.2 ábra Vízbocsátó csúszdák – mellső dúcolás telt orrnál

Az ásványi zsírokat kőolajból nyert vízbocsátási kenőzsírral takarják be. Ennek elég alacsony ahhoz a súrlódási tényezője, hogy a hajó csúszásba jöjjön és a csúszás állandósuljon mindaddig, amíg az alap kenőréteg súrlódási ellenállását a csúszásnál fejlődő hő le nem győzi. Egy alap védőréteg

akadályozza, hogy a kőolaj alapú zsír beivódhasson a csúszdákba. A csúszdáknek meg kell száradniuk alacsony vízállás mellett (tengeri környezetben apály idején), mielőtt a két réteg kenőanyagot felhordják rájuk.



4.1.4.1.3 ábra Vízbocsátó csúszdák – mellső dúcolás karcsú orrnál

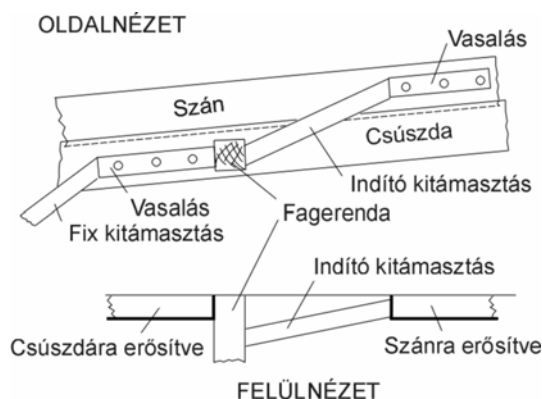
Indító berendezések

A kisebb hajókat el lehet indítani a csúszdán úgy, hogy kiütnek egy bakot (ld. 4.1.4.1.4 ábra), amely átlósan van elhelyezve a szántalp és a csúszda között. A legtöbb esetben azonban a hajó elindításához indító berendezést használnak. Sok típusuk van, leginkább hidraulikus, mechanikus és elektromechanikus. A mai gyakorlatban az egyidejű kioldáshoz *elektromechanikus indítókat* használnak; a *hidraulikus indító* nehezebb

és nem olyan biztonságos.

A 4.1.4.1.5 ábrán bemutatott elektromechanikus indítót általában a hajóközép közelében helyezik el, és a sólyatérben ki van alakítva egy kisebb akna a lezuhanó karok számára.

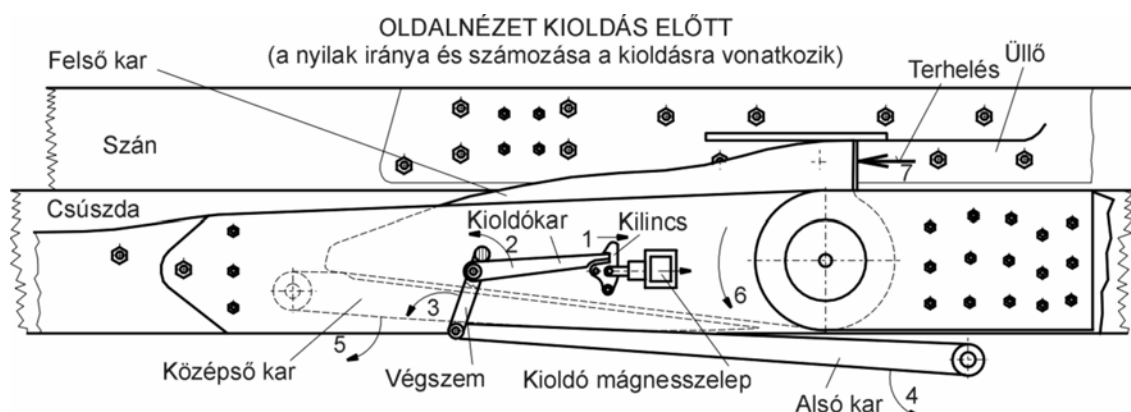
A vízrebocsátásra váró hajó méretétől függően több indítót helyeznek el; annak a 75.000-tonnás tömegáru szállító hajónak az esetében, amelynek vízrebocsátási menetét az alábbiakban láthatjuk, hat indítóra volt szükség.



4.1.4.1.4 ábra Kisebb hajó vízrebocsátásánál használt indító berendezés

Valójában ezek az indító berendezések egyszerű karos rendszerek, amelyek a csúszdákon ható igen nagy terheléseket a *kioldómű* által szolgáltatott kis visszatartó erővel egyenlítik ki. Működési elvüket egy egyszerű mechanikus redukciós-művel lehet szemléltetni. Az indítók egyidejű kioldását mágnes-tekercekkel működtetett zárakkal

oldják meg, ezek közös áramkörből kapják a tápot. A kapcsolokon levő feszültség megfordításakor ezek azonnal kioldanak.



4.1.4.1.5 ábra Elektromechanikus indító berendezés nagyobb hajó vízrebocsátásához

A vízrebocsátás menete

Az alábbiakban a vízrebocsátás folyamatának megértéséhez példaként megadjuk egy 75.000-tonnás tömegáru szállító hajó vízrebocsátásának menetét. A csúszdákat a hajó szekcióinak összeépítésével egyidejűleg hátulról előre építik ki; a csúszdákat bezsírozzák és a bősöket aláépítik.

1. Négy nappal a vízrebocsátás előtt a vízrebocsátásnál használt faalátéteket megemelik, azaz beverik az ékeket (4.1.4.1.2 ábra), hogy a hajó az építési blokkokról felemelkedjék. Ezt kb. egy tucat munkás végzi el, akik egy hosszú gerendát használnak arra, hogy az erőt átadják az ékekre, egyidejűleg dolgozva a hajó mindkét oldalán.
2. A vízrebocsátás előtt két nappal eltávolítják a bakokat.

3. A vízrebocsátás délelőttjén mindent eltávolítanak a felső vízszint alatt, és a hajó hátsó részén *fékező bakokat* építenek. Ezek ferde bakok, amelyek szétesnek, amikor a hajó mozogni kezd.
 4. Ekkor minden második gerincblokkot eltávolítanak, a járművet hagyják leülni.
 5. A gerincblokkok nagy részét egyenletes eloszlásban eltávolítják, már csak kb. húsz blokk marad a hajó alatt.
 6. Félórával a vízrebocsátás előtt eltávolítják az utolsó gerincblokkokat is.
 7. Kiveszik a medersori blokkokat.
 8. A vízrebocsátásra kitűzött időben a hajó teljes súlyát az indító berendezésekre helyezik át.
 9. A szponzor kioldja az indító berendezéseket.
- Ha a jármű nem indul el a gravitációs erő hatására, az indulást segíteni lehet *hidraulikus indítóhengerekkel*, amelyeket a bölcső felső végéhez helyeznek.

A hajó vízrebocsátás utáni mozgásának megszüntetése

Sok esetben korlátozott az a vízfelület, ahol a hajó vízrebocsátása történik. Szükség van ezért olyan eszközökre, amelyek a már vízben levő hajó mozgását megszüntetik. Számos ilyen módszer van, ezek egy részét minden vízrebocsátásnál használni kell.

A leggyakoribbak a *húzóláncok*, amelyeket a hajó mindkét oldalán szimmetrikusan helyeznek el. Mindegyik húzólánc patkószerű ívvel rendelkezik, amely a víz felett van, ahogy a hajó mozog a csúszdán lefelé, egyre több lánc bomlik le és fékezi a mozgást.

Ez megakadályozza, hogy a láncban túlzott dinamikus erők ébredjenek, ami mindenképpen bekövetkezne, ha a lánc a hajó mozgási sebességére hirtelen gyorsulna fel. A láncot a hajóhoz erősítő sodronyköteleket a hajó oldalára ideiglenesen felhegesztett lemezekhez kötik, függőleges helyzetüket kötélhurkok biztosítják (ld. 4.1.4.1.6 ábra). Amint a hajó szabadon elindul hátrafelé a víz irányában, ezek a hurkok egymás után elszakadnak, ami szintén segít felemészteni a hajó energiáját.

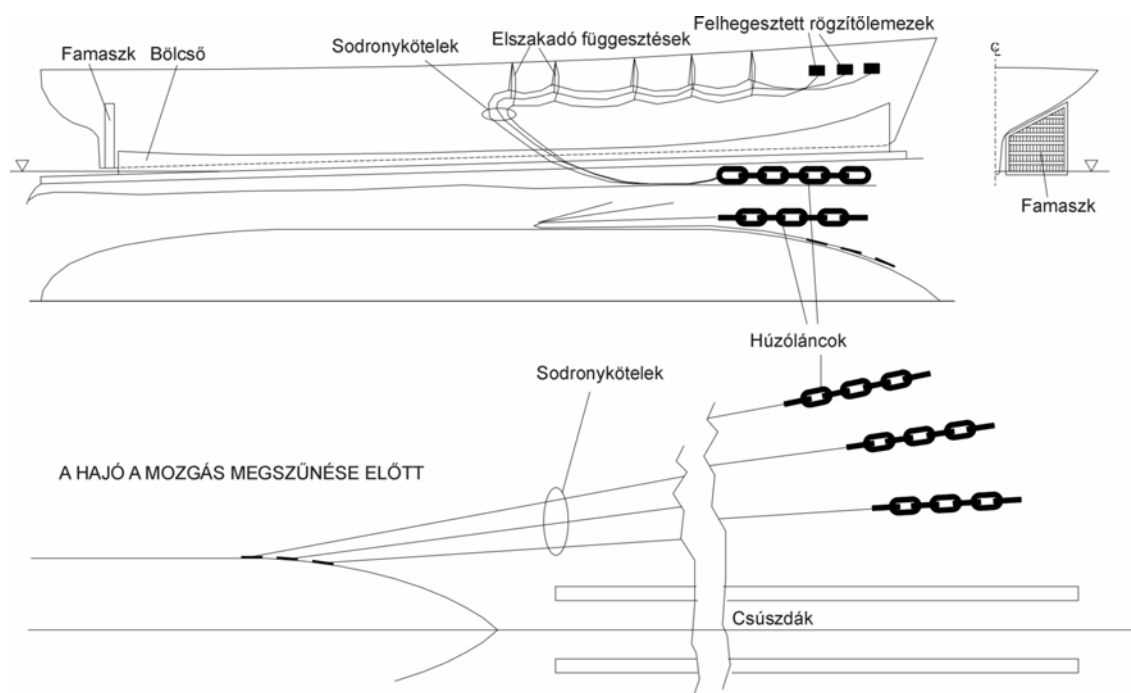
A hajó mozgása ellen ható ellenállást tovább lehet növelni *famaszkok* felszerelésével a hajó farára. A maszkok a lehető legnagyobb méretűre készülnek, és minél mélyebben vannak elhelyezve, hogy a vízben ellenállást fejtsenek ki a hajó mozgásával szemben. Maszkok készülhetnek vízszintes falapokból is, az ellenállást növelik a közöttük hagyott rések.

Olyan is előfordul egyes hajógyárakban, hogy a folyón levő kis hely miatt a hajót el kell fordítani, amint a csúszdákat elhagyta. Ebből a célból a sólyatér egyik oldalán húzóláncokat, súlyokat vagy horgonyokat helyeznek el, amelyeket a hajó farához erősítenek adott hosszúságú sodronykötéllel. Amint a jármű elhagyta a csúszdákat, a felesleges kötélhosszat bevonják, és a hajó orral a folyó folyása ellen fordul.

4.1.4.2 Oldalirányban történő vízrebocsátás

A hajót akkor bocsátják oldalirányban vízre, ha erősen korlátozott a rendelkezésre álló vízszélesség. Valójában vannak előnyei ennek a módszernek, pl. a gerincnek nem kell ferdének lennie, a bölcső viszonylag egyszerű, illetve az, hogy a csúszdák rövidek lehetnek és nem kell őket teljesen a vízig kiépíteni. Ez viszont azt jelenti, hogy

viszonylag hosszú partszakaszt foglal el a sólyán egyetlen építési hely, a hajó pedig az egyik oldalról csak nehezen hozzáférhető az építés ideje alatt.



4.1.4.1.6 ábra A hajó mozgásának megállítása vízrebocsátás után

A csúszdákat a vízre és az azzal párhuzamos gerincre merőlegesen építik ki. A szántalpakat is ennek megfelelően lehet elhelyezni, a rajtuk levő fapakolás alkotja a bölcsőt, de általában mégis a hajó hossz tengelyével párhuzamosak, így két vagy három csúszdán nyugszanak. A fapakolás alkotja a bölcsőt ebben az esetben is, két szomszédos szántalpat a pakolás köt össze.

Az oldalirányú vízrebocsátás egyik fő jellemzője a huppanás, ahol a csúszdák nem érik el a vizet; ennek következtében nagy haránt dőlésszög alakulhat ki, amikor a jármű leér a vízre. Emiatt igen pontos stabilitásszámítást kell elvégezni előzetesen, és vízrebocsátás előtt minden nyílást be kell zárni. Az magától értetődik, hogy a konvencionális farral előre történő vízrebocsátás előtt is el kell végezni a stabilitás számítását.

4.1.4.3 Szárazdokkok

A szárazdokk esetében talán a legnagyobb előny az, hogy viszonylag egyszerű a járművet vízben úszóvá tenni (ld. 2.1.3.1 fejezet). Amikor arra szükség van, a dokkot el lehet árasztani és a hajót kiúsztatni. Számításokat kell végezni a stabilitást és a blokkok által adott terhelést illetően, amíg az elárasztás tart, a probléma ugyanaz, mint a hajó dokkolásának megszüntetése, amikor ellenőrzés vagy javítás miatt dokkolni kellett.

Vannak olyan hajógyárak, ahol a szokásos sólyatéri építési helyeket a víz felőli oldalon dokkoló kapukkal le lehet zárni. Ez egyrészt akkor előnyös, ha a hajó farán kell munkákat végezni (pl. propulzió), másrészt a csúszdák kiépítése során. Egyes esetekben ez egyszerűsíti a vízrebocsátást, ha csak a dagálnál nyitják ki a kapukat, amikor a vízrebocsátás megtörténik.

4.1.4.4 Hajóemelők

A nagyobb hajókat az építőműhelyből a sólya felső végére ki lehet tolni (2.1.3.1 fejezet), illetve ugyanezt lehet tenni a nagyobb szekciókkal is, ahol azokat összeépítéshez fel lehet emelni, a kisebb kész hajókat hajóemelővel lehet vízrebocsátani. Vágányok vannak kiépítve az építőműhely és a szabadban álló hajóemelő között. Ezek közül a *hajóemelő* rendszerek közül a legismertebb a szabadalommal védett 'Syncrolift', amelyet eredetileg a javításra vagy ellenőrzésre szánt hajók kiemelésére használtak, de ma már sok hajógyár az új hajók vízrebocsátására használja ezeket az emelőket. A hajóemelő alapvetően olyan platformmal rendelkezik, amelyet be lehet engedni a vízbe és a hajót rálehet úsztatni vagy leúsztatni róla. Az emelést mechanikusan vagy hidraulikusan hajtják végre, és a hajó mozgatása hossz- és keresztirányban biztosítva van.

4.2 Gépészeti berendezések

A 19. század első évtizedei képezték az utolsó olyan időszakot, amikor a hajók üzemeltetéséhez szükséges valamennyi feladatot emberi erővel, manuálisan hajtottak végre, bár szinte az idők kezdete óta a hajók fel voltak szerelve olyan egyszerű gépekkel és berendezésekkel, amelyek elvein a gépkorszak sem sokat változtatott.

A hajók *gépészeti berendezéseinek* feladata, hogy a hajó biztonságos haladásához és működéséhez, a személyzet kényelméhez és a rakomány biztonságához illetve minél jobb állapotban való megtartásához, valamint a rakomány kezeléséhez és a kikötés végrehajtásához szükséges energiát szolgáltatassa és az egyes műveleteket elvégezze. A hajók konstrukciójának, építési módjának, szerkezeti anyagainak és felületei szemléletének fejlődése az utóbbi fél évszázad során azt is eredményezte, hogy a hajónak, mint anyagi terméknek az értéke exponenciálisan megnőtt, ami magával hozta valamennyi berendezési egységre vonatkozóan a követelmények szigorúbbá válását, ezzel szinte kötelezővé tette, hogy csak a legjobbat építsék be minden termékből, amelynek üzembiztonsága megkérdőjelezhetetlen.

A vitorlás korszakban a hajó fenékszivattyúja ugyanolyan kézi szivattyú volt, mint amilyeneket a vízbetöréssel fenyegetett szénbányákban használtak, a kötélzet kezelésére felszerelt bakok és csigák szintén az építésben és bányászatban kifejlesztett egységek voltak. A gépek sem sokban különböztek az őskorban az általánosan használt stabil gőzgépektől, legfeljebb a víz bőségesebb jelenléte tette szükségtelemmé a kondenzátorokat a belvízi hajókon. Még később is, amikor már elkülönültek a hajózásban célszerűbben használható készülékek, az új utakat keresők mindig a más területen már bevált egységeket szerezték be és használták fel a hajókon. A vasúti motorkocsikhoz (Jendrassik György tervei szerint) gyártott dízelmotorok hajtottak számos magyar vontatót a Dunán, még a hetvenes években is üzemben voltak ezek a hajók. A Csepel Autógyár négy- és hathengeres dízelmotorja szolgált segédgépként a MAHART és a FOKA több folyami hajóján, sőt, a duna-tengeri hajókon is.

A hajózási berendezések gyártását jelenleg már olyan specializált multinacionális vagy világméretű vevőkörrel rendelkező nemzeti cégek végzik, amelyek a sóálló személyi felszerelésektől a nukleáris főüzemig mindent képesek (akár egyéni igénynek megfelelő kivitelben) szállítani.

A hajók gépészeti berendezéseit a következő csoportosításban érdemes tárgyalni.

1. Fedélzet alatt elhelyezett berendezések, mint
 - a) főgépek
 - b) segédgépek
 - c) elektromos berendezések
 - d) segédüzemi berendezések.
2. Rendszerek (csővezetékek)
3. Fedélzeti berendezések

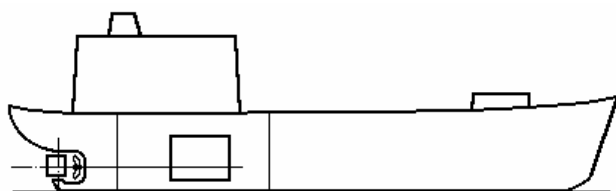
4.2.1 Fedélzet alatt elhelyezett berendezések

A hajók vitorlás időszakában a berendezések túlnyomó többsége a fedélzet felett helyezkedett el, a fedélzet alatt a szivattyúkat és a kormányberendezést telepítették. A gépkorszak a propulziót az árbocokról leköltöztette először a fedélzet szintjére (lapátkerék), majd végképp determinálta annak vízszint alatti helyét a hajócsavar alakjában. A hajócsavar (néhány különleges meghajtási módtól eltekintve) a főgép helyét a hajótestben határozza meg. A jelenleg épített hajóknál a berendezések szinte mindegyik egysége a fedélzet alatt van elhelyezve, kivéve azokat, amelyek működését más követelmények szabályozzák, mint a rakodó-berendezések, a rakterek zárószervezeteinek működtető elemei, a kikötő- és horgonygépek, stb. A fedélzet alatti elhelyezést alapjában három érv támogatja: rendelkezésre álló tér, külső környezet elleni védetség és minél alacsonyabb súlyponthelyzet.

A *fedélzet alatti gépi berendezések* számára a szokásos hajótípusoknál elkülönítenek egy vagy több olyan teret, amely mellső és hátsó vízmentes válaszfallal van elválasztva a hajótest többi részétől, és helyzetét úgy határozzák meg, hogy egyrészt a hajó (vízszintes vagy teherhajók ballasztmenetében a hajócsavarnak megfelelő merülést biztosító) úszási helyzetét döntően kedvezően befolyásolja, másrészt, például áruszállító hajóknál, a lehető legjobb kihasználást biztosítja a rakterek számára.

A gépterek elhelyezését tekintve két fő típust különböztetünk meg.

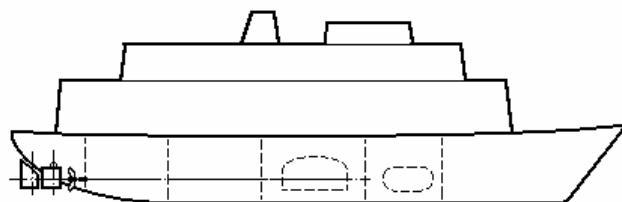
1. *Hátul elhelyezett vagy más szóval far-géptér.* A géptér hátsó vízmentes válaszfala a *hátsó kollíziós válaszfal*, amely mögött a hajótest hátsó végéig a *farkamra* helyezkedik el. A farkamra ad helyet rendszerint a kormánygép azon egységeinek, amelyek a hajótestben helyezhetők el.



4.2.1.1 ábra Fargépteres áruszállító hajó oldalképe

A mellső vízmentes válaszfal rendszerint egy testtank (kofferdam) hátsó válaszfala. A géptér

méretétől függően esetleg magát a gépteret meg kell osztani még egy vízmentes válaszfallal, hogy a lékesedési követelményeket ki lehessen elégíteni.



4.2.1.2 ábra Középső gépteres személyszállító hajó oldalképe

Ezen azonban elhelyezhető olyan vízmentes ajtó, amely távolról zárható lékesedés

esetén.

2. *Középső géptér.* A gépek mérete és súlya miatt az első géphajóknál ez volt az általános megoldás. Ma már csak azoknál a hajóknál szokásos, amelyek rakománya

nem befolyásolja jelentősen a hajó merülését és úszási helyzetét, mint személyhajók, kompok, hadihajók.

A géptér mögött és előtt vízmentes válaszfal van, illetve szükség esetén megfelelő zárószerkezettel ellátott közbenső vízmentes válaszfal.

A hajók legfontosabb gépi berendezése a propulzió meghajtására szolgáló *főgép* és a hozzá tartozó kiszolgáló berendezések. A jelenleg üzemben levő hajókon maga a főgép dízelmotor, gőz- vagy gázturbina, a dugattyús gőzgépek nagyon ritkán fordulnak elő. Gőzgépnél vagy gőzturbinánál a kiszolgáló berendezés a *kazán* és a *kondenzátor*.

4.2.1.1 Főgépek

A főgép vagy más szóval *főüzem* feladata, hogy a hajó mozgását biztosító *propulziót* lássa el energiával. A főgép emellett más készülékek meghajtását is szolgálja (tengelygenerátor, kompresszor, szivattyúk, stb.), de a tengelyről ilyen módon levett más energia a propulzióhoz képest egy ezrelék.

A főüzemhez sorolható berendezéseket a következőkben ismertetjük.

4.2.1.1.1 Kazánok

Az itt elmondottak nagy része már történelem, mivel a gőz fontossága csökkent a hajók főgépeinél. A nagyobb teljesítményt azonban ma is gőzgéppel érik el, a főgép azonban már nem *dugattyús gőzgép*, hanem *gőzturbina*.

A *kazán* lehet a főüzem része vagy tartozhat valamelyik rendszerhez, pl. fűtéshez vagy melegvíz-ellátáshoz. Főüzemi berendezésként a főgép számára biztosítja a meghajtáshoz szükséges nagynyomású túlhevített gőzt.

Bár a gőzgép, amely a kazán alkalmazását szükségessé tette, ma már elhanyagolható mértékben található meg a hajók hajtásánál, a gőzturbina főgépként történő beépítésének növekvő jelentősége mégis alapvető fontosságúvá teszi a kazánt, és elengedhetetlen ennek a berendezésnek a folyamatos korszerűsítése.

A kazánok alapvetően két szempontból oszthatók fel:

- tüzelőanyag szerint,
- a tüztér és víztér viszonya szerint.

Fűtőanyag szerint vannak szilárd (szén, koks, fa) vagy folyékony (olaj, pakura) tüzelőanyaggal működtetett kazánok.

A kazánokat a kezdet kezdetén kizárólag *szilárd tüzelőanyaggal* üzemeltették, a bányászatban szénnel, a többi ipartelegen az akkor még közönséges faanyag miatt fával.

A fát a hajókazánoknál csak az amerikai és afrikai gőzhajóknál használták a későbbiekben, a szén, főleg a kiváló, magas fűtőértékű fekete szén, jobb hőtartalma miatt kiszorította a fát. Ezek a kazánok nagyon egyszerű szerkezetűek voltak, nem túlhevített, hanem csak telített gőzt állítottak elő, és lényegében fűtőszerkezettel egybeépített víztárolók voltak, igen kis fűtőfelülettel. A fejlettebb széntüzelésű kazánok később jelentek meg, fűtőszerkezetük tűzcsöves elven működött, a nagy víztérbe benyúltak azok a csövek, amelyekben a fűtőanyag égése megtörtént. Ezzel lehetett a fűtőfelületet megnövelni.

A szén kazánok jelentősége csökkent a *folyékony tüzelőanyag* térnyerésével. A leggyakrabban használt folyékony fűtőanyag a *pakura*, amely a kőolaj lepárlásának maradéka. A pakura csak előmelegítés és szűrés után táplálható be az égőfejbe, a forró pakura jól porlasztható és szinte maradék nélkül elég.

Használják még a benzin- és gázolajgyártás után visszamaradó *nehézoajat*, amely még tovább lepárolható, de a benzin és gázolaj kereslete nagyobb, mint a nehezebb kenőolajoké, így a kőolaj teljes lepárlása nem szükséges minden esetben.

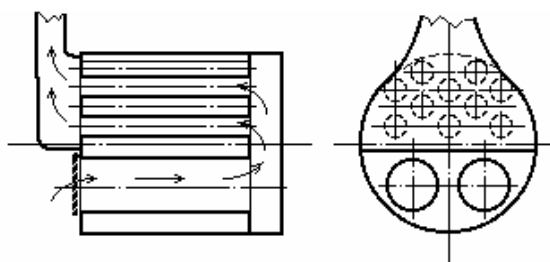
A szén és az olaj fűtőanyagként való felhasználását összehasonlítva a következőket állapíthatjuk meg:

- fűtőérték: a szén és olaj fűtőértéke között legalább 2-szeres, de akár 3,5-szeres különbség van az olaj javára, amit még növel az, hogy az olajos kazánok hatásfoka jobb, 0,85 a széntüzelésű kazánéval szemben, amely 0,4 és 0,65 között van,
- a szén tárolása és kezelése sokkal bonyolultabb, mint az olajé,
- a különböző szén minősége között hatalmas különbségek vannak, ami az olajnál sokkal szűkebb határok között mozog,
- a széntüzelésű kazánok berendezései bonyolultabbak, és kevésbé üzembiztosak, mint az olajtüzelésű kazánoké.

A fentiek miatt a szén alkalmazása ma már csak ott indokolt, ahol az olaj nehezebben hozzáférhető a szénhez képest, pl. szénszállító teherhajóknál. Ezen kívül ott, ahol más fűtőanyag bőségben van, az olaj pedig nehezen beszerezhető, pl. afrikai vagy dél-amerikai folyami hajók esetében a fa, az olajtüzelés nem jön szóba.

A kazánok tűz- és víztér alapján kétféleképpen helyezkedhet el:

- *tűzcsöves kazánoknál* a kazán köpenye határolja a vízteret, és azon vezetik át az égéstermék elvezetésére szolgáló nagy méretű csöveket, amelyekben a tüzelőanyag elég és amelyeken át a füstgázok kiáramlanak, a hőátadás ezeknek a csöveknek a falán át történik,
- *vízcsöves kazánokban* a kazánköpeny a tűztér határát jelenti, a víztér pedig a kazán mellső- és hátsó végén kialakított kamrákból és az azokat összekötő kisátmérőjű csövekből áll, a füstgázok a csövekre merőlegesen áramlanak, a fűtőfelületet a vízcsövek palástja és a kamrák fala adja ki.



4.2.1.1.1 ábra Holland (skót) tűzcsöves kazán felépítése

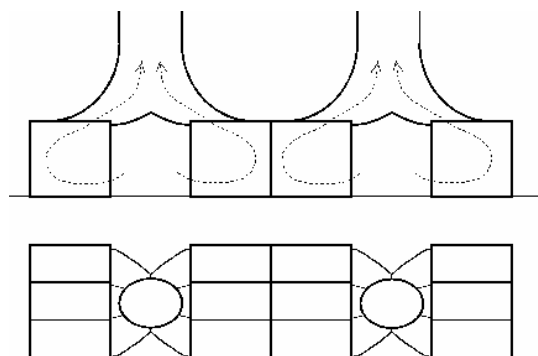
A kazánok főbb jellemzői:

- fűtőfelület,
- gőzmennyiség,
- maximális nyomás,
- hatásfok, amely az adott idő (pl.

óra) alatt nyert gőzmennyiség és a gőz hőtartalmának szorzatát viszonyítja a fűtőanyaggal ugyanazon idő alatt bevezetett hőmennyiséghez.

A hajók kazánjaira érvényes mindaz, ami az előbbieken szerepel, a tűzcsöves kazánok közül a *holland vagy skót kazán* volt a leggyakoribb. Erre a konstrukcióra a nagy dobátmérő és így viszonylag nagy víztér a jellemző. A nagy átmérő miatt az üzemi nyomás korlátozott, legfeljebb 16-20 bar. A nagy víztér viszont előnyös, nem érzékeny

a gőzfogyasztás miatti vízszint-ingadozásra. Tágas vízjáratai miatt nem igényes a tápvíz tisztaságára.



4.2.1.1.2 ábra Holland (skót) kazánok párhuzamos beépítése

A gőz túlhevítésére szolgáló fűtőegységet a füstgázvezeték felső részébe iktatják be egy kazán alkalmazása esetén.

Teljesítményhatára kb. 2000 LE darabonként.

A holland kazánból annyi egységet építenek be, amennyire a teljesítmény alapján szükség

van, párhuzamos módon kapcsolják össze a víz- és a tűztereket.

A vízcsöves kazánok közül a legismertebb a *B-W (Babcock-Wilcox) kazán* és úgy nevezett *sátorkazán*.

Az alábbi táblázatban az említett három kazántípus műszaki paramétereinek összehasonlítása látható.

| | holland (skót) | B-W | sátor (Express) |
|--|----------------|---------|-----------------|
| gőznyomás | 12-16 | 20-85 | 20-85 |
| gőztermelés [kg/m ² .h] | 15-25 | 50-60 | 50-60 |
| fajlagos tömeg [kg/m ²] | 350 | 130-180 | 160-230 |
| fajlagos tömeg [kg/LE _i] | 90-130 | 30-40 | 50-70 |
| fajlagos tömeg [kg/kg _{gőzóránként}] | 15-22 | 4-5 | 5-8 |
| hatásfok olajjal (η_{olaj}) | 85 | 88 | 88 |
| hatásfok szénnel ($\eta_{szén}$) | 65 | - | - |

Tüzelőberendezések

Széntüzelés. A széntüzelésű kazánokat főként a kisebb teljesítményű vontatóhajóknál használták. A felhasznált szén sokféle lehetett, de a robbanásveszély elkerülésére szénportüzelést nem alkalmaztak.

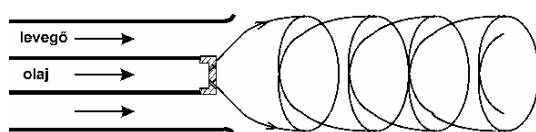
A légfelesleget az esetek többségében a természetes huzat biztosította, de szükség esetén a légáramlást ventilátorral létrehozott mesterséges túlnyomás növelte a tűztér oldaláról. A szellőztetés intenzitását csak akkorára volt szabad beállítani, hogy a túlnyomás a kezelők felé ne okozzon CO₂ kiáramlást. Ezért a Δp nyomáskülönbség nem lehetett nagyobb 1-2 tized bar értéknél.

Olajtüzelés. A tüzelőanyagot és az égéshez szükséges mennyiségű levegőt együtt juttatják a tűztérbe. Ennek több módja lehet.

a) Körting nyomásporlasztó (Körting-égő)

A szabályozott mennyiségű olajat egy kisebb átmérőjű csövön juttatják a tűztérbe, a cső végén olyan zárókupak van, amelyben az olaj kiáramlását biztosító furatok csavarvonalban vannak elhelyezve, ezzel az olajcseppek spirális pályán mozognak a tűztérben eléjükükig. Az olajcső egy nagyobb átmérőjű csőben van

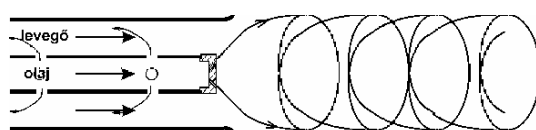
koncentrikusan elhelyezve, amelyben a megfelelő mennyiségre beállított levegő áramlik be a tüztérbe.



4.2.1.1.3 ábra Körtung olajégő működési sémája

Paraméterek:

| | |
|-------------------------|----------------|
| olajnyomás | 5-35 bar |
| kinematikai viszkozitás | 2-3 Engler fok |
| levegő túlnyomás | 0,2-1 bar |



4.2.1.1.4 ábra Visszavezetési rendszerű Körtung olajégő

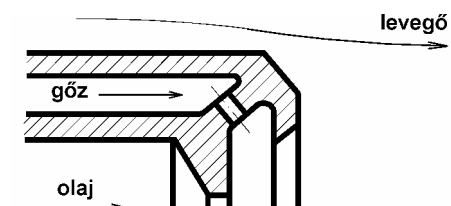
Az olajadagolás egyszerűsítésére a Körtung égőnek olyan változatát is kifejlesztették, ahol a visszafolyó olajfelesleg nem kerül egyenesen a tüztérbe, hanem visszakeringetik. Ilyen módon jobb szabályozás érhető el.

Az égő elméleti levegőigénye 10-11 m³ 1 kg olajra vetítve. Valóságos viszonyok között ez az érték 10 és 15 között van. Ez légszegeslegben (a tüzelőanyag kémiai levegőigénye felett az égésnél jelen levő levegő aránya) kisebb arányt jelent, mint ami a dízelmotoroknál mérhető.

Az olajszivattyú teljesítménye 2-4 kW 1 tonna/h olajmennyiségre számolva. A levegőt szállító ventilátornál ez a szám ugyanarra vonatkoztatva 5-10 kW.

b) Gőzporlasztásos olajégő

A megfelelő mennyiségű olajat gőznyomás juttatja az égéstérbe, a levegőt a nagy sebességgel beáramló gőz-olaj keverék injektor-hatása viszi magával.



4.2.1.1.5 ábra Gőzporlasztásos olajégő

Az üzemhez szükséges feltételek:

| | |
|-------------------|-----------|
| gőznyomás | 1-8 bar |
| olajnyomás | 10-15 bar |
| olaj viszkozitása | 4-7 E° |

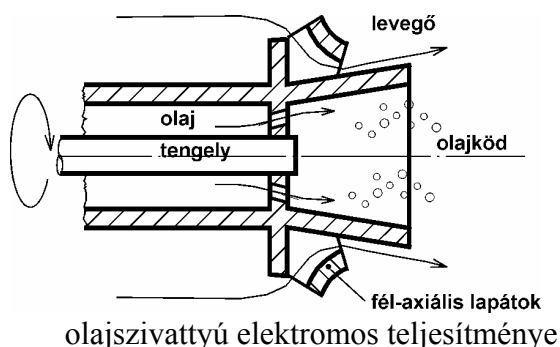
Teljesítményadatok:

| | |
|--|------------------------------|
| gőzfogyasztás | 120-180 kg /1000 kg olaj |
| olajszivattyú elektromos teljesítménye | 500 W/1000 kg olaj óránként. |

c) Forgóserleges olajégő

Az olaj porlasztása a forgóserleg hatására jobb, emiatt sokkal kisebb olajnyomás is elegendő a működtetéshez. Főleg nagyobb teljesítményeknél alkalmazzák.

A forgás következtében az olaj szétszóródik a kúpban és ködöt alkot. Az égő hatásfoka emiatt különlegesen jó. A lapátok kb. 0,2-0,6 bar levegőnyomást biztosítanak, de szükség van még természetes huzatra is. Az eltüzelhető olaj viszkozitása akár $10 E^0$ is lehet, ami sűrű pakurának felel meg. Az égő metszetét a következő ábra mutatja.



4.2.1.1.6 ábra Forgóserleges olajégő

Teljesítményadatok:

levegőfogyasztás

600 m³/1000 kg olaj

levegő tápventilátor teljesítménye

1 kW/1000 kg olaj óránként

100-150 W/1000 kg olaj óránként.

Előnyei:

különböző olajokat lehet használni

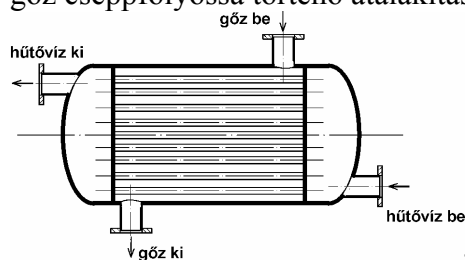
nagyon jól szabályozható

dugulás szinte elképzelhetetlen.

A felsorolt konstrukciókon kívül még számos olajégő létezik, amelyeket különböző szinten automatizált berendezésekhez kellett kifejleszteni. A hajókon pár évtizeddel ezelőtt (azaz a jelenleg üzemelő hajókból már csak néhányon) az automatizálás nem volt teljes körű, de a védelmet szolgáló olajáram-kikapcsolás mindenütt meg volt oldva. Ezt a funkciót hő- vagy fényrelék vezérelték. A mai tüzelőberendezések már teljesen automatikusak.

4.2.1.1.2 Kondenzátorok

A kondenzátorokban történik a fáradt (kis nyomású, energiájától megszabadult, telített) gőz cseppfolyóssá történő átalakítása a kazánba való visszavezetése előtt. Ennek a



4.2.1.1.2.1 ábra Felületi hőcserélős kondenzátor

folyamatnak a célja a hőelvonás befejezése a hűtésre használt tápvíz segítségével, illetve annak előmelegítése.

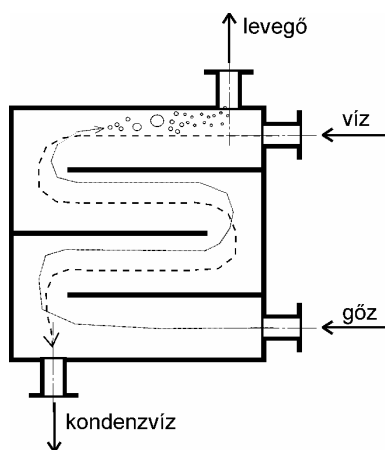
A kondenzátorok konstrukciója alapvetően kétféle lehet.

1. Felületi hőátadás

Ehhez a 4.2.1.1.2.1 ábrán látható *hőcserélő* szükséges.

A keresztáramú hőcserélőben a víz mindig a csövekben áramlik, mivel az a szennyezettenbb a két közegből, és a csövek tisztítása egyszerűbb.

Ezt a típusú kondenzátort kell mindenképpen alkalmazni, amikor a hűtővíz előkezelésére és tisztítására csak a kondenzátorból kilépve kerül sor, vagy amikor nem a teljes vízmennyiség kerül a kazánba tápvízként, hanem a víz egy része visszakerül a környezetbe. Hajókon ez az általánosan elfogadott megoldás.



4.2.1.1.2.2 ábra Keverő rendszerű kondenzátor

A kazán üzemi nyomásától és hőmérsékletétől függően a szükséges hűtővíz mennyisége 50-60 l/kg gőz.

A hőcserélő anyaga általában réz.

2. Keverő rendszer

Olyankor alkalmazható, ha többé-kevésbé zárt a tápvízrendszer, és így az állás közben lehűlt tiszta víz kerül vissza a kazánba, amelyet a kondenzátorban melegítenek elő, illetve a gőz

kondenzálására használnak fel.

Az ilyen rendszerű kondenzátor működési elvét a 4.2.1.1.2.2 ábra mutatja.

4.2.1.1.3 Dugattyús gőzgépek

4.2.1.1.3.1 Lapátkerekes hajók hajtására alkalmas dugattyús gőzgépek

A hajógőzgépek kezdettől fogva két irányban fejlődtek a két fő propulziós eszköz, a lapátkerek és a hajócsavar követelményeinek hatására.

A lapátkerekes hajtás a tengeri hajóknál rövid pályát futott be, hátrányai tengeri körülmények közötti alkalmazását megakadályozták. A folyami hajóknál azonban a lapátkerek szinte ideális eszköz, még a 20. század közepe után is épültek ilyen hajók, és üzembiztosságukat mutatja, hogy ezeket a hajókat nemcsak nosztalgia-okokból újítják fel és teszik egyéb szempontból (személyzeti oldal, utasok, stb.) a kornak megfelelővé.

A dugattyús gőzgépek kiegyensúlyozatlanok, ezért egyhengeres gépnél a hajótestre túlzott tömegterhelés adódik át. Részben ennek kiküszöbölésére, részben az energia minél jobb kihasználása érdekében két- illetve háromhengeres gépeket használnak (kompaund ill. triplex), a kéthengeres gépek a vontatóhajókra jellemzőek, a személyhajóknál a háromhengeres az elfogadott megoldás.

A lapátkerekes hajók gőzgépei közvetlenül hajtják meg a lapátkerek tengelyét, amely a dugattyús hajtáshoz megfelelő forgattyú-kiképzéssel rendelkezik. Kéthengeres gépnél a két forgattyú egymáshoz képest 90°-kal el van forgatva, háromhengeresnél ez a különbség 120°. A gőzgépek fekvő elhelyezésűek, a vízszintessel a dugattyúk középvonala bizonyos szöget zár be, amelyet a konstrukciós méretek határoznak meg. A keresztfej olajozott pályán mozog.

A gőzgépek nyitott konstrukciója a kezelést nagyon megkönnyíti, a kezelő mindig látja, melyik henger áll indulásra készen, ennek megfelelően tudja indításnál a *tolattyúval* vezérelt üzemi gőzt vagy a külön szeleppel nyitható segédgőzt (gépkezelői zsargonban gikszer, mivel akkor jó igazán, ha valami gikszer adódik, vagyis nem megy minden simán) beengedni. A gép működése közben a tolattyú ezt a feladatot már magától ellátja.

A lapátkerekes hajók gőzgépe az előzők miatt könnyen indítható ellenkező irányban is, ezért a hajó hátramenete nullától maximális sebességig szabályozható.

A folyami lapátkerekes hajók dugattyús gőzgépeinek szokásos műszaki paraméterei a következők:

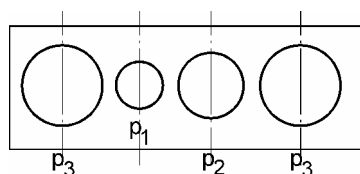
| | |
|-------------------------------|---|
| indikált teljesítmény: | $N = 200-1.600 \text{ LE}$ |
| üzemi fordulatszám: | $n = 30-50 \text{ 1/min}$ |
| kazán-nyomás (túlnyomás): | $p = 10-20 \text{ bar}$ |
| kondenzátor-nyomás (abszolút) | $p_{\text{kond}} = 0,2-0,3 \text{ bar}$ |

4.2.1.1.3.2 Hajócsavaros hajók hajtására alkalmas dugattyús gőzgépek

A hajócsavarok nagyobb fordulatszámnál üzemelnek gazdaságosan, mint a lapátkerekesek, ezért ezek a gépek nagyobb sebességre és kisebb nyomatékra képesek. Alakra jobban emlékeztetnek a stabil belsőégésű motorokra, függőleges dugattyú-elrendezésűek, kivétel az, hogy a kis- és nagy nyomáshoz tartozó dugattyúk mérete eltér.

Általában négyhengeres triplex gépek, az utolsó fokozat (legkisebb nyomás) két hengert képvisel. A forgattyús tengely ebben az esetben olyan konstrukciójú, mint egy 4-hengeres dízelmotoré.

Elrendezésük felülnézetben a következő.



4.2.1.1.3.2.1 ábra Négyhengeres triplex gőzgép felülnézete

A dugattyús gőzgéppel meghajtott hajócsavaros hajók keskenyebb és magasabb építésűek, ezért folyami viszonyok között ez a propulziós forma a 20. század eleje óta nem szokásos. A dízelmotor elterjedése előtt azonban a tengeri hajóknál, főként a kisebb teljesítmények esetén, mivel a nagyobb és gyorsabb hajók (főként a haditengerészeti egységek) propulziós főgépe már abban az időben is a gőzturbina volt, így a kikötői és parti vontatóknál és a kisebb teherhajóknál is, ez a főgép-típus nagy szerepet kapott. Magyar vonatkozása is van: a 20. században a 60-as évekig jártak a Balatonon ilyen propelleres kisebb személyszállító gőzösök.

A dugattyús gőzgéppel meghajtott hajócsavaros hajók dugattyús gőzgépeinek szokásos műszaki paraméterei a következők:

| | |
|---------------------------|--|
| indikált teljesítmény: | $N = 2.000 \text{ LE}$ alatt, felette nem gazdaságos |
| üzemi fordulatszám: | $n = 70-150 \text{ 1/min}$ |
| kazán-nyomás (túlnyomás): | $p = 20-32 \text{ bar}$ |

| | |
|--------------------------------|--|
| kondenzátor-nyomás (abszolút): | $p_{\text{kond}} = 0,2-0,3 \text{ bar}$ |
| közepes dugattyúsebesség: | $c_m \cong 2 \text{ m/sec}$ (gazdaságos) |

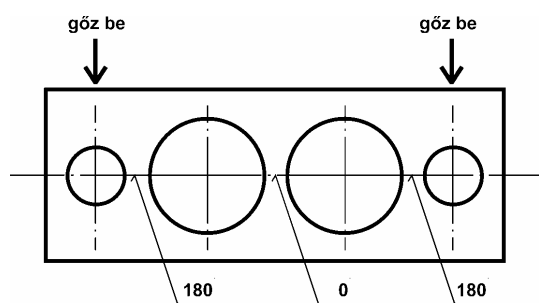
A dízelmotorral összehasonlítva az előre- és hátramenet beállítása bizonyos különbséget jelent. A nagyobb dízelmotoroknál az irányváltás állítható csavarral van megoldva, ez a csavartípus az eltérő üzemi viszonyok között dolgozó hajóknál egyébként is elfogadott. A dugattyús gőzgép fogásiránya nehézség nélkül megfordítható, itt az irányváltást a merev csavaros propulziónál a főgép végzi el. A dugattyús gőzgépek hengereinek térfogataránya különböző építési módoknál a következő.

| Építési mód | kompaund | triplex | 4-fokozatú |
|---------------|-----------|-------------------|-------------------------|
| Térfogatarány | 1 : 3-4,5 | 1 : 2,2-3 : 5,5-7 | 1 : 2-2,2 : 4-4,5 : 8-9 |

A triplex gépekhez képest némi eltérést jelentenek a gőzmotorok. Ezek a 20. század közepe után kezdtek teret nyerni, igazi versenyt sokkal rosszabb hatásfokuk miatt a dízelmotorok számára csak ott jelenthetnek, ahol természetes fűtőanyag bőséggel áll rendelkezésre, üzemanyag viszont kevés van. Két fontos különbség fedezhető fel:

- nagyobb fordulatszám és teljesítmény, $c_m \cong 4-6 \text{ m/sec}$,
- osztatlan expanzió, minden henger azonos nyomású friss gőzt kap, $p = 30-60 \text{ bar}$.

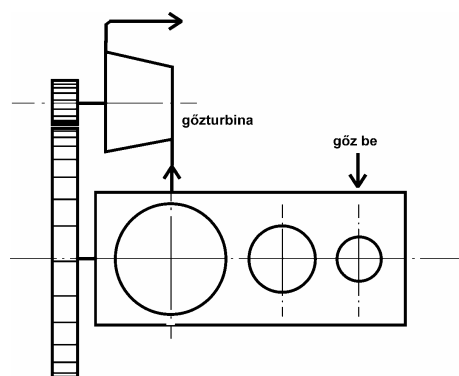
A kompaund gőzgépek speciális változata a Wolf-Lenz gép. Ennek négy hengere van,



4.2.1.1.3.2.2 ábra Négyhengeres Wolf-Lenz gőzgép felülnézete

elrendezése függőleges, soros, de két-két henger ikerként van bekötve a gőztápra, a gőzfejlesztő készülék és az erőgép között pedig nincs közbenső gőztároló. A forgattyús tengelyben mindössze a nagy- és

kisnyomású hengerek között van 180°-os elforgatás, a két kisnyomású henger közös



4.2.1.1.3.2.3 ábra Gőzturbinás fokozatú triplex Bauer-Wach gőzgép felülnézete

forgattyúcsaphoz csatlakozik. Így a két nagy- és a két kisnyomású henger egyszerre dolgozik. A 4.2.1.1.3.2.2 ábra ezt mutatja.

A triplex dugattyús gőzgépek különleges változata a Bauer-Wach gőzgép. A triplex gép tulajdonképpen úgy lép elő 4-fokozatúvá, hogy a 4. expanziós fokozat gőzturbina. A turbinát

leginkább segédüzemi munkagépek meghajtására használják, de tengeri vontatók esetében, ahol a segédüzem igénye a főüzemhez képest jelentéktelen, a turbina

energiáját is a propulzióhoz használják fel hidrodinamikus tengelypacsoló és fogaskerék- hajtómű útján.

A turbina előnye, hogy igen nagy gőztérfogatot lehet feldolgozni nagy méretek nélkül. A 4.2.1.1.11 ábrán ilyen megoldás látható.

4.2.1.1.3.3 Egyéb felhasználás

Azokon a hajókon, ahol a propulziós főgép energiáját gőz szolgáltatja, a segédüzemet is az esetek többségében gőz biztosítja. A kisméretű gőzturbinák mellett a dugattyús gőzgépek is alkalmazhatók, a paraméterek ezeknél azonban eltérőek a kisebb méretek miatt:

| | |
|---------------------------|-------------------------------|
| üzemi fordulatszám: | $n = 500-2.000 \text{ 1/min}$ |
| közepes dugattyúsebesség: | $c_m \cong 7-8 \text{ m/sec}$ |

A gőz dugattyús gépben való felhasználásának különleges esete, amikor az alternáló egyenes vonalú mozgást nem alakítják át forgómozgássá, hanem a meghajtott munkagép is ugyanazt a munkaciklust igényli. Ez a gép a dugattyús szivattyú, a két dugattyús gép összeépítéséből pedig a *Worthington-szivattyú* jön létre.

4.2.1.1.4 Gőzturbinák

A *gőzturbinák* a gőzzel meghajtott propulziós főgépek felső teljesítmény tartományát képviselik. Akár több százezer lóerős teljesítmény is megvalósítható a nagyobb hadi- vagy személyhajóknál. Első alkalommal 1913-ban építettek olyan hajót, amelyben a propulziós főgép gőzturbina volt, az első ilyen konstrukciók mind hadihajóknál jelentek meg. A hadihajóknál, ahol a sebesség megelőzi a gazdaságosság kérdését, ma már kizárólag ez a gyakorlat, a lassúbb kereskedelmi hajóknál, pl. konténerszállítóknál, ahol igen nagy méretek mellett is elegendő a viszonylag kisebb teljesítmény, a keresztfejes kétütemű dízelmotorokkal jobban lehet az anyagiakkal gazdálkodni (ezek teljesítményének felső határa jelenleg százezer lóerő körül van).

A gőzturbina ideális gép hajók propulziójához. A turbina és a hajócsavar tengelyvonala vagy egybeesik, vagy párhuzamos, első esetben közvetlen meghajtásról, a másodikban fordulatszám csökkentős konstrukcióról van szó. Közvetlen meghajtásnál a turbina és a hajócsavar fordulatszáma megegyezik, ezért a hajócsavarral nem érhető el az optimális hatásfok, kivéve a nagy sebességű kisebb hadihajókat. A nagyobb teljesítmények esetén a legkedvezőbb megoldás az *elektromos tengely*, ahol a turbinák által termelt energia az elektromos hálózatra kerül, és a propulziós motorok elektromos gépek. Az elektromos átvitel teszi lehetővé a tökéletes manőverező képességet.

A gőzturbina előnyei összefoglalva:

- a fentiek alapján hajóknál ideális gép,
- megfelelő konstrukció esetén (pl. elektromos energia-átvitel) a lehető legtökéletesebb manőverképesség,

-
- a nyomaték állandó, ezért kisebb tengelyméreteket lehet alkalmazni az osztályozó intézetek előírásai alapján,
 - kis helyszükséglet és súly (a kazánnal és egyéb berendezésekkel együtt a gép összsúlya fajlagosan kedvezőbb a dízelmotorénál),
 - sűrűlódás csak a csapágyakban ébred, ezért a mechanikai hatásfok elérheti a 90%-ot,
 - a kondenzvízbe nem kerül kenőolaj, ezért azonnal visszatáplálható,
 - igen nagy gőznyomás alkalmazható (30-85 bar), ami a termikus hatásfokot javítja, ehhez magas hőmérséklet is tartozik ($t_{túlhev} = 4-500^{\circ}\text{C}$),
 - az előzőek alapján a berendezés ára kedvező.

Hátránya is van: a hajócsavar és a turbina optimális sebességtartománya jelentősen eltér, ezért a legtöbb esetben a fordulatszám csökkentésére van szükség.

Folyami hajóknál kizárólag segédüzemben alkalmazták, ma már ezen a területen a gőzturbina ideje lejárt.

A gőzturbináknál a gőz bevezetési irányától és módjától függően beszélhetünk akciós és reakciós turbináról.

4.2.1.1.5 Gázturbinák

A *gázturbina* szokásos konstrukciója, amely az üzemanyagnak a járókeréken való elégetését jelenti, igen nagy sebességű járműveknél jelent megoldást, mint a repülőgépek. A hajók esetében a szabaddugattyús elégetést lehet megvalósítani. Ennél a következő négy működési ütem különíthető el:

- 1 $\leftarrow \rightarrow$ levegő beszívás kívülről,
- 2 $\rightarrow \leftarrow$ levegő összesűrítése,
- 3 $\leftarrow \rightarrow$ összesűrített levegő átömlése a hengerbe,
- 4 égés.

Az égés során keletkező energia nem alakul munkává, mivel nincs expanzió. Ez akkor következik be, amikor a nagy nyomású égéstermék átvezetik a turbinába, ahol a járókerék meghajtására fordítódik az energia.

A gázturbina a magas hőmérséklet miatt ($800-1000^{\circ}\text{C}$) a szokásos gépészeti anyagokból nem gyártható. A járókerék legjobb anyaga a kerámia.

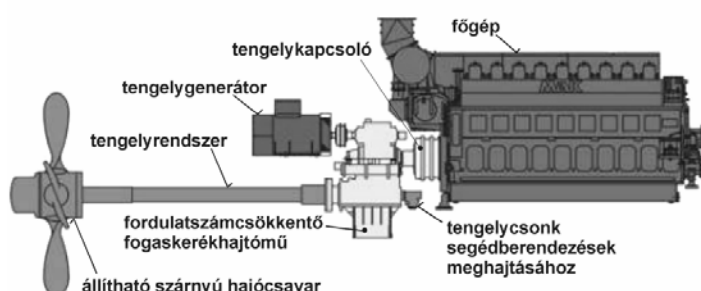
Előnye, hogy a legsűrűbb olaj is elégethető benne.

4.2.1.1.6 Dízelmotorok

A dízelmotor a 20. század első harmadában kifejlesztett motor, amelynek kompresszió-viszonya magasabb, mint a benzinmotornál szokásos érték, és emiatt a kompresszió során felmelegedett levegő képes az üzemanyag meggyújtására szikra nélkül is (ezért nevezik kompresszió-gyújtású motornak), napjainkig hatalmas fejlődésen ment keresztül. A hagyományos problémát, hogy a dízelmotor általában csak nagyobb

teljesítménynél életképeesebb, mint a benzinmotor, az autógyártásban kiküszöbölték, károsanyag-kibocsátása is szalonképeesebb lett. A hidegindítással tapasztalt nehézségek ugyanerre a sorsra jutottak. A hajóba építhető stabil dízelmotorok jelenleg a technika minden vívmányát megtestesítik, és a legszélesebb körben alkalmazott erőgépek a hajóépítés területén.

A dízelmotor és a gőzturbina fejlődése párhuzamosan haladt, sokáig az volt az ökölszabály, hogy 10.000 LE a határ, alatta a dízelmotor, felette a gőzturbina gazdaságosabb. A rendkívül alacsony fordulatszáma (kb. 100 1/min), kétütemű keresztfejes hajó-dízelmotorok mintegy 100-130.000 LE teljesítménye ennek a szabálynak ellentmond, ezek a motorok a legnagyobb konténerszállító hajókba építve egyedüli propulziós főgépként az optimális megoldást adják.

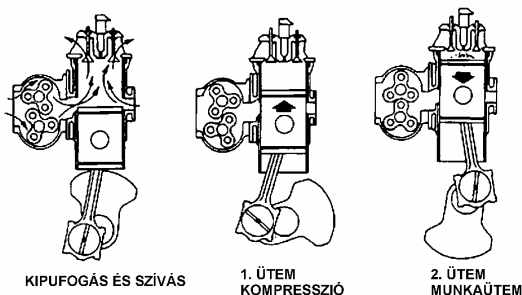


4.2.1.1.6.1 ábra Közepes fordulatszámaú dízelmotoros főüzem és egységei

A kompresszió-gyújtású belsőégésű motorokat működési módjuk szerint két fő csoportra oszthatjuk:

4-ütemű és 2-ütemű motorokra. A többi belsőégésű motorhoz képest jobb hatásfokuk miatt mindkét változat nagyon elterjedt. A felhasznált üzemanyagok fajtái változatosak, a közös az bennük, hogy *szénhidrogének*. Ezek közül hajóüzemben három fő csoport van: *nehéz üzemolaj*, *átmeneti üzemolaj* és *dízel üzemolaj*. A két- illetve négyütemű jelző arra utal, hogy a dugattyú alternáló mozgása közben hogyan valósul meg a belsőégésű motorokat jellemző *Carnot ciklus*.

Sebesség szerint a dízelmotorokat három kategóriába soroljuk: *lassú-járású*, *közepes fordulatszámaú* és *nagyfordulatszámaú gépekre*. A lassú-járású gépek fordulatszáma kisebb, mint 300 1/min, a legtöbb nagy kétütemű hajó-dízelmotor ide tartozik. A közepes fordulatszámaú gépek a 300-900 1/min tartományba esnek. A kisebb hajók főgépei és a hajóüzemi segédgépek többsége ilyen motor, ezek rendszerint négyüteműek.



4.2.1.1.6.2 ábra Kétütemű dízelmotor működése (szelepes konstrukció)

A nagyfordulatszámaú dízelmotorokat csak kisebb hajók segédgépeiként és a jachtok propulziós főgépeiként alkalmazzák. A járműipar többi területén azonban ezek a leggyakrabban használt erőgépek, mivel magas fordulatszámauk ideális a

tehergépkocsik meghajtásához. Ezek fordulatszáma 900 1/min felett van.

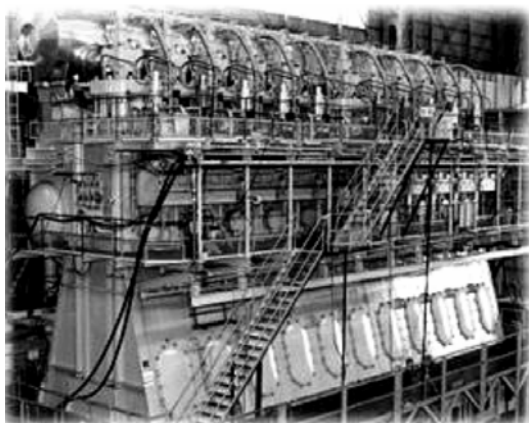
A 4.2.1.1.6.2 ábrán a legegyszerűbb kétütemű dízelmotor látható.

A kétütemű dízelmotornál mindössze két ütem alatt megvalósul a teljes *munkaciklus*: az első ütem a dugattyú lefelé történő mozgása alatt zajlik le, a második annak felfelé mozgása közben, tehát egyetlen forgattyús tengely fordulat alatt. A négyütemű dízelmotornál ezzel szemben két lefelé és két felfelé irányuló dugattyúútra van szükség, azaz két teljes fordulatra a forgattyús tengelyen mérve. A *munkaütem* kétütemű motornál mindig a dugattyú lefelé történő mozgását jelenti. Ez a különbség a két- és négyütemű motorok ciklusában azt sugallja, hogy a kétütemű motor teljesítménye kétszer akkora lehet, mint a négyüteműé. A nagy dízelmotoroknál valójában a kétütemű gép teljesítményaránya az ugyanolyan súlyú négyüteműéhez hasonlítva kb. 1,8:1. A kisebb gépeknél, pl. buszoknál és jachtoknál ez a viszonyszám kisebb, és a fordulatszám növekedésével közelít az egyhez.

A kétütemű nagy gépeket ott alkalmazzák, ahol nagy teljesítményt várnak el, mint a hajók propulziója és a stabil áramfejlesztők. A hajóknál alkalmazott ilyen gépek magas építésűek; ez szükséges ahhoz, hogy a tervezők által igényelt hosszú löketet meg lehessen valósítani, amely a jó hatásfok biztosítója a munkaütem során. A nagy méretek miatt a fordulatszám ezeknél az erőgépeknél alacsony.

Ez a 100 1/min körüli fordulatszám hajók esetében két előnyt is hordoz. A lényegesebb a kettő közül, hogy lehetővé teszi a nehéz üzemolaj tökéletes elégését. A nehéz üzemolajat, amely sűrű fekete massa, kátrányra emlékeztet, mind két-, mind négyütemű motorokban alkalmazzák. Ez az üzemanyag kb. feleannyiba kerül jelenleg, mint a jelentős finomítást igénylő dízel üzemolaj.

A másik előny, amely szintén nem lebecsülendő, hogy a főgép és a hajócsavar közvetlenül összekapcsolható, nincs szükség mechanikus vagy elektromos fordulatszám csökkentésre. Ezzel a súlyegységre számított teljesítmény kedvezőbb értékű. A lassú járású kétütemű dízelmotorok előnye a négyüteműekkel szemben az egyszerűbb szerkezeti felépítés, általában nincsenek szívó- és kipufogószelepek, kevesebb alkatrész



4.2.1.1.6.3 ábra Keresztfejes kétütemű dízelmotor

van, amely elromolhat. Ezek a tulajdonságok teszik a kétütemű motorokat ideálissá a nyílt-tengeri hajók propulziójához.

Legismertebb építője ezeknek a motoroknak a svájci Sulzer cég, amely a 20. század 30-as éveiben az első ilyen gépeket gyártotta (a magyar dunai vontatóhajózás egyik egysége, az 1943-ban Linzben épült „Esztergom” vontató két db. öthengeres motorja – a 6.

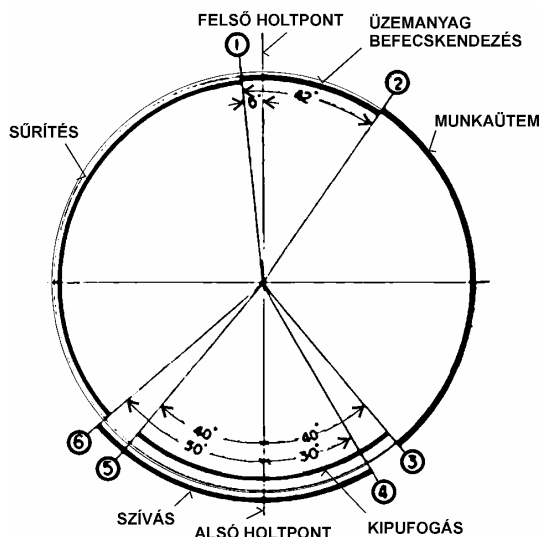
henger a mechanikusan meghajtott légsűrítő volt, amely a későbbiekben elfogadottá vált turbófeltöltő szerepét vette magára – 550 LE teljesítményt adott le egyenként 315 1/min üzemi fordulatszámon), illetve a Burmeister és Wain (B&W) Dániában. Más gyártók:

Kawasaki (Japán), Hyundai (Korea) és Fincantieri Naval (Olaszország), hogy csak párat említsünk.

A legtöbb hajóépítő a Sulzer vagy B&W motorokat licenc alapján építi. A szárazföldi járművekhez és munkagépekhez a legnagyobb kétütemű dízelmotor gyártó a Detroit Diesel Corporation. A kétütemű dízelmotorok teljesítménye nagy intervallumot ölel fel a 353-as Detroit Dieseltől, amelynek teljesítménye kevesebb, mint 75 kW, a 14-hengeres, 102 1/min üzemi fordulatszámú Sulzer RT-flex96C gépen át, amely 80.080 kW, azaz 109.000 BHP (fékpadi LE) teljesítményt ad le, egészen a MAN B&W K108ME-C-ig. Ez az erőgép az eddigi legnagyobb, a Sulzerhez hasonlóan 14-hengeres, furata azonban nagyobb, 108 cm, vagyis meghaladja az egy métert. Teljesítménye 97.300 kW, ez több, mint 130.000 LE, a 9 m átmérőjű hajócsavart 94 1/min fordulatszámmal hajtja.

Egy nagy nyílttengeri kereskedelmi hajó propulziós főgépét mutatja a 4.2.1.1.6.3 ábra. Az átlagos kétütemű dízelmotor legfontosabb része a *henger*, egy vastag falú hüvely, amelyen levegő beszívó rések vannak elhelyezve a henger alsó 1/3-ában. A hengert a *hengerfej* zárja le, amelyet *hengerfedélnek* is neveznek, és amely a *kipufogó szelepet* is magában foglalja.

A hengerben mozgó *dugattyút* a *hajtókar* köti össze a *forgattyús tengellyel*. A nagyobb *keresztfejes motoroknál* a *hajtórúd* nem a dugattyúhoz csatlakozik, hanem a keresztfejhez, a keresztfej és a dugattyú között helyezkedik el a *dugattyúrúd*. A keresztfej ugyanolyan egyenes vonalú alternáló mozgást végez, mint a dugattyú maga. A kétütemű motor természetes szívás esetén nem kap elegendő levegőt, ezért szükség van egy segédberendezésre, amely nyomás alatt tárolt levegőt juttat a hengerbe, hogy teljes töltés jöheszen létre. A *levegő táptartályt* (receiver) a *feltöltő kompresszor* tölti folyamatosan. A kompresszor meghajtása történhet mechanikusan, elektromotorral vagy turbófeltöltővel.



4.2.1.1.6.4 ábra Keresztfejes kétütemű dízelmotor kördiagramja

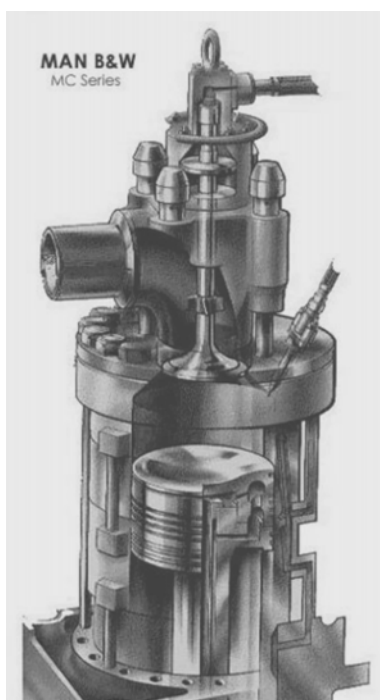
A *munkafolyamat* jellemzéséhez induljunk el a dugattyú *alsó holtpontbeli* állásából. Amint a dugattyú elindul felfelé, eltakarja a levegő beszívó réseket, és a hengerben levő levegőt eredeti térfogatának töredékére sűríti össze (17:1 és 23:1 közötti arányban, szemben a 9:1 aránnyal a benzinmotoroknál), így mintegy 42 bar nyomás jön létre. Az *adiabatikus kompressziótól* a levegő hőfoka megemelkedik.

Egy keresztfejes kétütemű dízelmotor *kördiagramja* látható a 4.2.1.1.6.4 ábrán.

Mintegy 10 fokkal a *felső holtpont* előtt (a forgattyúcsapon mérve) megkezdődik a porlasztott üzemolaj *befecskendezése*, amely meggyullad a sűrített levegő magas hőfokától. A befecskendezés átlagosan 30 fokon át folyik, a pontos érték függ a motor

terhelésétől. Az üzemolaj elégeése során a hengerben fellépő nyomás tovább nő. A felső holtpont után kb. 15 foknál az égés befejeződik, és a hengerben ekkor uralkodó nyomást hívják *maximális nyomásnak* (p_{\max}). A p_{\max} értéke 180 és 195 bar közé esik; ez az oka annak, hogy a dízelmotor annyira robusztus konstrukciójú, el kell viselnie ezt a nyomást.

A nyomás a *dugattyúfenékre* hat és a dugattyút lefelé nyomja. Az egyenes vonalú mozgás a hajtókar és a forgattyús tengely segítségével forgómozgássá alakul, a lefelé ható erő pedig forgatónyomatékká. Az alsó holtpont előtt kb. 45 fokkal, közvetlenül azelőtt, hogy a henger alsó részén levő levegő beszívó réseket a dugattyú mozgása kinyitná, kinyílik a kipufogó szelep, és lecsökken a hengerben a nyomás. A kipufogógázok hőmérséklete ekkor kb. 600°C.



4.2.1.1.6.5 ábra Keresztfejes kétütemű dízelmotor hengerfeje

A dugattyú tovább mozog lefelé, ezzel szabaddá teszi a levegő beszívó réseket, ahol az atmoszférikusnál nagyobb nyomású elősűrített levegő (0,3-0,7 bar) hatékonyan kisépri az égéstermékeket a kipufogó szelepen át. Ez a folyamat a henger tisztításán kívül annak hűtéséhez is hozzájárul. Az alsó holtpont után 35 fokkal bezár a kipufogószelep, amint a dugattyú tovább halad felfelé, 50 foknál bezárja a levegő beszívó réseket. A szívórészek bezáródása után újra elkezdődik a kompresszió, a dugattyú összesűríti a beáramlott friss levegőt, és minden ismétlődik a leírt módon.

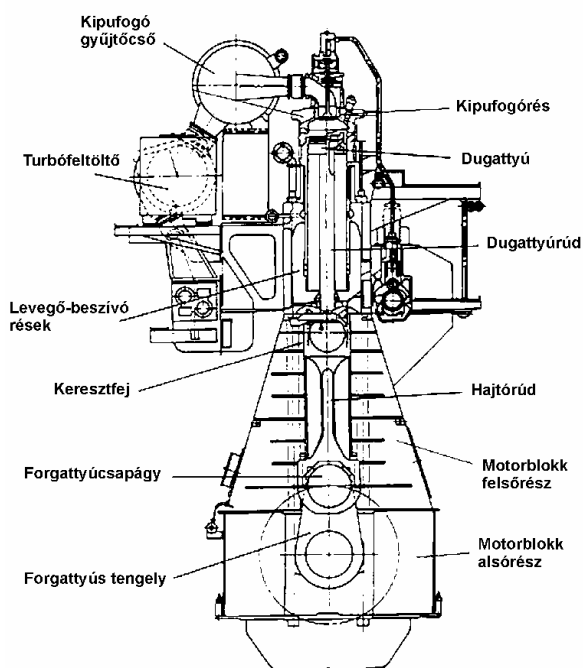
A hengerfej metszete a 4.2.1.1.6.5 ábrán látható, a 4.2.1.1.6.6 ábra pedig a motor keresztmetszetét szemlélteti.

A hajóépítő szakember számára fontos adat a főgép fajlagos tömege. Ez a szám dízelmotoroknál 10 – 60 kg/LE között van, a gép fordulatszámával nő. A turbó-feltöltéses motoroknál a fajlagos tömeg 5 kg/LE körüli értékre csökkenthető.

A dízelmotoros propulzió aránya a világ új építésű vagy felújított hajóállományánál.

| Év | Százalékos arány tonnatartalomra | Százalékos arány darabszáma |
|------|--|----------------------------------|
| 1925 | 4 | 8-10 |
| 1933 | 15 | kb. 20 |
| 1939 | 25 | kb. 30 |
| 1948 | 21,5 (a Liberty típusú gőzhajók miatt) | kb. 30 |
| 1950 | 25 | kb. 30 |
| 1962 | 50 | 66 (12724 gőzh., 25937 dízel h.) |
| ma | kb. 50 | kb. 70 |

A jelenlegi adatok tájékoztatóak a statisztikai adatok hiánya miatt. A tonnatartalom szerinti arány állandósulása a négy évtizeddel ezelőttihez képest azzal magyarázható, hogy a gőzgépek helyét a gőzturbina foglalta el, amely a legnagyobb felhasználónak, a haditengerészetnek egyedüli elfogadható változat. A kereskedelmi hajóknál azonban, sőt, a nagyobb személyhajóknál is a dízelmotor a legkedvezőbb megoldást nyújtja. A 2004-ben elkészült Queen Mary II propulzióját például 9 db MAN B&W motor biztosítja.

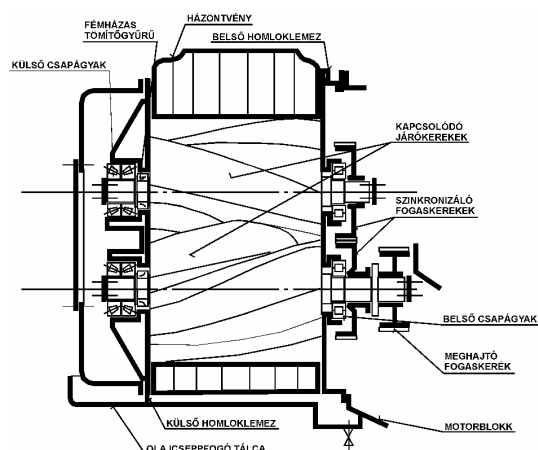


4.2.1.1.6.6 ábra Keresztfejes kétütemű dízelmotor keresztmetszete

A dízelmotor a gőzgéppel ellentétben önálló zárt egység, minden segédberendezését maga az erőgép hajtja meg.

A kenőolajrendszer száraz illetve nedves motorteknő rendszerű. A kisebb motoroknál a kenést az utóbbi konstrukció jellemzi, a forgattyús tengely főcsapágyait és a szelep-mechanizmust a kenőszivattyú látja el, a többi mozgó alkatrészhez a motorteknőben levő olaj a forgattyú mozgása hatására verődik fel. A dugattyú kenése az alsó holtponthoz történik, ez még sok is, a lehúzó-gyűrű azonban eltávolítja a

felesleget.



4.2.1.1.6.7 ábra Mechanikusan meghajtott feltöltő kompresszor

A szárazkarterű motorok kenőrendszere teljes egészében kényszerkenés, a motorteknőben levő olajat a szivattyú minden helyre eljuttatja a kiépített olajvezetékeken. A fordulatszám szabályozást a regulátor végzi, amely biztosítja, hogy a megfelelő töltésarányra beállított üzemolaj adagoló rendszer a hajócsavar terhelésének változása esetén is tartsa a kívánt fordulatszámot.

Ennek főként tengeri hajóknál van jelentősége, ott is a részrakománnyal utazó áruszállító hajók esetében, amikor a hajócsavar merülése a hullámok miatt nem állandó. A motorok indítása kisebb teljesítményű nem reverzálható gépeknél elektromos indítómotorral történik. A mindkét irányban működőképes (reverzálható) dízelmotorok

indítórendszere sűrített levegős, a töltésbeállító mechanizmus vezérli az éppen indulásra kész henger feltöltését, a kellő sebesség elérése után a mechanizmus adagolni kezdi a kívánt fordulatszámhoz szükséges üzemolaj mennyiséget.

A 4.2.1.1.6.7 ábrán egy mechanikusan meghajtott feltöltő kompresszor látható.

A *reverzálható dízelmotorok irányváltása* négyütemű gépnél a szelepműködtető mechanizmus konstrukcióját bonyolítja. Általában a *vezértengely* két különálló *bütyökrendszerrel* rendelkezik, tengelyirányban történő eltolással lehet az előre- illetve hátrameneti bütyökkészletet kiválasztani.

A kezelhetőség azt követeli meg a hajók dízelüzemű főgépeitől, hogy az említett segédrendszerek mindegyike a motor házán illetve burkolatán kívül legyen elhelyezve. A fordulatszám (géperő) beállítására szolgáló *töltésszabályozás* a géphajók hőskorában közvetlenül a propulziós főgép mellett történt, a kezelés a gépkezelők feladata volt, akik emellett az időszakos kenést, ápolást és karbantartást is elvégezték szolgálat közben. A hajó mozgásának irányítása a szolgálatban levő fedélzeti géptiszt feladata volt, a *géptelegráf* biztosította a kapcsolatot a géptér és a parancsnoki híd között, ahonnan a hajó műveleteit jól be lehetett látni, és ahol a kormánykerék is el volt helyezve. Ez kezdetben szócsőrendszer volt, de a 20. század kezdetétől mechanikus működtetésű jelzőrendszert építettek be a nagyobb géphajókba. A fedélzeti tiszt a telegráf kör-alakú tárcsáján választotta ki a kívánt haladási irányt és géperőt (Egész erő, Fél-erő, Több erő, Egész lassan, Állj) a vezérlő karokkal (minden főgéphez volt egy külön tárcsa és kar), amelyeket a hajósnyelv nyuszi-fülnek nevezett. A huzalokból és kerékpárláncokból



4.2.1.1.6.8 ábra Mechanikusan működtetett géptelegráf

kialakított telegráf a géptérben elhelyezett hasonló tárcsán egy mutatót állított a kívánt helyre, minden mozdítás figyelemfelkeltő csengetéssel járt együtt. A gépkezelő a gépeken beállította a kért erőt, majd a géptéri tárcsákon levő karokkal visszajelezte, ezzel a hídon levő tárcsákon a mutatók a megfelelő helyre kerültek. A telegráfrendszer ma is követelmény, de már évtizedek óta a gépek *távvezérlése* része a hajók gépi berendezésének, különösen napjainkban, amikor a hajók gépi berendezései teljes automatizáláson mennek át. A mai gépkezelő, ha van ilyen, csak felügyeletet ad,

karbantartást végez, illetve vészhelyzetben hajt végre hagyományos műveleteket.

A 4.2.1.1.6.8 ábra egy géptelegráf parancsnoki hídon elhelyezett egységét mutatja.

A dízelmotorok fejlődésének egyik területe az *égéstér* változatainak kialakítása volt. Az égéstér a hengerfej és a dugattyúfenék közötti tér. Az első dugattyúk egyszerű sík fenékekkel készültek, mivel azonban a dízel üzemolaj elége időt vesz igénybe, a

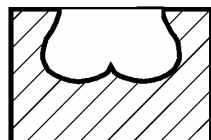
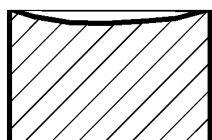
motorok fordulatszámának növelése pedig a teljesítmény fokozásának egyik módja, az égés tökéletessé tétele érdekében több lehetőséget is kipróbáltak a tervezők.

- *Közvetlen befecskendezés.* Az égéstér alakját csak a dugattyúfenék formájával lehet változtatni. Finom porlasztásra van szükség, ez korlátozza a porlasztófúvóka nyílásának méretét, tehát csak a legjobb minőségű üzemolaj használható. Előnye a jó indíthatóság.

A kétütemű motorok dugattyúján a jobb átöblítés érdekében kiemelkedést alakítanak ki, ezt tarajnak hívják.

- *Osztott égéstér.* Lényege az, hogy az üzemanyagot nem közvetlenül a dugattyú fölé porlasztják be, hanem a dugattyú feletti égéstérhez csatlakozó, abba rendszerint menetes kötéssel becsavart külön térbe. Ez pontos funkciója szerint lehet *előkamra*, *örvénykamra* vagy *légkamra*. Mindhárom konstrukció az égés tökéletesebbé tételét szolgálja. Az ilyen kialakítású motorok indítása nehezebb, de erre ma már vannak olyan megoldások, amelyek ezt a hátrányt kiküszöbölik.

A 4.2.1.1.6.9 ábra két gyakori égéstér kialakítást mutat.

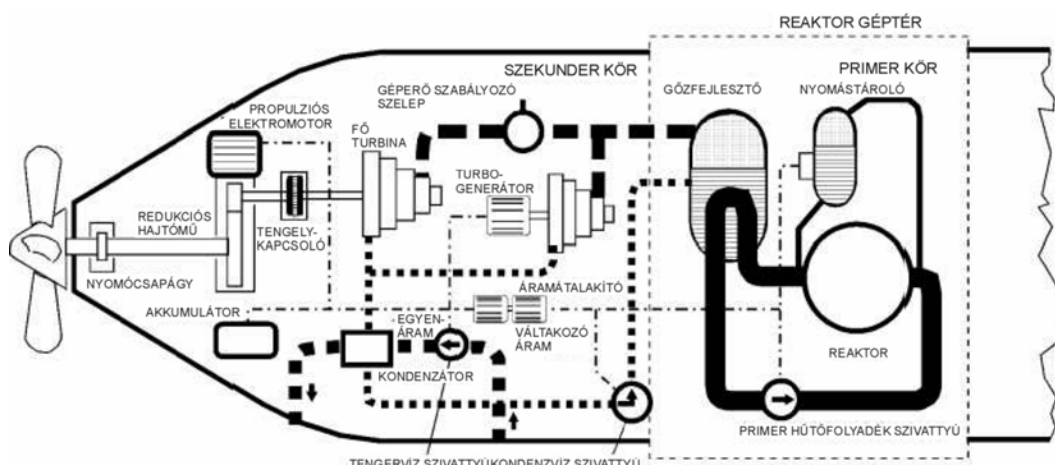


4.2.1.1.6.9 ábra Dugattyúkialakítás közvetlen befecskendezésű dízelmotornál

Az égés folyamatának javítását célozta az a megoldás, ahol egy hengerben egymással szemben dolgozó két *ellendugattyú* működött. A konstrukció előnye volt, hogy a fajlagos fogyasztást 150 g/LEh (204 g/kWh) értékre lehetett csökkenteni. Mivel azonban rendkívül bonyolult kialakítást tett szükségessé a forgattyús tengely és a hajtórudak terén, nem terjedt el. Az ellendugattyús motoroknak két változata volt: a Doxford és a Deltic motor. Az utóbbinál három forgattyús tengely volt 120-fokos elrendezésben, a motor fajlagos tömege nagyon kedvezően alakult. Mivel azonban sok kényes pontja volt, a gyakorlatban ma már nem fordul elő.

4.2.1.1.7 Nukleáris főüzem

A 20. század 50-es éveiben jelentek meg az első olyan nukleáris berendezések, amelyek már nemcsak szárazföldi létesítményekhez voltak alkalmazhatóak, hanem nagyobb teljesítményt és akciósugarat igénylő hajókba is be lehetett őket telepíteni.



4.2.1.1.7.1 ábra Nukleáris propulzióval működő tengeralattjáró sémája

Három fő területen indult el a konstrukciók kialakítása.

- Jégtörő hajók. Ebben leginkább a Szovjetunió emelkedett ki, a fő cél az volt, hogy az Északi Jeges tengeren az évente három hónapos hajózási szezont egész évre ki lehessen terjeszteni. Először két ilyen hajó épült, a Lenin és az Arktika. Az elsőben két reaktor volt aktív, a harmadikat mindig tartalékban tartották. A másodiknál már ezt nem tartották szükségesnek, ezt a típust hajóosztállyá nyilvánították, és hat ilyen hajó készült. Ezek a hajók olyan nagy vízkiszorítással rendelkeztek, hogy képesek voltak a 2 m vastag sarki jégben való folyamatos haladásra 2 csomó (3,7 km/h) sebességgel.
- Hadihajók. Az első ilyen egységeket az Egyesült Államokban építették, két nagy területük van, a tengeralattjárók és a repülőgép anyahajók vagy hordozók. A tengeralattjáróknál főleg a nagy akciósugár és a tartós víz alatti tartózkodás elérése volt a cél, a hordozóknál a teljesítményigény és az akciósugár volt a fő szempont. Ez a terület az előzővel szemben ma is gyakorlati jelentőséggel bír.
- Folyadékszállító kereskedelmi hajók (tankhajók). Fő szempont az akciósugár és a folyamatos üzem (életciklusának 80%-át haladással tölti).

A hajókba beépíthető nukleáris berendezések vázlata a 4.2.1.1.7.1 ábrán látható.

Amennyiben a nukleáris főüzemet a vele azonos súlycsoportban levő olajtüzelésű gőzturbinás főüzemmel hasonlítjuk össze (kb. 20 ezer LE teljesítménynél), az alábbi táblázat szerinti helyigény mutatkozik m³-ben.

| | kazán és gőzturbina | reaktor és gőzturbina |
|--------------------|---------------------|-----------------------|
| géptér | 1635 | 1060 |
| segédgépek | 4600 | 6520 |
| kazán ill. reaktor | 2900 | 815 |
| üzemanyag | 2500* | - |
| összesen | 11635 | 8395 |

BBBZ kódex

* Kazánnal fejlesztett gőznél az üzemanyagot tárolni kell, 20 napot számítva kb. 500 óra üzemhez kell üzemanyag, ez kb. 10^7 LEh, amihez kb. 2×10^6 kg tömegű olaj kell, tárolásához 2500 m³ tankra van szükség.

A teljesítmény általában nagyobb a számított 20 ezer LE-nél, így a különbség még nagyobb. A Lenin esetében a csavarokra adott teljesítmény 44 ezer LE volt.

A hatásfokok alakulása:

| | |
|---------------------------|--------------------------------|
| termikus hatásfok | $\eta_{\text{term}} = 65-70\%$ |
| generátor hatásfoka | $\eta_{\text{gen}} = 96-98\%$ |
| elektromotorok hatásfoka | $\eta_{\text{mot}} = 97-98\%$ |
| tengelyrendszer hatásfoka | $\eta_{\text{teng}} = 98-99\%$ |

A reaktor újratöltési ideje kb. 2,5 év.

A nukleáris főüzemnek néhány évtizede sokkal nagyobb jövőt jósoltak, mint ami abból megvalósult. Több tényező is hozzájárult ehhez, a legfontosabb kettő a társadalmi szemlélet és a nukleáris energiához való viszony megváltozása illetve a dízelmotorok terén megvalósult műszaki fejlődés.

4.2.1.2 Segédgépek

A *segédgépek* azok az erőgépek és általuk meghajtott energiafejlesztő berendezések, amelyek a hajó minden olyan energiaigényének kielégítését szolgálják, amely nincs kapcsolatban a propulzióval. A legkritikább esetektől eltekintve a segédgépek dízel-generátorok.

A segédgépek fogalmával nem szabad összekeverni egy másik fogalmat, ez pedig a segédüzem. Segédüzem alatt minden olyan gépet és berendezést értünk, amely a géptérben helyezkedik el, és nem a propulziót szolgálja.

A segédgépek helyettesítésére szolgálnak menet közben olyan berendezések, amelyek valamilyen módon a főüzemi berendezés energiaellátásáról kapják saját meghajtásukat:

- gőzüzemű hajók segédüzemi gőzturbinái, elsősorban olyan hajóknál, mint pl. személyszállító hajók vagy hűtőkonténereket szállító járművek, amelyek energia-fogyasztása menet közben nem csökken, esetleg még nő is a kikötői állásnál jelentkező igényhez képest,
- *tengelygenerátorok* azoknál a hajóknál, mint pl. szárazáru szállító teherhajók vagy folyami vontató ill. tolóhajók, ahol menet közben a kikötői energiaigénynek csak a töredéke merül fel.

A segédgépek teljesítményének pontos meghatározása csak a hajó tervezésének későbbi szakaszában lehetséges. Első közelítésként tengeri hajók esetén a főgépek teljesítményének kb. 20%-át tételezzük fel. Folyami hajóknál ennél valamivel kisebb segédgép teljesítmény elegendő. A lehető leggazdaságosabb üzemi paraméterek elérése érdekében arra kell törekedni, hogy az erőgépek üzemi teljesítményük közelében legyenek igénybe véve. Emiatt nem egyetlen *dízelgenerátort* építenek be, hanem egy kisebb és egy nagyobb teljesítményűt, esetleg a nagyobb teljesítményűből két azonos gépet. Ilyenkor biztosítva van, hogy mindig annyi energia álljon rendelkezésre, amennyi szükséges, emellett az üzemben levő dízelmotor ne járjon üresjáratban, amikor a fajlagos fogyasztás kedvezőtlen. A *párhuzamos üzem* lehetőségét mindenképpen biztosítani kell.

A tervezésnek abban a stádiumában, amikor a segédüzemi berendezések (szivattyúk, fedélzeti gépek, világítótestek, stb.) mind pontosan ismertek, a következő *egyidejűségi táblázatot* kell elkészíteni, amelynek sorai egy-egy fogyasztónak vagy fogyasztó csoportnak felelnek meg, oszlopai pedig egy-egy üzemi állapotnak. A hajók funkciójának jellege miatt a csővezetékek képezik a legfőbb rendszereket, ezek kiszolgálását pedig szivattyúk végzik. Emiatt az elektromos energiaigénynek legalább 30%-át a szivattyúk teszik ki. A szivattyúk motorja alaposan túl van méretezve, ezért a segédüzemi rendszerek is általában túlméretezettek.

Az igazi nagy elektromos fogyasztókat a fedélzeti gépek adják. Ezek üzeme sok bizonytalan tényezőtől függ, pl. a horgonycsörlő névleges teljesítménye a segédgépek teljesítményébe biztonságosan belefér, amikor azonban a horgony felhúzásakor a csörlő motorja egy-egy pillanatra névleges teljesítményének akár kétszeresét is felveszi, a dízelgenerátor fordulatszám-szabályozója kemény feladat előtt áll. Ugyanez a helyzet a rakodó-, ill. kikötő-berendezésekkel és a vontatócsörlővel is.

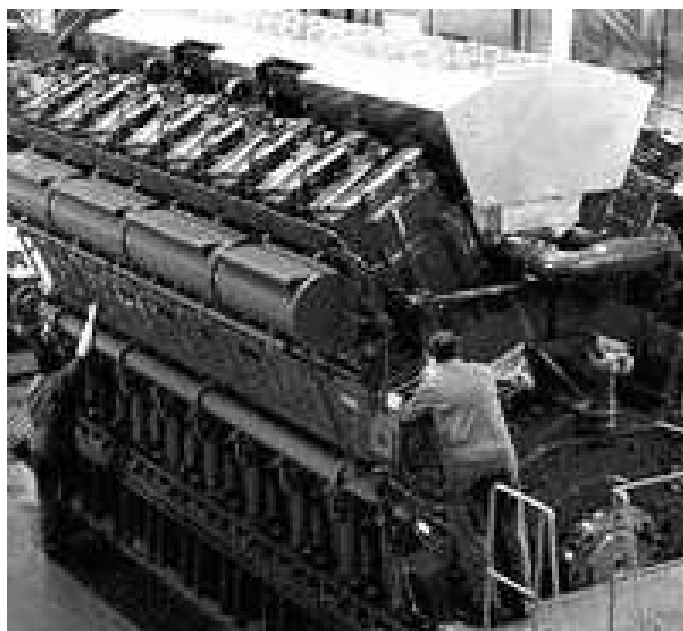
Egyidejűségi táblázat

| | Menet nappal | Menet éjjel | Állás nappal | Állás éjjel | Kikötés | Rakodás | Stb. |
|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|---------|---------|------|
| Világítás 1 | | | | | | | |
| Világítás 2 | | | | | | | |
| stb. | | | | | | | |
| Szivattyú 1 | | | | | | | |
| stb. | | | | | | | |
| Csörlő 1 | | | | | | | |
| stb. | | | | | | | |
| stb. | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| Összesen | Σ1 | Σ2 | Σ3 | stb. | | | |

A táblázat rendkívül terjedelmes lehet a lehetséges üzemmódok és fogyasztók nagy választéka miatt. Az előforduló valamennyi változatot meg kell vizsgálni. Az egyes fogyasztók bekapcsolásának valószínűségi tényezőjét is meg kell határozni, mert 100% valószínűséget feltételezve a segédüzemi dízelgenerátorok teljesítménye túl nagyra adódik, a gyakorlat pedig azt igazolja, hogy arra nincs szükség. A táblázatba az egyidejűségi tényezővel csökkentett teljesítményigényt kell beírni.

A segédüzemi dízelgenerátoroknál alkalmazott négyütemű dízelmotor fő vonásai

A kisebb hajók propulziójának kivételével (ami egyébként nem elhanyagolható részét teszi ki a négyütemű dízelmotoroknak, különösen a belvízi hajók vonatkozásában) a négyütemű gépeket leginkább áramfejlesztő aggregátokban találjuk meg.

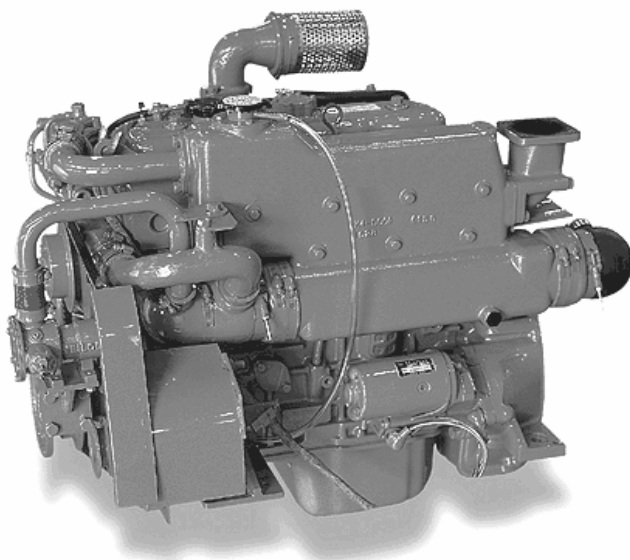


4.2.1.2.1 ábra MAK551 V12 négyütemű dízelmotor segédüzemi generátorral

Egyes hajótípusok lapos építésűek, mint pl. a parti hajók vagy a komphajók, amelyek nem tudnak helyet adni a magas erőgépeknek, ezért olyan aggregátokra van szükségük, amelyek alacsonyabb terekben is elhelyezhetők. A kompok rakományukat, amelyek leginkább autók, több folyamatos fedélzeten szállítják. Az erőgépeknek el kell férniük a főfedélzet alatt, és ez nem kis

feladat, mivel a kompok általában kis vízmélységnél is tudnak közlekedni.

Az egyik legismertebb komp a Queen of Cowichan, ennek gépei MAK551 V12 típusú négyütemű motorok, amelyek a generátorra egyenként kb. 4500 kW teljesítményt adnak át. Az aggregátok magassága kevesebb hat méternél, ez a négyütemű dízelmotor méret fordul elő leginkább. A gépek egyike a 4.2.1.2.1 ábrán látható.



4.2.1.2.2 ábra AD034TI típusú hajó dízeldizelgenerátor erőgépe

A négyütemű gépek felépítése összetettebb, mint a kétüteműeké, és emellett fajlagosan (tömegükre vonatkoztatva) kevesebb teljesítményt adnak le. A négyütemű gépek azonban kedvezőbb fogyasztással üzemelnek, és biztonságosabbak nagyobb fordulatszámnál. Ez az oka, hogy a négyütemű dízelmotor a leggyakoribb erőgép a világon, nagy stabil berendezések meghajtását

éppúgy elvégzik, mint a négyszemélyes személyautóét.



4.2.1.2.3 ábra A MAK551 V12 négyütemű dízelmotor hengerfeje

A négyütemű dízelmotor üzemanyaga általában dízel üzemanyag, amely sokkal drágább, mint a kétütemű dízelmotoroknál elfogadott nehéz üzemolaj. Az új konstrukciójú nagy négyütemű dízelmotorokhoz azonban már kifejlesztették a *nehézolaj előkészítő rendszert*, amely a nehézolajat a motor számára elégethetővé teszi. Már három évtizeddel ezelőtt gyártottak Magyarországon (Óbudai Hajógyár) olyan tolóhajókat a szovjet megrendelő részére,

amelyben a megrendelő által kifejlesztett előkészítő rendszer volt rendszeresítve.

A motorokat ebben a rendszerben dízel üzemanyaggal indítják, és mintegy fél óra alatt az üzemelő motor üzemi állapotra hozza azt a hevítő-szűrő berendezést, amely utána már a motort nehézzalajjal táplálja. A motor tartós leállítása előtt néhány percre ismét dízel üzemanyagot kell a motorba betáplálni, hogy a csövekből a nehézzalaj eltávozzék, és a hideg motorba a nehézzalaj ne fagyjon bele. Ez a rendszer már pénzügyileg vonzóbbá teszi a négyütemű motorokat a hajók üzemeltetői számára. A korábban említett komphajók mellett az egyre nagyobb teret hódító luxus személyhajók is elektromos rendszerrel működnek. Négy vagy öt *dízelgenerátort* alkalmaznak, amelyek energiát fejlesztenek a *propulziós elektromotorok* számára, ugyanerről a hálózatról működik azonban a „szállodahajó” többi fogyasztója is (világítás, fűtés, stb.). Ezeknél a hajóknál is az a cél, mint a komphajók esetén, hogy az aggregát minél kevesebb helyet foglaljon el, így több marad a fizető utasok számára. Ezeknél a hajóknál lényegében nincs főüzem és segédüzem, mivel minden elektromos energiáról üzemel.

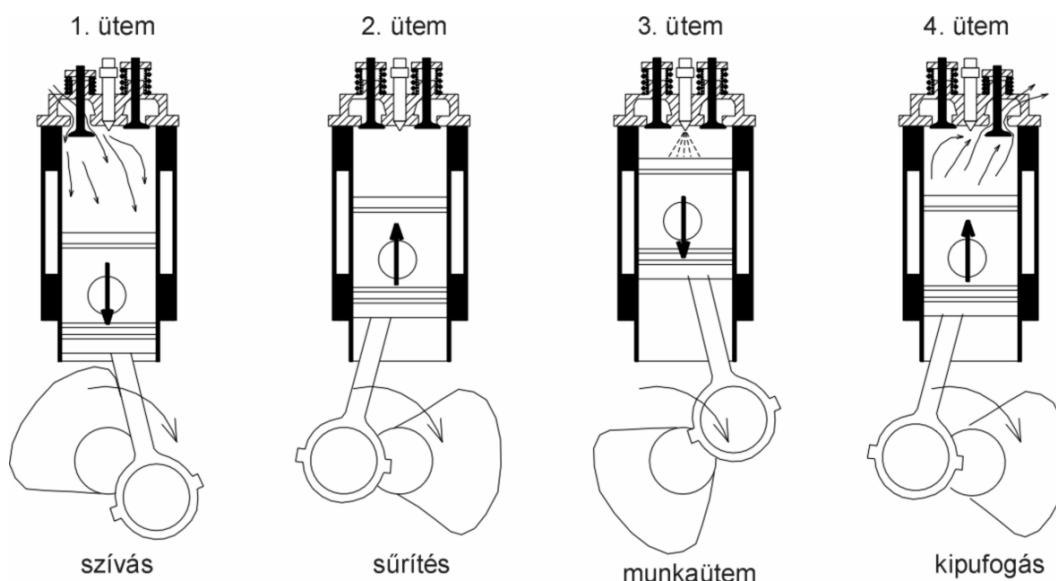
A négyütemű dízelmotorokat számos cég gyártja (vagy inkább építi), a legismertebb márkák a Caterpillar, Cummins, Detroit Diesel. A hajók esetében azonban a MAN (ez a cég fejlesztette ki Rudolph Diesel motorját), MAK, MTU, Wärtsilä, Deutz nevek jobban ismertek. A négyütemű dízelmotorok szokásos teljesítmény-tartománya 2 és 25.000 kW között van. A motorok felépítése soros vagy V. Az utóbbiban a V8, V12, V16, V20 a legelfogadottabb, a legnépszerűbb gép azonban a soros 6-hengeres dízelmotor.

Egy kisebb és egy jóval nagyobb teljesítményű négyütemű dízelmotorral meghajtott aggregát specifikációját mutatjuk be a következőkben szemléltetésként. Mindkettő a koreai Doosan (Inchon) cég gyártmánya.

| | |
|------------------------------------|--|
| A kisebb gép típusa: | AD034TI (hajó dízelgenerátor) |
| Tengeri minősítése: | ISO 3046 szerint |
| Maximális teljesítmény: | 55 kW (75 LE) 1800 1/min fordulatonál 42 kW (57 PS) 1500 1/min fordulatonál |
| Fő jellemzők: | |
| építésmód: | 4-hengeres, soros, közvetlen befecskendezésű, vízhűtéses, turbófeltöltővel és közbenső levegőhűtővel |
| furat x löket | 102 x 100 mm |
| hengerűrtartalom: | 3.268 cm ³ |
| kompresszió-viszony: | 17,2:1 |
| a forgattyús-tengely forgásiránya: | a lendkerék felől az órajárásnak megfelelő |
| gyújtássorrend: | 1-3-4-2 |
| kenőolaj térfogat a motorban: | 6,5 liter |
| hűtőfolyadék térfogat a motorban: | 17 liter |
| üzemolaj befecskendező szivattyú: | soros |
| fordulatszám-szabályozó: | elektromos |
| hűtés: | axiális ventilátorral |
| főméretek (L x W x H) | 789 x 702 x 773 mm |

Az aggregát nézetét a 4.2.1.2.2 ábra mutatja.

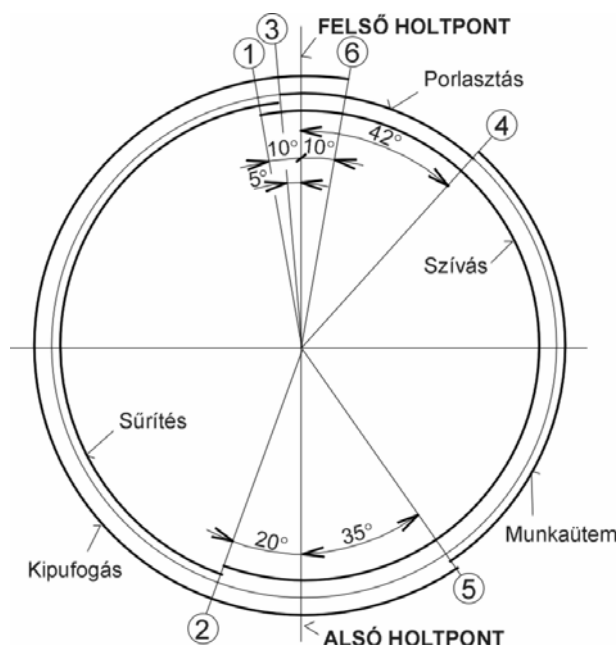
| | |
|------------------------------------|--|
| A másik motor típusa: | AD158TI (hajó dízelgenerátor) |
| Tengeri minősítése: | ISO 3046 szerint |
| Maximális teljesítmény: | 353 kW (480LE) 1800 1/min fordulatonál 302 kW (410LE) 1500 1/min fordulatonál |
| Fő jellemzők: | |
| építésmód: | 6-hengeres, V-elrendezésű, közvetlen befecskendezésű, vízhűtéses, turbófeltöltővel és közbenső levegőhűtővel |
| furat x löket | 128 x 142 mm |
| hengerűrtartalom: | 14.618 cm ³ |
| kompresszió-viszony: | 15:1 |
| a forgattyús-tengely forgásiránya: | a lendkerék felől az órajárásnak megfelelő |
| gyújtássorrend: | 1-5-3-6-2-4 |
| kenőolaj térfogat a motorban: | 31 liter |
| hűtőfolyadék térfogat a motorban: | 89 liter |
| üzemolaj befecskendező szivattyú: | soros |
| fordulatszám-szabályozó: | elektromos |
| hűtés: | axiális ventilátorral |
| főméretek (L x W x H) | 1037 x 1222 x 1074 mm |



4.2.1.2.4 ábra A négyütemű dízelmotor működési ciklusa

A négyütemű dízelmotor működése eltér a kétüteműétől. A legfontosabb különbség az, hogy az üzemanyag elégetéséhez szükséges levegő az égéstérbe a *szívószelepen* át áramlik be a dugattyú szívóhatására, vagy feltöltővel rendelkező motornál a közbenső légtartály nyomásától. A 4.2.1.2.3 ábra a hengerfejet mutatja. A szívó- és kipufogószelep(ek) a hengerfejben foglal(nak) helyet. A motor *működési ciklusa* a forgattyús tengely két fordulata alatt zajlik le, vagyis két dugattyúlöket alatt.

A 4.2.1.2.4 ábrán látható a négyütemű dízelmotor működés módja. A motor működése a dugattyú felső holtponthoz állásánál kezdődik. A 4.2.1.2.5 ábra a jobb érthetőség kedvéért a kördiagramot mutatja a négyütemű dízelmotorhoz.



4.2.1.2.5 ábra A négyütemű dízelmotor kördiagramja (1-2 szívás, 2-3 sűrítés, 3-4 üzemanyag porlasztás 4-5 munkaütem, 5-6 kipufogás)

A felső holtpontban a szívószelep nyitva van, a dugattyú szívóhatására a levegő beáramlik a hengerbe. Röviddel azelőtt, hogy a dugattyú elérné az alsó holtpontot, a szívószelep zárása megkezdődik, az alsó holtpont után bezárul. A dugattyú felfelé haladásakor mindkét szelep zárva van, a dugattyú összesűríti a beszívott levegőt a hengerben.

A sűrítés mértéke kb. 15:1 és 23:1 között van, a nyomás a sűrítés végén

kb. 42 bar. Az adiabatikus folyamatnál a levegő hőfoka felszökik.



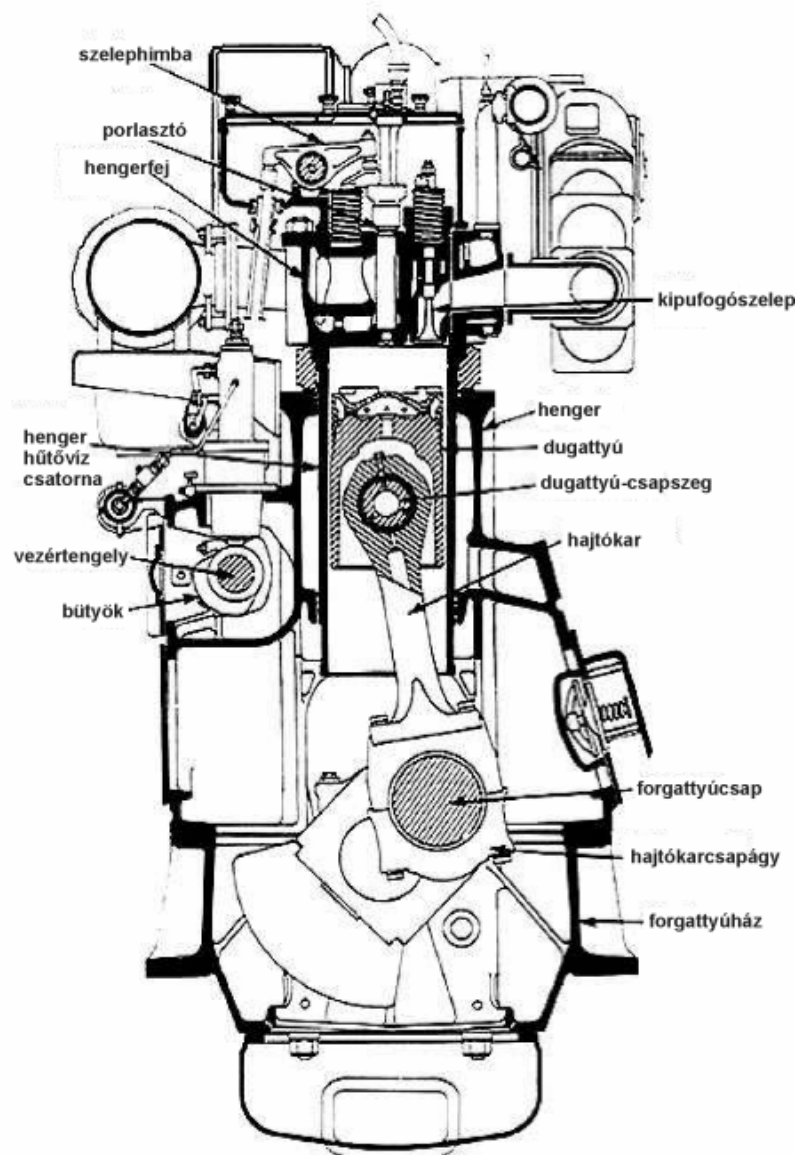
4.2.1.2.6 ábra Daihatsu gyármányú nagy teljesítményű dízelgenerátor

5-10 fokkal a felső holtpont előtt kezdődik az üzemanyag befecskendezése, az atomosan finom részecskék meggyulladnak és elégnak a magas hőmérséklettől. Égés közben a nyomás és ezzel a hőmérséklet tovább emelkedik. A

porlasztás a felső holtpont után kb. 42 foknál véget ér, ennek pontos mértékét a motor töltési állapota szabja meg.

Röviddel ezt követően éri el a hengerben a nyomás a maximális értéket, ezt hívják p_{\max} pontnak. A nyomás felső értéke 180-195 bar; ezt kell elviselniük a motor alkatrészeinek.

A nyomás a dugattyú felületére hat, azt lefelé löki, ez a mozgás a forgattyús tengelyen alakul át forgómozgássá, a nyomóerő forgatónyomatékká. Az alsó holtpont előtt kb. 35 fokkal kinyílik a kipufogószelep, és azon át távozik az égéstermék, amelynek hőmérséklete kb. 600°C. A dugattyú az alsó holtpont után felfelé halad és a nyitott kipufogószelepen át kihajtja a hengerből az égéstermékét. A felső holtpont előtt kb. 10 fokkal kinyíló szívószelep és a kipufogószelep együttes nyitott állapota segíti a henger átöblítését. Kevéssel a felső holtpont után bezárul a kipufogószelep, miközben a már leírt szívással a henger megtelik levegővel.



4.2.1.2.7 ábra Álló soros 4-ütemű dízelmotor keresztmetszete

4.2.1.3 Elektromos berendezések

Az elektromos és a segédüzemi rendszer szoros kapcsolatban áll egymással. A *segédgépek* hajtják meg az *elektromos áramfejlesztő generátorokat*, amelyek az elektromos energiát a hajó elektromos hálózatába táplálják. A hajó tehát éppen úgy önellátó energia szempontjából, mint egy város vagy egy nagyobb egység a szárazföldön.

Az elektromos hálózat kialakítása sem különbözik lényegesen egy települési egység hálózatától. Az osztályozó intézetek a termelt elektromos energia elosztását illetően meglehetősen nagy rugalmasságot tanúsítanak, azonban a rendszer tervezésénél alkalmazott elvek a maximális megbízhatóságot, az ellátás folyamatosságát, az üzemeltetés és karbantartás egyszerűségét és a változó terheléshez való alkalmazkodóképességet célozzák meg. Mindezek megvalósítását minimális súllyal, mérettel és költséggel kell elérni. Az alkalmazott rendszer végül is a teljesítmény függvénye. A II. Világháború előtti időszakban a teljesítmények kisebbek voltak, pl. 70 kW generátorteljesítmény egy tipikus áruszállító hajón. Csak a legnagyobb személyszállító hajók termeltek 2 MW energiát. A legtöbb fogyasztó *egyenáramú* volt, csak az 1950-es években kezdték a hajótulajdonosok megkövetelni a *váltakozó áramú* hálózatot. Ez a változás elsősorban a súly- és karbantartási költség megtakarításnak köszönhető, ami egyre fontosabb szempont lett a teljesítmények emelkedésével. A mai tipikus számértékek a következő tartományokba esnek.

| | |
|--|----------|
| 10.000 tonna hasznos teherbírású szárazárú szállító hajó | 1 MW |
| Tankhajó | 1,5-5 MW |
| Konténerszállító hajó (3,3 kV-os hálózat) | 8 MW |

A váltakozó áramú hálózat jelenleg szinte kizárólagos. Az energia elosztása a *kapcsolótáblában* csoportosan elhelyezett *főáramköri megszakítók*on keresztül történik, amelyek mindegyike a hajó valamelyik fő *fogyasztócsoportjához* (elektromos elosztórendszer, electrical distribution centre, EDC) tartozik.

Az EDC-től az elosztást 100 és 250 A teherbírású *zárt burkolatú megszakítók* végzik. A kisebb áramköröket maximálisan 30 A terhelésű *olvadó biztosítók* vagy *kis-automáták* védik. A 4,5 kW-nál nagyobb teljesítményű motorokat a nagy indítási áramfelvétel miatt rendszerint külön megszakítóval kell indítani. A fontosabb egységeket, mint pl. a kormánygép, *alternatív független táppal* látják el két egymástól független generátorról elkülönített kábeleken keresztül, amelyek közé *átkapcsolót* iktatnak. Azok sérülése esetére kiépítenek egy *véskábel rendszert* a teljes hajón, amely a lényeges funkciójú egységeket az éppen üzemben levő generátorról képes ellátni energiával.

A személyhajókon ki kell építeni *független vészvilágítási rendszert*.

Az elektromos hálózatoknál *szokásos feszültségértékek*:

| | |
|-------------------------------|--|
| kereskedelmi hajók, egyenáram | 220V (aljzatok és világítás) 110V kisebb hajókon |
| váltakozó áram | 440V/60Hz vagy 380V/50Hz 3,3kV/50 vagy 60Hz egyes hajókon |

| | | |
|------------|----------------|--|
| hadihajók, | váltakozó áram | 115V vagy 230V/60Hz (világítás) 440V/60Hz 3-fázis 115V/60Hz világításhoz és egyfázisú háztartási aljzatokhoz. |
|------------|----------------|--|

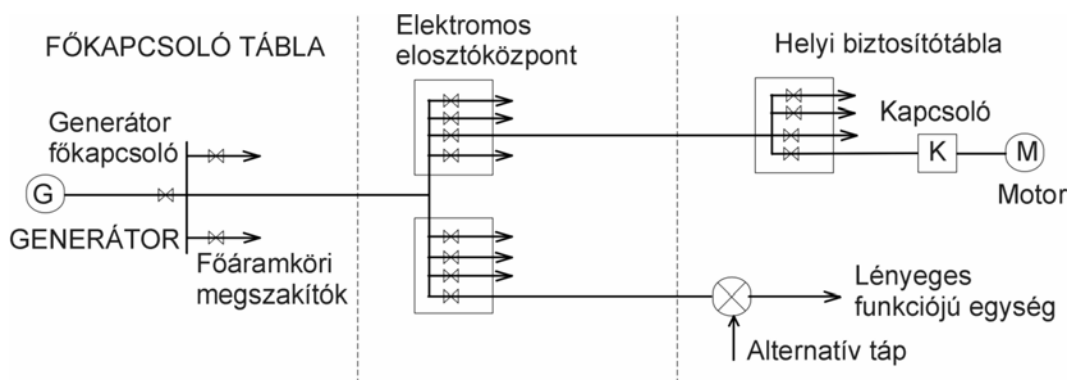
A modern hajók (a NATO hadihajókon rendszeresített megoldást követve) a *szigetelt semleges földelési rendszert* alkalmazzák, amely lehetővé teszi a folyamatos energiaellátást üzemzavar esetén is. A semleges földelésnél azonban lehetőség van az olcsóbb egypólusú kapcsolók és biztosítók használatára.

Ma is még sok hajótulajdonos előnyben részesíti a *közös merevsínes rendszert*, ahol a generátorok *párhuzamos üzemben* dolgoznak. Ez a rendszer maximális rugalmasságot biztosít, és minimális személyzetet igényel. A maximális teljesítményeket azonban a *megszakítók névleges értéke* szabja meg, pl. ha a megszakítók 100 kA-esek, a rendszer teljesítménye korlátozva van 1.800 kW-ra 240 V egyenáramnál, illetve 3.000 kW-ra 440 V váltakozó áram esetén. További hátrányai a rendszernek, hogy a *főkapcsoló táblában* bekövetkező üzemzavarnál teljes áramszünet áll be, valamint, hogy csak akkor lehet a karbantartást elvégezni, amikor a hajó le van állítva.

Alternatíva lehet az *osztott-sínes rendszer*, amely nagyobb biztonságot garantál az ellátásban, és lehetővé teszi a karbantartást a sínrendszert egyik felén.

A generátorokon termelt váltakozó feszültséget átalakítják, ha egyenáramú fogyasztókról vagy más frekvenciájú váltakozó feszültséget igénylő fogyasztókról van szó. Az előzőt *transzformátor* és *egyenirányító* biztosítja, az utóbbit *sztatikus frekvencia-konverterek*. Ez a két átalakító megváltoztatja a szinuszhullámot, így bármilyen jelet lehet létrehozni a hajón az elektromos készülékek számára.

A tipikus elektromos hálózat leegyszerűsített sémája a 4.2.1.3.1 ábrán látható.



4.2.1.3.1 ábra Elektromos séma

4.2.1.4 Segédüzemi berendezések

Segédüzem alatt a klasszikus felfogás szerint minden olyan gépet és berendezést értünk, amely a géptérben helyezkedik el, és nem a propulziót szolgálja. Ehhez képest ma már a hajótervezőnek ki kell bővítenie a fogalmat, mivel a segédüzemi berendezések az esetek

döntő többségében elektromos energiát igényelnek, amelyet a segédgépekkel meghajtott generátorok fejlesztenek, és azok teljesítményének meghatározása csak a segédüzemi energia-felvétel alapján végezhető el. A *géptérben levő berendezések* mellett tehát a *fedélzeti berendezéseket* is bele kell foglalni a fogyasztók körébe. Emellett a világítás és az elektromos dugaszoló aljzatokról működtetett készülékek is energiát fogyasztanak.

4.2.1.4.1 Segédüzemi hálózat energiaigénye

Első közelítésként ehhez a tervezési folyamat során tengeri hajók esetén a főgépek teljesítményének kb. 20%-át tételezik fel. Folyami hajóknál ennél valamivel kisebb segédgép teljesítménye elegendő. A lehető leggazdaságosabb üzemi paraméterek elérése érdekében arra kell törekedni, hogy az erőgépek üzemi teljesítményük közelében legyenek igénybe véve. Emiatt nem egyetlen dízelgenerátort építenek be, hanem egy kisebb és egy nagyobb teljesítményűt, esetleg a nagyobb teljesítményűből két azonos gépet. Ilyenkor biztosítva van, hogy mindig annyi energia álljon rendelkezésre, amennyi szükséges, emellett az üzemben levő dízelmotor ne járjon üresjáratban, mert fajlagos fogyasztása kedvezőtlen lenne. A párhuzamos üzem lehetőségét mindenképpen biztosítani kell, erről az előző pontban volt szó.

A tervezésnek abban a stádiumában, amikor a segédüzemi berendezések (szivattyúk, fedélzeti gépek, világítótestek, stb.) már mind pontosan ismertek, a következő *egyidejűségi táblázathoz* hasonlókat kell elkészíteni, amelynek sorai egy-egy fogyasztónak vagy fogyasztó csoportnak felelnek meg, oszlopai pedig egy-egy üzemi állapotnak. A hajók funkciójának jellege miatt a csővezetékek képezik a legfőbb rendszereket, ezek kiszolgálását pedig szivattyúk végzik. Emiatt az elektromos energiaigénynek legalább 30%-át a szivattyúk teszik ki. A szivattyúk motorja alaposan túl van méretezve, ezért a segédüzemi rendszerek is általában túlméretezettek.

Az igazi nagy elektromos fogyasztókat a fedélzeti gépek adják. Ezek üzeme sok bizonytalan tényezőtől függ, pl. a horgonycsörlő névleges teljesítménye a segédgépek teljesítményébe biztonságosan belefér, amikor azonban a horgony felhúzásakor a csörlő motorja egy-egy pillanatra névleges teljesítményének akár kétszeresét is felveszi, a dízelgenerátor fordulatszám-szabályozója kemény feladat előtt áll. Ugyanez a helyzet a rakodó-, ill. kikötő-berendezésekkel és a vontatócsörlővel is.

Egyidejűségi táblázat

| | Menet nappal | Menet éjjel | Állás nappal | Állás éjjel | Kikötés | Rakodás | Stb. |
|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|---------|---------|------|
| Világítás 1 | | | | | | | |
| Világítás 2 | | | | | | | |
| stb. | | | | | | | |
| Szivattyú 1 | | | | | | | |
| stb. | | | | | | | |
| Csőrlő 1 | | | | | | | |
| stb. | | | | | | | |
| stb. | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

| | | | | | | | |
|---------------------|------------|------------|------|--|--|--|--|
| | | | | | | | |
| Összesen $\Sigma 1$ | $\Sigma 2$ | $\Sigma 3$ | stb. | | | | |

A táblázat rendkívül terjedelmes lehet a lehetséges üzemmódok és fogyasztók nagy választéka miatt. Az előforduló valamennyi változatot meg kell vizsgálni. Az egyes fogyasztók bekapcsolásának valószínűségi tényezőjét is meg kell határozni, mert 100% valószínűséget feltételezve a segédüzemi dízelgenerátorok teljesítménye túl nagyra adódik, a gyakorlat pedig azt igazolja, hogy arra nincs szükség. A táblázatba az egyidejűségi tényezővel csökkentett teljesítményigényt kell beírni.

4.2.1.4.2 Segédüzemi berendezések kiválasztási szempontjai

Amint az előző pontból láthattuk, a hajó segédgépeinek teljesítményét az határozza meg, milyen fogyasztók kerülnek bele az egyidejűségi táblázatba, és azok az idő milyen arányában vannak a hálózatra kapcsolva. Nem elhanyagolható fontosságú tehát a szivattyúk és egyéb gépek kiválasztásának pontos elvégzése.

A segédüzemi berendezéseket a következő csoportokba lehet osztani:

- világítás és személyi elektromos fogyasztás,
- géptéri és egyéb üzemi berendezések,
- fedélzeti berendezések.

A világítás és a dugaszoló aljzatokról működő készülékek személyi fogyasztása a hajó elektromos rendszerének tervezésekor határozható meg. Elemei nem különböznek a szokásos építészeti elektromos szerelvényektől.

A géptéri és fedélzeti gépek paraméterei azonban döntően befolyásolják a segédüzem teljesítményigényét, ezért annak berendezéseit részletesen érdemes tárgyalni.

4.2.1.4.2.1 Géptéri és egyéb üzemi berendezések

A fenékvízrendszer szivattyúi

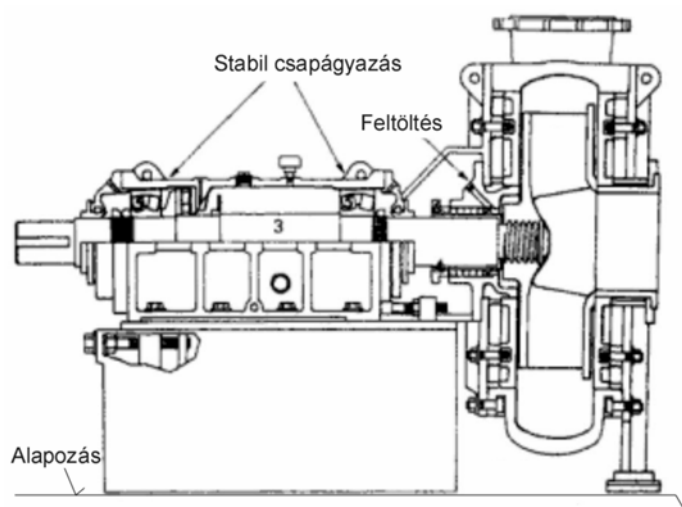
A fenékvíz eltávolítására szolgáló csővezetéknek három szivattyú szolgálhatja ki: fenék-, ballaszt és vészüzemi szivattyú.

A *fenékvíz szivattyú* teljesítményének megállapításakor az alapelv az, hogy minden csővezetékben legalább 2 m/sec áramlási sebességet létre kell hoznia. A géphajóknál a fenékszivattyúnak tartalékkal kell rendelkeznie, ez lehet a főgépen elhelyezett, arról meghajtott segédberendezés. Az ilyen szivattyú rendszerint dugattyús gép, amelynek feladata a géptéri (olajjal szennyezett) fenékvíz eltávolítása.

A fenékvíz szivattyú helyettesítésére használt szivattyú lehet a legtöbb esetben a *ballasztzivattyú*. Amennyiben a főgépről nem lehet vészüzemi szivattyút működtetni, akkor rendszeresíteni kell elektromos meghatású ilyen szivattyút.

A fenékvíz szívására használt szivattyúknak *önfelszívó rendszerűeknek* kell lenniük vagy biztosítani kell a *szivattyúk feltöltését* és a szívóvezetékben levő víz elfolyásának megakadályozását *visszacsapó szelep* alkalmazásával. Ennek alternatívája lehet, ha van olyan tér, amelyből a fenékvíz a szivattyúhoz gravitációs hozzáfolyással jut el.

A szivattyúk kiválasztásakor a *szivattyú karakterisztikája* (jelleggörbéje) döntő.



4.2.1.4.2.1.1 ábra
Fenékszivattyúnak alkalmas
centrifugál szivattyú

Fenékvíz szivattyúnak olyan gépet kell kiválasztani, amelynek *szállítómagassága* kicsi, de a *szállított folyadék mennyisége* tekintélyes.

Fenékszivattyúnál nagyon lényeges dolog az is, hogy alkalmas legyen szennyezett folyadékok szállítására, mivel a fenékvíz gyakran sodor magával

darabos szennyeződések, amelyek a *szívókosár* lyukain is átjutnak.

A 4.2.1.4.2.1.1 ábra egy ilyen centrifugál szivattyút mutat.

Ballasztzivattyú

A *ballasztzivattyú* funkcióit az határozza meg, milyen hajótípusról van szó. Amint már láttuk, a tankhajóknál a rakománytöltő rendszernek a ballasztvíz rendszer a legtöbb esetben részét képezi. A többi hajó esetében a ballasztolás érdekében külön tankokat és csőrendszert rendszeresítenek.

Az előzők szerint a ballasztzivattyúnak a fenékvíz szivattyú helyettesítését is el kell tudni látnia. A ballasztzivattyúnál a fenékvíz szivattyúhoz hasonlóan a szállított vízmennyiség a legfontosabb paraméter.

A hajó trimszámításai során kiderül, hol és mekkora ballaszttankokat kell elhelyezni ahhoz, hogy a hajó rakomány nélkül megfelelő úszáshelyzetbe kerüljön. A ballaszttankok méretének függvényében a töltő és ürítő csővezetékek méretét az alábbi táblázat határozza meg.

| Ballasztvezetékek mérete | |
|---|---|
| <i>Ballaszttank térfogata [m³]</i> | <i>Cső minimális névleges átmérője [mm]</i> |
| 20 alatt | 60 |
| 20-40 | 70 |
| 40-75 | 80 |
| 75-120 | 90 |
| 190-265 | 115 |

A *ballasztzivattyú teljesítményének* elegendőnek kell lennie ahhoz, hogy a legnagyobb ballaszttank töltését vagy ürítését maximálisan 1 óra alatt el tudja végezni.

A szivattyú elhelyezésénél követelmény, hogy az a vízfelszín alatt legyen. Ez azt is lehetővé teszi, hogy fenékszivattyúként alkalmazva a külső vízből feltölthető legyen.

Tankhajók rakományszivattyúi

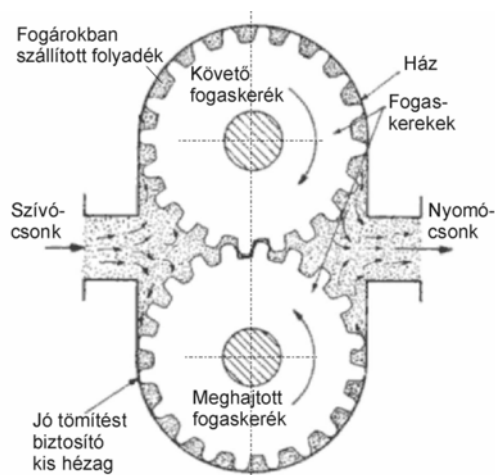
A korszerű tankhajókon használt *rakodószivattyúk* általában centrifugál szivattyúk, vagy turbinameghajtásúak fogaskerék-hajtóművel vagy motoros meghajtásúak, szállítóteljesítményük nagyon nagy, a nagyobb tankhajókon használt berendezéseké akár $3.500 \text{ m}^3/\text{h}$ is lehet. Emiatt a nagy teljesítmény miatt nem alkalmasak arra, hogy a tankokat teljesen kiürítsék, a *maradék kiszívására* dugattyús szivattyúkat használnak, amelyek teljesítménye kb. $350 \text{ m}^3/\text{h}$, és külön csőrendszerhez vannak kapcsolva. A legújabb fejlesztéseknél hidraulikus meghajtású egyedi búvárszivattyúkat használnak a rakománytankokban, ehhez egyetlen nyomóvezeték szükséges csak, a megszokott szivattyú tér pedig elhagyható.

Üzemanyag szivattyúk

Az *üzemanyag szivattyúk*nak önfelszívónak kell lenniük, és ökölszabályként ezer lóerőnként $30 \text{ m}^3/\text{h}$ folyadékszállítási teljesítményt követelnek meg. Üzemanyag szivattyúból rendszerint kettőt telepítenek a géptérben.

Kenőolaj szivattyúk

A kenőolaj rendszer kialakítása az üzemanyag rendszeréhez hasonlóan két fő feladat teljesítésének van alárendelve, a hajón levő kenőolaj készlet behajózása (kivételes esetekben kihajózása), tárolása és kezelése, valamint a gépek ellátása.



4.2.1.4.2.1.3 ábra Fogaskerék-szivattyú

Emellett felmerül azonban a harmadik jelentős feladat is, ami abból adódik, hogy az üzemanyaggal szemben a kenőolaj nem egyszerűen elfogy, hanem friss olajból *fáradt olajj*á változik az egyes gépekre jellemző adott üzemidő során. Emiatt tehát azzal is foglalkozni kell, hogy a gépekből kinyert fáradt olajat szükséges tárolni és kikötőbe érkezéskor a hajóból eltávolítani. A rendszer első funkciója viszonylag egyszerű: a kenőolaj betöltő nyíláson át zárt

rendszerben a tankhajóból vagy parti töltőállomásról a hajó kenőolaj tankjába kerül. A készlet eljuttatását az egyes gépek saját zárt rendszeréhez a kenőolaj szivattyúval lehet elvégezni. Ez a szivattyú elektromos meghajtású örvényszivattyú vagy *fogaskerék-szivattyú* lehet.

A 4.2.1.4.2.1.3 ábra mutatja egy fogaskerék-szivattyú működési elvét.

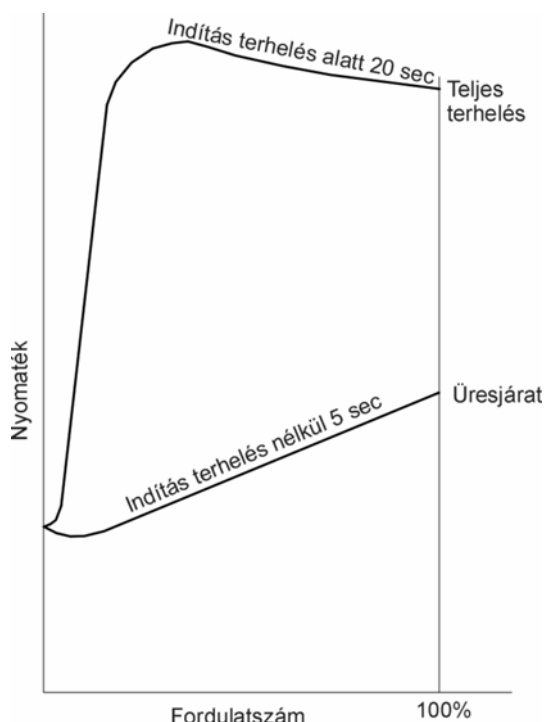
Levegőrendszer kompresszorai

A hajókon számos feladat csak *sűrített levegővel* oldható meg. Ezek általában:

- főüzemi *dízelmotorok* indítása,
- *hajókürt* és jelzőrendszerek működtetése,
- *fenékszelep* kifúvatása,

- szennyvízszelepek tisztítása,
- egyes esetekben a hajó fűtését és melegvíz ellátását végző *olajkazan táplálása*,
- *kéziszerszámok működtetése*.

A sűrített levegő tárolására *légpalackok* szolgálnak, előállítását *kompresszorok* végzik.



4.2.1.4.2.1.4 ábra Dugattyús kompresszor jelleggörbéje

Rendszerint van elektromosan vagy közvetlenül egy külön erőgépről meghajtott *segédüzemi kompresszor* és a főgépekre is rá van építve az úgy nevezett *tengelykompresszor*. Ezek mindegyike nagy teljesítményű, általában többhengeres dugattyús kompresszor.

A légpalackok összes űrtartalmát a légszükséglet ismeretében lehet meghatározni. A gépek gyártói megadják *egy indítás levegőszükségletét*, a többi szükséglet mellett a főgépek 10-16-szoros indítását kell tudni biztosítani anélkül, hogy a segédüzemi kompresszort be kellene indítani.

Hűtővíz vészüzemi szivattyú

Abban az esetben, ha a hajó egyetlen főgéppel rendelkezik, biztosítani kell, hogy amennyiben a főgép saját vízszivattyúinak valamelyike meghibásodik, elektromos szivattyú lássa el a kiesett gép funkcióját.

Vízellátó rendszer szivattyúi

A hajó vízellátó rendszerének alapvetően két különféle feladatot kell teljesítenie. Egyik az ivóvíz minőségű vizet igénylő funkciók összessége, a másik az olyan műveletekhez szükséges víz biztosítása, ahol higiéniai és tisztaság szempontjából elegendő a külső víz használata. A két vízminőség két független rendszert követel meg, ezek külön szivattyúval működnek.

Mindkét rendszer nyomását *hidrofor tartály* biztosítja. A rendszerek nyomása csak a nagy személyhajókon éri el a városi hálózatok értékét (kb. 6 bar), a kereskedelmi hajókon a rendszer túlnyomása 1-2,5 bar.

Egyre több nagy személyszállító hajó rendelkezik nagy kapacitású alacsony-nyomású *desztilláló berendezéssel*, amellyel az út során édesvizet tudnak előállítani, ugyanis a nagy fogyasztás miatt tekintélyes méretű tankokat kellene beépíteni. A vízdesztilláló berendezés is elektromos energiával működik. A melegvíz eredetileg a hideg

ivóvízrendszerből származik, de melegítését az esetek többségében *elektromos hőtároló bojler*ek végzik.

A *szaniter vízrendszer* a toalették öblítéséhez és hasonló célokra szolgáltatja a tengervizet, a teherhajókon lehet a szivattyú hidro-pneumatikus meghajtású, a személyhajókon azonban, ahol nagyobbak az igények, a szivattyúnak folyamatosan működnie kell, tehát elektromos fogyasztóként jelenik meg, bár megoldható a külsővíz hidrofor feltöltése a főgép külsővíz szivattyújával is.

A *vízigény számítására* a hajóosztályozó intézetek előírásait kell figyelembe venni. A számításnál a legfontosabb három tényező a hajó kategóriája, az ellátandó létszám és a hajó akciósugara. Ökölszabályként 10 litert lehet számítani naponta fejenként ivóvízből és 20 litert mosdásra illetve hasonló felhasználásra.

Fűtő-csőrendszer keringető szivattyúi, légkondicionálás

A hajók lakóterének illetve a személyhajók utasterének fűtése az épületgépészet megoldásait alkalmazza. A többszintes rendszerek ágakra vannak osztva, nagyobb rendszerbe számos szivattyút kell beépíteni, ezek folyamatos üzemben dolgoznak. A klimatikus és időjárási viszonyok függvényében vagy fűtés vagy klimatizáció szükséges a megfelelő hőmérséklet tartásához, a *légkondicionáló rendszer* szintén elektromos energiára épül.

Szellőző-szellőztető rendszer, hűtés

A lakó- és utaster a fűtés és légkondicionálás üzemen kívül helyezésekor is igényli a szellőztetést, amelyet elektromos energiával működő ventilátorok végeznek. A rakterek szellőztetése a legtöbb hajón a menetszél és a természetes széljárás felhasználásával természetes módon történik, aminek nincs energiaigénye. Az élelmiszereket szállító hajók azonban folyamatos gépi szellőztetéssel vannak felszerelve, amennyiben hűtött vagy fagyasztott árut szállítanak (esetleg hűtőkonténerekben), ehhez járul az alacsony hőmérséklet megtartásához szükséges berendezések fogyasztása is.

Vízmentes válaszfalzáró ajtók működtetése

Olyan hajókon, ahol a lékszámítás alapján kiosztott vízmentes tereket egymástól elválasztó válaszfalakon át kell haladni, pl. nagyobb személyhajók esetében, vészhelyzetben ezeket egyidejűleg le kell zárni. A gépi zárású vízmentes ajtók ehhez energiát vesznek fel, amelyet figyelembe kell venni.

4.2.1.4.2.2 Fedélzeti berendezések

A *fedélzeti berendezések* használati céljuknak megfelelően általában nem egyidejűleg jelentkeznek fogyasztóként. A kormánygép és a hajó haladásához szükséges vezérlő rendszerek menet közben vesznek fel energiát. A kikötő- és horgonyberendezések kikötőben vagy egyéb rendeltetési helyen fogyasztanak. A rakodáshoz használt gépi berendezések szintén kikötőben vagy másik hajóra történő átrakás esetén jelentkeznek fogyasztóként. Ezeket a körülményeket az egyidejűségi táblázat veszi figyelembe.

Kormányberendezés

Menetben a hajó a menettulajdonságok vizsgálatánál ismerttetett okok miatt gyakori pályakorrekciókra kényszerül. Ez azt jelenti, hogy a kormánygép a kormányerők számításánál meghatározott nyomatéknak megfelelő elektromos energiát vesz fel. A korrekciók a kormány kis kitérítési szögénél történnek, ezért a kormánygép teljesítménye nincs kihasználva, amit szintén az egyidejűségi táblázat kitöltésénél veszünk figyelembe.

Amikor a hajó fordulást hajt végre, a kormánylapáton ébredő nagyobb erők miatt a teljes teljesítménnyel kell számolni.

Kikötőben a kormányzást a sugárkormányok végzik, ezek jelentkeznek fogyasztóként.

Kikötő- és rakodó-berendezések

A hajón levő berendezések specifikációja alapján kell az egyidejűségi táblázat adatait értelemszerűen beírni.

4.2.2 Rendszerek

A hajó feladata a legtöbb esetben a fedélzet alatt és a fedélzeten elhelyezett rakomány elszállítása a kiindulási kikötőből a célkikötőbe, ez a rakomány lehet darabáru, ömlesztett áru, folyékony és légnemű anyag, hűtött élelmiszer, élő állat, stb., de végső soron a személyszállító hajón utazó utasok is tulajdonképpen rakománynak foghatók fel. Vannak más hajók is, amelyek nem áruszállításra épültek, amilyenek a hadihajók és a tudományos kutatóhajók, ezek funkcióit feladatuk határozza meg. Ez azt jelenti, hogy a hajónak olyan berendezésekkel és rendszerekkel kell rendelkeznie, amelyek ezeknek a feladatoknak a teljesítését teszik lehetővé. A hajó tehát bonyolult egység, amely szinte minden funkciót képes ellátni, időnként még tökéletesebben, mint egy város védelmi és közművei, amelyek megteremtik a hajón tartózkodó emberek életfeltételeit. Természetesen a különböző hajókat kategóriák más-más feladatot teljesítenek. Ez kihangsúlyozza a különbözőségeket közöttük, amelyeknek egyébként történelmi, fejlődési jellemvonásaik is vannak. A hajókat kategóriák ismertetése a 3. fejezetben található.

A vitorlás korszakban, amely a tengeri és folyami hajózás leghosszabb periódusa volt, hiszen már a régi egyiptomiak és görögök is használták a vitorla hajtóerejét a hajók propulziójához, bár az ő esetükben a szélcsendes időszakokban és a folyamok erős sodrásában kéznél voltak az evezők is (a legenda szerint a ma legelterjedtebb vitorlatípus, a háromszögletű latin vitorla feltalálása a Krisztus előtti 16. században Krétának köszönhető, bár maga a mester a viaszolt szárnyairól ismert Daidalosz volt, aki Athén polgáraként krétai fogságban volt Minosz udvarában), a hajókon ma megtalálható rendszereknek csak nyomai voltak felfedezhetők. A vitorlás kor legelején a hajók még part-menti útvonalakat követtek, a nyílt tengert a pontos tájékozódás hiánya miatt elkerülték. A rendszerek többségére nem volt szükség, de műszakilag nem is volt megvalósítható azok összeépítése. A vitorlás hajók utolsó évtizedeiben, amikor azok még egy ideig versenyezni tudtak a géphajókkal, a technika már lehetővé tette a mai rendszerek egy részének olyan fejlődését, amelynek eredményei változatlan formában ma is megtalálhatóak a korszerű hajókon. Ilyen pl. a menetszél kihasználására alapozott szellőztető rendszerek, szondák, stb.

A géphajók új rendszereket tettek szükségessé, ezek voltak a fő- és segédüzemi gépeket kiszolgáló rendszerek. A gőzzel meghajtott óceánjárók pedig az utasok életviteléhez elengedhetetlen rendszereket hívták életre. Ezek szinte azonnal megtalálták helyüket az áruszállító hajókon is, természetesen ezek színvonala mindig a társadalom általános fejlettségi szintjét és igényeit tükrözte. Ma már nem engedhető meg például a szennyvíz közvetlen kidobása vagy a zuhanyozáshoz a tengervíz alkalmazása. A kezdeti időszakban azonban ez természetes volt mindenkinek.

A legutóbbi évtizedek során a műszaki fejlődés és a társadalmi igények szintje egymást ösztönözte. Az utóbbi négy évtizedben bekövetkezett fejlődésnek köszönhetően a hajók gépberendezéseinek és rendszereinek vezérlése már nem az ember közvetlen feladata, azt részben automatikus egységek vették át, a legtöbb helyen azonban számítógépes háttér biztosítja. Ennek megfelelően nemcsak maguk a rendszerek, hanem az azokat kiszolgáló segédüzemi berendezések is (ld. 4.2.1.4. fejezet) képesek az ember érdekében, de annak közvetlen beavatkozása nélkül teljesíteni feladatukat.

A hajók rendszereit a következő négy nagy csoportba lehet sorolni.

1. A hajó mint önálló egység szükségleteit kiszolgáló rendszerek.
2. A hajó védelmére szolgáló rendszerek.
3. A gépi berendezéseket kiszolgáló rendszerek.
4. A személyzet és az utasok életfeltételeit biztosító rendszerek.

A négy csoport egyes rendszerei az esetek többségében egymástól teljesen függetlenek, vannak azonban olyanok is, amelyek között van funkcionális kapcsolat.

A csövek anyaga

A csövek anyagának kiválasztásakor a következő három fő szempontot kell figyelembe venni:

- biztonság: az anyagnak teljesítenie kell azokat a követelményeket, amelyek a biztonságos üzemeltetéshez szükségesek, ugyanakkor olyannak kell lennie, amely nem veszélyeztetni semmilyen módon az emberek egészségét és életét;
- gazdaságosság: lehetőleg könnyűnek és olcsónak kell lennie, mivel mindkét paraméter a hajó használhatóságát segíti elő;
- műszaki megalapozottság: a rendszerek elemeinek a helyszínen könnyen javíthatónak vagy cserélhetőnek és szakmühelyben javíthatónak kell lenniük.

Az 5. részben ismertetett hajóépítési előírások kimerítően szabályozzák a rendszerekhez felhasznált anyagok valamennyi paraméterét és komoly követelményeket állítanak velük szemben. Ennek fő oka az a törekvés, hogy a rendszerek üzeme megbízható legyen, ennek a megbízhatóságnak minden tekintetben nagyobbnak kell lennie a szárazföldön kiépített stabil rendszerek üzembiztonságánál, hiszen üzemzavar esetén a hajó rendszerint magára van utalva.

Mivel a rendszerek a hajótesthez vannak rögzítve és annak részét képezik, a hajótest minden mozgását követik, ami komoly fizikai igénybevételnek teszi ki őket. Ez az igénybevétel függ a csőmérettől, ezért a kisebb átmérőjű vezetékek esetén, 20 mm alatt, megengedett a varratos gázcsövek alkalmazása. Felette azonban csak varrat nélküli gyártási eljárással készült csöveket szabad beépíteni. A csövek horganyozhatósága alapkövetelmény.

A vízrendszerekhez elfogadott gyakorlat az acélcsövek használata, tengeri hajóknál a horganyzott kivitel szintén alapkövetelmény.

Rendszertípustól függetlenül vörösréz alkalmazása a gyakorlat olyan helyen, ahol szűk helyek vannak, ezért kis sugáron kell a vezetéket meghajlítani, illetve nagyon kis átmérők esetén, mivel a vörösréz szívós anyag, vagy ahol a korrózió veszélye nagyobb, valamint az olyan csőszakaszoknál, ahol a rezgést nem lehet kiküszöbölni. A vörösréz hátránya azonban, hogy drága, ezért előfordul, hogy sárgarézzel helyettesítik. A réz csőanyagként nagyobb múlttal rendelkezik az acélnál, a régebbi építésű (20. század elején épített) hajókban valamennyi cső rézből készült.

Az öntöttvas csövek hajóknál szinte soha nem fordulnak elő az anyag ridegsége miatt. Helyettesítése általában acéllal történik, de a műanyagok megbízhatóvá válása azok

térhódítását is elősegítette. Ez ellen két tényező hat: tűzveszélyesség és egészségvédelem, ezeket gyakran együtt kell figyelembe venni.

Az ólom szerepe mindig korlátozott volt, azt is teljesen kiszorították a műanyagok. Az ólom fő hátránya az egészségre való ártalom és a rugalmatlanság. Ez utóbbi tulajdonsága miatt a rezgés kitágítja a csövet és szivárgás indul meg.

A sárgaréztől beszéltünk már, korrózióálló tulajdonsága miatt egyes helyeken helyettesíti a vörösréz, mivel azonban rideg, nagyobb szilárdsági igénybevétel esetén nem alkalmazható.

A műanyag hajóépítési alkalmazása egyre jelentősebb, amióta a hajóosztályozó intézetek hosszú megfontolás után elfogadták. Főként az acél (víz) és az öntöttvas (szennyvíz) csövek korábbi felhasználási területén találkozunk velük. A műanyag fő előnyei között a korrózióállóság és a kisebb súly említhető meg. A hajóépítéshez alkalmazható műanyag csövekhez és csőidomokhoz a Roxtec világcég által gyártott tömítőelemek használhatóak. Ez a konstrukció még a víz- és tűzmentes válaszfalak átvezetéseinél is beépíthető.

4.2.2.1 A hajó mint önálló egység szükségleteit kiszolgáló rendszerek

A hajók mindegyikén, függetlenül attól, hogy mi a fő feladata és milyen típusba sorolható, megtalálhatók a következő rendszerek:

- vízvételvező rendszer,
- fenékvízrendszer,
- szellőztető rendszer,
- szondarendszer.

Ezekon kívül áruszállító és hadihajók esetében szükség van ballasztvízrendszerre (általában a fenékvíz-rendszerrel van egyesítve), folyékony árut szállító hajóknál (tankhajóknál) és gáznemű rakomány szállítására szolgáló hajóknál pedig töltőcső-rendszerre.

4.2.2.1.1 Vízvételvező rendszer

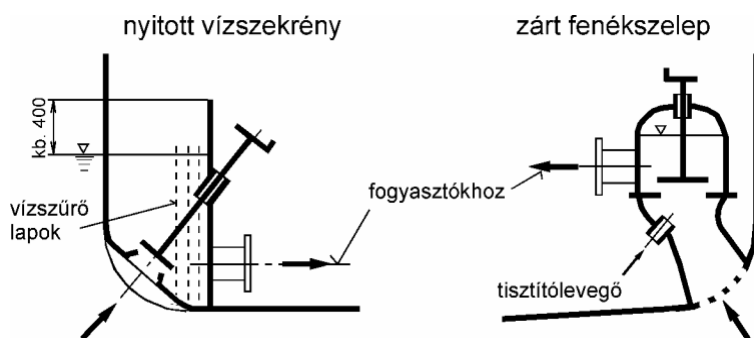
A hajó számos funkciójához hozzátartozik a környező víztér (folyókák, tavak, tengerek) közegének felhasználása. Nem képzelhető el a főgépek hűtése, a személyzet és utasok által használt toailettek öblítése, a ballaszttartályok megtöltése, tűz esetén a tűzoltószivattyú vízzel való ellátása, stb. anélkül, hogy a hajó fő- és segédüzeme hozzá ne juthatna a külső vízhez.

A géphajók előtti időben a vödör volt a fő ilyen eszköz. Alapszabály volt, hogy a hajótest vízmentességét minden körülmények között fenn kell tartani az úszóképesség megőrzéséhez. Ez a szabály ma is érvényes, de módosítással. A hajótest maga vízmentes, de van mindkét medersorban egy nagyobb méretű nyílás, amelyet a *fenékszeleppel* lehet lezárni. A nyíláson át a víz a hajótesten belül kialakított zárt *vízszekrénybe* jut, amelynek kivitele folyami hajóknál olyan, hogy oldalfala a minimális oldalmagasság mértékének figyelembe vételével a vízszint fölé nyúlik, de egyébként

felül nyitott. Tengeri hajók esetében, ahol a hullámozás hatása sokkal jelentősebb, zárt konstrukciót kell alkalmazni.

Ahol tehát a csőrendszer szivattyúja a vizet a hajón kívülről kell, hogy beszívja, pl. a tűzoltó és fedélzetmosó csőrendszer esetében, de ugyanígy a ballaszt és a gépek hűtőrendszere is ezt igényli, a víz beeresztésére szolgáló szelepet erre a megfelelően kialakított szekrényre kell csatlakoztatni, amely teljes egészében a hajó vízvonal alatti részén a héjlemezen belül van kialakítva, és amely tartalmazza a külső víz beáramlására szolgáló nyílásokat (ld. 4.2.2.1.1.1 és 4.2.2.1.1.2 ábra). Ezeknek a nyílásoknak lekerekített peremmel kell rendelkezniük, és amennyire lehetőség van rá, a medersori lemezsoron kívül kell elhelyezkedniük. A vízszekrény lemezének azonos vastagságúnak kell lennie, mint a környező héjlemez, és semmiképpen sem lehet vékonyabb 12,5 mm-nél, viszont a 25 mm-t nem kell meghaladnia. Tankhajók esetében, ha a vízszekrény külső nyílásai a hajó hosszának középső 40%-án belül helyezkednek el, az a követelmény, hogy a gyengítés miatt *kompenzációs betétlemezt* kell alkalmazni a héjlemezen. A nyílásra *rácsot* lehet helyezni, és *fogyó anódot* kell felszerelni, mivel a szelep és a vízszekrény anyaga galvanikus elemet képez (ld. 4.1.3.8 fejezet).

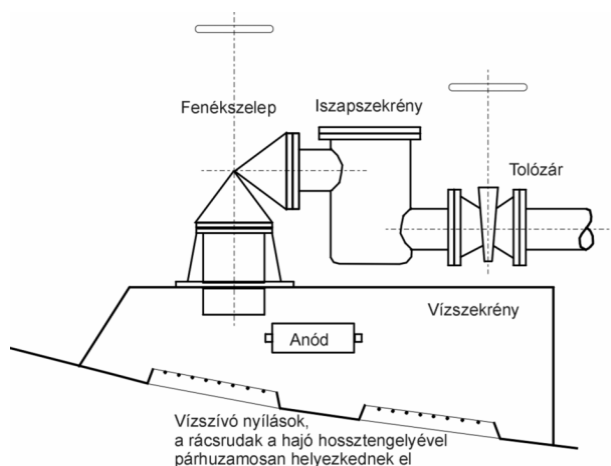
A következő ábrán nyitott és zárt fenékszelep konstrukció látható a vízvételző fővezetékkel.



4.2.2.1.1.1 ábra Nyitott és zárt vízvételző rendszer

A fenékszelep kinyitásával a vízszekrény megtelik (nyitott szekrény) a vízvonallal. A kétoldali vízszekrény össze van kötve a fő vízvételző

csővel, amelyről az összes külsővíz fogyasztó kapja a közeget. A fővezetéken ezért annyi csatlakozást és olyan méretűeket képeznek ki, ami szükséges.



4.2.2.1.1.2 ábra Vízszekrény és fenékszelep

A fenékszelepek olyan esetben, amikor a hajótest megsérül, és a vízvonal a konstrukciós vízvonal felett alakul ki, de a hajó még úszóképés marad, nyitott vízszekrény esetén zárt állapotban tartandók, hogy a hajó további lékesedését megakadályozzuk. Zárt vízszekrény csak akkor okozhat lékesedést, ha maga a vízvételző

csőrendszer sérül meg.

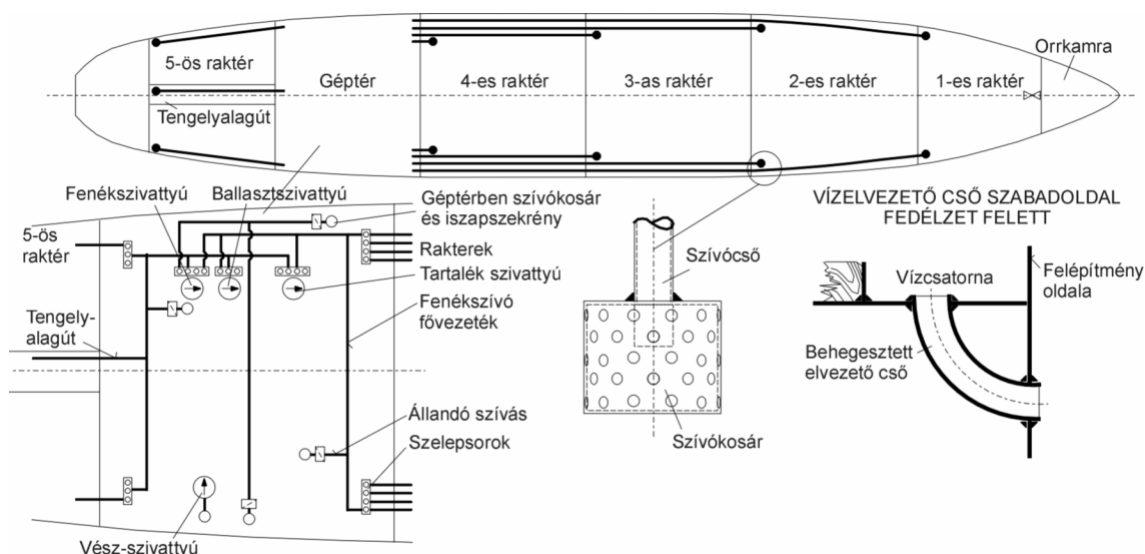
4.2.2.1.2 Fenékvízrendszer

A hajófenék elméletileg száraz tér, mivel belül van a hajótesten, amely vízmentes. Ugyanakkor a gyakorlatban mindig van valamennyi víz a hajótestben, a fahajók korában ez a palánkok között beszivárgó külső vízből adódott főként, amit a szegecselt hajóknál sem lehetett teljesen megszüntetni. A mai hegesztett hajóknál szivárgás csak nagyon ritka esetben fordul elő, amit hajójavító műhelyben lehet csak kiküszöbölni, az ép hajótestnél a fenékvíznek ez a forrása kizárható.

A *fenékvíz* a következő módokon keletkezhet:

- hibás csővezetékek szivárgása és figyelmetlen folyadékkezelés, ami néhány százalékra becsülhető az összes mennyiségből,
- csapadékvíz bejutása, hullám, ez megfelelő gondosság esetén szintén nem jelentős, hasonlóan néhány százalék,
- páralecsapódás (izzadás) a hajótest héjlemeze mentén, ez adja a fenékvíz legnagyobb részét.

Az összes áruszállító hajó el van látva olyan szivattyúval és csőrendszerrel, amely mindegyik vízmentes térből vagy egy tér vízmentes részéből képes eltávolítani a fenékvizet, amikor a hajó maximális dőlése 5° , és trim nélkül úszik. A személyhajók esetében mindegyik tér vagy térrész fenékvize eltávolítható bármilyen elárasztást követően minden műszaki körülmények között, akár vízszintesen úszik a hajó, akár nem.



4.2.2.1.2.1 ábra Fenékvíz-szívó és csapadékelvonító rendszer

A géptér elrendezése biztosítja, hogy ezt a teret a fenti feltételek mellett két különböző módon lehet kiszivattyúzni. Ezek egyike a fő üzemi fenékszívó rendszer, a másik pedig egy ettől független meghajtású szivattyú. A gépészeti terekben ezen kívül vész-fenékszívó lehetőség is biztosítani kell, ez összeköttetésben lehet a főüzemi keringető

(a kondenzátort működtető) szivattyúval gőzhajókon, vagy a főüzemi hűtés szivattyújával motorhajókon.

A fenékvízrendszer csővezetékeinél a minimális csőátmérő 50 mm, de a ténylegesen szükséges csőméretet a hajóosztályozó intézetek előírásai alapján kell meghatározni. A méret a szóban forgó csőleágazással víztelenítendő tér méretétől függ.

A fenékvíztől megszabadítandó hajó gyakran megdőlvé úszik, ezért szükség van arra, hogy minden térben, kivéve a nagyon keskeny tereket, mind a bal-, mind a jobboldalon legyen *szívókosár* elhelyezve. A hajók tervezésénél általában kis mértékű fartrimet tételeznek fel a hajó üzemi állapotában, ezért a szívókosarakat a tér hátsó részében helyezik el. Ahol azonban a hajón olyan egybefüggő raktér van, amelynek hossza nagyobb 33,5 m-nél, a raktér mellső felének közepénél is el kell helyezni szívókosarakat. Számos hajón ferde lemezekkel természetes *szívóaknákat* képeznek ki, és a szívókosarakat ezekben helyezik el. Akkor is megfelelő elszívás biztosítható a medersorban, ha ezt a teret vízszintes fedél takarja. Ha azonban a belső fenék (tankfedél) egészen a hajó oldaláig van kivezetve, *medersori aknákat* kell kialakítani, amelyek térfogata legalább 0,17 m³ kell, hogy legyen. Személyhajókon az ilyen medersori aknáknak nem szabad a fenéklemezt 460 mm-nél jobban megközelíteni, így lehet bizonyos biztonságot garantálni arra az eshetőségre, ha a belső fenék magassága jelentősen lecsökken.

A hajó *tengelyalagútjának* fenékvíz-szívása olyan akna segítségével történik, amely annak hátsó részén van elhelyezve, a medersort pedig a fő fenékszívó rendszer kezeli (ld. 4.2.2.1.2.1 ábra).

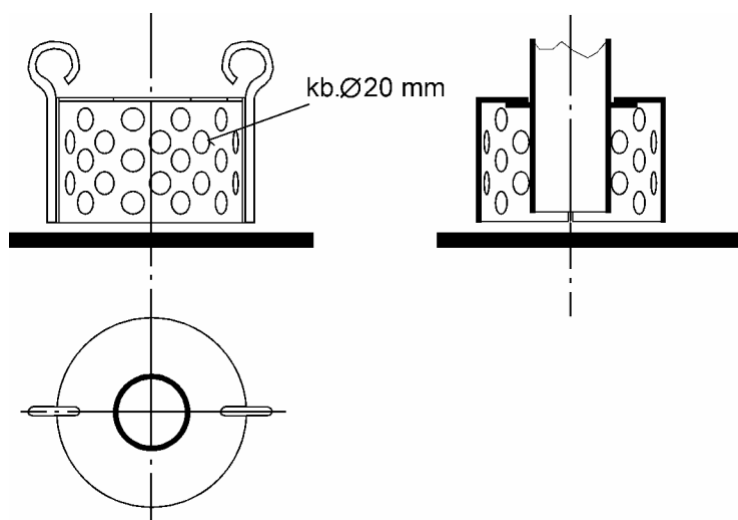
Azoknak a *fenékvíz szívóágaknak* a végére, amelyek nem a géptérből és a tengelyalagútból távolítják el a fenékvizet, *szívókosarat* szerelnek fel. Ez tulajdonképpen egy perforált lemezdoboz, amely a csőág végére van hegesztve (ld. 4.2.2.1.2.1 és ld. 4.2.2.1.2.2 ábra), és amely megakadályozza, hogy darabos szemetet fel tudjon szedni a fenékszivattyú. A lyukak átmérője a kosáron nem lehet nagyobb 10 mm-nél, teljes átfolyó felületüknek pedig legalább kétszeresének kell lennie a cső szabad keresztmetszetének. A kosarakat olyan magasságban kell elhelyezni a fenék felett, hogy a víznek megfelelő hozzááramlása legyen, ugyanakkor könnyű legyen tisztítani. A géptérben és a tengelyalagútban kosár helyett *iszapszekrét* kell elhelyezni, amelynek hozzáférhetőnek kell lennie a rendszeres tisztításnál. Az iszapszekrétben drótháló akadályozza meg az iszap és az idegen tárgyak bejutását a szívócsőbe.

Fenékszivattyúk és csőrendszerek

A fenékvíz csőrendszer gyűjtő jellegű, ez azt jelenti, hogy az egyes terek szélső pontjain elhelyezett szívófejektől *szívóvezetékek* vezetnek a *központi szelepsorhoz*, amellyel szabályozható, hogy melyik tér víztelenítését végezzük el. A szelepsor a *fenékszivattyú szívócsőnkjával* van összekötve. A *nyomócsőnk* a *fenékvíz-tankhoz* vezető nyomócsőhöz csatlakozik. A fenékvíz közvetlen kidobása a hajó oldalán a külső víztérbe ma már nem elfogadható, bár a több évtizeddel ezelőtt épített hajók esetén még előfordul. Új hajó esetén a tervben szerepelnie kell olyan testtanknak, amely a fenékvizet befogadja. Ez lehet azonos a szennyvíztankkal, akár azonosak, akár külön vannak kialakítva, tartalmukat szinte minden kikötőben el lehet szállíttatni arra szolgáló járművekkel.

A fenékvíz szivattyú teljesítményének megállapításakor az az alapelv, hogy minden csővezetékben legalább 2 m/sec áramlási sebességet létre kell hoznia. A saját erőgéppel nem rendelkező úszóműveknek (pl. uszályok) minden vízmentes térhez legalább egy kézi működtetésű, a fedélzetről működésbe hozható szivattyúval kell rendelkezniük. A géphajóknál a fenékszivattyúnak tartalékkal kell rendelkeznie, ez lehet a főgépen elhelyezett, arról meghajtott segédberendezés. Az ilyen szivattyú rendszerint dugattyús gép, amelynek feladata a géptéri (olajjal szennyezett) fenékvíz eltávolítása.

A szívófejek lényegében olyan lemezkosarak, amelyek megakadályozzák, hogy a fenéken összegyűlő darabos szennyeződés (rongyok, lehullott alkatrészek, stb.) bekerüljön a szívóvezetékbe, és a szivattyúban kárt tegyen. A csővég magasságának biztosítania kell, hogy lehetőleg minél kevesebb maradék legyen a szívás bejezése után, ugyanakkor az iszapos legalsó réteget lehetőleg ott kell hagyni, azt a hajó időszakos karbantartási periódusai alkalmával arra szolgáló takarító eszközökkel lehet felszedni. A szűrőkosár szokásos kivitele az alábbi ábrán látható.



4.2.2.1.2.2 ábra Szűrőkosár a fenékvízrendszer szívócsöveihez

Az áruszállító hajóknak legalább két gépi meghajtású szivattyúval kell rendelkezniük, amelyek a géptérben vannak elhelyezve és a fenékszívó csőrendszerhez vannak csatlakoztatva, a személyhajóknak pedig legalább hárommal.

A személyszállító hajók esetében, amennyire erre lehetőség van, a gépi meghajtású fenékszivattyúkat külön vízmentes terekben kell elhelyezni, hogy a hajótest sérülése esetén ne mindegyik legyen elárasztva. A 91,5 m-nél hosszabb személyhajóknál követelmény, hogy ezeknek a szivattyúknak legalább egyike állandóan működőképes legyen a belátható hajóbaleset ideje alatt. A válaszfal fedélzet felett búvárszivattyúként is működni képes gépi meghajtású szivattyút lehet elhelyezni. Alternatívaként a szivattyúk elosztását úgy kell megvalósítani a hajóhossz mentén, hogy elképzelhetetlen legyen, hogy egy elfogadható mértékű sérülés esetén egyik se legyen működőképes. A fenékvíz szívó fővezetékre mindegyik raktérből vagy vízmentes térből leágazásokat kell kialakítani. Az elhelyezett szelepeknek meg kell akadályozniuk, hogy egyik vízmentes tér a másikkal közvetlen összeköttetésbe kerülhessen, illetve, hogy a száraz rakterek és gépterek közvetlen összeköttetésbe kerülhessenek a tankokkal vagy a tengervíz vételező szivattyúkkal. Ezeket a *zárható visszacsapó szelepeket* gyakran a fenékvíz elosztó blokkban helyezik el, de elhelyezhetők közvetlenül a fővezetékre történő csatlakozás helyénél. A rakterek és gépterek fenékvíz szívásához használt csőágakat elkülönítve kell vezetni azoktól a csövektől, amelyek a tengervíz vételezésére

szolgálnak és a ballasztcsövektől, amelyek a víz és gyakran olaj tárolására való tankok töltésére és ürítésére szolgálnak. Nem ritka az úgy nevezett '*koszos ballaszt*' rendszer kialakítása ennek a problémának a megoldására.

Ha lehetőség van rá, a fenékvíz szívó csöveket nem vezetik át a kettősfenékben elhelyezett tankokon, a testtankokon pedig *csőalagút* segítségével vezetik át őket. Ha az orr- és farkamra tankként van használatban, gépi szivattyúhoz vezető szívócső van mindegyik kamrában elhelyezve. Csak két cső átvezetése van engedélyezve a kollíziós válaszfal válaszfal-fedélzet alatti részén, és ezek mindegyikéhez a válaszfal-fedélzet felett működtethető, a válaszfal mellső oldalán levő szelepblokkba épített zárható szelepet kell elhelyezni. A szelepeken jelzőt kell elhelyezni, amely mutatja, hogy nyitott vagy zárt helyzetben van.

A személyhajókon kialakított fenékszívó fővezetékét a hajószélesség 20%-án belül kell vezetni a hajóoldaltól mérve, azokat a csőágakat, amelyek ebből a tartományból kilépnek, pl. uszonyban elhelyezett szívókosárnál, visszacsapó-szeleppel kell ellátni. Ezek a követelmények annak megelőzését célozzák, hogy bármelyik vízmentes térbe víz jusson, ha a hajó zátonyra fut vagy bármilyen más módon megsérül, és egy fenékvíz szívó csőág eltörik. Sok személyhajónál alakítanak ki olyan osztott testtankokat vagy oldalsó tankokat, amelyek lehetővé teszik a keresztirányú elárasztás megakadályozását, és ezzel sérülés után korlátozzák a kialakuló megdőlést. Az ilyen keresztirányú elárasztást a válaszfal fedélzet feletti helyről működtetett szelepekkel lehet megfékezni, de léteznek automatikusan működésbe lépő konstrukciók is.

A fenékszívó és ballaszt csőrendszer szerelvényeinek anyaga lehet öntött- vagy kovácsoltvas, acél, réz vagy más elfogadott anyag. Az ólom és a hasonló alacsony olvadáspontú anyagok használata nem megengedett. A csővezeték meglehetősen hosszú, ezért kellően alá kell támasztani és karimás kötésekkel el kell látni, arról sem szabad megfeledkezni, hogy mindegyik hosszú csőszakasz hőtágulására lehetőség legyen.

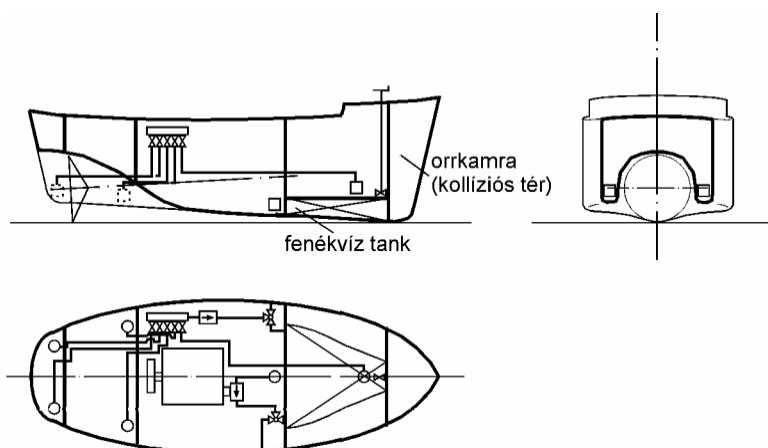
Kisebb hajók, pl. kikötői vontatók esetében a fenékvíz csőrendszer nem túlságosan bonyolult. Az egyes terekben a gerinc vonala és a főborda alakja által meghatározott legmélyebb ponton vagy pontokon helyezik el a szívófejeket (szűrőkosarakat). Az orrkamra (kollíziós tér) általában nem kap szívóágot, hanem a vízmentes válaszfalon elhelyezett elzáró szerelvénnel, amelynek működtetése a fedélzetről végezhető, az orrkamrában összegyűlt vizet a következő térbe engedik át, ahol elvégezhető a fenék víztelenítése.

Erre mutat példát a 4.2.2.1.2.3 ábra.

A nagyobb áruszállító hajók szinte mind fargéptérrel épülnek. A hajók élettartamuk túlnyomó részében megközelítően teljes terheléssel közlekednek, így majdnem a konstrukciós vízvonaltól merülnek, a merülés általában a farnál nagyobb. Ilyen esetben a vonalrajz határozza meg, hogy az egyes vízmentes terekben hol van a legmélyebb pont, ahol a szívófejet vagy fejeket el kell helyezni, ami azt jelenti, hogy a farnál levő két vízmentes teret kivéve ez a pont a tér hátsó válaszfalánál van. A géptérben mind a mellső, mind a hátsó válaszfalnál el kell helyezni szívófejet.

A hajók hossza tekintélyes, ezért a fenékvízrendszer csöveit számos keretbordán és vízmentes válaszfalon kell átvezetni, ami nem veszélyeztetheti sem a hajó szilárdságát, sem az egyes terek vízmentességét. A *vízmentes válaszfalakon való átvezetés* a falba

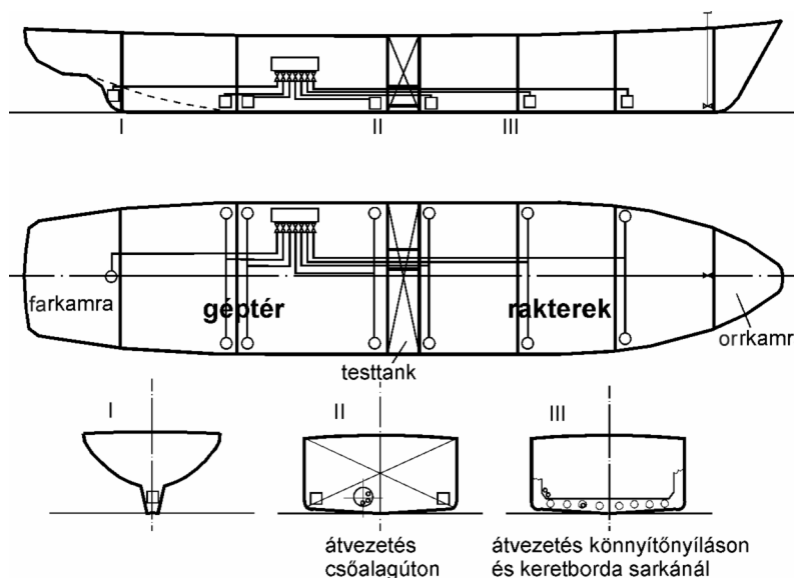
hegesztett átvezető csőblokkokkal oldható meg. A keretbordákon a gerincben kialakított könnyítő nyílások használhatóak fel a csövek átvezetésére. A testtankokon (kofferdam) csőalagutat kell ilyen célra kialakítani. Magukban a terekben a csövek nem akadályozhatják a hajó fő funkcióját, tehát a rakterekben a kettősfenék vagy keretborda medersori része felett, lehetőleg minél kisebb helyet elvéve a rakománytól, célszerű elhelyezni a csővezetékeket egy sorban. Természetesen ez érvényes minden rendszerre, nemcsak a fenékvízrendszerre.



4.2.2.1.2.3 ábra Kikötői vontató fenékvíz rendszere

A csövek átvezetése vízmentes válaszfalon minden esetben ki kell, hogy elégítse a tervezésnél figyelembe vett hajóosztályozó intézet előírásait a vízmentességre

vonatkozóan. Általában az osztályozó intézetek mereven ragaszkodnak a vízmentes válaszfalak teljes vízmentességéhez, nem engedélyezik a válaszfal síkjától jelentősen eltérő vízmentes megoldásokat. Ezért a csőalagutaknak is vízmentes zárószerkezettel kell rendelkezniük a vízmentes válaszfalak síkjában.



4.2.2.1.2.4 ábra Fargépteres kereskedelmi hajó fenékvíz rendszere

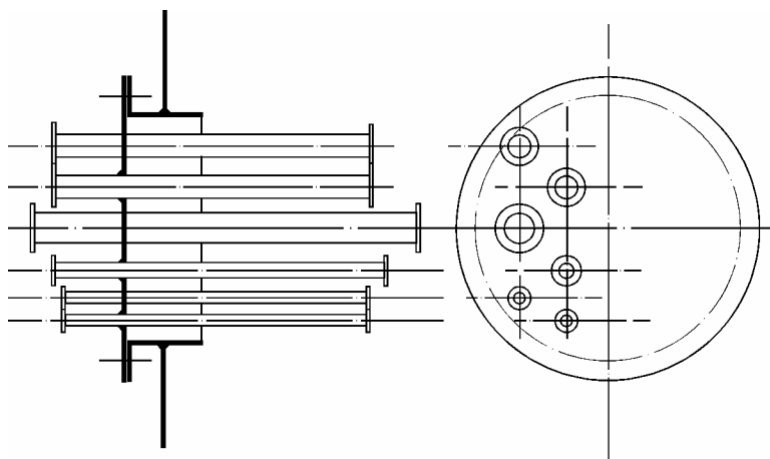
Egy közepes méretű áruszállító hajó fenékvízrendszere látható a 4.2.2.1.2.4 ábrán. A különlegesen nagy méretű hajóknál a csöveket a kettősfenék alatt kiépített közlekedő folyosókban lehet vezetni.

A csövek vezetése általában nem lehetséges egyenes szakaszokban, nagyon sok könyök van a nyomvonalakban, ezért a hőtágulás nem jelent problémát.

A fenékszívó csőrendszer, mivel a szivattyú szívóoldalát képviseli, nagyon érzékeny a *lég- és vízszákokra*. Ilyenek kialakításakor gondoskodni kell a feltöltés lehetőségéről, mivel nem minden szivattyú képes a légzsákok leküzdésére.

Nagyjából ugyanez a nehézség merülhet fel akkor is, ha egyszerre kívánják egy tér mindkét oldalát vízteleníteni olyan esetben, amikor a hajó bizonyos dőlést szenved, mivel a magasabban levő oldalon a szívófej hamarabb elveszti a vizet, és az ott beáramló levegő megbénítja a másik oldali szívócsövet. Ezért van arra szükség, hogy a két oldalt külön-külön lehessen kiszívni akár úgy, hogy a szelepsorig vezetik az összes szívófejtől a csővezetékét, akár *háromjáratú csapok* beiktatásával.

A következő ábra olyan csőblokkot mutat, amellyel vízmentes válaszfalon lehet csöveket átvezetni.



4.2.2.1.2.5 ábra
Csőátvezetés vízmentes
válaszfalon

A *szelepsorok* általában különlegesen tervezett, hajóépítési célra szánt szelepekből építhető össze. Találunk azonban egyszerű kivitelű egyedi szelepsorokat is, ezek csőből hegesztett gyűjtőre szerelt elzáró-szelepekből

építhetők össze. A hajóépítési gyártmányok előnye egyrészt, hogy kisebb a helyigényük, másrészt kielégítik az osztályozó intézetek előírását arra vonatkozóan, hogy 4 bar nyomást el kell viselniük.

A fenékvíz eltávolítása a mentőcsónakokra is vonatkozik. Ezek is összegyűjtik a csapadékvízből, hullám miatt és izzadásból bejutó vizet. A csónakok el vannak látva olyan szerkezettel, amely ezt a vizet olyan esetben, ha a csónak nincs vízre téve, kiengedi. Ez a megoldás lényegében egy bemélyítés a csónak fenekén, amelyet kifelé rács zár el, belső felületén pedig furat van, amelyet gumilabda zár be olyankor, ha a csónak vízen van, és a külső víznyomás a labdát felfelé kényszeríti. A csónak vízre tétele előtt a labda saját súlyától a rácsra ül és a csónakban levő víz a furaton át eltávozik. Biztonság kedvéért a furat menetes orsóval lezárható.

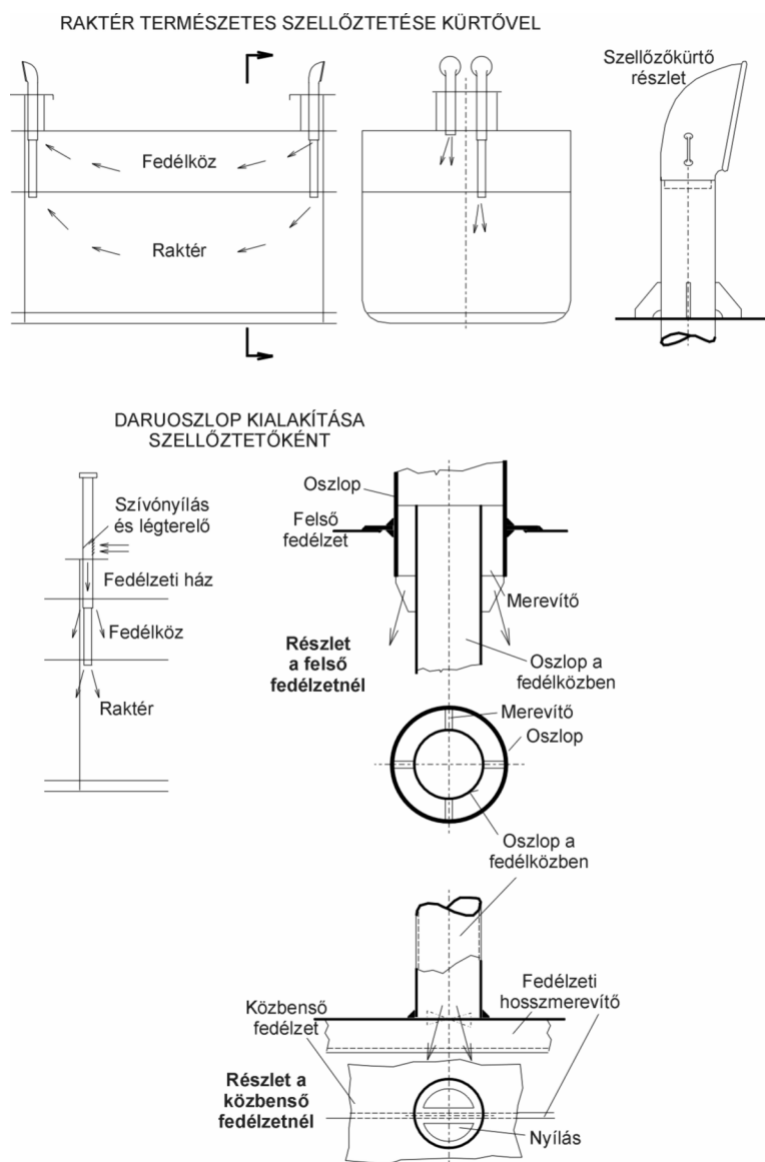
Fedélzeti lefolyócsövek

A hajó oldalaira lefolyócsöveket kell beépíteni a *fedélzet víztelenítése* érdekében. A szabadoldal fedélzet alatti részről és a szabadoldal fedélzeten kialakított zárt fedélzeti házakból ezeket a lefolyócsöveket a fenékbe kell vezetni. Amennyiben a vízvonaltól végződnek és el vannak látva a szabadoldal fedélzetről működtetett *zárható visszacsapó szeleppel*, ezeket közvetlenül is ki lehet vezetni a hajóoldalon. A jelentős mértékben a vízvonaltól felett kilépő lefolyócsöveket el lehet látni két vagy esetleg egy *automatikus visszacsapó szeleppel*, amely nem rendelkezik külön zárószerkezettel (ld. 2.3.2.3.2.3.2)

fejezet). A szabadoldal fedélzet feletti nyitott fedéltetek lefolyócsöveit közvetlenül ki lehet vezetni a hajóoldalon (4.2.2.1.2.1 ábra).

4.2.2.1.3 Szellőzőcső rendszer

Szellőzőcsövekkel kell ellátni minden tankot, amelyek megakadályozzák, hogy töltésnél nyomás alakuljon ki a tankban vagy vákuum ürítés közben. A szellőzőcsövet a tanknak a töltőcsővel szemben levő részére kell beépíteni, illetve a tank legmagasabb részére, méretüknek legalább akkorának kell lennie, mint a töltőcső. Amennyiben könyököt



4.2.2.1.3.1 Raktér természetes szellőztetése

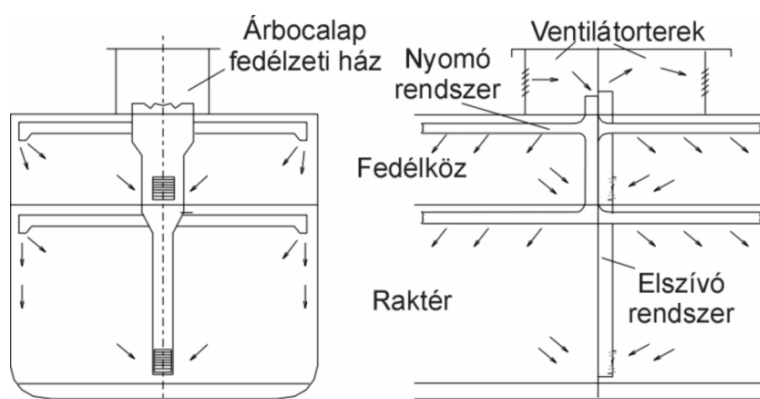
kell a szellőzőcsőben alkalmazni, a könyökök belül terelőlemezeket kell elhelyezni a jobb légáramlás biztosításához. Az olyan tankok szellőzőcsöveit, amelyeket sérülés esetén a tengervíz megtölthet, mint pl. a kettősfenék tankok, a testtankok, amelyek a hajó oldaláig terjesnek, fel kell vezetni a válaszfalfedélzetig. Az üzemolaj és olajrakomány szállító tankokból, a kofferdamokból, valamint minden olyan tankból, amelybe olaj kerülhet szivattyúzás folytán, a szellőzőcsöveket nyitott fedélzetre kell felvezetni, és úgy kell elhelyezni, hogy sem az olaj kiömlése, sem annak gőzei ne okozhassanak veszélyhelyzetet. A fedéltetek és

zárószervezetek feletti minimális magasságot a Load Line Conditions of Assignment (merülés-vonal engedélyezési feltételek, ld. 2.3.2.3.2.3.2 fejezet) szabályozza.

Szellőztetés, hűtés és szigetelés

A hajókon szükség van elégséges teljesítményű szellőztető és *légkondicionáló rendszerek* kiépítésére, amelyek a személyzetnek és az utasoknak ésszerű kényelmet nyújtanak, valamint a rakomány számára megfelelő hőmérsékletet és nedvességtartalmat biztosítanak.

A *szigetelés* célja egyrészt, hogy a hűtött rakterek hőmérsékletét biztosítani lehessen, másrészt, hogy csökkenteni lehessen a légkondicionálás teljesítményigényét, végül pedig a lakótér akusztikai problémáit meg lehessen előzni.



4.2.2.1.3.2 Raktér mesterséges szellőztetése

Szellőztetés. A legtöbb hajón a lakó- és a géptérben a *természetes és mesterséges szellőztetés* kombinációját alakítják ki. A mesterséges szellőztetésnél a levegőbetáplálás közös, a

legtöbb helyiségből pedig az elhasznált levegő természetes módon távozik; ahol azonban égéstermékek vagy egyéb rossz szagok vannak, mint a konyhákban, az elszívást is mesterségesen kell megoldani.

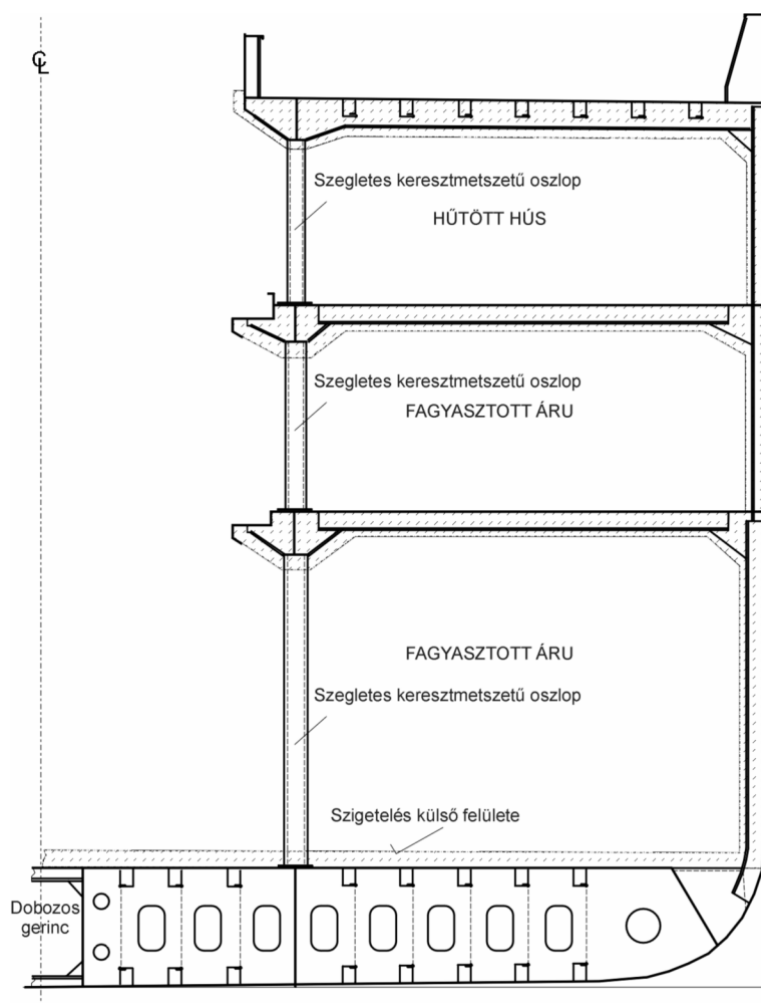
Ugyanez a helyzet számos közös helyiségnél is, ezek gyakran túlszűfoltak, egyesek esetében a dohányzás is engedélyezett. A mesterséges légbetáplálás acéllemezből készült csatornával van megoldva, az egyes kiömlő helyeken ráccsal ellátva. A ventilátorok általában a csendes üzemű centrifugális típusból kerülnek ki, a motor külön alapozást kap.

A raktereket a legtöbb szárazáru szállító hajón mesterséges légbefúvással és természetes kifúvással szellőztetik. Ezenél az a fő cél, hogy lehetőség szerint csökkenthető legyen a raktér hőmérséklete, és meg lehessen akadályozni, hogy a hajótesten és a rakományon nagy mennyiségű kondenzáció jöjjön létre.

A rakomány szállítására szolgáló terek *ventilátorai*, amelyek általában axiális típusúak, az árbocok alatti fedélzeti házakban vannak elhelyezve, vagy pedig olyan helyeken, ahol az árbocdaruk oszlopait használják fel a fedélköz és a rakterek szellőztetésére, ezekbe az oszlopokba vannak beépítve (ld. 4.2.2.1.3.1 ábra). A szárazáru szállító hajókat el lehet látni *párátlanító berendezésekkel* is, a vezérlés biztosítja, hogy mindegyik rakteret táplálni lehet száraz (párátlanított) vagy külső levegővel. Ha száraz levegőre van szükség, mert az időjárás olyan, hogy a levegő *harmatpontja* megközelíti vagy túllépi a raktérben uralkodó hőmérsékletet, a betáplált vagy keringetett levegőt egy kondicionáló berendezésen keresztül lehet vezetni, ahol az egy *légnedvesség abszorbeáló oldattal* kerül érintkezésbe. A szárazlevegős ventilátor ezt követően a párátlanított levegőt a raktér szellőztető rendszerébe juttatja.

A szellőztetés különleges formája a *légkondicionálás*. A korszerű hajókon a lakótérnek ez mindennapi jellemzője. A szobák hőmérsékletét termosztát vezérli, a melegített vagy hűtött levegőt ennek megfelelően táplálja be a rendszer, és légnedvesség szabályozás is ki van alakítva. A légcsatornák és a kiömlőnyílások olyanok, mint a mesterséges szellőzésnél, nagyobb sebességű rendszer esetén kisebb csatornaméretek érhetőek el. A helyi légkondicionáló készülékek is megtalálhatóak, és szükség esetén egy különálló kabint vagy kabincsoportot szolgálhatnak ki saját vezérlővel.

Hűtés. Számos romlandó rakományt szállítanak a szárazáru szállító hajókon *hűtött rakoterekben*, vannak azonban jelentős számban olyan hajók, amelyeket speciálisan kizárólag hűtött áru szállítására terveztek. Egy ilyen hajó főborda-metszete látható az alkalmazott szigeteléssel együtt a 4.2.2.1.3.3 ábrán.



4.2.2.1.3.3 ábra Hűtött-áru szállító hajó főborda-metszete

HÜTÖTT RAKOMÁNY TÁROLÁSA

A *hűtött húsrakományt* a megerősített fedélzet merevítőire akasztják, a közbenső fedélzetek közötti magasság pedig úgy van megválasztva, hogy elegendő hely legyen a felakasztott áru alatt a levegő áramlásához. A *fagyasztott húst* a hajó rakodótereiben felhalmozva tárolják. A *gyümölcs- és zöldségrakomány* tárolása úgy történik, hogy elegendő mértékű légáramlás legyen fenntartható a ládák, stb. között.

Elfogadott szokás darabáru szállító hajóknál, hogy a

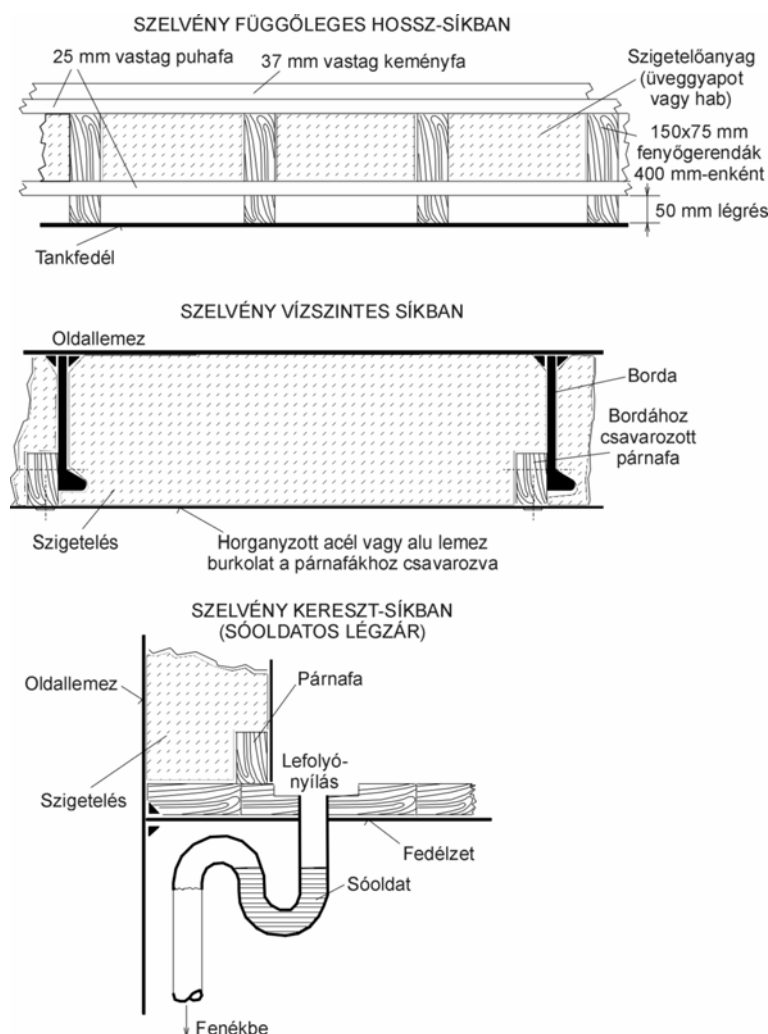
hűtött terek derékszögű formájúak, ezzel ugyanis szigetelési költséget lehet megtakarítani.

RAKOMÁNYHÚTÓ RENDSZEREK

Az olyan sóoldat fagyáspontja, amelyet kalcium-klorid tiszta vízben való feloldásával készítenek, a hűtendő terek megkívánt hőmérsékleténél sokkal alacsonyabb, ezért

hűtőközegként alkalmazható. A hűtőberendezés párologtatójánál lehűtött sóoldatot a megkívánt üzemi hőmérséklet fenntartásához szükséges mennyiségben áramoltatják át a hűtött tér felső részén elhelyezett, *hűtőtestként* szolgáló csőkiágásokon. A közeg a terekben felvett hőmennyiséget a *párologtatónál* leadja, és lehűlve ismét visszatér a hűtőtestekbe.

A levegőt olyan helyen állandóan keringtetni kell, ahol gyümölcsöt szállítanak, hogy az érési folyamat során a gyümölcs által leadott széndioxidot elszállítsa. Az ilyen terek hűtésénél a sóoldatot hőcserélőn vezetik át, amelynek másik közege a hűtendő tér alsó részéből ventilátorokkal elszívott levegő, amely a hőcserélőn átáramolva lehűl, és a tér felső részén kialakított *szellőzőcsatorna* nyílásain át érkezik vissza a hűtött térbe.



4.2.2.1.3.4 ábra A szigetelés részletei

Szigetelés. Az acél hajószerkezet kiváló hővezető, ezért valamilyen formában biztosítani kell a szigetelést a hűtött terek záró-falainál, ha a megkívánt hőmérsékletet gazdaságosan akarjuk fenntartatni.

Szigetelési célokra parafa, üvegszál és különféle műanyaghabok – lemezek vagy granulátum alakjában – használhatóak, illetve légterek, de ezek kevésbé hatékonyak.

A korszerű hajókon gyakran használják az üvegszálat, mivel a többi anyaggal szemben számos előnye van; például nagyon könnyű, a kártevők nem kedvelik, az égést nem táplálja és nem nedvszívó.

A fedélzeteken és

különösen a belső fenék esetében a szigetelésnek gyakran terhelhető (önhordó) anyagnak kell lennie, emiatt a parafa kedvelt anyag, de az üvegszál önhordóvá tételét is meg lehet oldani deszkákkal és fatartókkal. A szigetelés vastagsága a felhasznált anyagtól függ és attól, milyen hőmérsékletet kell tartani a térben. A maximális vastagságot azonban gyakran a merevítő profilok magasság határozza meg.

A szigetelőanyagot az oldalfalakon horganyzott lemez vagy alumínium lemez tartja a helyén, amelyeket az acélszerkezet merevítőihez rögzített fagerendákra csavaroznak (ld. 4.2.2.1.3.3 ábra).

Az olajtankok határoló falain, pl. a belső fenéken egy kettősfenék üzemanyag tank felett, a szigetelés és az acéllemez között legalább 50 mm *légrést* kell biztosítani. A légrés elhagyható, ha jóváhagyott olajálló összetételű bevonat van felhordva legalább 5 mm vastagságban.

A szárazáru szállító hajókon a hűtött terekbe megfelelően *szigetelt ajtóknak* kell vezetniük, a hűtött-áru szállító hajókon pedig a raktérnek és a közbenső rakodónyílás fedeleknél szigetelteknek kell lenniük. A szabadalmazott acél rakodónyílás zárókat illetve a leemelhető rakodónyílás fedeleket ki kell tölteni megfelelő szigetelő anyaggal a hőveszteség megelőzése érdekében.

A szigetelt terekben speciális probléma a *lecsapódott víz elvezetése*, mivel a szokásos vízlevezetők a szigetelés hatását rontanak. Ennek a problémának a megoldására *sóoldatos csapdákat* helyeznek el a vízlevezetőkben a közbenső fedélsíkok levő helyiségeknél és a szigetelt raktérnél. A sóoldat csapda hatékonyan zárja le a meleg levegő útját, nem fagy meg, ezzel megakadályozza, hogy az elvezető cső a térből elvezesse a vizet (4.2.2.1.3.3 ábra).

HŰTÖTT KONTÉNERSZÁLLÍTÓ HAJÓK

Sok olyan konténerszállító hajó, amely olyan kereskedelmi útvonalon jár, ahol korábban a hűtött rakodóterű hagyományos szárazáru szállító hajókon vitték a hűtött árut, rendelkezik a lehetőséggel, hogy *hűtőkonténereket* is szállítson, ezért átvette a korábbi szárazáru szállítótól a feladatot.

Az ISO szerinti konténerek (általában 20 láb méretűek, mivel a hűtött áru esetében a 40 láb hosszúságúak túl nehezek lennének) szigeteléssel vannak ellátva, a fedélsíkok alatt pedig mindegyik raktér végén sóoldatos hűtőberendezések helyezhetők el, amelyek egy csoport konténert ki tudnak szolgálni. A sóoldatos hűtőtől a levegőt mindegyik szigetelt konténerbe bevezetik és onnan kivezetik. Az egyes konténerektől a csatlakozás a hűtött levegős szellőzőcsatornához automatikus tengelykapcsolóval van megoldva, amely távvezérlésű és bekapcsolható, amint a konténer helyesen van pozícionálva.

Az ilyen rendszer, ahol a konténerek szigetelve vannak, szükségtelenné teszi a raktér komoly szigetelését. A hajó oldalánál, a válaszfalakon és a fedélsíknál kb. 50 mm szigetelő hab van elhelyezve égésgátló bevonattal, a belső fenék pedig 75 mm parafával és kátránypapírral van burkolva. Ha a hajó fedélsíka alatti rakományának csak egy része hűtött konténer, akkor azokat a hátsó raktérben helyezik el, amelyek közelebb vannak a géptérhez.

A fedélsíkon szállított hűtött konténerek kiszolgálása általában rákapcsolható hűtőegységekkel történik, amelyek léghűtésű elektromotorral működnek. Az egységeket a hajó elektromos hálózatra csatlakoztatják a megfelelő fedélsíki aljzatoknál. Hasonló vízhűtésű egységeket használtak régebben a hajótestben rövidebb utak során.

4.2.2.1.4 Szondarendszer

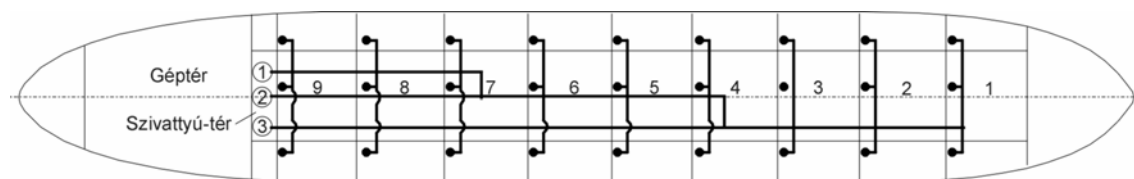
Szondázó csöveket minden tankban el kell helyezni, illetve az olyan terekben is, amelyek megközelítése nehézkes, ezeket úgy kell elhelyezni, hogy a mérést a szívócső közelében lehessen végezni, azaz a tank legmélyebb pontján. A szondázó csöveket a lehetőség szerint egyenesre kell kialakítani, és fel kell őket vezetni a válaszfal fedélzet fölé, kivéve néhány gépészeti teret, ahogy ezt gyakorlatilag nem lehet megoldani. Az ilyen helyeken elhelyezett szondázó csöveknél automatikus (pl. súlyzárral működő) zárószerkezetet kell alkalmazni. A szondázó cső minimális belső mérete 32 mm a követelmények szerint; ahol azonban hűtött téren halad át, ahol jegesedés következhet be, a követelmény a minimális belső átmérőre 65 mm, amennyiben a hőmérséklet 0°C vagy kevesebb. A szondázó cső alatt *párnalemezt* kell felhegeszteni, hogy a lezuhanó szondázó rúd a fenéklemezt ne károsítsa. Szondázó csöveket olyan konstrukcióval készítenek, ahol a cső fel van hasítva, ezeknél azonban a cső záró-lemezét elegendő szilárdságúnak kell készíteni, hogy a rendszeresen használt szondázó rúd dinamikus hatását elviselje. Szabadalmaztatott tankszondázó szerkezetek egész sora áll rendelkezésre, ezeket szondázó csövek helyett lehet használni, azonban ki kell elégíteniük az osztályozó intézet előírásait.

A szondázó csövekhez hasonló megoldásokat kell alkalmazni a tartályok töltőcsöveinél is.

4.2.2.1.5 Tankhajók rakományának szivattyúzására szolgáló rendszerek

A tankhajókon *rakománytovábbító szivattyúk* vannak felszerelve, amelyek a rakomány be- és kirakására szolgálnak, illetve a tankok közül néhányba ballasztvíz szivattyúzását is elvégzik, amire akkor van szükség, amikor a hajónak rakomány nélkül kell haladnia. Számos korszerű tankhajó rendelkezik tiszta ballaszt kapacitással, és ezeket a tankokat külön szivattyú és csőrendszer szolgálja ki.

Az alkalmazott rakománykezelő szivattyú és csőrendszer sokban függ a szállított rakomány választékától. A nagy kőolajszállító tankhajókra viszonylag egyszerű rendszert lehet telepíteni, mivel ezek egyetlen árut szállítanak. Amikor azonban a kisebb tankhajók többféle olajtermék egyidejű szállítására is fel vannak szerelve, amelyeket külön kell kezelni, a szivattyúk és a csövek rendszere összetettebb.



4.2.2.1.5.1 ábra Közvetlen rakománykezelő csőrendszer sémája nagyobb tankhajónál

Egyetlen termék (pl. kőolaj) szállítására szolgáló hajó

Amikor egyetlen olajterméket szállít a hajó, ami a nagy tankhajóknál általános, mivel kizárólag kőolaj szállítására tervezik őket, a hajófarban egyetlen szivattyúteret alakítanak ki, amely szomszédos a géptérrel.

A csőrendszer 'közvetlen vezeték' típusú, három vagy négy vezetéket építenek be, mindegyik egy tankcsoportból szív (ld. 4.2.2.1.5.1 ábra). Mindegyik szivattyú nyomóvezetéke a fedélzeten kialakított csőhálózathoz van vezetve, amely a hajóorr irányában halad tovább a keresztirányú be- és kirakó csatlakozókhoz.



4.2.2.1.5.2 ábra Közvetlen rakománykezelő csőrendszer sémája kisebb tankhajónál

A nagyobb tankhajók közül néhány olyan kirakórendszerrel bír, amely a tankválaszfalakra épített és *hidraulikusan vezérelhető tolózárakra* van alapozva. Ezek a tank mögött levő térben elhelyezett közös szívócsőhöz engedik folyni az olajat. Más nagy tankhajókon csak részben vették át ezt a rendszert, a tolózárak a hosszválaszfalakra vannak felszerelve, az olaj pedig rajtuk keresztül tud az oldalsó tankokból átfolyni a szimmetriasíkban levő tankokba. A *rakománykezelő csőrendszer* szívóvezetéke a központi tankokban van kiépítve. Ilyen elrendezés is látható a 4.2.2.1.5.2 ábrán, amely jelzi a külön maradékszívó rendszert és a tiszta ballaszt csőrendszert is.

Több termék egyidejű szállítására alkalmas tankhajók

Amikor több olajterméket kell szállítani, a sokkal bonyolultabb szivattyú- és csőrendszer miatt két, sőt egyes esetekben három szivattyúgépházat kell kialakítani. Ezek egyike a géptérrel szomszédos helyet foglalja el, a második a hajó közepére kerül, amikor pedig harmadik szivattyútér is van, az elől kerül elhelyezésre. Számos régebben épült tankhajó rendszere a '*körvezeték*' elvén van kialakítva, ami bizonyos rugalmasságot biztosít a szivattyúzás során (ld. 4.2.2.1.5.3 ábra). A több terméket szállító korszerű tankhajókon csak akkor lehet optimális számú különböző szivattyúzási kombinációt elérni, ha független szívóvezetékekkel vannak ellátva.

A rakodórendszer szivattyúi

A korszerű tankhajókon használt rakodószivattyúk általában centrifugál szivattyúk, vagy turbinameghatásúak fogaskerék-hajtóművel vagy motoros meghajtásúak, szállítóteljesítményük nagyon nagy, a nagyobb tankhajókon használt berendezéseké akár $3.500 \text{ m}^3/\text{h}$ is lehet. Emiatt a nagy teljesítmény miatt nem alkalmasak arra, hogy a tankokat teljesen kiürítsék, a maradék kiszívására dugattyús szivattyúkat használnak, amelyek teljesítménye kb. $350 \text{ m}^3/\text{h}$, és külön csőrendszerhez vannak kapcsolva. A legújabb fejlesztéseknél hidraulikus meghajtású egyedi búvárszivattyúkat használnak a

rakománytankokban, ehhez egyetlen nyomóvezeték szükséges csak, a megszokott szivattyútér pedig elhagyható. Az is előfordul, hogy a rakománytankokban robbanás-biztos elektromotorral meghajtott bűvárszivattyúk vannak beépítve. A tankhajók rakománykirakó rendszerei ma már gyakran teljesen számítógépesítve vannak.

A rakománytankok mosása

Az olajszállító tankhajók rakománytankjait kirakodás után forró vagy hideg vízzel, édes- vagy tengervízzel, esetleg kőolajjal ki lehet mosni. A vízzel dolgozó tisztítógépek lehetnek fixen a tankba beépítettek vagy hordozhatóak, az utóbbiakat tömlővel kapcsolják rá a fedélzeti vízhálózathoz, majd a tisztítónyíláson át leengedik a tankba. A kőolajszállító hajók fixen a tankba épített mosóberendezéssel is rendelkezhetnek, amelyet a hajó szeleprendszerén át a rakományszivattyúkra illetve a mosórendszer fővezetékéhez csatlakoztatnak, amikor mosóközegként víz helyett kőolajat alkalmaznak.

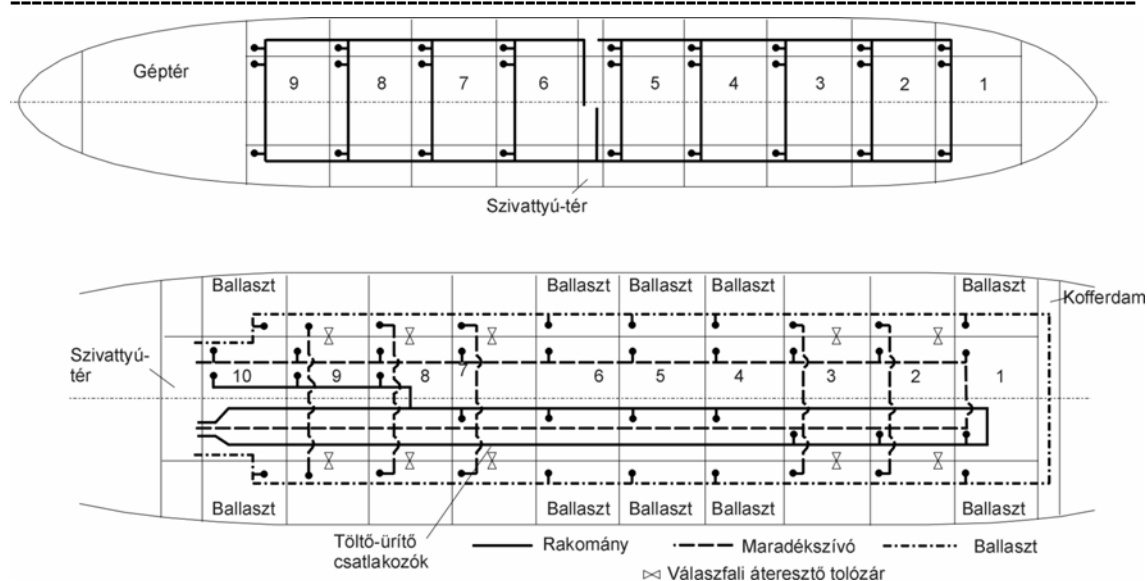
Ezt általában akkor csinálják, amikor a tankhajó kiszivattyúzza a rakományt, és ez lehetővé teszi, hogy azokat az olajüledékeket, amelyek a tank falára tapadtak, leoldják onnan, és ezek a maradékok a rakománnyal együtt eltávozzanak. Ilyenkor nincs arra szükség, hogy vízzel kimossák a tankokat a lerakódások eltávolítása érdekében, kivéve, ha ezt követően a tankba tiszta ballasztvizet kell tölteni.

Inert gáz rendszer

A 20.000 tonna hordképességű vagy nagyobb tankhajóknál követelmény a rakománytankok védelme, amelyet fixen beépített inert gázos rendszer segítségével érnek el. Az *inert gáz rendszert* olyanra tervezik és úgy üzemeltetik, hogy a rakománytankokban a levegő ne lobbanhasson be, mintha a tankban a levegő gázmentes lenne. Az olajtankokban általában előforduló szénhidrogén gázok nem égnek olyan légkörben, amely 11 térfogatszázaléknál kevesebb oxigént tartalmaz, ha tehát a rakománytankban az oxigén arányát alacsony szinten tartják, pl. a térfogat 8%-a alatt, nem fordulhat elő, hogy meggyullad vagy felrobban a térben levő gáz. A tankba bejuttatott inert gáz csökkenti a levegő (oxigén) arányát. Olajszállító hajókon az inert gáz előállítása a következő két eljárás valamelyikével történhet.

1. Azokon a hajókon, ahol a fő- vagy a segédüzem kazánokkal dolgozik, a füstgázt használják fel normál esetben, amely általában csak 2-4% oxigént tartalmaz a térfogathoz viszonyítva. Ezt tengervízen engedik át, hogy lehűtsék, illetve a kéndioxidot és a lebegő részecskéket eltávolítsák, aztán befűjják a tankokba egy fixen beépített elosztó rendszeren át.
2. Dízelmotoros hajókon a kipufogógáz oxigéntartalma túl magas ahhoz, hogy inert gázként lehetne használni. Ezért inert gáz előállító berendezést alkalmaznak, amely dízel üzemanyagot vagy kerozint éget el a gáz előállításához. Ezt ugyanúgy kezelik és használják fel, mint a kazánok füstgázát.

Annak megakadályozására, hogy a fedélzeti elosztórendszerből a géptérbe valamilyen petróleumgáz vagy folyékony olajtermék bejuthasson, műszaki megoldásokat kell alkalmazni, pl. fedélzeti vízzár vagy visszacsapó-szelep formájában.



4.2.2.1.5.3 ábra Körvezeték rakománykezelő és ballaszt csőrendszer sémája

A ballasztvíz rendszer

Amint már láttuk, a rakománytöltő rendszernek a *ballasztvíz rendszer* a legtöbb esetben részét képezi. A többi hajó esetében a ballasztolás érdekében külön tankokat és csőrendszert rendszeresítenek.

A hajó trimszámításai során kiderül, hol és mekkora ballaszttankokat kell elhelyezni ahhoz, hogy a hajó rakomány nélkül megfelelő úszáshelyzetbe kerüljön. A ballaszttankok méretének függvényében a töltő és ürítő csővezetékek méretét az alábbi táblázat határozza meg.

4.2.2.1.5.1 táblázat
Ballasztvezetékek mérete

| <i>Ballaszttank térfogata [m³]</i> | <i>Cső minimális névleges átmérője [mm]</i> |
|---|---|
| 20 alatt | 60 |
| 20-40 | 70 |
| 40-75 | 80 |
| 75-120 | 90 |
| 190-265 | 115 |

A *ballasztzivattyú teljesítményének* elegendőnek kell lennie ahhoz, hogy a legnagyobb ballaszttank töltését vagy ürítését maximálisan 1 óra alatt el tudja végezni.

A szivattyú elhelyezésénél követelmény, hogy az a vízfelszín alatt legyen.

4.2.2.2 A hajó védelmét szolgáló rendszerek

A hajó számára két olyan veszélyforrás van, amely katasztrófát okozhat, emiatt mindent meg kell tenni az ellene való védekezés érdekében. Ezek egyike a tűz, a másik a víz. A gyakorlatban az is előfordul, hogy az első veszély leküzdése közben maga a védekezés idézi elő, hogy már a második ellen kell intézkedéseket tenni. Amikor ugyanis a tűz oltása közben túlzott mennyiségű víz kerül a hajótestbe, a tűz eloltása után sem szűnik meg az a veszély, hogy a hajó megsemmisülhet, amennyiben nem teszik meg azokat a lépéseket, amely a bejutott víz mennyiségét csökkenti, különben vagy a szabadoldal bizonyul kevésnek, és a hajó elmerül, vagy a keresztstabilitás csökken le túlzott mértékben, amikor is a hajó felborulhat.

A víz bejutását a hajó több rendszere is képes minimális szinten tartani, mint pl. a vízmentes válaszfalak rendszere, a fenékvíz-eltávolító rendszer, a tűz azonban az a veszély, amely ellen több eszköz alkalmazását is megkövetelik a hajók építéséért felelősséget vállaló osztályozó intézetek. Alapvető például a tűzoltó csőrendszer kialakítása, amely vagy vízzel működik, vagy különleges esetekben széndioxid a hatóközeg. Emellett elengedhetetlen a szerkezeti tűzvédelem is, amely a hajó építésénél eleve olyan megoldásokat követel meg, amelyek megnehezítik, hogy a tűz továbbterjedjen.

4.2.2.2.1 Tűzvédelem

4.2.2.2.1.1 Tűzoltó vízrendszer

A hajón ki kell alakítani olyan csőrendszert, amelynek feladata szinte kizárólag az esetleg keletkező tűz oltása, tehát semmilyen más olyan funkciója nem lehet, amely miatt szükség esetén tűzoltásra nem elérhető. Mindössze két mellékes funkciója van: a fedélzetmosás és a horgonylánc mosása. A csőrendszert annyi csatlakozóhellyel kell ellátni, hogy a hajón minden pontot két *tűzcsapról* meg lehessen közelíteni.

A tűzcsapok mellett tömlőtartó dobokat kell elhelyezni két hüvelyk (50 mm) méretű *tömlőkkel*. A tömlőkön levő *fecskendő* kifűvónyílása 15 mm átmérőjű, a tömlő hossza maximálisan akkora lehet, hogy a tömlő egy méterére viszonyított nyomásesés legfeljebb 0,004 bar legyen.

A *tűzoltószivattyú teljesítményére* a következő három követelmény érvényes:

- a szivattyú teljesítménye nem lehet kisebb, mint a fenékszivattyú teljesítményének 2/3-a,
- az összes tömlő 15%-át kell tudni egyszerre működtetni, de legalább kettőt
- a vízszugárnak fel kell hatolnia hajó legmagasabb pontja fölé 12 m-rel.

A tűzoltószivattyú üzemzavara esetén a ballasztiszivattyú felhasználható kiváltásra, de a fenékszivattyút tűzoltásra használni tilos, mivel az gyakran továbbít olajos fenékvizet, ami a tüzet táplálhatná.

4.2.2.2.1.2 Tűzoltó CO₂ rendszer

Amint már említés történt, a vízzel való tűzoltás hajón azt eredményezheti, hogy a tüzet ugyan sikerül eloltani, de a hajótestbe került nagy mennyiségű folyadék miatt a hajó úszóképessége vagy stabilitása veszélybe kerül. A tűzoltó vízrendszer másik hátránya

az, hogy a víz nemcsak a hajóra magára, hanem gyakran a rakományra is káros hatással van. A harmadik ok, amiért nem mindenütt alkalmazható, hogy ahol olajos anyagok égnek, ami szinte minden esetben igaz a gépterekben keletkezett tüzeknél, akkor a tűzoltásra használt víznek nincs oltóhatása, mivel az olaj könnyebb a víznél, és a víz felületén az égés folytatódik.

A széndioxiddal való tűzoltás elve az, hogy a levegőnél nehezebb gáz kitölti a teret és a tüzet elfojtja, mivel az égéshez szükséges oxigén utánpótlás levegő nélkül megszűnik. Nem károsítja a rakományt, használható a gépterekben keletkező tüzek eloltására is, ugyanez érvényes a kéménytüzek és a festékraktár-tüzek esetében is.

A széndioxid azonban nemcsak a tűzhöz, hanem az élő szervezetek számára is elengedhetetlen oxigén utánpótlását akadályozza meg, lakóterekben szigorúan tilos használni.

A széndioxid gáz fajlagos tömege $1,83 \text{ kg/m}^3$. Tárolási nyomása nem haladhatja meg a 190 bar értéket illetve a 40°C hőmérsékletet (trópusokon tehát hűtésre van szükség). A tároló-kamra általában a hajó orr-részen van elhelyezve. A CO_2 csőrendszer elosztó rendszer jellegű. A nyomás a kifúvási helyek felé csökken, a fővezetékben 37,5 bar, a mellékvezetésekkben 16 bar, hogy a túlzott sebességtől keletkező súrlódás miatt kicsapódás ne jöjjön létre. A fúvókák átmérője 13 mm. Ahol a gáz kilép a légtérbe, az áramlási iránynak vízszintesnek kell lennie, és a gáz elé ütközőlapot kell helyezni.

A lakóterek védelme olyan fokú, hogy a széndioxid csőrendszer vezetékeit lakóterekben vezetni tilos, ha mégis elkerülhetetlen, csak folyosón mehet keresztül folyamatos csővel, csatlakozó nélkül.

A hajón tűzoltás céljára tárolt széndioxid mennyiségére az az előírás, hogy egyidejűleg meg kell tudni tölteni vele a géptér 25%-át és a rakterek 30%-át.

A csőrendszer anyaga általában hidegen húzott acél, de a palackok közelében vörösréz is előfordul.

A széndioxid tűzoltó rendszer kiépítésénél kötelező oxigénmaszkok elhelyezése, hogy a mentés lehetséges legyen.

4.2.2.2.1.3 Habbal oltó rendszer

A széndioxid tűzoltórendszer alternatívája lehet, esetleg tűzoltó vízcsőrendszerrel együtt kiépítve, a *habbal oltó rendszer*. Ennek kivitele csak egy dologban tér el a szokásos vizes tűzoltó hálózatoktól: a vízbe habképző anyagot adagolnak, amely a fecskendőkből kilépve a vízzel habot képez, és a széndioxidhoz hasonlóan megakadályozza az égő anyag oxigénhez való hozzájutását. Habbal való oltásnál a víz mennyisége nagyságrendileg kisebb.

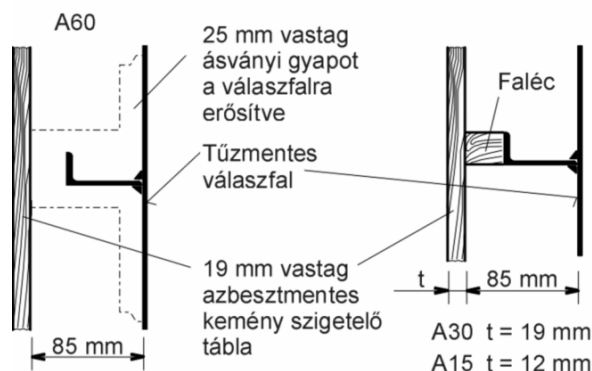
A habbal oltó rendszer alkalmazásakor ügyelni kell arra, hogy ha valamely térben permetező tűzoltó fejek vannak elhelyezve, azok ne kapcsolódhassanak be, mert a permet összeejti a habot, és ezzel a tűzoltó hatás megszűnik.

4.2.2.2.1.4 Szerkezeti tűzvédelem

Az International Conventions for the Safety of Life at Sea (SOLAS, nemzetközi konvenció az élet védelméről a tengeren) egyezmény követelményei közül azok,

amelyek a hajóépítésben a legnagyobb befolyással bírnak, a szerkezeti tűzvédelemre vonatkozó előírások. A nemzetközi útvonalakon hajózó járművekre vonatkozó

SZIGETELŐANYAGOK ALKALMAZÁSA



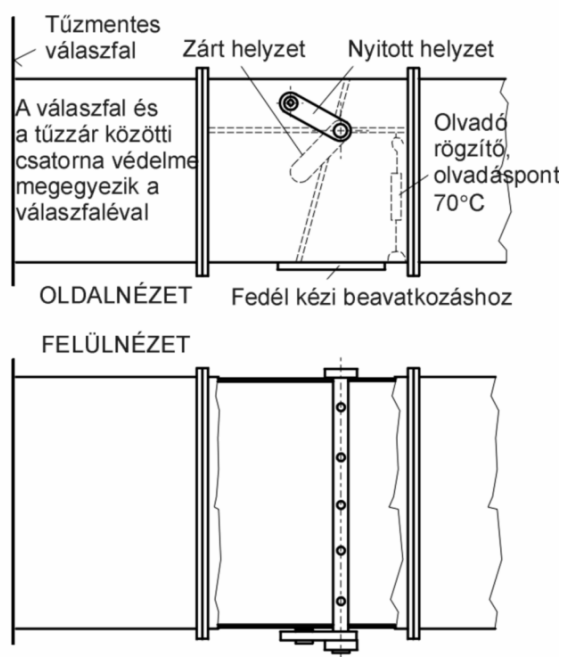
4.2.2.2.1 4.1 ábra Szigetelő tábla válaszfalon és tűzvédelmi leválasztás

követelmények eltérőek azokra a személyhajókra, amelyek harminchat utasnál többet szállítanak, azokra a személyhajókra, amelyek harminchat utasnál kevesebbet szállítanak, szárazú szállító hajókra és tankhajókra.

Követelmények

Azokon a hajókon, amelyek harminchat utasnál többet szállítanak, a lakótereket és a fő tereket elválasztó válaszfalakat és fedélzeteket úgy kell kialakítani, hogy az utóbbiak nem éghető anyagból készüljenek, és a tereket fel kell szerelni vagy automatikus tűzjelző és riasztó rendszerrel, vagy automatikusan működésbe lépő vízpermetező és riasztó rendszerrel. A hajótestet, a felépítményt és a fedélzeti házakat fel kell osztani 'A' osztályú besorolásnál fő függőleges zónákra, amelyek hossza egyik fedélzeten sem haladhatja meg a 40 m-t. 'A' osztályú besorolásnál a fő vízszintes zónákat úgy kell elhelyezni, hogy határt képezzenek a hajó vízpermetezéssel ellátott és el nem látott zónái között.

SZELLŐZŐCSATORNÁBAN ELHELYEZETT TŰZZÁR



A fő függőleges zónákon belül elhelyezkedő válaszfaloknak 'A', 'B' vagy 'C' osztályú besorolásúaknak kell lenniük a szomszédos terek tűzvédelmi kockázatától és attól függően, hogy a szomszédos terek vízpermetezéssel fel vannak szerelve vagy nincsenek felszerelve.

Azoknál a személyhajóknál, amelyek nem szállítanak több, mint harminchat utast, a hajótestet, a felépítményt és a fedélzeti házakat fel kell osztani 'A' osztályú besorolású fő függőleges zónákra. A lakótereket és a kiszolgáló tereket vagy teljesen zárt válaszfalakkal kell védeni olyan téren belül, amelynek besorolása legalább 'B' osztályú, vagy legalább a folyosó válaszfalai minimálisan 'B' osztályú besorolásúak, ahol jóváhagyott automatikus tűzjelző és riasztó rendszer van telepítve.

Azokat a szárazáru szállító hajókat, amelyek túllépik az 500 bruttó regiszter tonnát, általában acélból vagy azzal egyenértékű anyagból kell építeni, és az alábbi tűzvédelmi módszerek valamelyikét kell náluk alkalmazni a lakó- és kiszolgáló terekben.

- 'Ic módszer': az összes belső térbeosztó válaszfal 'B' vagy 'C' osztályú besorolású nem éghető anyagból készül, és nincs felszerelve automatikus vízpermetező, tűzjelző és riasztó rendszer a lakó- és kiszolgáló terekben, kivéve a füstjelzőket és a kézi működtetésű riasztási pontokat, amelyeket az összes folyosón, lépcsőházban és menekülési útvonalon fel kell szerelni.
- 'IIc módszer': jóváhagyott automatikus vízpermetező, tűzjelző és tűzriasztó rendszert kell telepíteni minden olyan térben, ahol tűz keletkezése valószínű, a belső térelválasztó falak típusára általában nincs korlátozás.
- 'IIIc módszer': fix tűzjelző és tűzriasztó rendszert kell telepíteni minden olyan térben, ahol tűz keletkezése valószínű, és a belső térelválasztásnál alkalmazott falak típusára általában nincs korlátozás, kivéve, hogy az 'A' vagy 'B' osztályba sorolt lakóterek területe az 50 négyzetmétert semmilyen körülmények között sem haladhatja meg.

A gépterek szerkezetének felső lezáró szerkezeteit acélból kell készíteni és tömítéssel kell ellátni. A válaszfalaknak és fedélzeteknek, amelyek a szomszédos tereket választják el, megfelelő A, B vagy C minősítéssel kell rendelkezniük a szomszédos terek tűzvédelmi kockázatától függően. A 2.000 bruttó regiszter tonnás vagy nagyobb hajók raktereit fix tűzoltórendszerrel kell védeni vagy azzal egyenértékű védelmet kell biztosítani, kivéve, ha tömegárut vagy olyan rakományt szállítanak, amelyeket a hatóságok alacsony tűzveszélyességi szintűnek ítélnék meg. A veszélyes árut szállító szárazáru szállító hajók a különleges tűzvédelmi előírások kategóriájába tartoznak. A tankhajók építésénél különleges figyelmet kell szentelni azon felépítmények és fedélzeti házak külső válaszfalainak, amelyek az olajrakomány tárolására szolgáló tankokkal határosak.

Azokat a lakótereket, amelyek a rakomány tárolására szolgáló tankokkal szomszédosak, A60 standard szerinti szigetelést kapnak, nem képezhetők ki a lakótérbe vezető ajtók ilyen válaszfalakon át, és valamennyi ablaknak a nem nyitható típusból kell kikerülnie, és el kell őket látni acél záró-fedelekekkel, ha közvetlenül a főfedélzeten levő téren vannak elhelyezve. Azoknak a válaszfalaknak és fedélzeteknek, amelyek eltérő tűzvédelmi kockázatú szomszédos tereket választanak el, megfelelő A, B és C minősítéssel kell rendelkezniük a lakótéren belül. A 20.000 tonna hasznos terhelésű vagy nagyobb új tankhajókon a rakománytank fedélzet területét és a rakománytankokat fix fedélzeti haboltó rendszerrel és fix inert gáz rendszerrel kell védeni. A 2.000 tonna hasznos terhelésnél kisebb tankhajókat fix fedélzeti haboltó rendszerrel kell felszerelni a rakománytankok környezetében.

'A', 'B' és 'C' osztályú elválasztó szerkezetek

Az 'A' osztályú elválasztó szerkezeteket acélból vagy azzal egyenértékű anyagból kell kialakítani, és képeseknek kell lenniük arra, hogy megakadályozzák a füst és láng áterjedését egy egyórás standard tűzpróba végén. A szokásos merevített acél válaszfal vagy fedélzet az A-0 minősítésként ismert osztályozást kapja. Amennyiben valamilyen

nem éghető anyagból való szigetelést kap az acél válaszfal, hosszabb időre van szükség ahhoz, hogy a tűzzel ellentétes oldalon az átlagos hőmérséklet megemelkedjen 139°C-szal, illetve a bármely ponton mért hőmérséklet legfeljebb 180°C-szal a standard tűzpróba alatt az eredeti hőmérséklet fölé. Az 'A' osztályú elválasztó szerkezetek esetében ez az idő a következő.

| <i>Osztály</i> | <i>Idő (min)</i> |
|----------------|------------------|
| A-60 | 60 |
| A-30 | 30 |
| A-15 | 15 |
| A-0 | 0 |

A 4.2.2.2.1.4.1 ábra acél elválasztó szerkezeteket mutat tipikus szigeteléssel, amelynek anyaga azbesztmentes szállal erősített szilikátos szigetelő tábla. A 'B' osztályú elválasztó szerkezetekre az jellemző, hogy konstrukciójuknak köszönhetően képesek megakadályozni a láng áttérjedését a félórás standard tűzpróba végén. Különféle szabadalommal védett anyagból készült táblát használnak széles körben, ahol 'B' osztályú elválasztó szerkezetekre van szükség, és két minősítés létezik, a B-0 és a B-15. Ezek a számok a szigetelés hatásosságára jellemzőek, pl. amíg a tűzzel ellentétes oldalon az átlagos hőmérséklet nem emelkedik 139°C-szal, illetve a bármely ponton mért hőmérséklet legfeljebb 225°C-szal az eredeti hőmérséklet fölé az adott idő alatt. A 'C' osztályú elválasztó szerkezeteket jóváhagyott nem éghető anyagokból készítik, de nem szükséges semmilyen mennyiségi követelménynek megfelelniük a füst és a láng áttérjedésére illetve a hőfokra emelkedésére vonatkozóan.

| <i>Osztály</i> | <i>Idő (min)</i> |
|----------------|------------------|
| B-15 | 15 |
| B-0 | 0 |

A standard tűzpróba, amellyel a minősítés megtörténik, olyan teszt, amelynek során az elválasztó szerkezet egy példányát, amelynek felülete legalább 4,65 négyzetméter és egyik hosszmérete 2,44 m, kemencében végzett teszteknek teszik ki adott idő-hőmérséklet arányok szerint, amelyekhez a pontokat az alábbi koordinátákból megrajzolható sima görbéből veszik ki.

| | |
|----------------------------|-------|
| Az első 5 perc elteltével | 538°C |
| Az első 10 perc elteltével | 704°C |
| Az első 30 perc elteltével | 843°C |
| Az első 60 perc elteltével | 927°C |

Néhány tipikus példa szerepel az alábbi táblázatban olyan elválasztó szerkezetekre, amelyek olyan személyhajón alkalmazhatóak, amely harminchat utasnál többet szállít.

| <i>Válaszfal</i> | <i>Szomszédos terek</i> | <i>Osztály</i> |
|------------------|-------------------------|----------------|
|------------------|-------------------------|----------------|

| | | |
|----------------|--------------------------------------|------|
| Fő tűzzóna | Konyha/folyosó | A-60 |
| Fő tűzzóna | Kormányállás/folyosó | A-30 |
| Tűzzónán belül | Szellőzőgépház/lépcsőház | A-15 |
| Tűzzónán belül | Kabin/folyosó (nem permetezett zóna) | B-15 |
| Tűzzónán belül | Kabin/folyosó (permetezett zóna) | B-0 |

Nyílások a tűzvédelmi elválasztó szerkezeteken

Általában a tűzvédelmi elválasztó szerkezeteken kialakított nyílásokat fel kell szerelni állandó zárható szerkezettel, amelyeknek ugyanolyan tűzállási minősítéssel kell rendelkezniük, mint az elválasztó szerkezet. Megfelelő intézkedéseket kell tenni, hogy biztosítani lehessen, hogy az elválasztó szerkezet tűzzel szembeni ellenállása nem csökken attól, hogy csövek, szellőzőcsatornák, elektronos vezetékek, stb. haladnak át rajta.

A fő tűzzóna elválasztó szerkezeteinél a lehető legnagyobb körültekintéssel kell eljárni. A fő tűzzóna válaszfalain és a lépcsőházak falain levő ajtónyílásokra olyan ajtókat kell felszerelni, amelyek tűzállósága megegyezik a válaszfaléval és önzáróak, mivel beépítésük 31 fokos ferdeséggel történik. Az ilyen ajtókat egy vezérlőállásról lehet bezárni vagy egyidejűleg vagy csoportokban, és egyenként is a helyszín közeléből. A szellőzőcsatornákat ideális esetben egy tűzzónán belül kell vezetni, ahol azonban át kell haladniuk fő tűzzóna válaszfalon vagy fedélzeten, teljesen üzembiztos automatikus zárású tűzcsillapítót kell beépíteni a csatorna belsejében a válaszfalnál illetve fedélzetnél. Ez leginkább acél csappantyú a csatornán belül, amelyet egy külső olvadó biztosítókkal rögzített súlyzár tart állandóan nyitva. A csappantyúnak lehetőséget kell adnia arra is, hogy kézzel be lehessen csukni, és kell rendelkeznie valamilyen jelzéssel, hogy nyitva van éppen vagy csukva (ld. 4.2.2.2.1.4.1 ábra).

A különleges kategóriájú helyek védelme

A különleges kategóriájú hely egy zárt tér a válaszfal fedélzet felett vagy alatt, amelyet olyan motoros járművek szállítására használnak, amelyek a saját meghajtásukhoz szükséges üzemanyagot saját tankjukban tárolják, és amelyekhez az utasoknak hozzáférés van biztosítva. Nyilvánvaló példák erre a garázsok a ro-ro személyszállító hajókon és a járműfedélzetek a ro-ro áruszállító hajókon. Az ilyen tereknek nem lehet úgy biztosítani a normál fő függőleges tűzzónákat, hogy a hajó üzemét ne zavarják. Egyenértékű védelemnek számít az ilyen terek esetében, ha biztosítva van, hogy a tér vízszintes és függőleges határait képező fedélzetek és válaszfalak fő tűzzóna elválasztó szerkezeteknek vannak tekintve, és üzembiztos fix tűztoltórendszer van felszerelve a térben. Ez utóbbi rendszerint fix nyomásos vízpermetező rendszer, amelyet általában egy automatikus tűzjelző rendszer hoz működésbe. Különleges vízelvezető nyílások vannak kialakítva, hogy a tűz oltásához a rendszer által kipermetezett vizet a fedélzetről el lehessen vezetni, és el lehessen kerülni a stabilitás romlását.

Nagysebességű járművek tűzvédelmi megoldásai

Az IMO nagysebességű járművekre érvényes szabálygyűjteménye (High Speed Craft Code, HSC Code) tekintetbe veszi a könnyű szerkezeti anyagok alkalmazását, amilyenek az alumíniumötvözetek és a szálerősítésű műanyagok, amelyek az acélnál

sokkal kevésbé tűzállóak. Következésképpen ez a szabálygyűjtemény a tűz elleni szigetelésnél új megközelítést fogadott el ahhoz képest, amelyet a SOLAS tett magáévá a hagyományos acélhajókra vonatkozóan. A HSC Code bevezette a 'tűznek ellenálló anyag' koncepcióját, amely esetleg éghető anyag, vagy éghető anyagok kombinációja, feltéve, hogy meg tud felelni egy előírt tűzpróbának, amely a hő kibocsátását korlátozza, illetve csökkenti a füstképződést és a láng terjedését. Szintén bevezetésre került a 'tűznek ellenálló elválasztó szerkezet' koncepciója, amely korlátozza a láng terjedését az egyik térből a másikba egy előírt időn belül, amely az utasoknak a járműről történő evakuációjához kell. A tűznek ellenálló elválasztó szerkezet készülhet nem éghető anyagból, tűznek ellenálló anyagból és a kettő kombinációjából.

4.2.2.2.2 Mentőszivattyú és csőrendszer

A hajó másik réme a tűz mellett a víz, amennyiben abból túl sok került be a hajótestbe. A hajóba üzemszerűen bejutó víz eltávolítását, mint láttuk, a fenékszívó csőrendszer végzi el, azonban annak teljesítménye nem elegendő olyankor, ha akár rosszul lezárt rakodónyíláson át, akár tűzoltás során a bejutott víz mennyisége túl nagy.

Ezt a feladatot végzi el a *mentő-csőrendszer*.

Tulajdonképpen fix kiépített csőrendszerről ebben az esetben nem lehet beszélni, mivel a rendszer a fedélzeten egy kizárólag erre a célra elkülönített térben elhelyezett szokatlanul nagy teljesítményű szivattyúból és a tér külső falaira telepített csatlakozókból áll, amelyekhez a megfelelően nagy átmérőjű rugalmas szívótömlőket lehet illeszteni, és azokat az elárasztott térhez, vagy esetleg egy másik hajó elárasztott teréhez lehet elvezetni.

A *mentőszivattyú* feladatát olyan esetben, amikor a ballasztvízrendszer szivattyúja rendelkezik megfelelő teljesítménnyel, és a mentési funkcióhoz szükséges külső csatlakozók biztosítva vannak, az is elvégezheti.

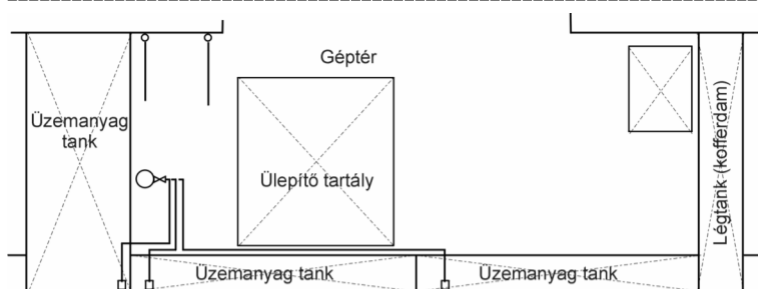
4.2.2.3 A gépi berendezéseket kiszolgáló rendszerek

A hajó erőgépei a propulziót és a segédüzemet látják el energiával. Működésükhöz szükség van a következő kiszolgáló csőrendszerekre:

- üzemanyag rendszer,
- kenőolaj rendszer,
- levegőrendszer,
- hűtővíz rendszer és
- égéstermék elvezető (kipufogó) rendszer.

4.2.2.3.1 Üzemanyag rendszer

Az üzemanyag a főgépek és segédgépek működéséhez szükséges energiahordozót biztosítja. Abban az esetben, ha a főgépek más üzemanyaggal működnek, mint a segédgépek, két teljesen független rendszert kell kiépíteni. A hajótulajdonosok azonban minél nagyobb gazdaságosságra törekszenek, így az a helyzet az általános, hogy valamennyi erőgép azonos üzemanyagot igényel.

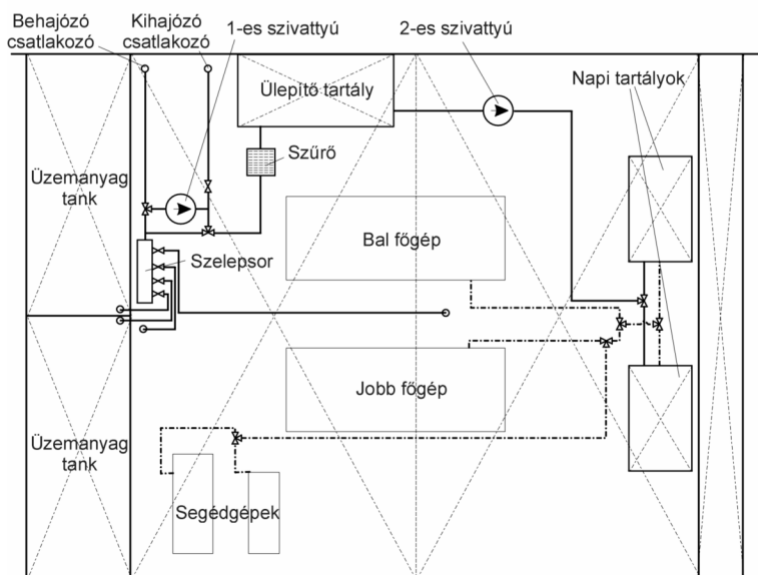


4.2.2.3.1.1 ábra Két főgépes dízelmotoros hajó üzemanyag rendszere

A rendszer kialakítása minden esetben meg kell, hogy feleljen az adott hajó fő- és segédüzeme, és az egyéb különleges feltételek által megszabott feltételeknek. A rendszer két fő feladata a hajó üzemanyag készletének kezelése és az erőgépek ellátása.

A világ polgári célú hajózásának döntő többségére a dízelmotor a jellemző, ezért ebben az anyagban a dízel üzemnél elfogadott megoldásokat ismertetjük.

A dízelmotorok adagoló szivattyúi csak hozzáfolyással képesek



működni, ezért biztosítani kell a géptér felső részében elhelyezett ejtő-tartályt (napi tartályt). A tankban levő üzemanyagot az *üzemanyag szivattyúval* a *napi tartályba* töltik, hogy a motor adagoló szivattyújához hozzáfolyhasson. Az üzemanyag útja tehát a behajózástól (az üzemanyag tank megtöltésétől) a felhasználásig a következő:

tankhajó › üzemanyag tank › üzemanyag szivattyú › napi tartály › motor

Amennyiben az üzemanyag eredete kétséges vagy egyéb körülmény szükségessé teszi, *ülepítő tartályba* kerül szűrőn keresztül, és onnan egy másik szivattyú nyomja fel a letisztult üzemanyagot. Az ülepítés és előzetes szűrés helyett alkalmazhatóak a *szeparátorok*, amelyek sokkal termelékenyebben az ülepítésnél.

A napi tartályban a főgépek 8-órás üzeméhez elegendő üzemanyag tárolható. Általában egy napi tartály van, de szükség esetén kettő is kialakítható. Az üzemanyag szivattyúnak önfelszívónak kell lennie, és ökölszabályként ezer lóerőnként 30 m³/h teljesítményt követelnek meg.

A 4.2.2.3.1.1 ábrán egy szokásos üzemanyag csőrendszer látható.

4.2.2.3.2 Kenőolaj rendszer

A *kenőolaj rendszer* kialakítása az üzemanyag rendszeréhez hasonlóan két fő feladat teljesítésének van alárendelve, a hajón levő kenőolaj készlet behajózása (kivételes esetekben kihajózása), tárolása és kezelése, valamint a gépek ellátása. Emellett felmerül azonban a harmadik jelentős feladat is, ami abból adódik, hogy az üzemanyaggal szemben a kenőolaj nem egyszerűen elfogy, hanem friss olajból *fáradt olajj*á változik az egyes gépekre jellemző adott üzemidő során. Emiatt tehát azzal is foglalkozni kell, hogy a gépekből kinyert fáradt olajat szükséges tárolni és kikötőbe érkezéskor a hajóból eltávolítani.

A rendszer első funkciója viszonylag egyszerű: a kenőolaj betöltő nyíláson át zárt rendszerben a tankhajóból vagy parti töltőállomásról a hajó kenőolaj tankjába kerül. A készlet eljuttatását az egyes gépek saját zárt rendszeréhez a kenőolaj szivattyúval lehet elvégezni. Ez a szivattyú elektromos meghajtású örvényszivattyú és a segédüzem része. A gépek saját üzeméhez nincs rá szükség, de közre tud működni olyankor, ha nem külső szivattyúval történik a készlettank feltöltése, illetve a fáradt olaj kihajózásánál is szerepe van.

Az egyes gépek, amelyek kenőolajat igényelnek, kisebb eszközökön kívül, amelyeket manuálisan szolgálnak ki gépészek, lényegében a fő- és segédgépek. Ezek jellegüknél és üzemüknél fogva saját kenési rendszerrel bírnak, csupán a rendszer feltöltése igényel felügyeletet. A leggyakoribb esetekben a fő- és segédgépek dízelmotorok. A főgépek szinte minden esetben, a segédgépek pedig nagyobb teljesítményű egységek esetén száraz olajteknővel működnek (száraz-karteresek), ami azt jelenti, hogy csak annyi kenőolaj van az olajteknőben, amennyit a karterszivattyú már nem tud eltávolítani. A gép olajkészlete a kiegyenlítő tartályban van, innen nyomja be a kenőszivattyú az olajat az egyes kenési helyekre (szelephimbák, szelepek, a gépről meghajtott segédeszközök, a forgattyús tengely csapágiai, stb.).

A kisebb dízelmotorok nedves-karteres rendszerűek, nincs külön kiegyenlítő tartályuk, a gép készlete az olajteknőben van. A kenőszivattyú innen szív és az olajat a kenési helyekre nyomja.

Mivel a kenőolaj a kenési funkción kívül hűti is a kenési helyeket, eközben felmelegszik. Szükség van tehát az olaj hűtésére is, amely csöves hőcserélőkben zajlik le, a hűtőközeg a gép hűtőfolyadéka. Az olaj élettartamának meghosszabbításához az is elengedhetetlen, hogy a kenési művelet során bekerült szennyeződések el lehessen távolítani, tehát a karterből jövő olajat szűrőn kell átfolyatni.

A *kenőolaj-szivattyúk* rendszerint önkenő jellegűek, többnyire fogaskerék-szivattyúk. A kenőolaj csőrendszer hajóhoz tartozó része az elmondottak értelmében viszonylag egyszerű. A gépek kenőolaj rendszerét azok gyártója saját konstrukciója szerint alakítja ki, csak a gépek és a hajó rendszere közötti összeköttetést kell a hajóépítőnek biztosítani. A gépek saját rendszere megfelelő műszerekkel is el van látva, a fő kenési helyeken uralkodó nyomást és a kilépő olaj hőfokát ezek jelzik. A kiegyenlítő tartály többnyire a hajó tartozéka, annak folyadékszintjét szintjelzőn lehet figyelni.

4.2.2.3.3 Levegőrendszer

A hajókon számos feladat csak sűrített levegővel oldható meg. Ezek általában:

- főüzemi dízelmotorok indítása,

- hajókürt és jelzőrendszerek működtetése,
- fenékszelep kifűvatása,
- szennyvízszelepek tisztítása,
- egyes esetekben a hajó fűtését és melegvíz ellátását végző olajkazán táplálása,
- kéziszerszámok működtetése.

A sűrített levegő tárolására *légpalackok* szolgálnak, előállítását *kompresszorok* végzik. Rendszerint van elektromosan vagy közvetlenül egy külön erőgépről meghajtott segédüzemi kompresszor és a főgépekre is rá van építve az úgy nevezett tengelykompresszor. A sűrített levegő az elmondottak szerint a hajó gépi üzemének egyik legfontosabb része, tehát az előállítására szolgáló kompresszor mindenképpen elindítható kell, hogy legyen. Amennyiben a segédüzemi kompresszor az elektromos hálózatról működik, akkor kell lennie olyan segédgépnek, amelyet kézi erővel be lehet indítani. Amennyiben külön saját erőgépe van, annak kell kézzel indíthatónak lennie. A hajók sűrített levegő rendszere teljesen eltérő az általános ipari alkalmazásoktól. A levegőrendszer nyomása 35 bar, a csővezetékeket 70 bar értékre kell tervezni, ami rendkívül jó anyagot igényel. A levegő kis sűrűsége miatt áramlási veszteséggel nem kell számolni. Minimális hálózati nyomás 10 bar.

A vezetékekben vízlecsapódás fordulhat elő, ezért egyenesre kell tervezni lehetőség szerint, és lejtőre kell kialakítani. A pára miatt lecsapódó víz kifűvatására mind a vezetékekben, mind a palackon lehetőséget kell biztosítani.

A levegőrendszer próbálása során szappanos vizet használnak, a szivárgást a habosodás jelzi.

A légpalackok összes űrtartalmát a légszükséglet ismeretében lehet meghatározni. A gépek gyártói megadják egy indítás levegőszükségletét, a többi szükséglet mellett a főgépek 10-16-szoros indítását kell tudni biztosítani anélkül, hogy a segédüzemi kompresszort be kellene indítani.

A légpalackok darabszáma az összes űrtartalomból és a beszerezhető illetve a géptérben elhelyezhető palackok űrtartalmától függ. Általában főgépenként egy-egy palack van, a segédüzemi levegőigényhez egy további palackot helyeznek el.

A légtartályokat általában álló helyzetben építik be, bár az utóbbi években a fekvő kivitelű légtartályok is megtalálhatóak. Az álló palackok egyik végükön vannak szerelvényekkel ellátva, és zavartalanabb a vízfűvatás művelete. Amennyiben a géptér magassága korlátot szab, legfeljebb 20°-os szögben a palackok megdönthetőek.

A palack felső végén kialakított fejre három vezeték csatlakozik: a töltő-, a fogyasztó- és a kifűvató-vezeték, az utóbbi a palack aljáig lenyúlik. A lefűvatásnál nem csupán a lecsapódó víz távozik el, hanem a kompresszorokból a levegővel bekerülő olaj is. A lefűvatás során a folyadékkal telített levegőt a fenékbe vezetik, a kiürülő folyadék aztán a fenékszívó rendszerrel üríthető a szennyvíztartályba.

A segédüzem kompresszor általában szokásos dugattyús kompresszor.

A főgépre épített kompresszor lehet a gép egyik hengere (pl. öthengeres motornál a hatodik henger a kompresszor), vagy lehet egy normál dugattyús kompresszor, amelyet a főgép hajt meg.

A dugattyús kompresszorok hűtése hasonlóan van megoldva, mint az erőgépeké. A 35 bar üzemi nyomás egyébként kétfokozatú konstrukciót tesz szükségessé.

4.2.2.3.4 Hűtővíz-rendszer

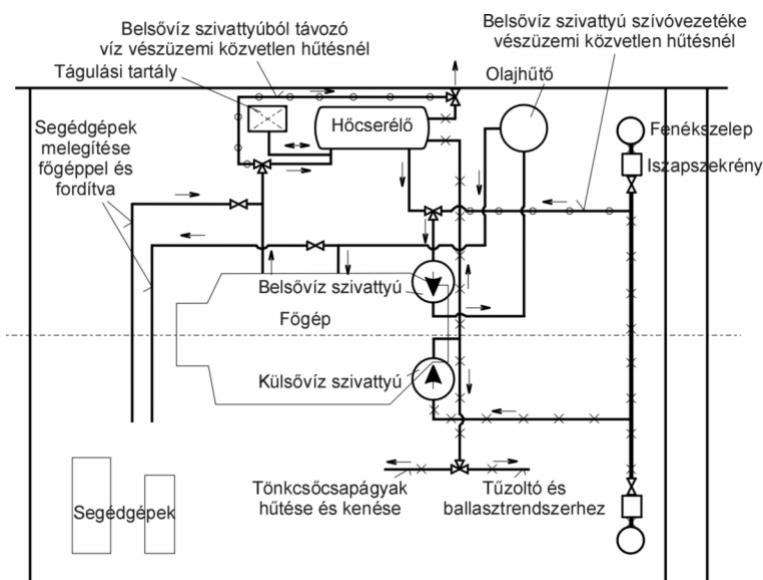
A *hűtővíz rendszer* funkciója az erőgépeknél és egyéb helyeken állandóan keletkező hőmennyiség elvezetése. Három fő hő-termelő forrás van:

- az erőgépek hengereiben uralkodó magas égési hőmérséklet miatt keletkező hőmennyiség,
- a hajócsavarok tengelyeinek csapágynál keletkező hő és
- a kipufogócsövek és dobok magas hőmérséklete miatt keletkező hő.

A hő-termelő források hűtése lehet közvetlen vagy közvetett. Közvetlen hűtés olyan helyen alkalmazható, ahol a hűtött berendezés nem kényes, pl. a tengelycsapágók és a kipufogó csövek esetében (ez utóbbiakat csak olyan mértékig kell lehűteni, hogy ne jelentsenek tűzveszélyt a közelükben levő szerkezeti elemeknek átadott hőszugárzás útján). Az erőgépek belső hűtőjáratai azonban olyan kényesek, hogy külső vízzel való hűtés elképzelhetetlen. Ezért a motorok hűtése mindig közvetett, azaz két körös: egy csöves hőcserélő csöveiben áramlik a külső víz, amely a fenékszeleptől az iszapszekrényen és szűrőn át érkezik, a csövek között keresztirányban pedig a belső vízkör közege áramlik, amely ivóvíz minőségű, esetleg ioncserélt víz, hogy a motor hengereinek hűtőjárataiban semmilyen lerakódás ne keletkezzék.

A dízelmotorok esetében a külső vízkör vízigénye egy lóerőre számítva kb. 40 liter. A csövek méretét úgy kell megválasztani, hogy szívócsőben a 2 m/sec, nyomócsőben az 5 m/sec sebességet a folyadék le lépje túl. Nagyobb sebességnél aránytalanul megnőne a szivattyú teljesítménye a veszteség miatt.

A következő ábra egy egycsavaros teherhajó szokásos hűtővíz rendszerének legfontosabb részleteit mutatja.



4.2.2.3.4.1 ábra Hűtővíz csőrendszer

A sémáról kiderül még néhány részlet. A külsővíz szivattyú szolgáltatja a vizet a tűzoltó és a ballaszt vízrendszer számára, amennyiben a rendszerek saját szivattyúja hibás vagy nem elegendő. Ugyanígy a hagyományos fa- vagy gumiléces tönkcső-csapágók hűtéséhez és kenéséhez szükséges külső víz

táplálását a főgép külsővíz szivattyúja végzi.

A főgép belsővíz rendszere alkalmas a segédgépek előmelegítésére, illetve ez fordítva is elképzelhető, természetesen az több időt vesz igénybe.

A hőcserélő hibája esetén vészüzemként lehet a főgépet közvetlenül a külső vízzel hűteni, azonban ez nem lehet tartós, és a normál üzemre való visszatérés előtt a belsővíz rendszert át kell mosni.

A sémán nem szerepel minden részlet. Az említetteken kívül a főgép két vízszivattyújának képesnek kell lennie egymás helyettesítésére.

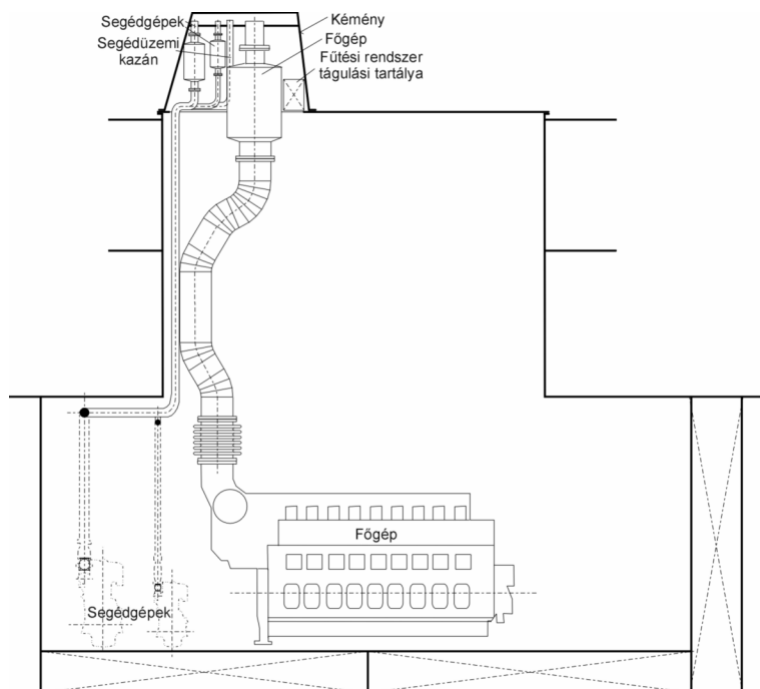
A külsővíz szivattyút rá kell tudni kapcsolni a fenékvíz rendszerre, és helyettesítenie kell az esetleg üzemképtelen fenékvíz szivattyút.

Ezen kívül számos olyan egyedi megoldás létezik, amely a hűtővízrendszert hasznosítja, pl. egyes tereket fűteni lehet a belső vízzel.

4.2.2.3.5 Égéstermék-elvezető (kipufogó) rendszer

A hajó energia-ellátását (a propulzió és a segédüzem számára egyaránt) olyan erőgépek biztosítják, amelyek fosszilis tüzelőanyagok elégetésével állítják elő az energiát (kivételt képeznek a nukleáris főüzemmel épített hajók). Az égés során füstgázok és kipufogó gázok keletkeznek, amelyek károsíthatják a környezetet, ezért azok biztonságos elvezetéséről gondoskodni kell.

Az erőgépek gyártója meghatározza a füstgázok elvezetésére szolgáló csővezeték méretét, ennél nagyobb keresztmetszetet érdemes alkalmazni olyankor, ha a vezeték különlegesen hosszú. A belsőégésű motorok kipufogó vezetékébe dobot kell építeni a kipufogás zajának csökkentése érdekében. A dobokat a hajó kéményében helyezik el, ahol a lakótér fűtővízrendszerének tágulási tartálya is helyet kap. A fűtés és melegvíz-ellátás feladatát teljesítő segédüzemi kazán füstcsöve dob nélkül van felvezetve a kéménybe.



4.2.2.3.5.1 ábra

Egycsavaros áruszállító hajó szokásos kipufogó rendszere

A belsőégésű motorok működésük közben rezgéseket keltenek, a segédgépek ezen kívül rendszerint rugalmasan vannak alapozva, így mindenképpen szükség van a gép és a csőrendszer bizonyos szétválasztására, hogy a folyamatos fémes kapcsolat a hajó és a gép között meg legyen szakítva. Erre szolgálnak a

rugalmas közdarabok. A kisebb gépeknél ezek lehetnek gégecsövek, de előfordulnak gömbcsuklós szerkezetek is.

A nagyobb gépeknél a rezgések a merev alapozás miatt mindenképpen átjutnak a hajótestre, azoknál azonban a konstrukció biztosítja az alacsony vibrációs szintet. Ott inkább a hő-tágulásra kell figyelmet fordítani (ami a kisebb gépeknél is része a problémának), erre a célra megfelelő harmonikaszerű közdarabok állnak rendelkezésre. Ezek konstrukciója olyan, hogy a közdarab alsó végén levő karima hegesztett kötéllel csatlakozik a harmonika alsó végéhez, amelynek felső vége a felső karimához van hegesztve. Ez több milliméter hő-tágulást tesz lehetővé. Az alsó karima azonban egy belső csődarabhoz is hozzá van hegesztve, amely elfér a harmonika belsejében, és felső vége szabadon van hagyva. Amikor az alsó és felső karima a hőhatás miatt változtatja egymáshoz képest a távolságát (gyakran szögét és tengelyvonalát is), a csődarab az alsó karimával együtt mozog. Feladata lényegében az, hogy a kipufogógázt átvezesse a harmonikán, és a füstgázból a koromrészecskék ne tudjanak lerakodni a harmonika öbleiben.

A kipufogó- és füstgázvezető csöveket szigetelni kell, mivel a bennük áramló közeg hőmérséklete 2-300°C, ami tűz- és balesetveszélyt jelentene. A szigetelés általában ásványi gyapot, amelyet olyan helyen, ahol nincs az a veszély, hogy valami felsérti a szigetelést, kenderszövettel csavarnak be és tűzálló ezüsttel festenek be, ahol pedig ki vannak téve fizikai sérülésnek, vékony lemezburkolattal látnak el, amelyet oldható kapszok tartanak a helyén. A szigetelés kb. 5 cm vastag.

A dobok zajcsökkentő hatása abból ered, hogy a füstgáz a dobon belül többször is hirtelen nagyobb térbe jut, ahol kiterjedhet, majd ismét szűkebb nyíláson kényszerül áthaladni.

A csőrendszer hideg és meleg állapota között jelentős a hosszkülönbség. Emiatt szükséges egyrészt a rugalmas közdarab, másrészt a lehető legtöbb irányváltoztatás a dilatáció kiegyenlítésére.

A jelentős méretű és hosszúságú csővezetékek súlya jelentős, ezért megfelelő méretű és konstrukciójú tartókat kell a vezetékek mentén a falakon elhelyezni és a csöveket azokhoz erősíteni. A függőleges szakaszokra felhegesztett tartókarimák elengedhetetlenek.

Hő-hasznosítás

A kereskedelmi hajókra az a jellemző, hogy viszonylag nagy távolságokat tesznek meg tartósan a maximális sebesség közelében. A főgépek ilyenkor huzamosan közel 100% teljesítménnyel dolgoznak, és a gépekből eltávozó füstgáz hőmérséklete állandóan 300°C körül van. A füstgázok hőtartalmának kinyerését szolgálják a hő-hasznosító kazánok.

A hő-hasznosító kazánok olyan kipufogódobok, amelyeket hőcserélőként alakítanak ki, és a füstgáz lángcsöves kazánhoz hasonlóan a belső csöveken áramlik át, a csövek közötti térben a fűtővíz-csőrendszer közege áramlik keresztirányban. A füstgáz hőmérséklete a fűtővíz áramlási sebességétől és a hőcserélő felületétől függően 50-60 fokkal csökken, a fűtővíz pedig felmelegedve áramlik a fűtőtestekhez.

A hő-hasznosítás két szélső esete a nyári időszak, amikor a kipufogógázt a hő-hasznosító megkerülésével csak egy kipufogó dobon át vezeti a szabadba, illetve a

leghidegebb időszak, amikor a hő-hasznosító teljesítménye nem elegendő a fűtőtestek melegen tartásához. A hő-hasznosítót tehát egyrészt lekapcsolhatóra kell megtervezni, másrészt sorba kell kapcsolni a segédkazánnal, hogy amennyiben nem elegendő a leadott hő, a fűtővizet tovább lehessen hevíteni.

A hő-hasznosítás lehetőségének kihasználását vagy elmulasztását a hajótulajdonosnak kell mérlegelnie az adott hajó üzemi körülményeinek ismeretében.

4.2.2.4 A személyzet és utasok életfeltételeit biztosító rendszerek

A hajókon a legénység és az utasok alapvető igényeinek kielégítésére szivattyúk és megfelelő csőrendszerek vannak kialakítva, ilyen pl. a hideg és meleg édesvíz hálózat, valamint a szaniter célra és tűzoltásra szolgáló tengervíz csőrendszer.

4.2.2.4.1 Hideg- és melegvíz vízellátó rendszer

A hajó *vízellátó rendszerének* alapvetően két különféle feladatot kell teljesítenie. Egyik az ivóvíz minőségű vizet igénylő funkciók összessége, a másik az olyan műveletekhez szükséges víz biztosítása, ahol higiéniailag és tisztaság szempontjából elegendő a külső víz használata. A két vízminőség két független rendszert követel meg.

Ivóvíz minőséget kell biztosítani az ivóvíz csapok, a zuhanyozás és a főzés és mosogatás, illetve mosodai műveletek részére. Mindkét rendszer nyomását hidrofor tartály biztosítja. A rendszerek nyomása csak a nagy személyhajókon éri el a városi hálózatok értékét, a kereskedelmi hajókon a rendszer túlnyomása 1-2,5 bar.

Egyre több nagy személyszállító hajó rendelkezik nagy kapacitású alacsony-nyomású desztilláló berendezéssel, amellyel az út során édesvizet tudnak előállítani, ugyanis a nagy fogyasztás miatt tekintélyes méretű tankokat kellene beépíteni. Azok helyét jobban tudják úgy hasznosítani, hogy üzemanyagot szállítanak bennük, amellyel a hajó hatósugara nő. Az iváshoz és főzéshez szükséges ivóvízmennyiséget illetve a mosdáshoz szükséges vizet, stb., a kettősfenékben elhelyezett tankokban tárolják, ez független rendszer, a két különálló rendszer szivattyúja is független egymástól, bár mindkettő ivóvíz minőséget jelent. A melegvíz eredetileg a hideg ivóvízrendszerből származik, egy visszacsapó-szelepen át jut a tároló rendszerű bojlerbe, amely fűtőbetétekkel van ellátva, a melegvíz pedig a rendszer nyomása alatt jut a kifolyó szerelvényekhez.

A külső víz alkalmazható a WC-k öblítésére és a takarítási műveletekhez. A szaniter vízrendszer a toalették öblítéséhez és hasonló célokra szolgáltatja a tengervizet, a teherhajókon lehet a szivattyú hidro-pneumatikus meghajtású, a személyhajókon azonban, ahol nagyobbak az igények, a szivattyúnak folyamatosan működnie kell. Megoldható a külsővíz hidrofor feltöltése a főgép külsővíz szivattyújával is.

A vízigény számítására a hajóosztályozó intézetek előírásait kell figyelembe venni. A számításnál a legfontosabb három tényező a hajó kategóriája, az ellátandó létszám és a hajó akciósugara. Ökölszabályként 10 litert lehet számítani naponta fejenként ivóvízből és 20 litert mosdásra illetve hasonló felhasználásra.

4.2.2.4.2 Szennyvíz- és fekáliarendszer

A hajón felhasznált víz, amennyiben környezet- vagy egészségvédelmi szempontból káros, nem vezethető vissza a külső környezetbe a hajóról, hanem az arra rendszeresített tankokba kell vezetni, majd kikötőben elszállíttatni. A szennyvíz és a fekália általában külön tankba kerül. A környezetre nem ártalmas szennyezett víz közvetlenül a külső vízbe továbbítható, a kidobó-vezeték nem vezethető át a hajó oldalán a szabadoldal alatt.

A szennyvíz-vezetékeket az épületgépészeti elvek szerint kell vezetni. Minden lefolyónál búzzárt kell alkalmazni, az olyan csővezetékeket, amelyekben fekália is lehet, vagy vízszintesen kell vezetni, vagy legfeljebb 5 fok lejtéssel, különben elzáródhatnak.

A hajótestben levő lefolyóvezetékeknél fontos szempont, hogy a tank telítődésekor ne folyhassanak vissza.

4.2.2.4.3 Fűtő-csőrendszer

A hajókon a *fűtőrendszerben* áramló közeg az esetek nagy többségében melegvíz, a gőzt csak olyan hajókon használják, ahol az nem igényel külön előállítást, de a melegvíz jobb szabályozhatósága miatt ott is gyakran használják hőcserélőket a közvetlen gőzfűtés helyett. A melegvízfűtéshez szükséges hőt a segédüzemi kazán termeli, de van, ahol a dízel főgép kipufogógázának hőtartalmát hasznosítják.

A csőhálózat kialakításának módja nem különbözik a szokásos épületgépészeti gyakorlattól.

Azokon a hajókon, ahol a fő- és segédüzem egyaránt elektromos alapokra van fektetve, a fűtés is elektromos. Ez a legkönnyebben szabályozható és leggazdaságosabb rendszer. A fűtött terekben szokásos hőmérsékleti értékek, amelyeket a fűtőrendszer tervezésénél figyelembe kell venni -15°C külső hőmérséklet esetén:

| <i>Helyiség</i> | <i>Belső hőmérséklet °C</i> |
|----------------------|-----------------------------|
| lakókabinok | 20 |
| fürdőszoba | 25 |
| géptér (álló gépnél) | 15 |

4.2.2.4.4 Szellőztető rendszer

A hajó személyzeti lakóterében és az utasszállító hajók utasterében biztosítandó légcseré mértékét a hajóosztályozó intézetek írják elő.

Személyzeti lakóterekben óránként 3-5-szörös légcseré szükséges, egyébként az épületgépészeti gyakorlattól nincs jelentős eltérés.

A munkára szolgáló terekben, amilyen a gép- és kazántér, az osztályozó intézetek pontosan előírják a szellőztetés módját és mértékét. A gép- és kazánterekben túlnyomást kell biztosítani.

A szellőztető rendszer ventilátorai kevés kivételtől eltekintve centrifugális gépek, a légszatórnák lehetnek szögletesek, ezeket jól el lehet rejteni a burkolat alatt, de lehetnek a kereskedelembe forgalmazott spirálhegesztésű kör-keresztmetszetű csövek is.

4.2.3 Fedélzeti berendezések

A hajók klasszikus berendezéseinek említésekor azok a szerkezetek jutnak a legtöbb ember eszébe, amelyek a fedélzet felett helyezkednek el. Ezekre valamennyi hajótípusnak szüksége van, ezért ezek a berendezések meglehetősen hasonlóak akkor is, ha két teljesen eltérő hajót hasonlítunk össze.

A fedélzeti berendezések nagy részét a hajó szerkezeti felépítése során már láttuk, mint pl. a kormánylapátokat, amelyek a farszerkezet szerves részét alkotják, vagy a horgonycsővet és lánckamrát, amely az orr tartozéka. A kiszolgáló gépi berendezésekről azonban ebben a fejezetben lesz szó.

A fedélzeti berendezések négy fő csoportja a következő:

- kormánymozgató berendezések,
- kikötő-, horgony- és vontatócsörlők, valamint csónakcsörlők
- rakodó-berendezések és
- rakománykezelő és hozzáférést biztosító berendezések.

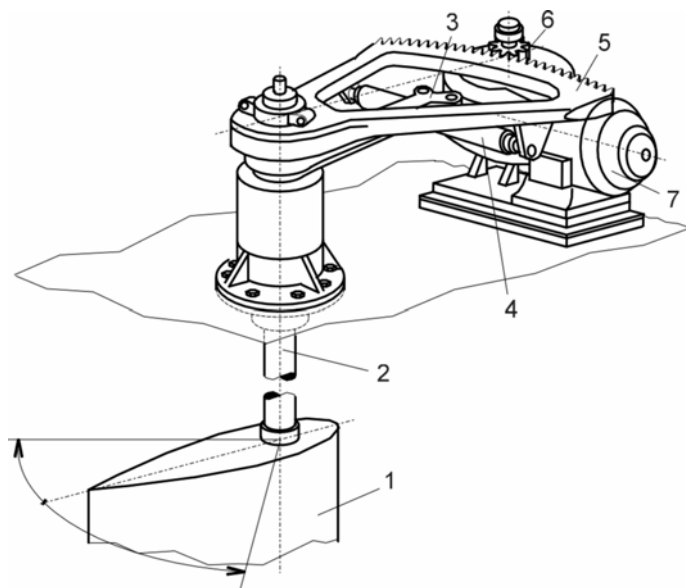
A kormánymozgató berendezések általános előírásairól a farszerkezetről szóló fejezetben szoltunk. Itt a különböző típusú kormánygépek fognak szerepelni.

Az orrszerkezetről láttuk a horgony tárolását és kezelését biztosító szerkezeti megoldásokat, ez a fejezet a horgonylánc kezelését végző csörlőket ismerteti.

A másik két csoportról még nem esett szó, azokat teljes mértékben ez a fejezet tartalmazza.

4.2.3.1 Kormánymozgató berendezések

A hajó kormányzásáról a 2.4.2 fejezetben esik bővebben szó. A kormányzás tulajdonképpen azt jelenti, hogy a hajó mozgását a kívánt útvonalhoz igazítják. Ezt három berendezés teszi lehetővé.

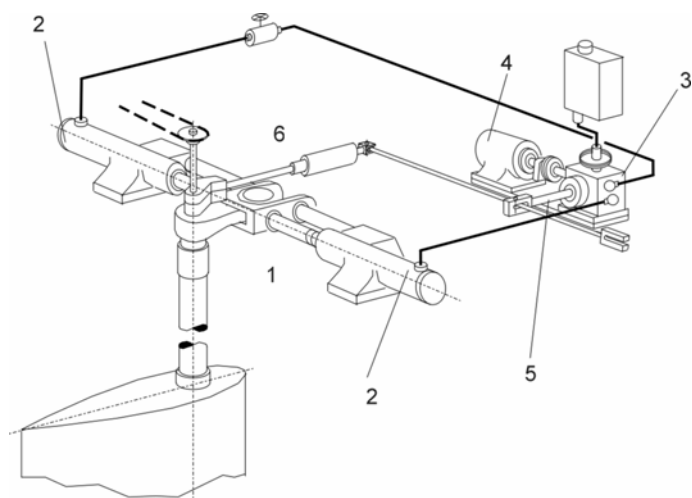


4.2.3.1.1 ábra Kormánymozgató berendezés működési elve

A kormánylapát vagy egyéb külső kormány szerv (pl. forgatható Kort-gyűrű, orrsugar kormány) feladata, hogy a vízben mozgó hajótestre erőt gyakoroljon, és azt a kívánt haladási irányba állítsa be. A *kormánygép* vagy *kormánymozgató berendezés* a kormány szervet a szükséges helyzetbe mozgatja a kívánt idő alatt. A szükséges helyzetet a hídon elhelyezett

kormányvezérlő eszköz (kormánykerék, kormánykar, stb.) jelöli ki, amellyel a kormányzást végző tengerész (vagy automatikus kormányzásnál az irány tartására szolgáló gépi eszköz) kiadja a parancsot a beállítandó helyzetre vonatkozóan. A 4.2.3.1.1 ábra elektromotoros kormánygéppel mozgatott kormánylapát működését mutatja. A kormánylapát (1) tengelyéhez (2) reteszeléssel csatlakozik a mozgatókar (3). A fogas-ív (5) csapágyazva van a kormányszáron, mozgatását a kar végzi a rugókon (4) keresztül. Ez a rugós kapcsolat védi a mozgatószerkezet fogaskerekeit a lökészerű erőhatásoktól.

A fogas-ívhez csatlakozó fogaskereket (6) mechanikus kormányyszerkezetnél a kormánykerék által forgatott tengelyrendszer, az ábrán látható elektromos erőátvitelnél viszont a villamos motor (7) hajtja meg.

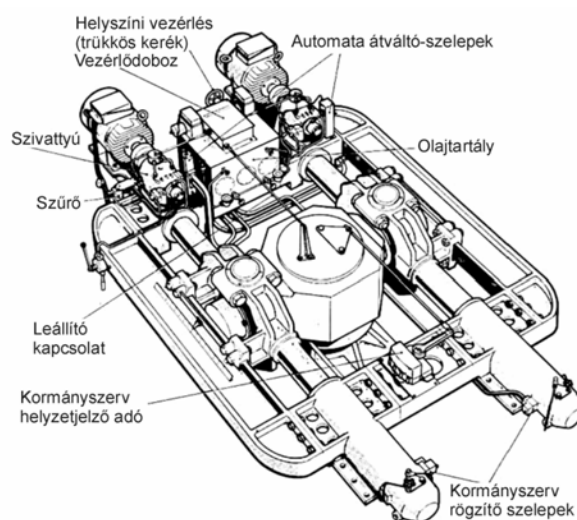


4.2.3.1.2 ábra Hidraulikus kormánygéppel mozgatott kormánylapát sémája

A hajók hidraulikus kormányyszerkezetének mintegy száz év alatt sok megoldása alakult ki. A 4.2.3.1.2 ábrán a nagyobb hajókon szokásos kormánygépek egyszerűsített vázlatát láthatjuk.

A kormányszárra felerősített karon levő kulissza (1) a hidraulikus hengerek (2)

dugattyúrúdjaához csatlakozik. A hengereket egy-egy cső köti össze a szivattyúval (3). A szivattyút hajtó villamos motor (4) állandóan forgatja a szivattyút. A vezérlőrud (5) középállásában a szivattyú nem szállít. Ha a szabályozó rúd irányban elmozdul (pl. a kormánykerék elforgatása miatt), a szivattyú az egyik hengerből szív, a másikba nyom.

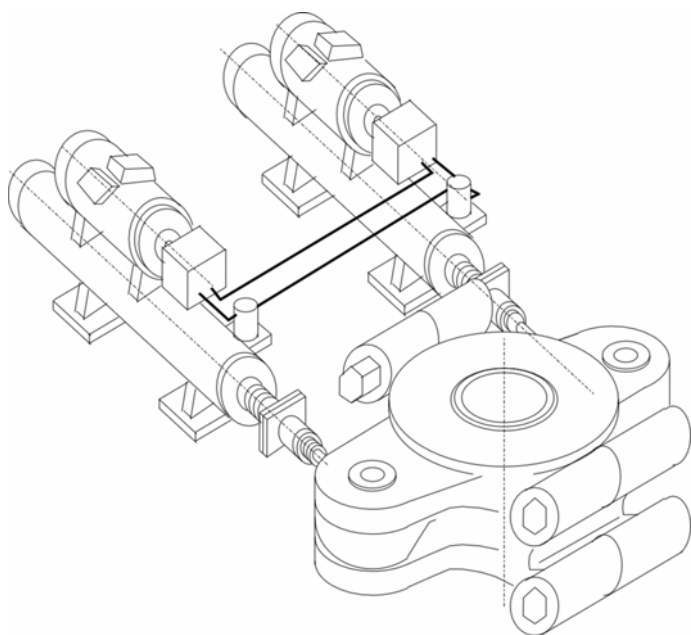


4.2.3.1.3 ábra Négy hidraulikus hengerrel működő kormánygép

A szivattyú addig szállít, amíg a kormánylapát a kellő kitérést eléri. Amint a vezérlés-visszavezető rudazat (6) a kulissza mozgása miatt középállásba kerül, a szivattyút visszaállítja kiindulási helyzetébe, középállásba, amikor az nem szállít. A kisebb hajóknál és csónakoknál a kormánygép és a kormányvezérlő eszköz egyesítve van, a külső kormány szervet a kormányzást végző

ember kézi ereje mozgatja. Amikor azonban a kormánylapát elfordítása a rá ható nyomaték miatt túlzott erőt igényel, annak mozgatását gépi erővel kell megoldani. Az első kormánygépekre a gőzhajókon merült fel az igény, a kormánygép olyan kisebb méretű gőzgép volt, amelynek működését a kormánykerék elforgatása vezérelte. A kormánykeréktől a hátul elhelyezett kormánygépig mechanikus kapcsolatot építettek ki, rendszerint huzalok és láncok segítségével.

A nagyobb hajókon a kormány külső szerveinek mozgatásához jelentős teljesítmény szükséges, ezt a legtöbb esetben hidraulikus erőátvitellel érik el. A kormánygép a legtöbb esetben két vagy több hidraulikus henger összehangolt működésével mozgatja a kormánylapát tengelyét. A kormánygép és a kormányvezérlő eszköz szervesen összetartozik, a kormányvezérlő művet a kormánygép paramétereire kell megtervezni, ezeket a területre szakosodott gyártók állítják elő.

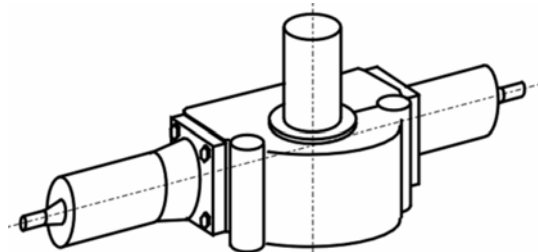


4.2.3.1.4 ábra HYDROSTER kormánygép

A hajózási kormánygépeket arra szakosodott üzemek gyártják, amelyeknek ezen a területen nagy gyakorlatuk van, és a hajóosztályozó intézetek szigorú előírásai biztosítják, hogy ezt a területet egy meglehetősen zárt gyártókör sajátította el. A hajógyárak csak ritkán foglalkoznak ezeknek a berendezéseknek a készítésével, az erőgépekhez és a többi speciális berendezéshez hasonlóan beszállítókra

támaszkodnak.

Két további példát láthatunk hidraulikus kormánygépekre. Egyik a HYDROSTER cég terméke, amely kettő vagy négy hidraulikus hengerrel rendelkezik, ezek összehangoltan fordítják a kormánylapát tengelyére felszerelt agyat a kívánt helyzetbe.



4.2.3.1.5 ábra Jastram Model K kormánygép

A másik a kanadai Jastram Engineering Ltd. Model K típusú nehéz üzemi körülményekre tervezett kormánymozgató szerkezete. Működtetését egy mindkét irányban működő henger végzi.

4.2.3.2 Kikötő-, horgony- és vontatócsörlők, valamint csónakcsörlők és daruk

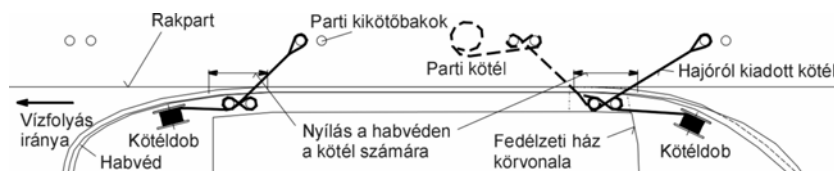
A hajónak a rakparthoz, a mederfenékhez és (más vízi-járművek vontatására szánt géphajók esetében) a másik úszóműhöz való rögzítése kötelekkel vagy láncokkal a hajó üzemideje során gyakran előfordul, rutin művelet, amely azonban sok veszélyt is rejt magában, mivel a hajó természetes vízi-utakon közlekedik, ahol az elemek minden viszontagságának ki van téve.

Ezeket a műveleteket csak akkor lehet biztonságosan végrehajtani, ha a hajó fel van szerelve a szükséges gépi berendezésekkel. A kötelek és láncok mozgatása, tárolása, behúzása, kiengedése olyan szerkezetekkel végezhető, amelyek egyrészt egyszerűek, azonban tökéletesen megbízhatóak. Az ilyen egyszerű gépeket nevezzük csörlőknek. Közös vonásuk, hogy fogaskerék-áttétel segítségével minimális kézi vagy gépi erővel nagy kötél- vagy láncerőt lehet kifejteni (a fizika törvényei szerint a kötél vagy lánc sebességének kicsinek kell lennie). A nagy erők ellenében azonban megfelelő fékekkel is rendelkezniük kell, illetve olyan átkapcsolási lehetőséggel, amikor a lánc vagy kötél szabadon futhat le a tároló dobról vagy a lánckamrából.

Az egyes csörlőtípusok konstrukcióját saját közvetlen feladatuk határozza meg.

4.2.3.2.1 Kikötőcsörlők

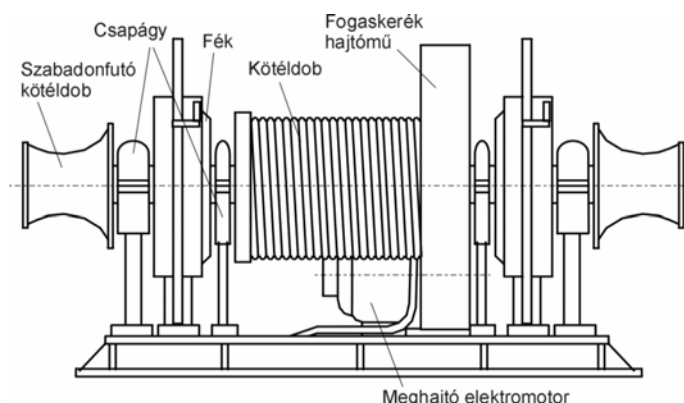
A kikötés a hajó biztonsága szempontjából alapvetően fontos művelet. A kikötéshez kellő szakítószilárdságú sodronykötél van a hajó mindkét oldalán a fedélzeten felállított, esetleg lerögzített kötéldobokra felcsavarva. A kötélszálak úgy van megválasztva, hogy a legszélsőségesebb körülmények között is elegendő legyen (pl. alacsony vízállásnál a rakparttól messze elhelyezett *kikötőbakokig* elérjen vagy rakpart híján a mederbe süllyesztett kikötőkarokon álló hajóról a partig ki lehessen vinni).



4.2.3.2.1.1 Kikötött hajó

A kikötés abból áll, hogy a géperő

segítségével lelassítják a hajót, a partra kiadják a kötélszálakat, azt a parti személyzet az



4.2.3.2.1.2 ábra Kikötőcsörlő

ottani kikötőbakra veti, a kötélszál pedig a hajó habvédjénél levő bakokon több nyolcast formálnak és a felesleges kötelet visszatekerik a dobra. A súrlódás elegendő a hajó rögzítésére.

Kisebb hajókon, pl. folyami vontatókon külön kikötőcsörlőt

nem építenek be, a kikötést kézzel végzik, amikor a hajó parthoz közelebb húzásához a kötélszálakat csökkenteni kell, ezt úgy végzik el, hogy a horgonycsörlő tengelyvégén

levő szabadonfutó kötéldobra a kötélből több menetet csavarnak fel, és a lassan járatott csörlővel a kötelet behúzzák.

Nagyobb hajóknál szükség van kikötőcsörlőre, amely a saját dobján tárolt kötelet gépi erővel le- és fel tudja csavarni, rendelkezik szabadonfutó kötéldobbal, és a kötélszár beállítása után azt biztonságosan be tudja fékezni. Amikor a hajó kikötött helyzetéből elindul, a kötelet leemelik a parti bakról és elengedik, azt a kikötőcsörlővel kell felcsavarni.

A kikötőcsörlő kompakt változata a csatolócsörlő, leginkább kézi erővel működtetik. Ezt a csörlőtípust a 20. század 60-as éveiben alakították ki, amikor a folyami hajózásban a vontatásról, amelynek csörlőtípusa a vontatócsörlő, egyre nagyobb mértékben tértek át a tolóhajózásra. A tolóhajó orrát a hossz-szimmetriasíkra merőleges egyenes felületre alakítják ki, a toló-bárka far- és orrészre hasonló kiképzésű, mind a tolóhajón, mind a bárkán (az utóbbit elöl-hátul) bakokat helyeznek el azért, hogy a kikötéshez hasonló módon a tolóhajó orrát és a bárka farát, valamint az utóbbi orrát és az előtte levő bárka farát mereven csatolni lehessen. A csatolás művelete analóg a kikötéssel, csak nem a hajó oldalán, hanem annak végénél végzik el.

4.2.3.2.2 Horgonycsörlők

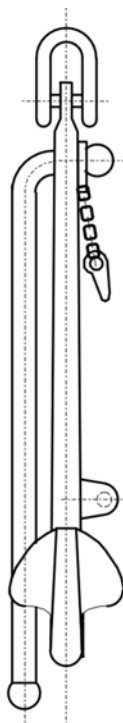
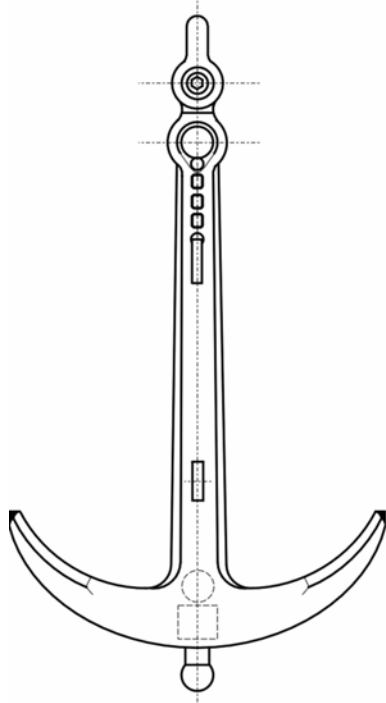
A horgonyzás a hajónak a mederfenékhez való rögzítését jelenti. Ez a művelet akkor szükséges, amikor a hajót nem lehet egy kiépített kikötőhelyen a rakparthoz, mólóhoz vagy folyam esetén a parthoz képest fix kikötőpontonhoz rögzíteni, hanem a hajó állandó helyzetét úgy kell biztosítani, hogy a mederfenékhez képest lehetőleg változatlan maradjon.

A horgony olyan szerkezet, amely egyrészt súlyánál fogva a fenékre süllyed, másrészt kialakítása miatt hajlamos a mederfenékbe belekapaszkodni. A legrégebbi horgonyok, amelyeket időszámításunk előtt elsüllyedt hajók roncsán találtak, keményfából készültek, és a szükséges súlyt rájuk erősített kövek adták.

A horgony működését tekintve hasonlít a csákányra. Két lényeges része van, a *szár* és a *kapa*. A horgony jelentősége abban áll, hogy a hajó súlyához képest elenyésző súlyú szerkezet képes a hajó helyzetét biztonságosan megtartani, felszakításához jelentős erő kell. Amikor azonban az erő nem a fenékkal párhuzamos, mint amit a szél vagy vízáramlás gyakorol a járműre, hanem függőlegeshez közeli, amivel a horgonycsörlő emeli felfelé, ez az erő sokkal kisebb, és a kapa kifordul a talajból, kivéve néhány olyan esetet, amikor nagyobb sziklatömb alá vagy egyéb akadályba akad a horgony. Az ilyen esetben nincs más megoldás, mint összekötőszemmel szétvácsolni a láncot, és a lánc végét a horgonnyal együtt feláldozni. A korábban alkalmazott horgony ma már csak régebben épült folyami uszályokon fordul elő. A négy kapa, amely a szárral egy egységet alkot, a szár alsó vastagabb végéből kiindulva ívelten visszafordul, a szárral kb. 60 fokos szöget zárnak be. Végüket tompa nyílhegy formájúra alakítják ki a befürödés érdekében. Ehhez a horgonytípushoz két láncdiós csörlőre volt szükség, ahol a két lánc sebessége össze volt hangolva, de külön is lehetett őket mozgatni. A horgony kapás végén elhelyezett gyűrűben rögzítették a *fejláncot*, ez volt a vastagabb, mivel a horgonynak ez volt a nehezebb oldala. A szár végén is gyűrűt alakítottak ki, ehhez erősítették az *anyaláncot*. A horgony tárolása a hajó orrán kiépített orr-sudáron történt,

ennek végén volt az a görgő, amelyen a fejláncot leengedték. Az anyalánc egyszerűen a fedélzet szélén csúszott bele a vízbe, a horgony felhúzott állapotában azt is feszesre húzták be. A horgony leengedésekor az anyaláncot meglazították, a fejláncot leengedték a csörlőről, és amikor a horgony a fenékre ért, annyit engedtek utána, hogy a hajót a kívánt helyre sodorja a víz, a horgony pedig végig tudjon feküdni a fenéken. Amikor a horgony a fenéken fekvő helyzetben volt, a hajó sodrásából adódó erő az alul levő két kapát beleásta az iszapba. Felhúzásnál először a kapákat kellett az iszaptól kitépni, ehhez azonban a fejlánccal a hajót a horgony fölé kellett húzni, ami a csörlő legnagyobb igénybevételét jelentette, bár ebben a hajó gépereje is segíteni tudott. A fejlánccal a horgonyt kiemelték az iszaptól és a két lánc összehangolt bevonásával a horgonyt a helyére húzták. Végül az anyaláncot megfeszítették, hogy a horgony biztonságosan lógjon a helyén.

A tengeren olyan horgonyt alakított ki a gyakorlat, amelyet az angol tengerészek admirális típusúnak neveztek el.



4.2.3.2.2.1 ábra Admirális horgony

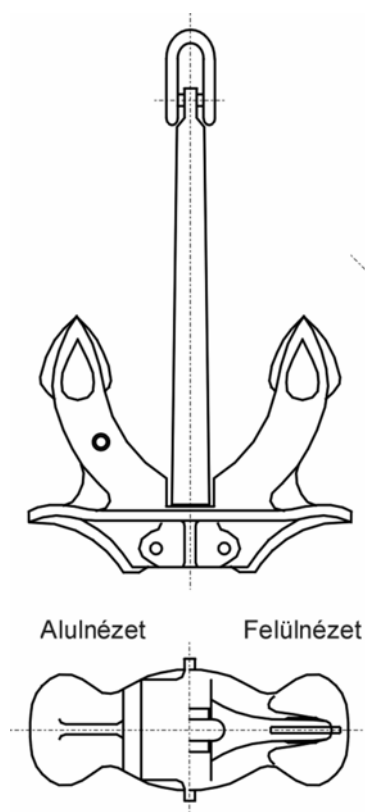
Ennek a horgonynak csak két kapája van, azonban a kapával ellentétes oldalon, a horgonyszár vége közelében csuklósan van a szárra erősítve a támasztókar. Ez a gravitáció hatására függőleges helyzetben van, amikor a horgony az anyaláncon függ. Amikor azonban a fenékre kerül, arra merőleges helyzetet vesz fel, megtámaszkodik a fenéken, és emiatt a kapák alulra és felülre kerülnek, aminek hatására a hajó sodródása beássa az alul levőt a talajba. Ennek a horgonytípusnak is két láncra van szüksége a négykapás folyami horgonyhoz

hasonló módon.

A jelenleg használatos legelterjedtebb horgonytípus a *Hall-horgony*. Ennek konstrukciója lehetővé teszi a horgonyzási művelet szinte teljes automatizálását. A horgony ugyanúgy szárból és kapából áll, mint az admirális típusú, azonban a kettő között csuklós kapcsolat van. A horgonyhoz csak anyalánc csatlakozik, amely a horgony teljes súlyát viseli. A horgony kiengedése a láncdió fékjének kioldásával történik. A mederfenékre érve a horgony vízszintes helyzetet vesz fel, majd a sodródás és a lánc-visszahúzás hatására a kapa saját súlyánál fogva belekapaszkodik a talajba, és ez tovább téríti ki a szárhoz képest, amíg el nem éri az ütközési szélső helyzetet. A horgony felhúzásakor a hajó orrát géperővel a horgony fölé kell manőverezni, hogy a

lánc a függőlegeshez közeli állapotba kerüljön, és a csörlővel fel kell emelni a szárat, ettől a kapa kiemelkedik a talajból és a horgony felhúzható.

A horgonyt nagyon ritkán rögzíti a hajóhoz sodronykötél, ez speciális hajótípusoknál fordul elő, pl. *kotróhajóknál*, ahol a horgony a kotrásra kijelölt terület lassú bejárásának eszköze: a négy horgony köteleinek összehangolt kiengedésével és behúzásával a horgonyok által kijelölt területen bármelyik pont fölé be tud állni a hajó.



4.2.3.2.2.2 ábra Hall horgony

Az elfogadott eszköz a *horgonylánc*, amelyhez többféle szem is tartozik. Maga a lánc *kalibrált szemekből* áll, mindegyik szemnek bizonyos tűréshatáron belül kell lennie, különben a lánc mozgatására szolgáló dió nem képes zavartalanul továbbítani a láncot, és ez nagyon komoly veszélyhelyzetet teremthet. A *láncdió* acélöntvényből készült tárcsa, amely a meghajtó tengelyen tengelykapcsolóval be- vagy kikapcsolt állapotba hozható. Bekapcsolt állapotban behúzza a láncot, kikapcsolva pedig megtartja vagy kiengedi, attól függően, hogy be van fékezve vagy nincs.

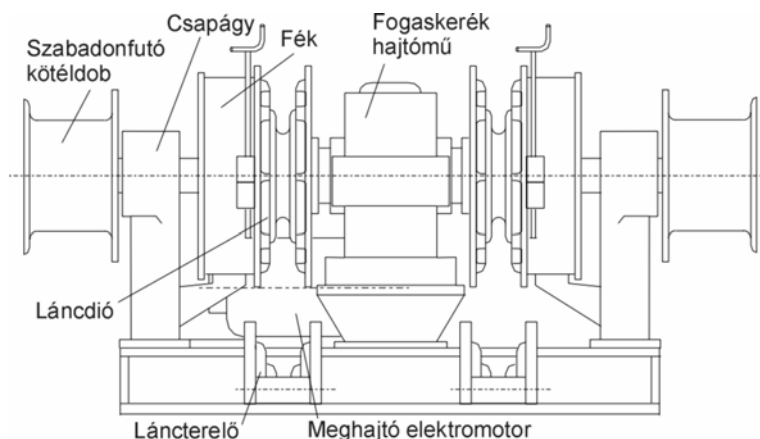
A horgonyláncot a *lánckamrában* tárolják, amely a horgonycsörlő alatti részen van kialakítva a hajó vasszerkezetében, a legtöbb esetben az orrkamra hátsó határát kijelölő kollíziós válaszfalra van rácsatlakoztatva az orrkamrán belül. Mivel a hajókon általában két horgony van rendszeresítve, amelyet a hajóorr két oldalán levő két *horgonycsőbe* behúzva tárolnak menet közben, a két horgony független láncsal rendelkezik és így két lánckamrát kell kialakítani, amelyeket a hajó szimmetriasíkjában beépített vízmentes válaszfal választ el. A lánckamra alsó részén iszapszekrény van kiképezve, amelyet időnként ki kell mosni és a keletkező sűrű lét kiszivattyúzni. A lánc az iszapszekrény fedőlapjaként is funkcionáló lyukacsos lemezen gyűlik össze szabálytalan kupacban. Amikor a horgonyt leengedik, a lánc felső része jut a vízbe először, a legalsó részre csak ritkán van szükség. A lánc alsó vége a vasszerkezethez van csavarozva.

A horgonylánc kezelésére a horgonycsörlő szolgál. Két alapvető típust különböztetünk meg ezek közül, a vízszintes és a függőleges tengelyű horgonycsörlőket.

4.2.3.2.2.1 Vízszintes tengelyű horgonycsörlők

A hajók döntő többségén ezt a típust alkalmazzák.

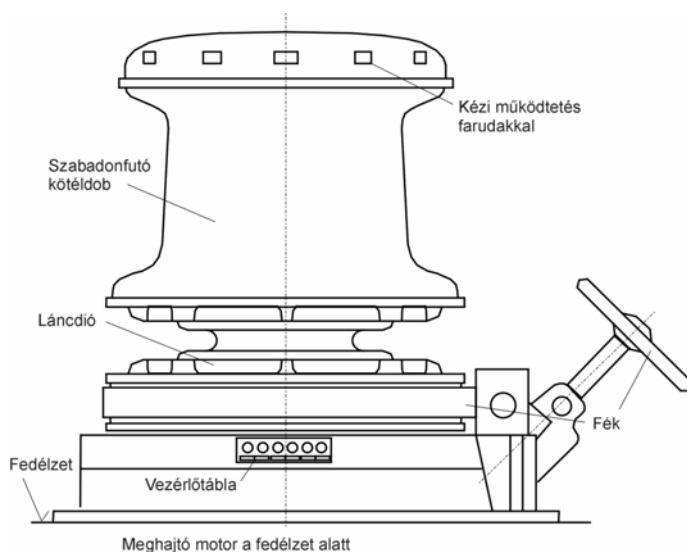
A csörlő általában el van látva meghajtó motorral, amelyet a géppel közös alapra építenek össze. Kezelní tudja mindkét oldali horgonyt, ezen kívül van rajta szabadonfutó kötél Dob a kikötési műveletekhez. A meghajtó motor fogaskerék hajtóművön keresztül hajtja meg a tengelyt, amelyre mereven van felerősítve a két szabadonfutó kötél Dob, ezek állandóan forognak, amikor a motor forgásba jön.



4.2.3.2.2.1 ábra
Vízszintes tengelyű
horgonycsörlő

A két lán CDIót külön-külön lehet tengelykapcsolóval forgásba hozni, ilyenkor a rákapcsolt lán CDIó behúzza a lán cot, a lán CDIó fékjét ki kell engedni a tekerőkarral. A lán c megtartásakor a fék be van szorítva, a

motornak ilyenkor nem kell járnia, illetve a tengelykapcsoló ki van oldva, a lán CDIóban a tengely szabadon forog abban az esetben, ha a csörlővel más műveletet végeznek. A lán c kiengedése a fék oldásával történik.



4.2.3.2.2.1 ábra Függőleges
tengelyű horgonycsörlő

4.2.3.2.2.2 Függőleges tengelyű horgonycsörlők

Ezt a horgonycsörlő típust tekinthetjük a horgonycsörlők ő sének. A vitorlás korszakban, sőt, már azt megelőzően, a fedélzet alatt elhelyezett lán CDIóval vagy kötél Dobbal húzták fel a horgonyt olyan módon, hogy a fedélzet felett elhelyezett kötél Dob peremén

kiképzett lyukakba gerendákat helyeztek, és ahány ember odafért, körben haladva a gerendákkal forgatták a csörlőt. A géptípus eredeti magyar neve járgány, ami ebből ered.

Ez a csörlőtípus nagyobb hajókon csak ott fordul elő napjainkban, ahol a farban külön horgonyt kell elhelyezni. Egyébként vontatókon és dereglye kialakítású uszályokon alkalmazzák, mivel csak egyetlen horgony kezelését tudja ellátni, illetve a kötél Dobbal kikötési műveletekre is képes. A meghajtó motor a fedélzet alatt helyezkedik el.

A csörlő kezelését a fedélzetről végzik.

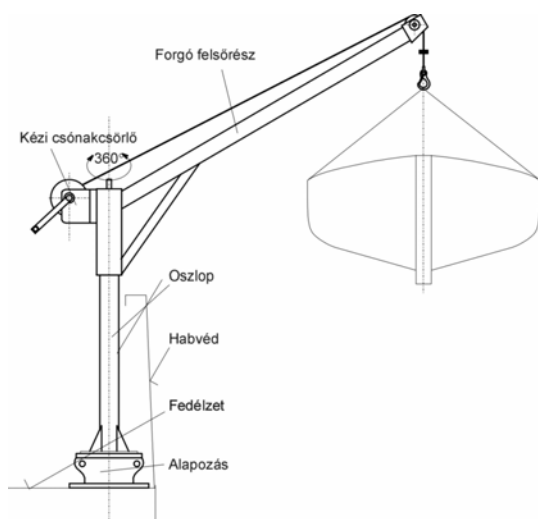
A lánc nyomvonalának ennél a csörlőtípusnál még nagyobb figyelmet kell szentelni, mint a vízszintes tengelyűnél, mivel a lánc nagyon súlyos kötöző-elem, és a gravitációs erő nagy befolyással bír. A lánc csak akkor tartható a lán CDIÓ által kijelölt vízszintes síkban, ha mind a két irányban (a lánckamrába vezető nyelőcső szájánál és a horgonycső felső végénél) terelőgörgő tartja ott, ahol a terelők egyik oldalán a lánc súlya hat, a másik oldalon pedig befejeződik a lán CDIÓba.

4.2.3.2.3 Vontatócsörlők

A kisebb vontatókon nem alkalmaznak csörlőt, a vontatott járműről átadott kötelet a *vontatóhorogba* akasztják be, amely általában a megerősített konstrukciójú kormányállás hátsó falához van rögzítve, és annak megakadályozására, hogy forduláskor a hajóra a jelentős kötélterő hatására borító nyomaték hasson, a horog egy körpályán el tud mozdulni mindkét irányban. Amikor a vontatóhajó feladata uszályok nagyobb távon történő vontatása, amelyek saját gépi meghajtású kötélcsörlővel nem rendelkeznek, elengedhetetlen a hajón vontatócsörlőt rendszeresíteni.

A *vontatócsörlők* feladata a tekintélyes hosszúságú, folyami vontatásnál akár 200 m hosszú kötélt tárolása, kiadása a vontára és behúzása. Az első ilyen csörlőket a gőzgéppel hajtott vontatóhajókon rendszeresítették, ezért azok erőgépe kisebb méretű gőzgép volt. A dízelmotoros propulzió elterjedése a hajók segédüzemét elektromos hálózatra állította át, ezért a jelenleg használt vontatócsörlők szinte kizárólag elektromotorral vannak meghajtva.

Az elektromotorral fogaskerék hajtóművön keresztül meghajtott tengelyre tengelykapcsolóval lehet rákapcsolni a kötéldobot, ilyenkor a kötél Dob fékjét kioldják, és a csörlő a kötelet behúzza és a Dobra felcsavarja. A kötélt megtartásához be kell húzni a féket és a tengelykapcsolót szét kell kapcsolni. Ez történik olyankor, amikor a



4.2.3.2.4.1 ábra Csónakdaru kézi csörlővel

kötélhossz beállítása megtörtént, és a hajóvonta menetben van. Amikor a kötelet ki kell adni, hogy az uszályok távolabb kerüljenek a vontatótól, a szétkapcsolt tengelykapcsoló mellett a féket is kioldják, a kötélt a hajó tolóerejének és az uszályok ellenállásának hatására lefut a Dobra.

A vontatócsörlők nagyobb méreteik ellenére nem bonyolultabbak, mint a kikötőcsörlők, sőt, mivel nincs rajtuk szabadonfutó kötél Dob, még egyszerűbbek is, azonban a nagy mennyiségű kötelet több rétegben kell

egymásra tekercselni, és ehhez szükség van *kötélsoroló* beépítésére, amely a behúzott kötelet egymás mellé rendezi, amint egy sor megtelt, az ellenkező irányban indul el, és a kötelet rávezeti a Dobra.

A folyami vontatóhajókon a vontatócsörlő beépítési helye a hátsó lakóter feletti fedélzet. A vasszerkezeten ezt a részt a jelentős kötelerő miatt (a hajó propulziós eszközeinek teljes tolóereje a vontatókötélre adódik át) meg kell erősíteni.

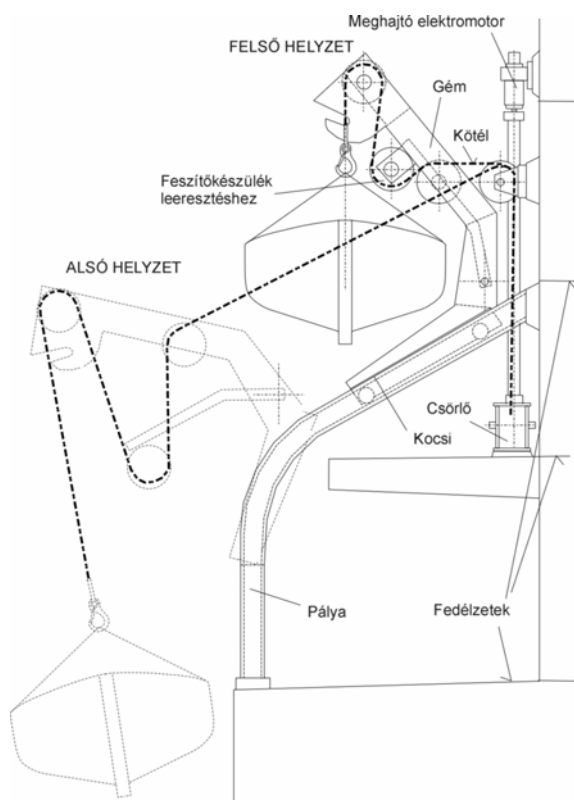
4.2.3.2.4 Csónakcsörlők és csónakdaruk

A *csónakdaruk* és csörlők jelentősége a személyhajóknál a legnagyobb, de a SOLAS egyezmény minden hajótípusnál szabályozza a mentőcsónakok leeresztésére és felhúzására szolgáló eszközök követelményeit.

A *csónakcsörlők* funkciója kettős:

- leengedni a mentő- vagy szolgálati csónakot,
- felhúzni az üres csónakot.

Az első funkciónál, amennyiben *mentőcsónakról* van szó, a csónakot teljes rakománnyal (állandóan benne tárolt ellátmánnyal, felszereléssel és engedélyezett számú utassal) kell tudni leeresztetni a hajó ellenkező irányba való 15 fokos megdőlése esetén. Az utasok beszállásához biztosítani



4.2.3.2.4.2 ábra Lekocsizó rendszerű csónakdaru

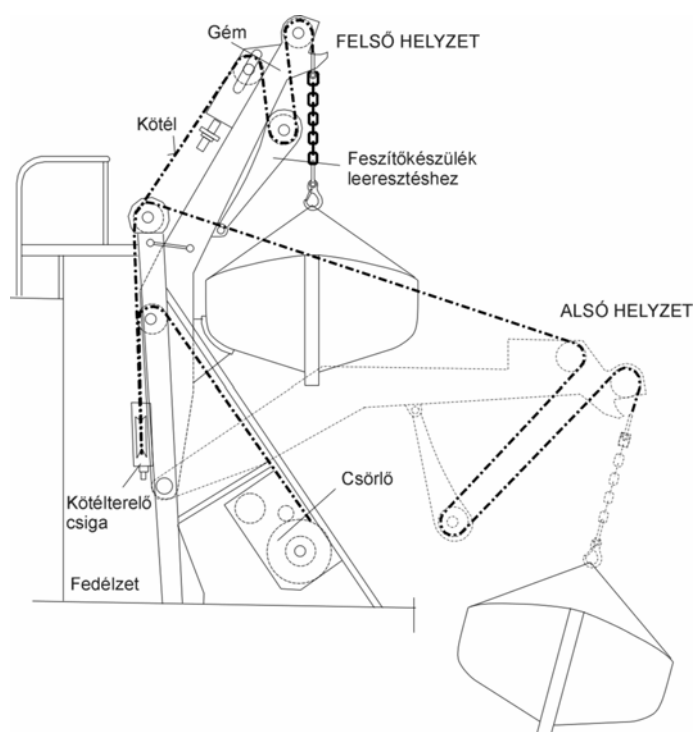
kell a hozzájutást. A *szolgálati csónakoknál* nem követelmény az utasokkal együtt történő leeresztés, a leeresztett üres csónakba az utasok később szállhatnak be. A második funkció azonos a mentő- és szolgálati járművek esetében.

A csónakcsörlők és daruk elválaszthatatlanok abban, hogy működésük során kapcsolat van köztük, de funkciójuk és működésmódjuk más és más.

A csónakdaruk igen sokfélék, a legegyszerűbb folyami kifordítható kétgémes darutól a legbonyolultabb szerkezetekig, amelyek pl. egy nagy óceánjáró személyhajó legfelső fedélzetéről engedi le a terhelt mentőcsónakot. Az utóbbinál a

legkomolyabb követelmény a hajó ellenkező irányban való dőlésénél a csónak kellő mértékben való eltávolítása a hajó oldalától ahhoz, hogy ne ütközzék fel rajta, mielőtt vizet érhetne. Ezt két módon lehet elérni: megfelelően hosszú darugém kibillentésével, vagy olyan pályával, amely a csónakot levezeti elég alacsonyra ahhoz, hogy a hajó megdőlése már ne okozzon gondot.

A csónakcsörlő általában rendelkezik gépi meghajtással, azonban a kisebb hajókon, főként olyan helyeken, ahol a csónak a vízfelszín közelében van elhelyezve, ma is a kézi csörlőket rendszeresítik. Attól függetlenül, hogy kézi vagy gépi meghajtással működik, a fenti két funkciót el kell látnia. A nagyobb csónakdaruknál a gépi csörlő nemcsak a csónak súlyát viseli, mint az egyszerűbb kifordítható gémes daruknál, ahol egy vagy két azonos daru emeli fel és bocsátja vízre a csónakot. A nagyobb magasságban tárolt csónakoknál ugyanis a gép kibillenése vagy lekocsizása része a csónak vízrebocsátásának. A csónak felemelésekor a csörlő behúzza és felcsavarja a csónakot tartó kötelet, és először a csónak emelkedik fel a vízről és halad egyre feljebb. Amikor a csónakot tartó félszem eléri a gép fejénél kialakított ütközőt, a csörlő csak úgy tudja a kötelet tovább húzni, ha a gép is emelkedni kezd. Ettől a félszem becsúszik a kialakított biztosító vágatba. A kötel további behúzása a gémet felső helyzetbe emeli, ahol azt biztonságosan rögzítik. A csónak felemelése üres állapotban történik.



4.2.3.2.4.3 ábra Kibillenő rendszerű csónakdaru

Amikor a mentőcsónakot le kell engedni akár gyakorlat, akár vészhelyzet esetén, a legelső művelet az utasok elhelyezése. Amikor a megengedett számú utas elfoglalta helyét, kioldják a biztonsági rögzítést, a csörlő befékezett helyzetben van. A fék kioldásával a csónak és a gép súlya elindítja a gép lekocsizását vagy kibillenését, ennek lassítására szolgál a leeresztésnél működésbe lépő feszítőkészülék. A fékkel is lassítani lehet a mozgást, esetleg meg is lehet állítani. Amikor a gép az alsó helyzet közelébe ér, a kötel,

amelyen a csónak függ, eléri azt a pontot, ahol a félszem kiakad a rögzítő pályából. Amint a gép eléri azt az ütközőt, amely lefelé irányuló mozgását korlátozza, megáll, és a csónak szabadon ereszkedik lefelé a vízre. Az ábra azt az állapotot mutatja, amikor a hajó az ellenkező irányban 15 fokra megdől, a csónakot ilyenkor is le kell tudni engedni.

A csörlők meghajtási formától és mérettől függetlenül hasonló szerkezetűek: áttétel biztosítja, hogy a csónak üresen megfelelő sebességgel felemelhető legyen, beleértve ebbe a gép felső helyzetbe állítását is, illetve fék vagy tengelykapcsoló kioldásával biztonságos sebességgel a csónak (a gémmel együtt) leereszthető legyen. A csónakcsörlők nagyon biztonságos szerkezetek, a rájuk vonatkozó fő követelményeket a SOLAS tartalmazza.

4.2.3.3 Rakodó-berendezések

A hajók rakodó-berendezései a gépkorszak kezdetével gyakorlatilag nem változtak, a vitorlás hajókon kialakult konstrukciók éltek tovább. Jelenleg is a legtöbb rakodó-berendezés az árbocokra alapozott elvet követi.

A másik csoport a fedélzeti daruk, amelyek tulajdonképpen a hajó fedélzetére telepített kikötői rakodó-berendezések, természetesen a hajótest szerkezete jelentős eltéréseket eredményez a rakodóparton telepített szerkezetekhez képest. Bár teherbírásuk gyakorlatilag nem korlátozott, a rakparton található berendezések alsó tartományának felelnek meg.

4.2.3.3.1 Gémek, árbocok és kötélzet

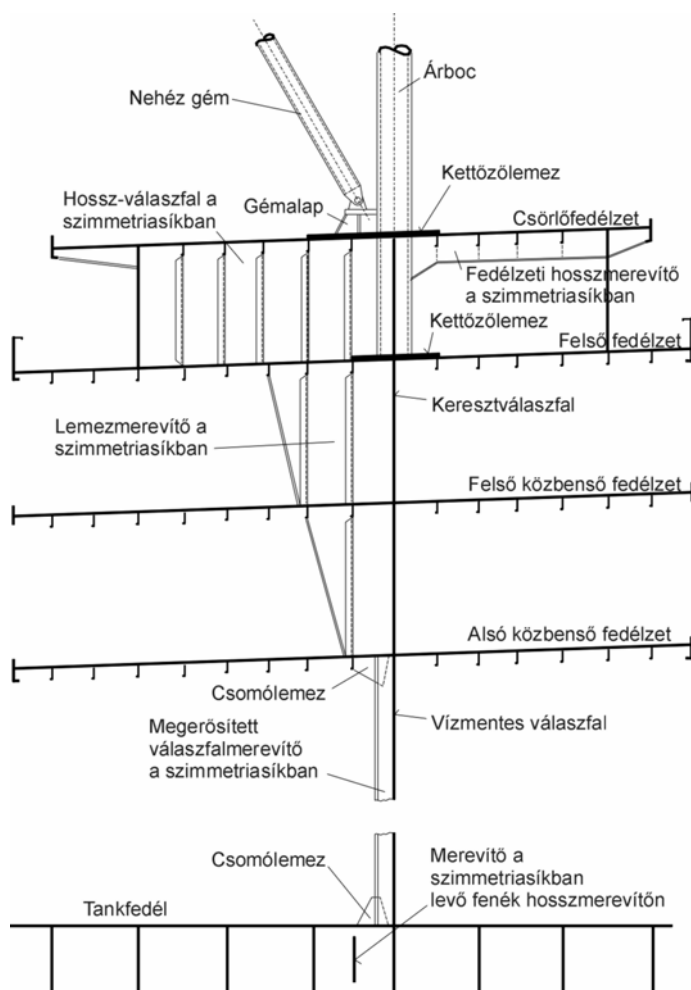
Amikor egy hajótulajdonos új hajót rendel, általában specifikálja a hajón elhelyezésre kerülő rakománykezelő gémek számát, üzemi terhelését, helyét és valamennyi különleges követelményét. A hajóépítő vagy egy külső szakértő tanácsadó felelős ezt követően mindegyik rakománykezelő emelő-berendezés részletes tervezéséért, illetve a különféle szerelvényekért a *gémeken* és az *árbcokon*. Amikor szabadalommal védett gémekeket és árbocokat építenek be, arra is van példa, hogy a szabadalom tulajdonosa átadja a rajzokat, stb. a hajógyárnak, amely aztán legyártja és beszereli ezeket az emelő-berendezéseket. Az árbocokért néhány szabadalommal védett típus kivételével a hajóépítő felelős; a csigákat, sodronykötelet és általában a gémekeket is külső szállító gyártja le a hajógyár specifikációja szerint.

Árbocok és Sámson-oszlopok

A szárazáru szállító hajókon az árbocok számos funkciót teljesítenek, de a korszerű hajókon fő feladatuk, hogy hordozzák azokat a gémekeket, amelyekkel a rakományt lehet kezelni. Számos esetben építenek be egyetlen árbocot, ma már azonban sok hajó rendelkezik különféle kétlábú árbocokkal, amelyek gyakran jobban megfelelnek a gémekek tartásánál, bár ezek a hídról való kilátást jobban akadályozzák. A *Sámson-oszlopok* szintén népszerűek, különösen a fedélzeti házak végeinél, de más rakodónylásokon is gyakran helyezik el őket.

Az árbocok és *kikötőbakok* szilárdságát az osztályozó intézetek szabják meg. Az árboc végénél fellépő kötél- és a gémtől eredő rúderök miatt az egyedülálló árbocot vagy oszlopot beépített konzolos tartóként lehet kezelni, amelyet axiális és hajlító igénybevétel terhel. Bizonyos nyomatókat az is okoz, ha az oszlop a szomszédos oszlophoz keresztirányú elemmel hozzá van kötve. Ahol tartó- vagy biztosítókötelek vannak bekötve, azokat is számításba kell venni, ami a számítást kissé bonyolultabbá teszi. A korszerű hajókon tendencia van arra, hogy egyszerűsítsék a kötélzetet, ami korlátozhatja a rakomány kezelését. A tartókötelekről gyakran lemondanak, és a biztosítóköteleket csak akkor alkalmazzák, amikor az alkalmazott gémekek nehezek. Az árbocok és oszlopok elegendő merevítéssel rendelkeznek ahhoz, hogy a tartókötelek elmaradhassanak.

Az árbocok konstrukciója és merevítése. Az árbocok és oszlopok szerkezetéhez gyakran használnak zárt keresztmetszetű acél profilokat, a profilokat rövidebb darabokból hengerlik és hegesztik össze a hajógyárban. A rövid szakaszok kúposak is lehetnek, és a lemez vastagsága is eltérő lehet, hogy az árboc tövénél ébredő nagyobb terheléseket el tudja viselni. Ahol szerelvényekhez való csatlakozásokat készítenek, mint pl. az árboc tövénél vagy felső végénél levő forgócsap, kettőzést vagy hegesztett erősítő párnalemezt helyeznek el. Az árboc megfelelő keresztmetszetének megvalósításához ritkán használnak ma már túlzott kettőzéseket vagy belső merevítőket, kivéve, ha az eredetileg

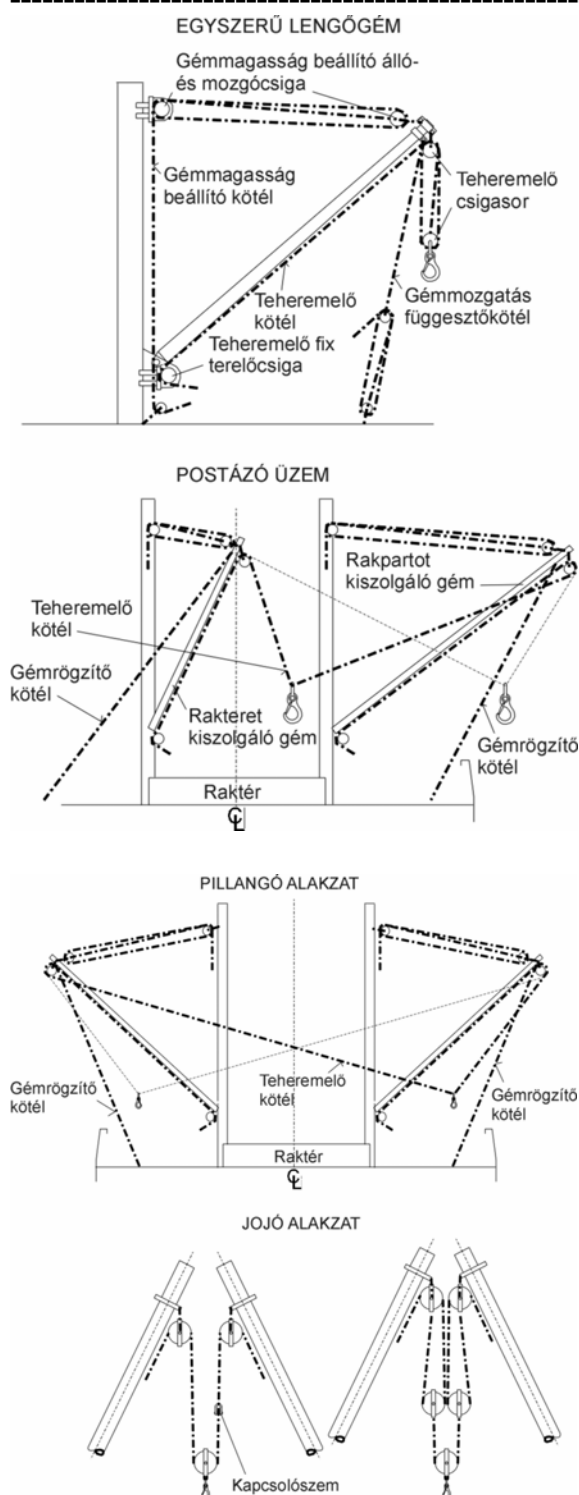


4.2.3.3.1.1 ábra Merevítések az árboc és a nehéz gém környezetében

tervezetthez képest nehezebb gémet kell az árbocra felhelyezni. Az árbocok konstrukciójához gyakran veszik igénybe a nagyobb szakítószilárdságú acélok előnyeit, mivel így a hajó felső részén kisebb súlyokat lehet elérni, és túlzott merevítések nélkül sincs szükség további megtámasztásra. A keresztirányú elemeket, alapokat az árbocokhoz, stb. hegesztett acéllemezből és szelvényekből készítik. A gémek szokás szerint varratmentes acélcsőből készülnek. A középső részen a csőátmérő nagyobb lehet, hogy a hajlító igénybevétel ellen elegendő szilárdsággal bírjon, mivel a gém a hosszirányú nyomóerőn kívül hajlításnak is ki

van téve.

Az árboc tövénél kielégítő merevséget kell biztosítani, a további szerkezeti megerősítés attól függ, milyen súlyú gémet kell az árbocnak tartania. Számos áruszállító hajó rendelkezik *árboházakkal*, amelyekbe az árbocot beépítik, ezért a háznak ennek



4.2.3.3.1.2 ábra Lengő gém egyes és postázó üzemben

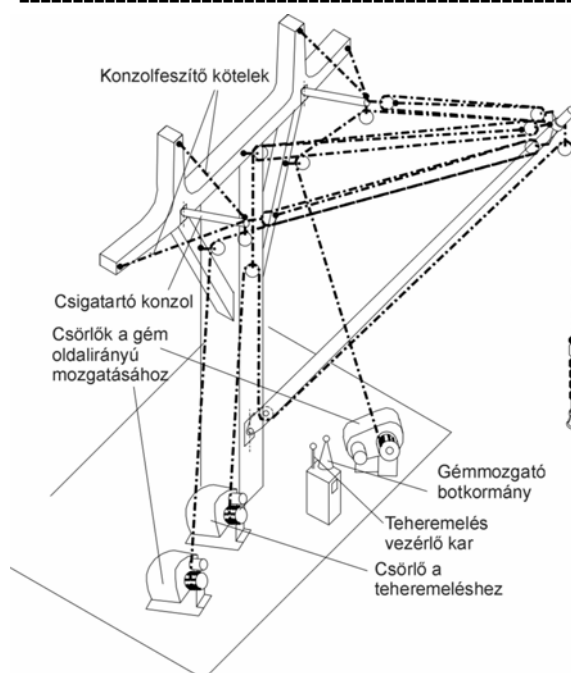
megfelelően merevítve kell lennie. Ezeket a házakat nem kell olyanra tervezni, mintha az árbocot tartanák, a szerkezet kisebb méretű merevítőkkel készül, a megtámasztást a fedélközi merevítők biztosítják. Ahol a ház mégis meg van erősítve, ott az árboc töve a felső fedélzeten van, ahol azonban a gémek nehezebbek, az árboc le van vezetve a felső közbenső fedélzetig. Mivel a gémet hordó árbocok helye általában két raktér között van középen, alapozásuk a raktér közötti keresztválaszfalra esik, ami további támasztékot ad. A nehezebb gémmel ellátott árbocok nagyobb megerősítést tesznek szükségessé nemcsak az árbóházban, hanem a fedélközben is, ezen kívül a keresztválaszfalra támaszkodnak, így a

4.2.3.3.1.3 ábra Pillangó és jojó gém alakzatok

terhelés a szerkezeten keresztül a hajófenéknek adódik át. Az árbóház merevítésére részleges hossz- és keresztválaszfalak, valamint fedélzeti hosszmerevítők szolgálhatnak. A fedélzet alatti további merevítést szolgálják a hajó szimmetriasíkjában beépített merevített lemezgerincű hosszmerevítők a fedélközben, illetve a raktér keresztválaszfalának megnövelt méretű merevítői (ld. 4.2.3.3.1.1 ábra). Az árboc körzetében a fedélzeteknél vastag betétlemezeket helyeznek el.

Gémek

A gémek számos változata alkalmazható az áruszállító hajókon, ezek közül a leggyakoribb egyedülálló gém az 'egyszerű lengőgém' (ld. 4.2.3.3.1.2 ábra).

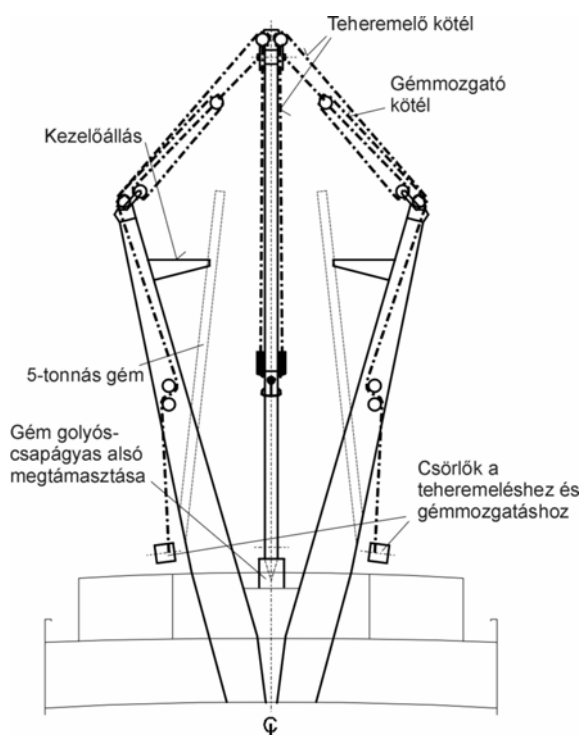


4.2.3.3.1.4 ábra Szabadalmaztatott Hallenlengőgém

A szomszédos árbocokat 'postázó üzemben' lehet használni, a gémekek rögzítve vannak hajó oldalán kívüli illetve belüli helyzetben. A rakományt kiemelik a raktérből a rakodónyíláson át, majd a hajóoldalon kívülre továbbítják úgy, hogy a kezelő mindkét csőrlőt irányítja.

Ennek a felszerelésnek a változatait gyakran építik be, például a 'pillangó' rakodó-berendezést (4.2.3.3.1.3 ábra), amelyet a rakodótérből kiemelt rakománynak a hajó mindkét oldalán történő kirakására lehet alkalmazni.

Ahol olyan terhet kell emelni, amely meghaladja a gémekek biztonságos teherbírását, a 'jojó' formációt szokták alkalmazni. A gémekek felső végét egymáshoz közelítik, a mozgócsigát pedig az ábrázolt módon a



4.2.3.3.1.5 ábra Szabadalmaztatott 80-tonnás Stulken gém

teheremelő kötelekre vagy egy áthidaló sodronykötélre függesztik fel.

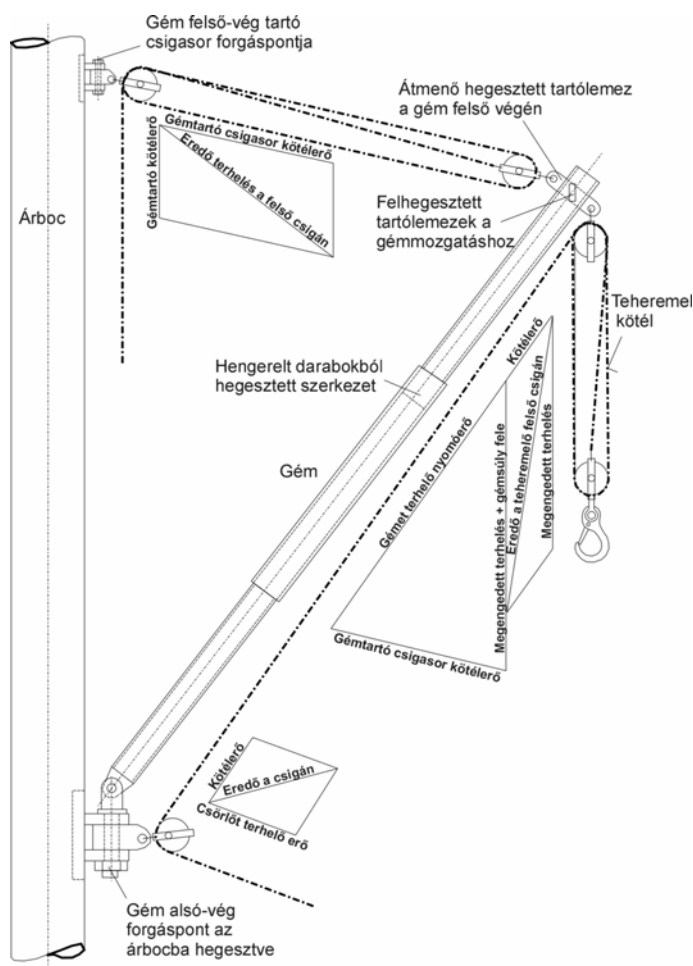
A 'pillangó' és a 'jojó' formációknál egyaránt a 'postázó üzemhez' és az 'egyszerű lengőgémhez' hasonló terheléselosztás jön létre, amelyre el kell végezni a számításokat, a kötelekben azonban mindegyiknél nagy erők keletkezhetnek. A szabadalommal védett árbocdaruk általában 'egyszerű lengőgém' jellegűek, amelyek valamilyen formában rendelkeznek gépi mozgattással. A Hallenlengődaru vázlatosan látható a 4.2.3.3.1.3.4 ábrán. Ezt a típusú árbocdarut a hajó szimmetriasíkjában lehet elhelyezni, hogy mindkét oldalon ki tudjon nyúlni a hajóoldalon túlra, és a

kezelést egyetlen kezelő végzi úgy, hogy az emlékeztet a gépi forgódaru kezelésére. A szokásos biztonságosan emelhető teher ennél a darutípusnál 10 és 80 tonna között van.

Különleges figyelmet érdemel a nagyon nagy teherbírású daruk tartományában a szintén szabadalommal védett *Stulken daru*, amelyet a Blohm és Voss AG forgalmaz. Ennek a darunak a biztonságos teherbírása 80 és 300 tonna között lehet. Ennek a darunak további előnye, hogy ki tud szolgálni két rakodónyílást is, mivel a gém átbillenthető egy íven a két oszlop között a hátsó állásból a mellsőbe.

Árbocdarukban fellépő erők. Az *árbocdaru geometriája* nagy mértékben meghatározza a daru alkatrészeiben ébredő terheléseket. Ezek között a legfontosabb méretek között van a gém hossza, a gém alsó vége és az árboc felső vége közötti fesztávolság (felfüggesztés magassága), illetve a gém legmeredekebb állásszöge.

Amikor növeljük a gém hossza és a felfüggesztés magassága közötti viszonyszámot, a gémbe a nyomóterhelés növekszik; tehát ha hosszú gémre van szükség, elegendőnek kell lennie a felfüggesztés magasságának is. A hajótulajdonosok azonban gyakran elzárkóznak attól, hogy a híd előtt árbocot helyezzenek el, és ha emiatt korlátozott a



4.2.3.3.1.6 ábra Egyszerű lengőgémbe fellépő erők

felfüggesztés magassága, a gém hossza is korlátozottá válik, ami miatt a rakománnyal nehéz lesz dolgozni. A gém legmeredekebb állásszögének nincs befolyása az axiális terhelésre, a rakomány továbbításához szükséges kötélen azonban gyakran megnöveli a nyomóerőt, mivel a gémmel párhuzamosan van vezetve, kivéve a nagyon nagy teherbírású darukat.

A tartókötélen ébredő terhelések függenek mind a gémhossz és a felfüggesztési magasság közötti viszonytól, mind attól a szögtől, amelynél a gém a legmeredekebb helyzetbe kerül. A kötélen a terhelés nagyobb, ha a kötélt kisebb szöget zár be a vízszintessel, és adott felfüggesztési magasság esetén nő a gém hosszával.

Ezeknek az erőknek a meghatározásához egyszerű vektordiagramokat kell készíteni, és meghatározni az eredő erőket, ebből kijön a szükséges sodronykötél méret, illetve a csigákon és a rögzítő köteleken levő erők nagysága, valamint a gémbe ébredő nyomóerő. A tartókötélen és a gémbe ébredő erők vízszintes és függőleges összetevői ahhoz is használhatóak, hogy az árboc oszlopának méreteit meghatározzuk. Az erők

vektordiagramja látható egyszerű lengőgémnél a daru alkatrészeiben ébredő erőkhöz a 4.2.3.3.1.6 ábrán.

Biztonságos 15 tonnás üzemi terheléshez vagy annál kisebbhez az erőket a gém vízszinteshez mért 30 és 70°-os szögénél lehet kiszámítani, ha a tulajdonos másként nem specifikálja, pl., hogy a gémet ettől eltérő szögben is lehet használni (de 15°-nál kisebb szögben nem). Amennyiben az üzemi terhelés biztonságos módban nagyobb 15 tonnánál, az erők számításánál a vízszinteshez mért 45°-os szöget kell figyelembe venni. A csigákon a terhelő erő, kivéve a teheremelő csigasor alsó csigáját, a csigát terhelő két erő eredője fog jelentkezni. Az egyes állócsiga terhelése fele az eredőnek, a csigasorok csigáinak terhelése megegyezik az eredővel.

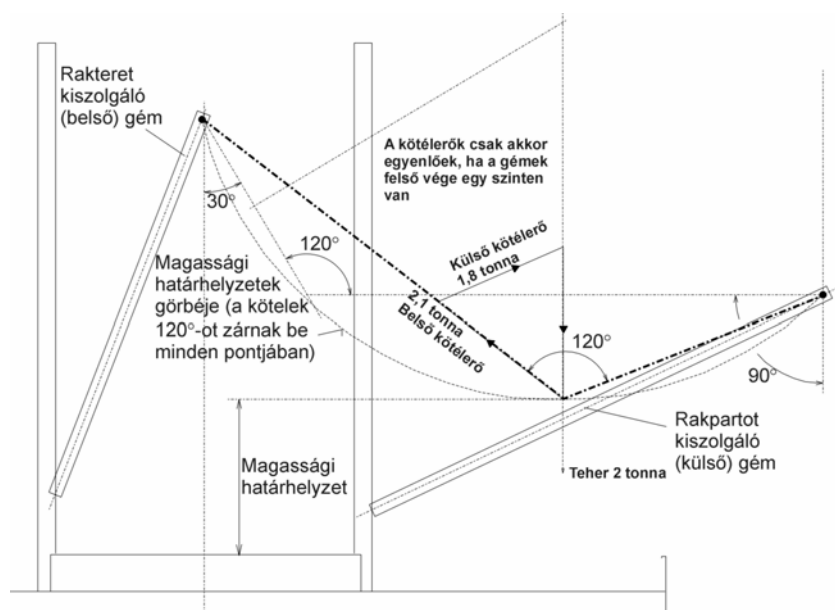
A rakományemelő kötelekben ébredő erők és a *gém nyomóterhelésének* meghatározásánál nemcsak a rakományból eredő erőket kell figyelembe venni, hanem az emelőkötelek és a gém súlyát is. A gém súlyának másik fele a gém alsó végének támasztását terheli.

Az erők számításánál arról sem szabad megfeledkezni, hogy a csigáknak súrlódási ellenállásuk is van. Ez részben a kötélsúrlódásából adódik, azaz a kötélsziga körüli meghajlításhoz és kiegyenesítéséhez szükséges nyomatékból, illetve a csapok súrlódásából. A hajóépítők, akik az angol szabványokat használják, a következő táblázat szerinti súrlódási értékeket veszik figyelembe.

| | | |
|------------------------------------|----------------------|----|
| Kis és közepes állócsigák | siklócsapágy persely | 8% |
| | gördülőcsapágy | 5% |
| Nagy átmérőjű állócsigák | siklócsapágy persely | 6% |
| | gördülőcsapágy | 4% |
| Gém 80 tonna üzemi terhelés felett | siklócsapágy persely | 5% |
| | gördülőcsapágy | 3% |

A postázó üzemben működő árbocdaru erőábrái bonyolultabbak, mint az egyszerű lengőgémé.

Ezek mutatják a daru biztonságos üzemi terhelését, a '*magassági határhelyzetet*', a gémben ébredő nyomóerőket, amelyek nagyobbak, mint az egyszerű lengőgém eseténél, és az optimális kötélerőket. A '*magassági határhelyzet*' a tehernek az a magassági helyzete, amely alatt a felemelt teher minden helyzetében a hajóoldal belső és külső oldalához tartozó emelőkötelek egymással mindig 120°-nál kisebb szöget zárnak be. A 120°-os értéknél a két gém egyenlő magasságánál a belső és külső kötélagakban ébredő erő megegyezik a teher nagyságával (ld. 4.2.3.3.1.7 ábra). Általában az *állócsiga* mérete határozza meg postázó üzemben az üzemi terhelést, de amikor könnyű gémekeket szerelnek fel, az azokban ébredő nyomóerő a döntő tényező. A *rögzítő-kötelek* helyzete fontos lehet a *gémmozgató kötelekben* és magukban a rögzítő-kötelekben ébredő erők szempontjából. Ha ezek túl kis szöget zárnak be a gémmel, a rögzítő-kötelek túlterhelődnek; a jó vezetési irány ezért nagyon fontos. Sajnos a gyakorlatban nem mindig veszik figyelembe a rögzítő-kötelekben ébredő erőket, az utóbbi időben azonban a téma több figyelmet kapott, és gyakran helyeznek el *túlterhelés-gátlókat* a rögzítő-kötélben. Erre célra létezik megfelelő túlterhelés-gátló; a régi állócsigák alkalmazása pl. ott, ahol a túlterhelés-gátlót nem lehet elhelyezni.



4.2.3.3.1.7 ábra
Postázó üzemben
dolgozó daru
elemeiben ébredő
erők

Postázó üzemben
dolgozó
árbocdaruknál
létrejöhét olyan
helyzet, amikor a
külső gémmozgató
kötél terhelése
megszűnik, és a gép
terhelés alatt az
árbochoz közelít. Ezt
az állapotot

'bicskázás' néven emlegetik, és a terhelési helyzetre készített erőábrából világosan látszik, mivel az erő-háromszög nem zárul. A tervezési fázisban módosítani kell a rögzítő-kötelek helyzetét, hogy elkerülhető legyen. A gyakorlatban ez az állapot előfordul esetenként, ahol a gémekeket postázó üzemben használják a híd mellső részénél. A híd szerkezete ugyanis akadályozza, hogy a rögzítő-köteleket a megfelelő helyre lehessen rögzíteni, ilyenkor azonban segíthet a megfelelő túlterhelés-gátló helyes elhelyezése a probléma megoldásában.

Az árbocdaruk első és időszakos terhelési próbái. A nemzeti és osztályozó intézeti előírások szerint a hajó-árbocdarukat, amelyek egyszerű lengőgémmel dolgoznak, az első terhelési próbánál olyan próbaterheléssel vizsgálják, amely a következő táblázat szerinti mértékben túllépi az üzemi terhelést:

| Üzemi terhelés | Próbaterhelés |
|-------------------------|-------------------------------------|
| Kevesebb, mint 20 tonna | 25%-kal az üzemi terhelés felett |
| 20 és 50 tonna között | 5 tonnával az üzemi terhelés felett |
| 50 tonna felett | 10%-kal az üzemi terhelés felett |

A nehéz gémekeket olyan helyzetben kell próbaterhelésnek alávetni, hogy azok a vízszintessel legfeljebb 45°-os szöget zárjanak be, a többi gémnél pedig ez a szög legfeljebb 30°. A próba alatt a gémet mindkét irányban a lehető legtávolabbi pozícióba kell kilendíteni, azokat a gémekeket pedig, amelyek terhelés közben gépi üzemmódban emelés alá esnek, fel kell emelni a maximális helyzetű üzemi állásba legszélső helyzetükben.

Mielőtt egy nehéz gémmel terhelőpróbát végeznénk, meg kell bizonyosodni arról, hogy a jármű rendelkezik a megfelelő haránt-stabilitással. A próba előtt, közben és után ellenőrizni kell, nem mutatnak-e károsodást a daru alkatrészei; az is jó módszer, ha a

próba alatt fel van szerelve túlterhelés-gátló, ami megakadályozza, hogy a gémmozgató felszerelés megsérüljön. A próba elvégzése után a gép alsó végét meg kell jelölni a következő adatokkal:

- (a) üzemi terhelés nagysága egyszerű lengőgép üzemben,
- (b) üzemi terhelés kettős üzemben, amennyiben tervezésénél ezt az üzemmódot figyelembe vették,
- (c) üzemi terhelés postázó üzemben, amennyiben tervezésénél ezt is figyelembe vették, az 'U' betű kerül az üzemi terhelés elé (union purchase).

Pl.: SWL 3/5 tonnes SWL (U) 2 tonnes (safe working load, üzemi terhelés), valamint kibocsátásra kerül egy teherpróba-jegyzőkönyv is a megfelelő nyomtatványon.

Időszakos teherpróba akkor szükséges, ha a darut jelentősen módosították vagy az egyik fő alkatrész megsérült vagy javításon esett át.

Az International Labour Organisation (ILO, nemzetközi munkaügyi szervezet) Convention, 152. kiegészítése, amelyet 1979. június 25-én fogadtak el, megköveteli, hogy megfelelő képzettségű szakember minden 12 hónapban alaposan megvizsgálja a berendezést és terhelési próbát végezzen rajta 5 évenként.

4.2.3.3.2 Fedélzeti daruk

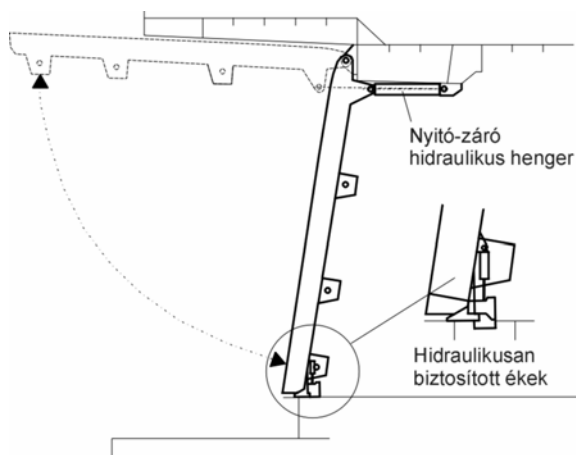
Sok korszerű áruszállító hajó van felszerelve *fedélzeti darukkal*, amelyek a hagyományos árbocdarukat helyettesítik. Általánosságban a postázó üzemben dolgozó árbocdaru alternatívájának tartják. A fedélzeti daruk számos előnnyel rendelkeznek, a felszerelési idő elhanyagolható, a daru pedig képes felemelni és letenni a megengedett súlyú rakományt bárhol elérési sugarán belül. Általában a daruk üzemi terhelése 10 és 15 tonna között van, és nagyobb daruk is beszerezhetők, amelyek teherbírása 30-40 tonna. A postázó árbocdarukhoz hasonlóan a daru is főként arra szolgál, hogy olyan rakomány gyors be- és kirakását elvégezze, amelynek súlya ritkán több kb. 3 tonnánál. A daruk és postázó árbocdaruk előnyeinek összevetésénél nincs teljes egyetértés, de az elfogadott vélemény, hogy a daru kisebb terheknél kevésbé hatékony.

A darukat gyakran a hajó szimmetriasíkjában helyezik el, ez azonban nagyon nagy kinyúlást igényel nagyobb szélességű járművek esetén. Emiatt olyan darukat is be lehet építeni, amelyek terheletlen állapotban egyik oldalról a másikra helyezhetők át, és ott rögzíthetők a rakodónyílásnál a megfelelő kinyúlás biztosítása érdekében. Alternatíva lehet, ha a rakodónyílás mindkét oldalán elhelyeznek egy-egy darut, általában átlósan. Ez olyan elrendezés, amely lehetővé teszi a hajó mindkét oldalán a rakodást egyidejűleg. Olyan daru is létezik, amely a rakodónyílás fedél egy szekciójára van szerelve, és terhelt állapotban képes mozogni a rakodónyílás peremén hosszirányban. A fedélzeti daruk gyártására bizonyos cégek specializálódtak, a hajóépítő a megfelelő beépítésért lesz felelős, ami a helyi merevítéseket és alapozásokat illeti.

4.2.3.4 Rakomány-hozzáférés, kezelés és korlátozás

A hajóépítő annak érdekében, hogy meggyorsítsa a *rakomány kezelését* és javítsa a raktározást, a korszerű hajókon, amellet, hogy bizonyos konstrukciós módosításokat eszközöl (ld. Hajótípusok), beépíthet gépi mozgatású rakodónyílás-fedelet és

továbbfejlesztett emelőszervezeteket, különféle szabadalommal védett és speciális gyártású eszközöket, ezeket külső szállítóval hozatja a hajógyárba, és beépíti a hajóba. Ez a fejezet néhány olyan felszereléssel foglalkozik, amelyek ebbe a kategóriába tartoznak. Ezek főként a ro-ro hajókon, konténerszállító hajókon és olyan járműveken vannak kapcsolatban a rakomány kezelésével és a korlátozásokkal, amelyek raklapos

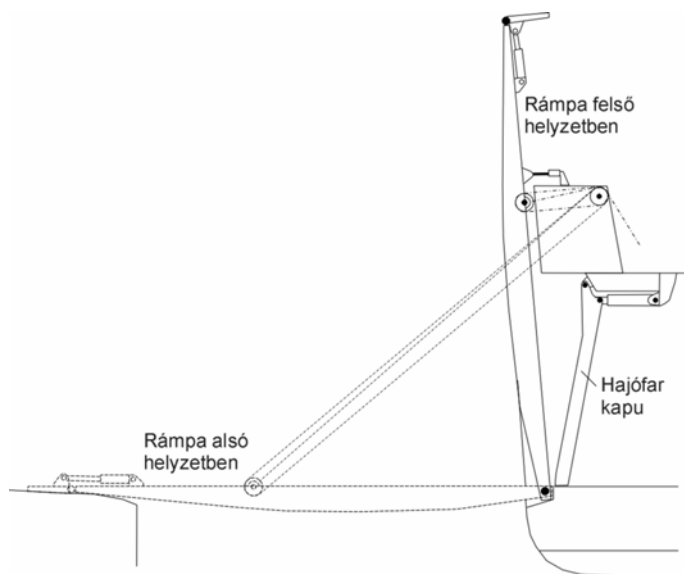


4.2.3.4.1.1 ábra Hidraulikus hajófar kapu

rakományt szállítanak.

4.2.3.4.1 Farban és orrban elhelyezett kapuk és rámpák

Kapuk A ro-ro hajókon gyakran szerelnek fel olyan sarokpánton fel-lebillenő *kapukat* a hajófarban, amelyek több részre lehetnek osztva, ha nagy méretűek. A hajóorrban az ilyen kapuk két csoportba



4.2.3.4.1.2 ábra Hajófar rámpa

oszthatók, egyik a fel-lebillenő ('sisakrostély') kapu, a másik oldalsó sarokpántokon függ, és oldalra nyílik ('csúrajtó' típus). Ezeket a szabadoldal fedélzet szintje felett helyezik el, ahol viszont az orr-kapu egy előlről zárt hosszú felépítménybe vezet, a Lloyd's megköveteli egy belső ajtó beépítését, amely a kollíziós válaszfalba illeszkedik.

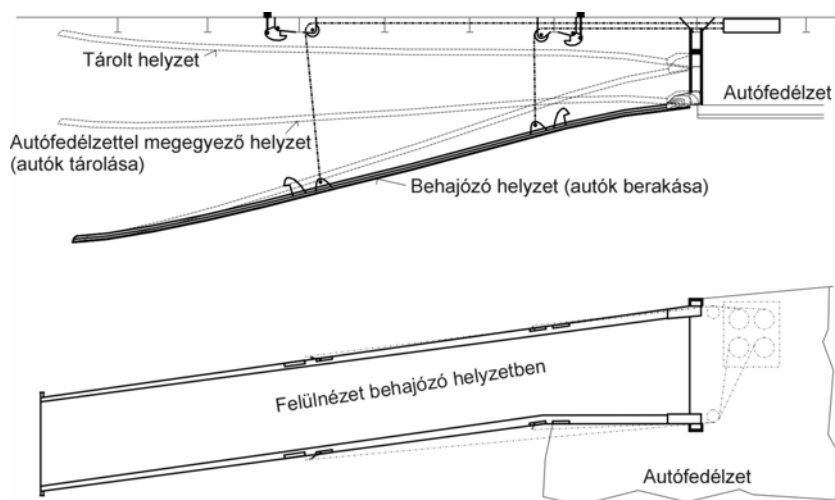
Ez a SOLAS követelmények betartásához is szükséges olyan személyhajókon, ahol a kollíziós

válaszfal a válaszfalfedélzet felett elhelyezett vízmentes fedélzetig meg van hosszabbítva, de nem szükséges, hogy közvetlenül efelett a válaszfal felett legyen beépítve. A hajók egy részén lejtős időjárásálló járműrampa van elhelyezve, amely a szabadoldal fedélzet feletti kollíziós válaszfalat helyettesíti, ilyenkor elhagyható a belső ajtó. Ez a *rámpa* tovább vezethető előre annál, mint ahol a kollíziós válaszfal kijelölt helye lenne, amennyiben magassága a válaszfal fedélzet felett a 2,3 m-t meghaladja, vagyis több, mint a hagyományos közbelső fedélzeti magasság. A farban és orrban beépített ajtók szilárdságának meg kell felelnie a környező szerkezet szilárdságának, ahol pedig zárt felépítménybe való bejutást biztosítanak, vízmentesnek kell lenniük.

A far- és orrkapukat gépi mozgatással lehet felemelni és leereszteni, pl. sodronykötéllel és más emelő-szerkezetekkel, általában azonban az oldalsó sarokpántos ajtók nyitása és zárása hidraulikusan történik (ld. 4.2.3.4.1.1 ábra). Ezek a vízmentes ajtók tömített és reteszelt kivitelűek.

Rámpák

Azoknál a ro-ro hajóknál, amelyek rendelkeznek rámpával, ez általában far-rámpát jelent, bár azokon a hajókon, amelyek orr-kapuvál vannak felszerelve, megtalálható az orr-rámpa olyan kialakítása, hogy az tulajdonképpen maga a belső vízmentes ajtó (ld.



4.2.3.4.1.3 ábra
Univerzális rámpa
autószállító hajón

), és amikor kinyílik az orr-kapu, amely lehet sisakrostély vagy oldalsó sarokpántos megoldású, leengedik és egy megfelelő alátámasztáson nyugszik. Rámpákat

a hajó

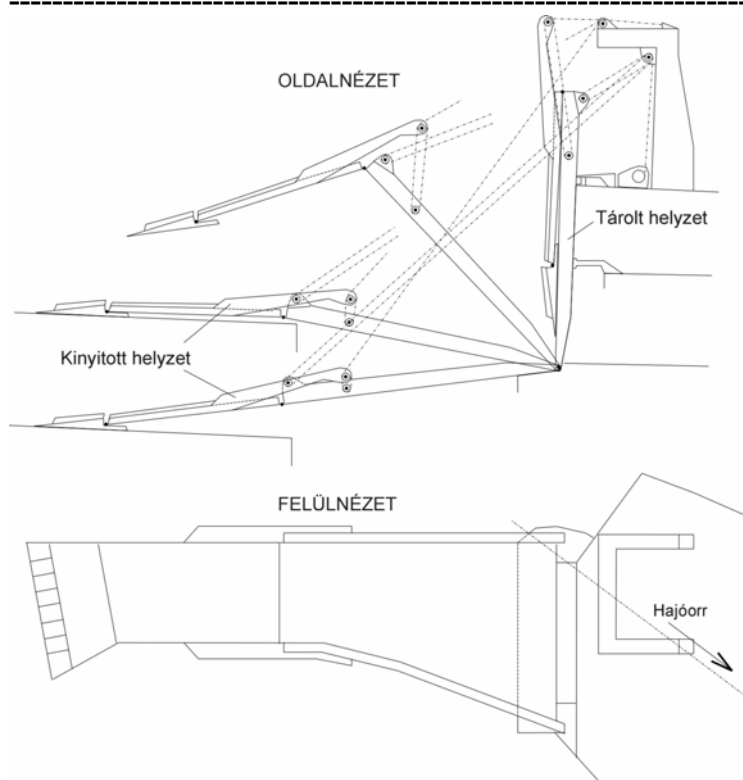
belsejében is lehet elhelyezni a fedélzetek közötti közlekedéshez. Ezeket hidraulikusan



4.2.3.4.1.4 ábra Far-rámpa változatok

vagy mechanikusan lehet beállítani, hogy egynél több fedélzet is megközelíthető legyen velük, és a beépítési fedélzeten

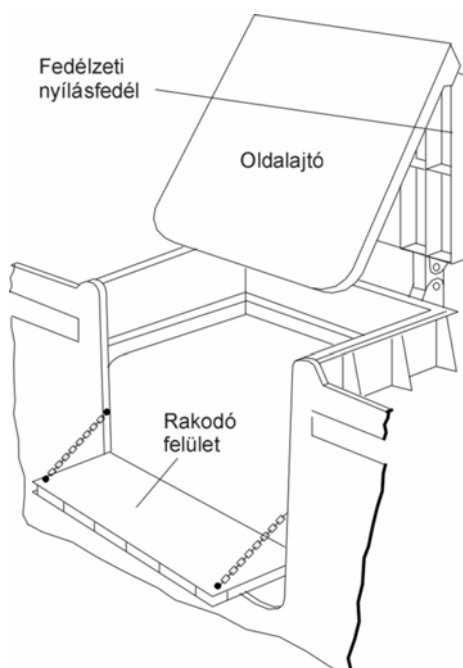
vízszintes helyzetben is lehet rögzíteni őket azon a fedélzeten való közlekedés céljából (ld. 4.2.3.4.1.3 ábra). Egyes hajókon legfelső helyzetbe felemelve a vízmentes rakományfedelelet alkotják.



4.2.3.4.1.5 ábra Nagy méretű ferde rámpa

A far-rámpákat fixen be lehet építeni a hajóközépre hosszirányban, de lehetnek fix ferde rámpák, illetve mindkét irányban vagy csak egyik irányban kifordítható rámpák (ld. 4.2.3.4.1.4 ábra).

A kifordítható rámpák hasonló célokat szolgálnak, mint a ferde rámpa, de több esetben alkalmazhatóak. A kifordítható rámpa a hajófar vonala mentén egy azzal párhuzamos görbe sínpályán gördül le, ezt a mozgást befolyásolják azok a sodronykötelek,



4.2.3.4.2.1 ábra Oldalkapu

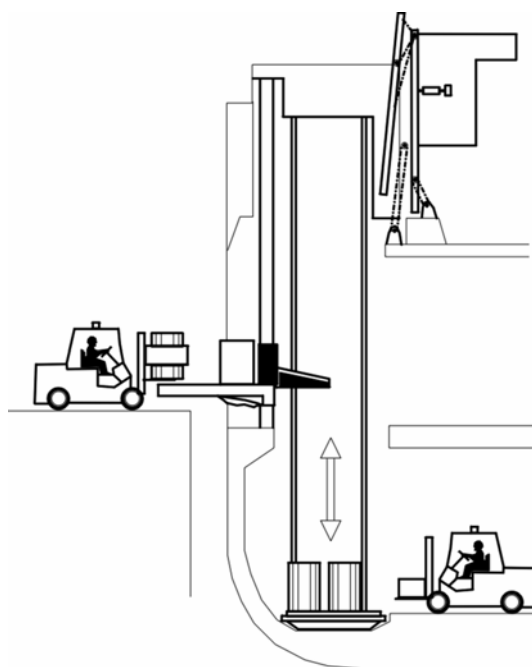
amelyek az emelő-süllyesztő funkciót végzik, és a hidraulikus csörlőkhöz vezetnek.

4.2.3.4.2 Oldalkapuk és rakodók

Az oldalkapu/rámpa megoldások gyakoriak a ro-ro üzemben, és hasonlóak az orr-kapu/rámpa konstrukciókhoz. A legtöbb *oldalkapu* megoldás azonban a raklapos rakománynak a kikötőpartról emelővillás targoncával való berakodását célozza, ahol a kikötőparton mozgó targonca a hajóoldalon belül egy erre szolgáló felületre rakja le a raklapot, a hajón belül pedig egy másik emelővillás targonca végzi az áru helyre rakását.

Azoknak a hajóknak az esetében, amelyek olyan kikötőkbe járnak, ahol nagy az árapály szintkülönbsége, a hajón belüli rakodófelület helyett felszerelhető egy olyan rámpa, amelyre a kikötőparton mozgó villás targonca ráhajt. Emelhető platformok helyezhetők el közvetlenül az oldalkapu közelében a hajóoldalon belül, amelyek a különböző közbenső fedélzeteket és a rakodóteret szolgálják ki. A leginkább specifikus típusú emelőrendszert a papírtermékek, elsősorban

újságpapír tekercsek számára fejlesztették ki. A kikötőparton mozgó villás targonca a papírtekerceszt a szabályozható szintmagasságú rakodóplatformra helyezi, amely az emelőplatformmal együtt görgős szállítórendszerrel van felszerelve. Ennek mozgása automatikus, a tekercseket a rakodóplatformról az emelőplatformra továbbítják, amelyek az előre kiválasztott fedélzetre vagy raktérbe kerülnek (ld. 4.2.3.4.2.1 ábra). Az oldalsó nyílásra általában hidraulikus hengerekkel működtetett felfelé hajtogatott kapukat tesznek, a rakodóplatformot a kapun belül helyezik el és sarokpántokkal csatlakozik a nyílás aljához, automatikusan lenyílik, amikor a kaput kinyitják. A kombinált oldalkapu/nyílásfedél konstrukció olyankor fordul elő, amikor a hajó meglehetősen mélyen merül a vízbe a kikötőparthoz képest, és célja, hogy elegendő magasságot biztosítson a villás targoncának.



4.2.3.4.2.2 ábra Oldalkapu szállítórendszer működtetése

Az oldalkapus emelőrendszerénél, amelyre korábban utaltunk, a nyílásra kombinált kapu/fedél kerül, amely a torony egy részét is hordozza, amelyben az emelő felső része foglal helyet.

Az oldalsó rakodók egyik típusa, amely szükségtelenné teszi az oldalkapu alkalmazását, a MacGregor-Navire International AB cég 'Rotoloader' berendezése. Ez lehet fix vagy hordozható kivitelű. Az egységakományt a kikötőpartról a hajóoldal fölé emelik fel, 180°-os fordulattal a fedélzet fölé befordítják egy forgó kerettel, majd leeresztik a rakodónyíláson át a raktérbe vagy a

fedélközbe.

4.2.3.4.3 Elmozdítható fedélzetek

Számos hajóra szerelnek fel *elmozdítható fedélzeteket*, amelyek lehetővé teszik a rakomány elhelyezésének nagyobb rugalmasságát, de azt is lehetővé teszik, hogy két különböző úton más-más rakományt szállítsanak. Az egyik ilyen extrém példa az az 50.000 tonna hasznos terhelésű tömegáru szállító hajó, amely mozgatható autószállító fedélzetekkel van felszerelve, amelyeket az oldalsó fedélzet alatti tankok alá felhúzza tárolnak, amikor Ausztráliából Japánba ércet szállít, a visszaúton pedig leengedik ezeket, hogy 3.000 autót szállíthasson. Az autófedélzet az elmozdítható fedélzetek leggyakoribb formája, és szinte mindennapos a ro-ro kompokon. A felemelhető fedélzeteket a fix fedélzet alá emelik fel és onnan engedik le sodronykötelekkel, amelyeket kötéldobos hidraulikus csörlőkön vezetnek át. A hajtogatott fedélzeteket a hajótestben levő terek oldalán vagy végén tárolják, és általában hidraulikusan engedik

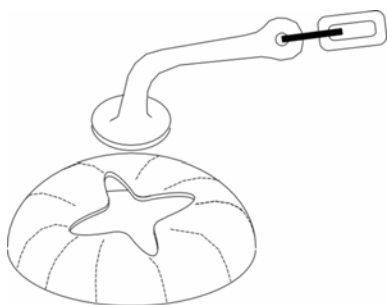
le vízszintes helyzetbe. A Lloyd's Register tartalmaz előírásokat az elmozdítható fedélzeteket illetően, és amennyiben egy hajóra ezeknek az előírásoknak megfelelő elmozdítható fedélzeteket szerelnek fel, a hajótulajdonos vagy a hajóépítő kérésére kiadható a 'mozgatható fedélzetek' osztályozó megjelölés.

4.2.3.4.4 Ollós emelő

A ro-ro hajókon gyakran szerelnek fel *ollós emelőket*, amelyekkel a rakományt le lehet engedni vagy fel lehet emelni fedélzetek között vagy a raktérben, és amelyek a belső rámpák alternatívái lehetnek, mivel kevesebb helyet foglalnak el. A hidraulikus hengerrel mozgatott ollós emelőt gyakran tervezik nehéz egységgrakományok továbbítására.

4.2.3.4.5 A rakomány rögzítése

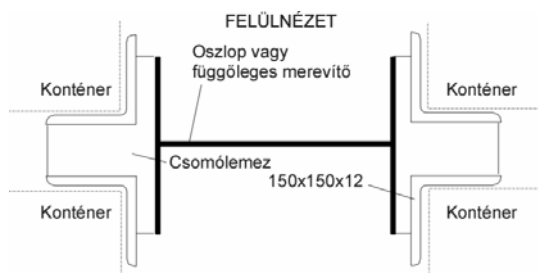
A ro-ro és konténerszállító hajókon fontos biztonsági előírás a *rakomány rögzítése*, ami általában szükségessé teszi olyan szerelvények beépítését, amelyek a rakomány gyors és egyszerű, ugyanakkor hatékony rögzítésére alkalmasak, ezek a hajók ugyanis rövid fordulókat tesznek nagyon sűrűn. A hajóépítő felelőssége a rakománybiztosító eszközök fedélzeten és rakodónyílás fedeleken elhelyezett szerelvényeinek működőképessége, és



4.2.3.4.5.1 ábra Rögzítő-pipa

a hajó üzemeltetőjétől megfelelő útmutatást kér azok típusára és helyére vonatkozóan. A ro-ro hajók fedélzetén, ahol a rakomány mozgása megjósolhatatlan, azon kívül a járműveknek oldalirányú mozgása is van, a 4.2.3.4.5.1 ábrán látható csatlakozó beépítése nagyon elterjedt.

A konténerek terhelhetősége kicsi, kivéve a függőleges terhelést sarokoszlopaikon keresztül, ezért szükség van a konténerek elegendő szilárdságú elegendő rögzítésére,



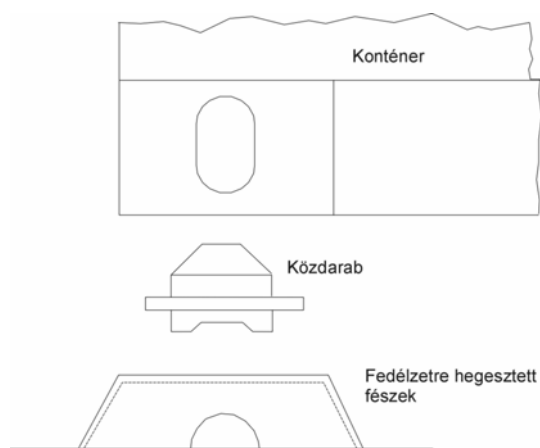
4.2.3.4.5.2 ábra Rakományrögzítő cellák

amikor a hajóra be vannak rakva. A konténerek tárolásánál azok hosszabb méretének mindig a hajó hossz tengelyével párhuzamosan kell elhelyezkedni, mivel a hajó mozgásából a rakományra átadott billegő mozgás nagyobb, mint a

bukdácsolás, így a konténerben levő rakomány mozgása kisebb.

A hosszában elhelyezett konténerek kirakása is egyszerűbb, akár közúti, akár vasúti járműre kerülnek. A fedélzetek alatt a konténereket függőleges vezetőcellák tarják a helyükön, ezek általában 150x150x12 méretű szögacélból készülnek, és be vannak kötve a hajó vasszerkezetébe, így a dinamikus erők amennyire lehet a hajószerkezetre

adódnak át, nem a konténerekre. A vezetőcellák azonban nem képezik részét a hajó szerkezetének, konstrukciójuk megakadályozza, hogy a hajótestben ébredő feszültségek ezeket is terheljék. Ahol négy konténer sarka találkozik, a vezetőcellák határoló profiljai helyett összetett oszlopot építenek be (ld. 4.2.3.4.5.2 ábra). A vezetőcella profilja és a konténer közötti hézag nagyon fontos. Ha túl kicsi, a konténer beszorulhat, ha túl nagy, az egymásra rakott konténerek sarkában levő oszlopok nem találkoznak, az excentricitás miatt a sarkok nem illeszkednek egymásba. A Lloyd's arra ösztönzi a hajóépítőket, hogy a maximális hézag 25 mm legyen keresztirányban és 40 mm hosszirányban. A tűrések meglehetősen szigorúak a vezetőcellák esetében, a pontosság meghaladja az általános hajógyári pontosságot, amelyet a felszereléseknél alkalmaznak, tehát a méreteket be kell tartani a hegesztési művelet során. A Lloyd's követelményei szerint a vezetőcella profil nem térhet el a rajztól 4 mm-nél többel keresztirányban és 5 mm-nél többel hosszirányban. A cellák felső végénél bevezető eszközöket kell elhelyezni.



4.2.3.4.5.3 ábra Fedélzetbe épített konténer-rögzítő

A fedélzet felett is el lehet helyezni vezetőcellákat, erre léteznek szabadalommal védett konstrukciók, mint a MacGregor-Navire International AB cég 'Stackcell' rendszere. Ezeket azonban szélesebb körben nem alkalmazzák, és hanem sok konténerszállító hajó a fedélzeti konténereknél különféle fedélzeti és raktérnyílásra helyezett fészekre

támaszkodik, ezek lehetnek záródó vagy nem záródó rögzítők, amelyek a standard konténerek sarkával kapcsolódnak össze. A záródó rögzítők esetében kevesebb lekötözésre van szükség, emiatt gyakran a legdrágább fajtákat alkalmazzák. A fedélzeti fészkek, amelyek a konténerek sarkához illeszkednek, rendelkeznek az ISO szabvány szerinti furattal, amelybe a rögzítő beleillik (ld. 4.2.3.4.5.3 ábra).

