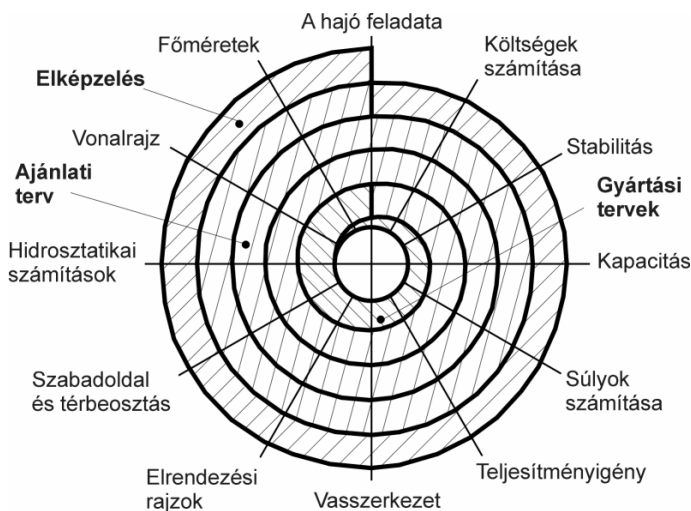


2.3 Geometriai tervezés

A 2.2 fejezetben történt említés a hajótervezés három ismétlődő fázisáról, amely a spirális diagramban látható (2.2.1 ill. 2.3.1 ábra). A három fázis a koncepció vagy elképzelés papírra vetése, az ajánlati tervdokumentáció és a gyártási tervek összessége. Amint az ábrából világosan kitűnik, a kiindulási pont a hajó feladata. Képzeljünk el egy tengeröblöt, amelynek egyik partjáról a másikra történő átkelés tengeren (komphajón) egy nagyságrenddel kevesebb utat, időt, költséget jelent, mint annak megkerülése. A feladat utasok, áruk és járművek átszállítása egyik oldalról a másikra. A feladattól kiindulva meg lehet határozni a hajó optimális főméreteit (ld. 2.2.2 fejezet). A főméretek alapján el kell készíteni a hajótest rajzát, amely nem más, mint a vonalrajz. A *geometriai tervezésnek* (mindhárom fázisban) ez az első lépcsőfoka. Amint a vonalrajz kész és ki van egyenlítve, szükség van azoknak a számításoknak az elvégzésére is, amelyek a hajó *hidrosztatikai tulajdonságait* adják meg eredményként, és amelyek a későbbi számításokhoz (hordképesség, stabilitás, teljesítményigény) alapul szolgálnak (főborda-felület, vízvonalterület, vízkiszorítás, súlypontok, stb.). Ezt követően már a térbeosztás is meghatározható az érvényes hatósági és osztályozó intézeti előírások alapján.



2.3.1 ábra Tervezési spirális

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

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

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

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

2.3.1 Előzetes geometriai méretezés és ellenőrzés

Mindenek előtt az elméleti alapokkal kell tisztában lenni.

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

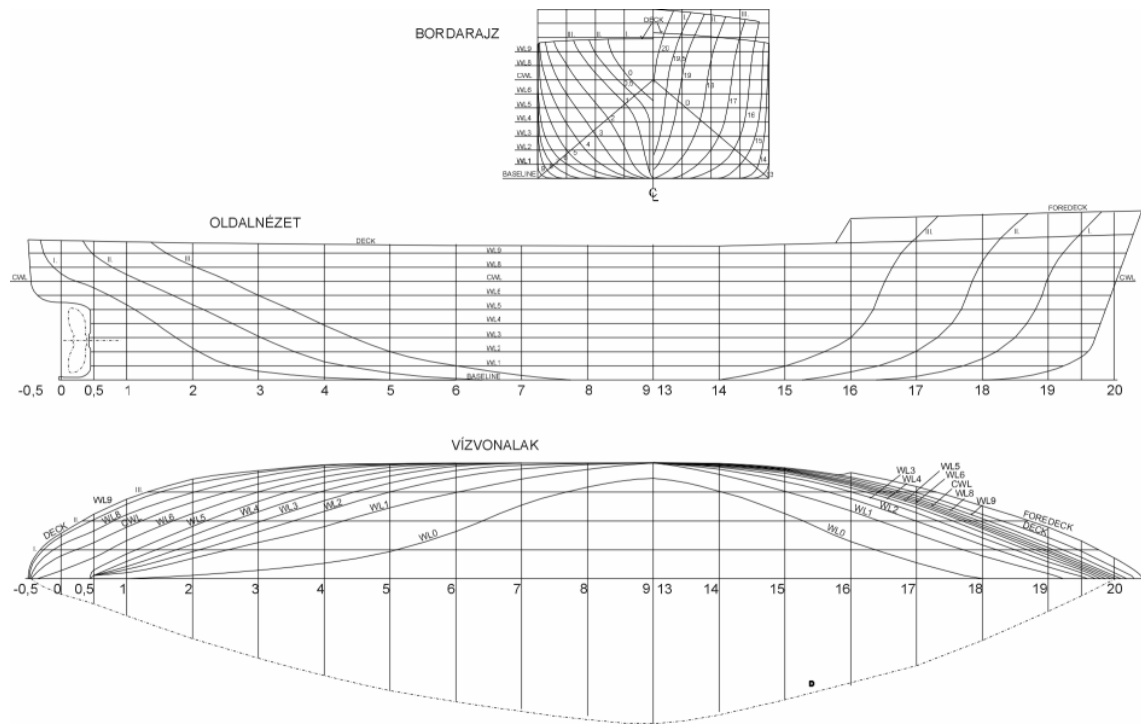
A geometria tervezés során a hajótestre vonatkozó kifejezések gyakran fordulnak elő. Alapvetően szükség van ezeknek a kifejezéseknek a helyes megértésére. Számos hasonló kifejezéssel találkozhattunk már a 2.2 fejezetben is. Általános kifejezés például a „telt” és a „karcsú” hajóforma; specifikus mennyiség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

A hajó vonalterve – a hajótest ábrázolása

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

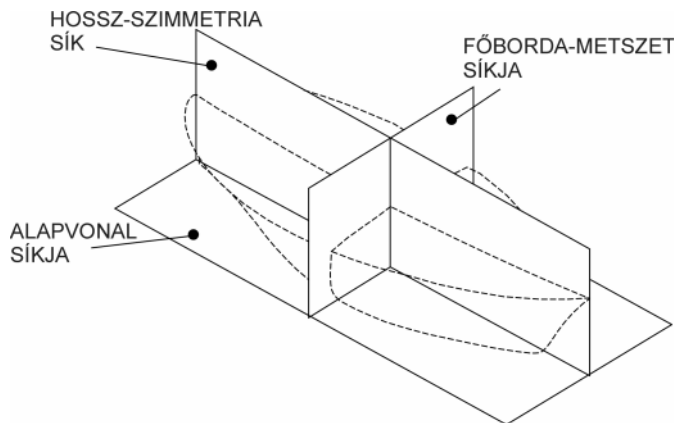
Mértani nyelven szólva a hajótest görbe felületekből áll, amelyek alakja folyamatosan és hirtelen átmenetek nélkül változik egyik szakaszból a másikba átlépve – a hajótervező ezt úgy nevezi, hogy „kiegyenlített”, vagyis nem tartalmaz éles átmeneteket vagy folytonossági hiányokat, amelyek nem kívánatos ellenállást ébresztenének, amikor a hajó haladása közben a víz a hajótest körül áramlik. Magától értetődik, hogy ez a sima alak megköveteli, hogy ne csupán a hajó körvonala jelenjen meg a rajzon, mivel az nem adná meg az alakot kellő pontossággal. A vonalterv tehát síkokból álló három derékszögű rendszer elemeinek (síkjainak) metszésvonalait ábrázolja a hajótesten, mindegyik rendszernek a hajótesttel való metszésvonalai a vonalrajz egyetlen vetületén jelennek meg. Tehát mindegyik nézet egyetlen metszésvonal-rendszert ábrázol valódi alakjában attól függően, hogy a szemlélő éppen melyik irányba fordul a három

síkrendszerhez képest. A hajótest alakjának a geometriai számításokhoz szükséges méreteit három *referenciasíktól* mérjük.



2.3.1.1 ábra Szárazáru szállító hajó vonalrajza

Vetületek (nézetek) és referenciasíkok



2.3.1.2 ábra A vonalterv referenciasíkjai

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

magasság az alapvonal-tól. A hajótest két szimmetrikus felét, a *jobbaldalt* (starboard) és a *baloldalt* (port), a hajó *hossz-szimmetria síkja* (centerline) választja el egymástól, amely az *orrtól* a *farig* végigmenő hosszirányú függőleges sík. A kereszt- vagy harántirányú méreteket félélességeknek nevezzük, és ezeket a hajó hossz-szimmetria síkjától mérjük. A harmadik referenciasík, a *főborda-metszet síkja* (midship section),

keresztirányú és függőleges, így merőleges mind az alapvonal-síkra, mind a hossz-szimmetria síkra. A *hajóközép*, amelyet a \boxtimes jelkép jelez, a főborda-metszet helyére utal. A hosszirányú méreteket a hajótest minden egyes pontjára vonatkozóan a főborda-metszet helyétől is lehet mérni. Mivel azonban a hosszirányú méretek tekintélyes értékűek lehetnek, mérhetjük őket más keresztmetszet síkjától is, pl. az orrnál (bow) levőtől, amelyet *mellső függélynek* nevezünk, vagy a fartól (stern), amelynek neve *hátsó függély*. A függélyek helyét később definiáljuk, amint azonban ezek helye el van döntve, a hajóközép helyét is meghatározzák, amely a két függély között középen helyezkedik el.

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

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

Konvencionálisan a hajó mellső részéhez tartozó fél-bordametszetek (a *hengeres középrész* előttiek) a szimmetriasíktól (amely ezen a vetületen egy függőleges egyenes) jobbra helyezkednek el, azok pedig, amelyek a hajó hátsó részéhez tartoznak (a *hengeres középrész* mögött), a nézet baloldalát foglalják el. Amint már említettem, az orrnál és a farnál gyakran feles bordametszetet alakítanak ki a függélyektől fél bordaosztásnyi távolságra, mivel ott a vízvonalak alakja erősebben változik. A vízvonalakat, amelyek a *felülnézet*en (lines vagy half-breadth plan) vannak ábrázolva, szintén csak egyik oldalon rajzolják meg, a másik oldalt a *diagonál-metszetek* számára tartják fenn. Ezeket olyan síkok metszik ki a hajótestből, amelyek a bordametszet rajzon egyenes vonalnak látszanak, és a hajótestre, leginkább a *medersorra*, közel merőlegesen helyezkednek el, a vízvonalakhoz és a függőleges metszetekhez képest valamilyen tetszőleges szögben. A diagonál-metszetek síkjai tehát úgy vannak kiválasztva, hogy a bordametszetek erősen görbült részeit majdnem merőlegesen messék el a bordarajzon. A diagonál-metszetek koordinátáit, amelyek a sík és a hossz-szimmetria sík metszésétől a bordákkal való metszéspontig mérhetőek, a felülnézetnek a vízvonalakkal ellentétes oldalára mérik fel, és ott ábrázolják a görbét. Alakjuk szerint a bordametszetek módosíthatóak, amíg szépen haladó folyamatos vonalak jönnek létre (*kiegyenlítés*). Ez

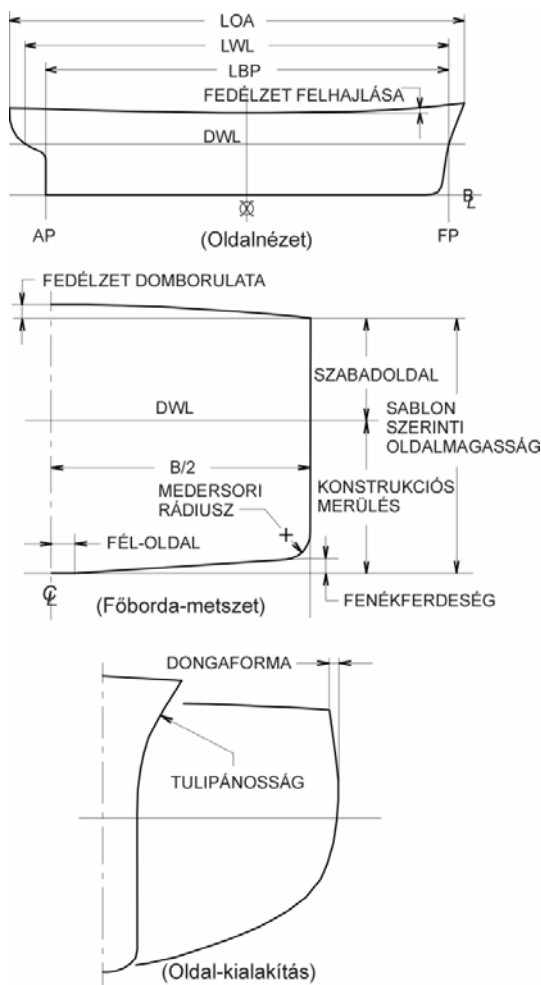
az eljárás nagyon fontos a hajótervező számára, mivel különösen a medersor környékén megfelelően korrigálhatja a bordametszetek alakját. A vonalterv harmadik vetülete, az *előlnézet* (profile plan vagy sheer plan) a hajó profilját mutatja a gerinctől a fedélzetekig (azok széléig), illetve ezen a nézeten láthatóak valódi alakjukban a függőleges metszetek görbéi (buttock). A hajó *profilja* (ahogy a hajót oldalnézetben látjuk) tulajdonképpen a szimmetriasík metszészvonala a hajótesttel (kivéve a fedélzet domborulatát, mivel az oldalnézeten a fedélzet széle van ábrázolva), látható az orr (bow) és a far (stern) alakja, tehát ezt a „nullás függőleges metszet” néven is említhetjük, hiszen a többi függőleges metszet síkjának rendszerébe tartozik. Ezt a logikát lehet látni a 2.3.1.1 ábra szerinti vonalrajzon. Jól látható, hogy mind a három nézetben a hajótest és a síkok metszészvonalai közül csak egyetlen görbesereg látható valódi nagyságában, a másik kettő mindig a síkok élét mutatja egyenes vonalakként. Ezen kívül mindegyik pontnak a referenciasíktól mért valamelyik koordinátája (a *mérettáblázat* egy adata) két nézetben látható, ami lehetővé teszi a hajótervezőnek, hogy a vonalrajz helyességét ellenőrizze, és addig finomítgassa a formát (kiegyenlítés), amíg a vonalak szépen haladnak, vagyis az összes vonal folyamatos, nincsenek helyi púpok vagy mélyedések a felületen, és a mérettáblázat minden egyes adata megegyezik mindkét nézeten, amelyen mérhető.

Sablonszerinti (rajzpadlási) méretek és terminológia

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

A 2.3.1.3 ábrán látható méretek a hajótest alakjának elnevezéseit jelzik. A hajó *főméretei* azok a fontos méretek, amelyek alapvetően definiálják a hajó nagyságát. A tervezés korai fázisában a tervező feltételez egy vízvonalat, amelyről úgy gondolja, hogy a hajó addig fog bemerülni, amikor teljes terheléssel úszik. Ezt a vízvonalat *tervezési* vagy *konstrukciós vízvonalnak* nevezzük, illetve *terhelt vízvonalnak*, és jelölése *CWL* (esetleg *DWL*). Annál a metszéspontnál, amelyet a *CWL* és a hajó mellső szélső szerkezeti eleme, az *orrtóke* (bow vagy stem) alkot, függőleges vonalat húzunk, amelynek neve mellső függély (forward perpendicular, FP). Az FP határozza meg tehát a hajótest *vízbemerült részének* mellső végét. A mellső függélynek ez a definíciója szinte valamennyi hajóra érvényes. A hátsó függélyt (after perpendicular, AP) is meg

kell határozni mindegyik hajónál, annak helye azonban nem határozható meg ilyen egyértelműen minden hajó esetében. A szándék az, hogy a hajó vízbemerült részének hátsó végét jelezze. Leggyakrabban az AP vagy a *kormánylapát tengelyének középvonalával* esik egybe, vagy a CWL hátsó végével, de az is előfordul, hogy a fartóke hátsó végével veszik azonosnak (ha létezik és függőleges). Az FP és AP között mérhető hossz a *függélyek közti hossz* (length between perpendiculars, LBP), a hajó legfontosabb mérete, amelyet a *hajó alaktényezőinek* kiszámításához használnak, illetve a vasszerkezet elemeinek kiválasztásához. Fontos hossz méret még navigációs és dokkolási kérdésekben a hajó *teljes hossza* (length overall, LOA). A hidrodinamikai elemzéseknél és számításoknál, amilyen pl. a hajó ellenállásának vizsgálata, a legjellemzőbb hossz méret a *vízvonal hossza* (length on waterline, LWL). A 2.3.1.3 ábrán mind a három hossz méret látható.



2.3.1.3 ábra Sablon szerinti méretek

A hajó kereszt- vagy más néven haránt-irányú mérete a *szélesség* (beam vagy breadth, B). A hajó nem dobozszerű, tehát a szélességi méret változik a hossz mentén, a főméretek között azonban a *sablon szerinti szélesség* (molded beam) a hajó legszélesebb pontján mért sablon szerinti szélességet jelenti. A *teljes szélesség* (maximum beam) a teljes szélességre utal, amelybe beletartozik a héjlemez vastagsága is mindkét oldalon, tehát az a sablon szerinti szélességnél az oldallemmez kétszeres vastagságával nagyobb. A nagyobb hajóknál a teljes szélesség jelentős hosszon azonos a főborda előtt és mögött. Kisebb hajóknál előfordul, hogy a teljes szélesség csak egyetlen keresztmetszetben fordul elő, a főbordánál vagy esetleg valamivel a főborda mögött. A 2.3.1.3 ábra b/ részében látható fél-keresztmetszet feltehetően a hajóközépnél (*főbordán*) van, az ott látható sablon szerinti *oldalmagasság* (H) a függőleges távolság a főbordán az alapvonal (a gerinclemez felső felülete) és a *főfedélzeti fedélzeti gerendák* felső éle (azaz a fedélzeti lemez alsó felülete,

amely a fedélzet sablon szerinti vonalát jelenti) között a hajó szélénél. A hajó oldalmagassága a szélességhez hasonlóan szintén nem állandó a hossz mentén, mivel a fedélzetek (különösen pedig a *szabad*, vagyis az *időjárásnak kitett fedélzetek*) nagyon ritkán vannak síkra kialakítva. A *fedélzet szélének vonala* általában görbül a hajó hossza mentén, legmagasabb pontját az orrnál éri el, a legalacsonyabbat valamivel a főborda

mögött, majd ismét emelkedik a far felé. Ezt a görbét a *fedélzet felhajlásának* nevezzük (sheer). A felhajlás mértéke bármely ponton a hajó hossza mentén az a függőleges távolság, amellyel az adott ponton a fedélzet szélének magassága magasabban (pozitív érték) vagy alacsonyabban (negatív érték) van, mint ahol a fedélzet vonala a főbordánál sablon szerint elhelyezkedik.

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

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

Méretábrázat

A kész és kiegyenlített vonalterv az információknak az a tökéletes forrása, amelyre a hajótervezőnek szüksége van, hogy két alapvető műveletet el tudjon végezni a továbbiakban: az egyik a hajó *hidrosztatikai jellemzőinek* meghatározása, amelyekre az *úszóképesség* és a *stabilitás* számítása támaszkodik, a másik pedig a hajó építéséhez

BBBZ-kódex

szükséges gyártási rajzok elkészítése. Mindkét esetben a hajótestre vonatkozó információt, amelyet a vonalterv tartalmaz, számadatokkal (numerikusan) kell kifejezni, és a hajó léptékében. A vonalterv numerikus megfelelője a mérettáblázat (table of offsets).

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

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

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

2.3.1.1 táblázat Szárazáru szállító hajó mérettáblázata (US méreteken, 0-ás borda elől)

Félszélességek a vízvonalakon és a fedélzeteknél láb-hüvelyk-nyolcad mértékegységben											
Borda	0-0 WL	4-0 WL	8-0 WL	16-0 WL	24-0 WL	32-0 WL	40-0 WL	Orrfed.	Főfed.	2. fed.	3. fed.
0-FP	-	3-0-5	2-8-2	1-0-1	0-2-5	0-5-0	1-8-6	11-1-2	7-0-3	1-11-0	0-2-3
½	-	4-8-7	5-0-7	4-3-5	4-0-6	5-0-6	7-8-3	20-4-2	14-6-0	7-7-2	4-1-4
1	-	6-10-2	7-11-6	8-6-1	9-3-0	11-1-0	14-3-5	26-5-2	20-6-5	13-9-4	9-4-7
2	2-4-0	13-7-6	16-9-3	19-9-0	21-10-2	24-1-7	26-11-6		30-3-6	26-0-2	21-0-2
3	9-2-0	24-1-0	27-7-1	30-10-3	32-8-1	34-0-5	35-2-7		36-1-1	34-8-4	32-0-2
4	24-4-0	33-3-0	35-8-1	37-2-2	37-7-5	37-10-4	37-11-6		38-0-0	37-11-2	37-5-7
☒ 5	28-5-6	36-2-6	37-10-3	38-0-0	38-0-0	38-0-0	38-0-0		38-0-0	38-0-0	38-0-0
6	24-10-4	34-8-1	37-0-7	37-11-7	38-0-0	38-0-0	38-0-0		38-0-0	38-0-0	37-11-6
7	13-6-4	27-1-4	31-2-6	35-8-1	37-5-2	37-11-6	38-0-0		38-0-0	38-0-0	36-0-1
8	4-5-2	15-0-3	19-3-3	26-2-2	31-9-2	35-7-3	37-4-2		37-8-1	36-9-7	26-11-4
9	-	6-0-7	7-9-4	11-2-4	18-1-0	25-8-5	31-3-1		33-8-7	29-6-3	11-10-1
9½	-	2-8-7	3-4-1	4-3-0	8-8-3	17-10-1	25-3-4		29-5-0	23-2-7	4-5-1
10-AP	-	-	-	-	-	8-6-3	16-11-6		22-5-2	-	-
Magasságok a sablon szerinti alapvonal felett láb-hüvelyk-nyolcad mértékegységben											
Borda	Függőleges metszetek				Orrfedélzet		Főfedélzet		2. fed.	3. fed.	
	4 lábnál	8 lábnál	16 lábnál	24 lábnál	Sz.síknál	Oldalnál 1	Sz.síknál	Oldalnál 1			
Orrtőke					63-11-0	63-11-0	55-8-0	55-8-0	40-10-2	25-0-0	
0-FP	47-5-6	57-0-7	-		63-4-5	63-3-1	55-0-2	54-11-5	40-8-6		
½	2-3-0	40-8-3	55-4-4	-	62-2-6	61-9-5	53-2-5	53-0-0	39-9-1		
1	0-11-7	8-0-7	43-4-1	56-8-1	61-06	60-4-1	51-8-2	51-3-0	38-10-4	25-0-0	
2	0-0-4	0-8-7	6-9-2	31-5-7	-	-	49-3-5	48-4-1	37-5-1	20-10-0	
3	-	0-0-0	0-6-7	3-11-1			47-7-3	46-3-0	36-4-4		
4		-	0-0-0	0-1-1			46-5-5	44-11-5	35-8-7		
☒ 5				0-0-0			46-0-0	44-6-0	35-6-0	20-10-0	

6			-	0-0-0			46-1-0	44-7-0	35-7-0	17-0-0
7	-	-	0-0-6	2-1-0			46-4-5	44-10-5	35-10-4	
8	0-0-0	0-3-5	4-9-6	13-3-3			46-9-7	45-4-3	36-4-4	
9	1-2-1	8-6-6	21-11-3	30-0-4			47-3-3	46-1-1	37-0-6	
9½	14-3-4	23-4-1	30-3-6	38-4-5			47-6-1	46-7-3	37-5-7	17-0-0
10-AP	28-5-0	31-6-5	38-11-3	-			47-8-6	47-2-4	-	
Fartőke	37-1-4	41-7-0	44-1-6				47-11-6	47-11-6		

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

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

2.3.2 A hajótest geometriájának részletes tervezése

2.3.2.1 A hajótest alakjának hidrosztatikai jellemzői

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

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

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

2.3.2.1.1 A vízvonál jellemzői

A vízvonál vizsgálatánál mindig négy tulajdonságot kell meghatározni.

1. *Vízvonalfelület* (area of waterplane, A_w). A vízvonál felülete szükséges a *közepes merülés* változásának meghatározásánál. Mértékegység: négyzetláb vagy négyzetméter.
2. *Vízvonalfelület súlypontja* (centre of floatation, CF). A *be-* és *kirakodás* vagy a hajón belüli *súlymozgatás* hatására a farnál és az orrnál kialakuló merülés kiszámításánál van rá szükség. A vízvonál alakjának szimmetriája miatt a CF a hajó középvonalán helyezkedik el. Helyének meghatározása a főbordától (vagy az FP ill. AP helyétől, ha azok a referenciasíkok) mért távolság számítását jelenti. Az így kapott távolság a vízvonalfelület súlypontjának hosszirányú koordinátája (longitudinal center of floatation, LCF). Mértékegység: láb vagy méter a referenciasíktól.
3. *Hosszirányú inercianyomaték* (longitudinal moment of inertia, I_L). Ez tulajdonképpen a vízvonalfelületnek a vízvonalfelület súlypontján áthaladó keresztirányú tengelyre vett *másodrendű nyomatéka*. A *hossz-stabilitás* és a trim (az orrnál és a farnál mért merülés különbsége) számításánál szükséges. Mértékegység: láb⁴ vagy m⁴.
4. *Keresztirányú inercianyomaték* (transverse moment of inertia, I_T). Az I_T a vízvonalfelületnek a hosszirányú szimmetriatengelyre vett másodrendű nyomatéka. Szükséges a *kezdeti keresztstabilitás* számításánál. Mértékegység: láb⁴ vagy m⁴.

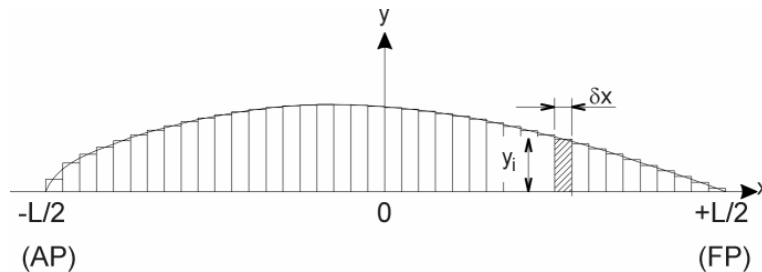
2.3.2.1.1.1 A vízvonál jellemzőinek meghatározása numerikus integrálással

A hajótest alakjának bonyolultsága miatt a jellemzők meghatározása tisztán matematikai módszerekkel lehetetlen. Nincsenek olyan kezelhető matematikai függvények, amelyek képesek lennének leírni a hajótest alakját. Nem tudjuk tehát számításal elvégezni azokat az integrálási műveleteket, amelyek a jellemzők meghatározásához szükségesek. Nincs más lehetőség, a gyakorlatban nagyon jól bevált

numerikus integrálás eljárását kell alkalmazni, amelynek eredménye ugyan nem egzakt, de megfelelő pontossággal közelíti a valódi értéket.

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

A 2.3.2.1.1.1.1 ábra a vízvonalfelületet szemlélteti.



2.3.2.1.1.1.1 ábra A vízvonalfelületet grafikus közelítése

A vízvonalfelület derékszögű koordináta-rendszerben van ábrázolva, amelynek

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

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

ahol a Σ az összes elemi terület összegét jelenti a farnál levő elsőtől ($i = 1$) az orrnál levő utolsóig ($i = N$). Ez a terület, amint említettük, nem egzakt, mivel a használt derékszögű területelemek nem pontosan követik a sima görbét, azonban a közelítés mértéke nagyon jó.

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

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

Mivel ez az egyenlet a δx zéróhoz közelítése miatt elméletileg végtelen számú elemet tartalmaz a jobboldalon, a területelemek száma végtelen, és az összegzés az x kifejezéseként jelenik meg $-L/2$ és $+L/2$ között. Az y ordináta alakja $y(x)$, ami azt

BBBZ-kódex

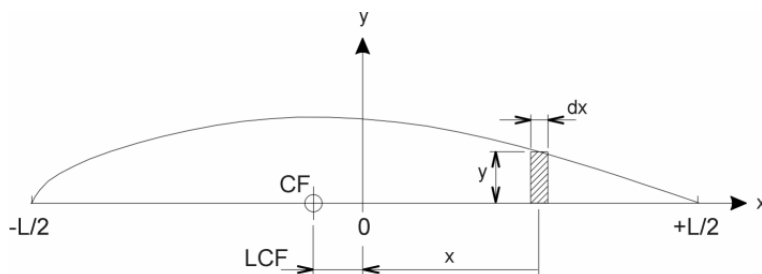
jelenti, hogy „y az x függvénye”, nem pedig az i jelzőszámé. A végtelen összegzés matematikai elnevezése határozott integrál, amint a következő képlet mutatja, és a summa jelét az integráljel veszi át, a δx véges növekmény helyett pedig a dx differenciál szerepel benne:

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

amelynek jelentése: „Az A mennyisége egyenlő az y függvény integráljával az x független változó $-L/2$ és $+L/2$ közötti intervallumban”. Az y ordináta feltételezésünk szerint az x függvénye, emiatt gyakran az $y(x)$ alakot használják. Ez azért határozott integrál, mert az integrálás x változójához határozott határok vannak megjelölve. Amikor az integrálás határait numerikus számok alkotják, a határozott integrál megoldása mindig egy számérték, nem matematikai kifejezés. Jelen esetben a 2.3.2.1.1.1.1 ábrán látható terület.

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

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



2.3.2.1.1.1.2 ábra A vízvonalfelület integrálása

A vízvonalak szimmetriája miatt az integrálást elegendő a fél területre elvégezni, az eredményt pedig kettővel szorozni.

Tehát a vízvonalfelület területe

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

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

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

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

A vízvonalterület kiszámításához felírjuk:

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

ahol δx = elméleti bordaosztás a vonalrajzon

ΔA_A = a 0-s borda mögötti terület

ΔA_F = a 10-es borda előtti terület.

Amennyiben 20 elméleti bordával készült a vonalterv, a képletet értelemszerűen kell átalakítani.

A vízvonalfelület súlypontjának meghatározásához ki kell számítanunk a terület *elsőrendű nyomatékát* valamilyen *referenciatengelyre*. Ha ehhez az y tengelyt használjuk, azaz a főborda helyét, az y dx területelem nyomatéka nem más, mint a felületelem területe szorozva a tengelytől vett távolsággal (*a nyomaték karjával*).

$$dm = x dA = x (y dx)$$

ahol dA = területelem = $y dx$

x = a nyomaték karja a főbordától (+ előre, - hátra)

dm = a felületelem elsőrendű nyomatéka a főbordára

Így a teljes vízvonalfelület elsőrendű nyomatéka a főbordára

$$M_{\text{xx}} = 2 \int_{-L/2}^{+L/2} x y dx$$

ahol a kettővel való szorzás a korábbiakhoz hasonlóan szükséges, mivel félszélességekkel dolgozunk. Az index xx arra utal, hogy a nyomaték tengelye a főborda helye.

Numerikus integrálásnál (10 elméleti borda esetén) ez:

$$M_{\text{xx}} = 2((-5)\delta x \frac{1}{2} y_0 \delta x + (-4)\delta x y_1 \delta x + \dots + 4\delta x y_9 \delta x + 5\delta x \frac{1}{2} y_{10} \delta x) - \Delta M_A + \\ + \Delta M_F = 2\delta x^2((-2,5)y_0 + (-4)y_1 + (-3)y_2 + \dots + 3y_8 + 4y_9 + 2,5y_{10}) - \Delta M_A + \\ + \Delta M_F$$

ahol ΔM_A = a 0-s borda mögötti terület nyomatéka (a teljes nyomatékot csökkenti)

ΔM_F = a 10-es borda előtti terület nyomatéka.

A *felület súlypontja* az a pont, amelynél a vízvonalfelülettel alakra és méretre megegyező vékony lemezt felfüggesztve az nyugalomban lenne. A nyomaték

BBBZ-kódex

tengelyétől (az ábrán a főbordától) mért távolságát általában x -szel jelöljük, a hajó vízvonala esetében LCF , számítása

$$LCF = \bar{x} = M_{\infty} / A_w$$

Az ábrán CF jelölésű súlypont a főborda elé esik, ha M pozitív, illetve mögé, ha negatív. A rutin *hidrosztatikai számításoknál* a nyomaték tengelyének általában a főborda síkját választják, de bármelyik helyet választhatjuk, amikor a karokra és a nyomatékokra illetve az LCF értékére más eredmény adódik, de a CF helyzete természetesen ugyanoda kerül, függetlenül a választott tengelytől. Valójában, ha véletlenül olyan tengelyt választunk, amely átmegy a súlyponton, a nyomaték zéró értékűre adódik, mivel a területelemek pozitív és negatív nyomatéka kiegyenlíti egymást.

Most határozzuk meg a vízvonalfelület hosszirányú inerciáját (I_L).

Az inercia a felület másodrendű nyomatéka, azért nevezik így, mert úgy kapjuk meg, hogy a felület (elsőrendű) nyomatékát ismét megszorozzuk a nyomaték karjával. A 2.3.2.1.1.2 ábra szerint a felületelem inerciája

$$di_{\infty} = x^2 dA = x^2 y dx$$

Ha integráljuk a hajó hossza mentén, és figyelembe vesszük a felület mindkét oldalát, a következőt kapjuk

$$I_{\infty} = 2 \int_{-L/2}^{+L/2} x^2 y dx$$

ahol I_{∞} a vízvonalfelület inercianyomatéka a főbordára, mint referenciatengelyre vonatkoztatva.

Numerikusan integrálva

$$I_{\infty} = 2\delta x^3(12,5)y_0 + 16y_1 + 9y_2 + \dots + 9y_8 + 16y_9 + 12,5y_{10} + \Delta I_{\infty A} + \Delta I_{\infty F}$$

ahol $\Delta I_{\infty A}$ = a 0-s borda mögötti terület inercia nyomatéka

$\Delta I_{\infty F}$ = a 10-es borda előtti terület inercianyomatéka.

A *hosszstabilitás* meghatározásához szükséges inercianyomaték azonban arra a keresztirányú tengelyre kell, hogy vonatkozzék, amely átmegy a vízvonalfelület súlypontján. Ez a speciális inercianyomaték a vízvonalfelület hosszirányú inercianyomatéka (I_L). A mechanika párhuzamos tengelyekre vonatkozó elmélete kimondja, hogy ugyanannak a felületnek két párhuzamos tengelyre vett inercianyomatéka, amelyek közül az egyik átmegy a felület súlypontján, a következőképpen viszonyul egymáshoz:

$$I_{\text{par}} = I_{\text{cent}} + A h^2$$

ahol I_{cent} = a felületnek a súlyponton átmenő tengelyre vett inerciája
 A = terület
 h = a két tengely távolsága
 I_{par} = a felületnek a párhuzamos tengelyre vett inerciája.

Ez azt mutatja, hogy egy felületnek a saját súlypontján áthaladó tengelyre vett inerciája kisebb, mint bármelyik azzal párhuzamos tengelyre számított inercia. Ezt az elvet alkalmazva a vízvonalfelületre, I_L a következőképpen határozható meg:

$$I_L = I_{\infty} - A_w (LCF)^2$$

A vízvonalfelülettel kapcsolatos jellemzők közül már csak a keresztirányú inercianyomatékot (I_T) kell kiszámítani, amely a felület másodrendű nyomatéka arra a hosszirányú tengelyre vonatkoztatva, amely áthalad a vízvonalfelület súlypontján, vagyis a vízvonalfelület hossz-szimmetriatengelyére. Mivel egy h magasságú és b szélességű téglalapnak az alapvonalára, mint tengelyre vett inercianyomatéka $1/3 b h^3$, az ábra szerinti felületelem inerciája az alapvonalára számítva

$$di_T = 1/3 y^3 dx$$

amelyet megkettőzve és a vízvonal teljes hosszára integrálva a következőt kapjuk

$$I_T = 2/3 \int_{-L/2}^{+L/2} y^3 dx$$

Numerikusan

$$I_T = 2/3 \delta x (1/2 y_0^3 + y_1^3 + \dots + y_9^3 + 1/2 y_{10}^3) + \Delta I_{TA} + \Delta I_{TF}$$

ahol ΔI_{TA} = a 0-s borda mögötti terület inercia nyomatéka
 ΔI_{TF} = a 10-es borda előtti terület inercianyomatéka.

2.3.2.1.2 A hajótest vízbemerült részének jellemzői

Három jellemző meghatározására van szükség.

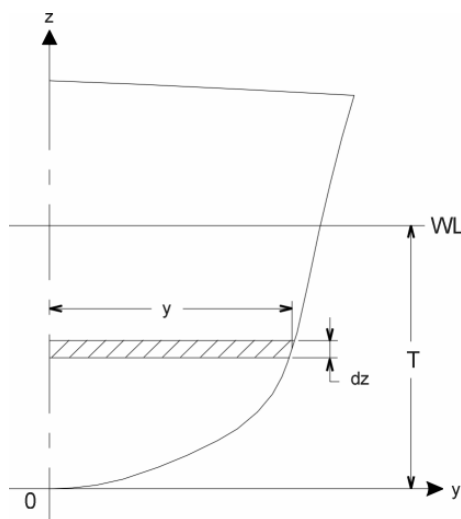
1. *Víz kiszorítás térfogata* (∇). A vízbemerült rész térfogata, azért nevezik víz kiszorításnak, mert az úszó hajó ekkora térfogatú folyadékot szorít ki. A víz kiszorítás a hajótest alakjának alapvető jellemzője, mivel a *hajó tömege* illetve *súlya* megegyezik az általa kiszorított víz tömegével illetve súlyával. A sablon szerinti térfogatot közvetlenül a sablon szerinti méretábrázolati adatokból lehet kiszámítani. A *hégylemez* és *függelék*ek térfogatát, amilyen pl. a *medersori*

stabilizátor, a kormány, stb., ehhez hozzá kell adni, hogy az egyes merülési értékekhez meg lehessen határozni a *teljes vízkiszorítást*. Mértékegység: láb³ vagy m³.

2. *Vízkiszorítás súlypontjának hosszirányú koordinátája* (longitudinal centre of buoyancy, *LCB*). A ∇ vízkiszorítás alakja miatt súlypontja (centre of buoyancy, *B*) három koordinátával rendelkezik, amelyeket meg kell határozni. A *B* helyzete hatással van a hajó stabilitására és trimjére. A hajó szimmetriája miatt egyenes úszásnál a vízkiszorítás súlypontja a szimmetriasíkban van, ezért csak két koordinátát kell kiszámítani a *B* helyzetéhez. Az *LCB* a *B* távolsága a kijelölt keresztirányú referenciasíktól, amely általában a főborda-metszet. Az *LCB* azonban mérhető az *FP* vagy *AP* helyétől is. Mértékegység: láb vagy méter.
3. *Vízkiszorítás súlypontjának függőleges koordinátája* (vertical center of buoyancy, *KB*). A *KB* a vízkiszorítás súlypontjának az alapvonal vagy gerinc (*K*) feletti magassága. Mértékegység: láb vagy méter.

2.3.2.1.2.1 A bordametszetek jellemzői

A *bordametszetek vízbemerült részének felületére* (A_s) is szükségünk van ahhoz, hogy a jellemző görbéket fel tudjuk rajzolni.



2.3.2.1.2.1.1 ábra *Bordafelület integrálása*

A vízkiszorítás térfogatának kiszámításához bemenő adatként (input) a vonalterv oldalnézetén (bordarajz) megjelenített bordametszetek felületét – az alapvonaltól a kérdéses vízvonalgig – kell meghatározni. Ha a hajóhossz mentén felrajzoljuk a bordametszetek vízbemerült felületét, megkapjuk a *bordametszet felület görbét*, amelynek alakja a hajó „telt” vagy „karcsú” jellegét emeli ki, amely igen fontos információ a hajó ellenállásának és *teljesítményigényének* szempontjából. Mértékegység: láb² vagy m².

A vízbemerült bordaterület integrálása. A bordarajzon ábrázolt mindegyik bordametszetet a 2.3.2.1.2.1.1 ábra szerint lehet értelmezni. A bordametszet vizsgálatánál az alapvonal (*y* tengely) és a hossz-szimmetria sík vonalának (*z* tengely) metszéspontja adja a koordinátarendszer origóját. A fél-bordametszet felületelemeit a következő formula fejezi ki:

$$dA_s = y(z) dz$$

Ha az alapvonalról a vízvonalgig ezeket integráljuk, és figyelemmel vagyunk a másik terület-félre is, a vízbemerült terület

$$A_S = 2 \int_0^T y \, dz$$

0

ahol A_S = a bordametszet vízbemerült területe
 y = a borda félszélességei
 T = merülés a bordametszeten

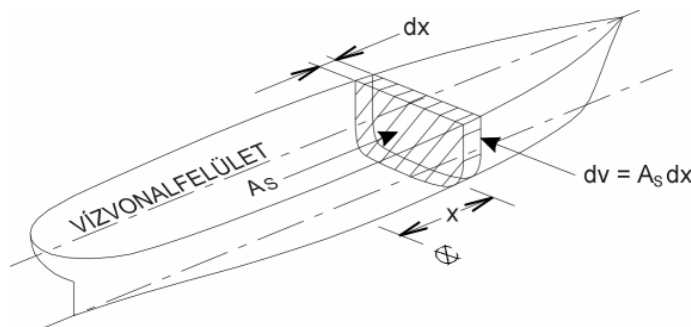
Mindez numerikus integrálásnál

$$A_S = 2 \, \delta z \left(\frac{1}{2}y_0 + y_1 + \dots + y_9 + \frac{1}{2}y_{10} \right)$$

ahol δz = vízvonalak egymástól való távolsága.

2.3.2.1.2.2 A vízbemerült hajótest-rész jellemzőinek integrálása

A hajótest vízbemerült részének térfogata, más néven a vízkiszorítás térfogata integrál formájában fejezhető ki, amely a vízbemerült térfogatnak a 2.3.2.1.2.2.1 ábrán látható elemeit összegzi.



2.3.2.1.2.2.1 ábra Vízkiszorítás meghatározása a hossz mentén végzett integrálással

Az ábrázolt térfogat az alapvonaltól addig a vízvonalgig terjed, amelyen a hajó úszik. Ez az integrál alakja szerint analóg a vízvonalfelület meghatározására

felírt formulával, csak a félszélességek helyett a bordametszetek vízbemerült felülete szerepel benne. Tehát az elemi térfogat (dv) a következő alakban írható fel

$$dv = A_S \, dx$$

a hajó hossza mentén végzett integrálás képlete pedig a következő:

$$V = \int_{-L/2}^{+L/2} A_S \, dx$$

ahol V = a hajó vízkiszorításának térfogata
 A_S = bordametszetek felülete a vízvonalgig (mindkét oldalt)

A kettővel való szorzás azért hagyható el, mert a bordametszetek számításánál már mindkét fél-terület figyelembe volt véve.

BBBZ-kódex

Numerikus integrálásnál:

$$\nabla = \delta x \left(\frac{1}{2} A_{S0} + A_{S1} + A_{S2} + \dots + A_{S8} + A_{S9} + \frac{1}{2} A_{S10} \right) + \Delta \nabla_A + \Delta \nabla_F$$

ahol δx = elméleti bordaosztás a vonalrajzon

$\Delta \nabla_A$ = a 0-s borda mögötti térfogat

$\Delta \nabla_F$ = a 10-es borda előtti térfogat.

Az analógia a ∇ és az A_W számítása között átvihető a súlypont-koordináták számítására is. Az ábrán látható térfogatelem x távolságra van a főbordától, mint a nyomaték karjának vonatkoztatási tengelyétől, akár csak a korábbiakban a felületelem, így a térfogat hosszirányú nyomatéka ($M_{\nabla \otimes}$) és a vízkiszorítás súlypontjának hosszirányú koordinátája (longitudinal centre of buoyancy, LCB) a felület nyomatékához és az LCF -hez hasonlóan számítható. Az elemi térfogat-nyomaték a főbordára

$$dm = x A_S dx$$

amelynek integrálja a teljes vízkiszorítási térfogat nyomatéka a főbordára

$$M_{\nabla \otimes} = \int_{-L/2}^{+L/2} x A_S dx$$

Numerikusan:

$$M_{\nabla \otimes} = \delta x^2 \left((-2,5)A_{S0} + (-4)A_{S1} + (-3)A_{S2} + \dots + 3A_{S8} + 2A_{S9} + 2,5A_{S10} \right) + \Delta M_{\nabla \otimes A} + \Delta M_{\nabla \otimes F}$$

ahol $\Delta M_{\nabla \otimes A}$ = a 0-s borda mögötti nyomaték

$\Delta M_{\nabla \otimes F}$ = a 10-es borda előtti nyomaték.

Ha elosztjuk a térfogat nyomatékát a térfogattal, megkapjuk a *vízkiszorítás súlypontjának hosszirányú koordinátáját*, vagyis távolságát a főborda síkjától

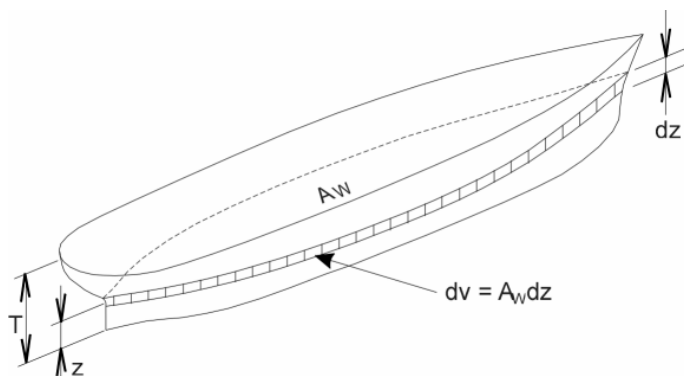
$$LCB = M_{\nabla \otimes} / \nabla$$

ahol LCB = vízkiszorítás súlypontjának hosszirányú koordinátája

$M_{\nabla \otimes}$ = vízkiszorítási térfogat nyomatéka a főbordára

∇ = vízbemerült részének térfogata, azaz a vízkiszorítás térfogata.

A vízkiszorítás súlypontjának (B) helyét függőlegesen is meg kell határozni, azaz magasságát az alapvonal illetve gerinc (K) felett. Ez a méret KB néven ismert.



2.3.2.1.2.2.2 ábra Vízkiszorítás meghatározása függőleges integrálással

Az eljárás hasonló a hosszirányú nyomaték és koordináta számításához, de ezúttal az integrációt a gerinctől a vízvonalgig kell elvégezni, az elemi térfogatok pedig vízszintes

rétegeket jelentenek, amelyek két vízvonalg közötti térfogatot képviselnek, ezek az alapvonal és az úszási állapot vízvonala között helyezkednek el. Ezt a helyzetet a 2.3.2.1.2.2.2 ábra szemlélteti.

Mivel az elemi térfogat $A_w dz$, a vízkiszorítás térfogata

$$\nabla = \int_0^T A_w dz$$

Bár a ∇ értékét már kiszámítottuk korábban a bordametszetek hosszirányú integrálásával, hasznos ellenőrzés lehet az előző számításra a függőleges integrálás. A vízkiszorítás elemi térfogatának a gerincre vett nyomatéka $z A_w dz$, tehát a teljes nyomaték

$$M_{\nabla K} = \int_0^T z A_w dz$$

Numerikusan

$$M_{\nabla K} = \delta z^2 (A_{w1} + 2A_{w2} + \dots + (N-1)A_{w(N-1)} + \frac{1}{2}NA_{wN})$$

ahol δz = vízvonalgak egymástól való távolsága
 N = vízvonalgak száma az úszáshelyzetnek megfelelő vízvonalgig.

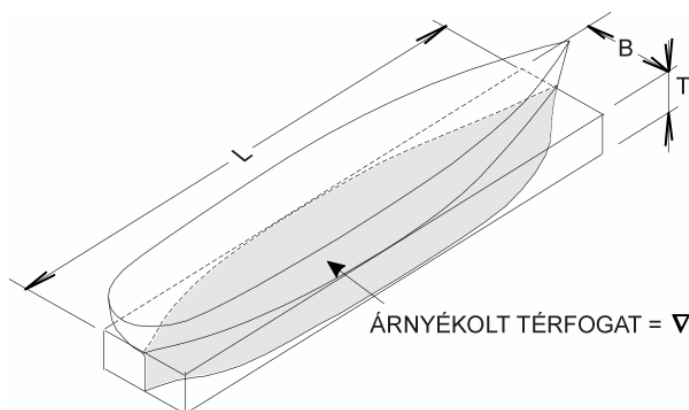
Végül a KB értékét a nyomaték és térfogat hányadosaként írhatjuk fel:

$$KB = M_{\nabla K} / \nabla$$

2.3.2.1.2.3 A hajótest vízbemerült részének alaktényezői

A hajótervezők saját tapasztalatukra és a múltban jónak bizonyult hajók igazolt képességeire támaszkodnak, amikor arról döntenek, milyen jellemzőket kell betartani egy új hajó tervezésénél. Amikor számos hajó testformáját hasonlítják össze, kiindulópontként több dimenzió nélküli tényezőt használnak, amelyek numerikus értéke

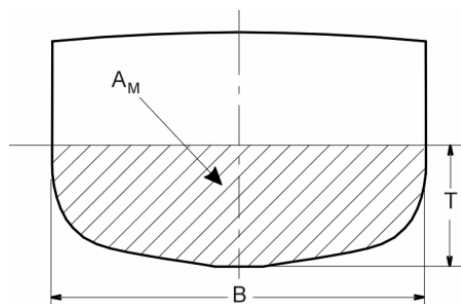
egy gyakorlott hajótervező számára egy bizonyos hajótest-forma etalont képez, amely számszerűsíteni tudja a *telt* vagy *karcsú* kifejezés jelentését különböző hajók esetében, függetlenül a hajók méreteitől. Az *alaktényezők* arra is jól használhatóak, hogy a hajó ellenállására vonatkozóan az első becslést meg lehessen tenni, tehát a szükséges géperőre következtetni lehessen, emellett *tengerálló képességét* is fel lehessen mérni már a tervezés korai szakaszában. A következőkben a leggyakrabban alkalmazott alaktényezőket mutatjuk be, amelyeket *teltségi fokoknak* is nevezünk. Ezek minden esetben a hajótest vízbemerült részére vonatkoznak. A hajók esetében használt méretek közül az alaktényezőket lehet számítani a sablon szerinti (rajzpadlási) vagy teljes méretekből, a hossz pedig lehet függvények közötti (*LBP*) vagy a tervezési vízvonal hossza (*LWL*) attól függően, milyen a hajótest típusa és mit helyez előtérbe a tervező. Emiatt tehát lényeges, hogy minden alkalommal világosan le legyen rögzítve, milyen méretekből számolták ki a tényezőket. A következőkben a általánosan elfogadott (generikus) jelölések és kifejezések szerepelnek. A teltségi fokokat minden vízvonalra meg lehet határozni, de a szokásos numerikus értékek a konstrukciós vízvonalra értendőek.



2.3.2.1.2.3.1 ábra Hasábos teltség $C_B = \nabla / LBT$

A legáltalánosabb, a teljes hajótestre vonatkozó teltségi fok a *hasábos teltség* (block coefficient, C_B), amely a hajótest vízbemerült részének térfogatát (∇) osztja el annak a befoglaló derékszögű téglatestnek a térfogatával, amelynek hossza,

szélessége és magassága megegyezik a hajó hosszával, szélességével és merülésével, amint az a 2.3.2.1.2.3.1 ábrán látható. A szokásos hajótestek hasábos teltsége a gyors hadihajókra jellemző 0,45 értéktől változhat 0,85-ig, amely a nagy olajszállító tankhajóknál fordul elő. Értéke utalhat bizonyos mértékben a hajónak arra a képességére, hogy mekkora hasznos terhet tud hordani, ha összehasonlítjuk más hasonló főméretű hajókkal, de azt nem mutatja, hogyan van elosztva a hossz mentén a hajótest vízkiszorítása, azaz mennyire telt vagy karcsú a hajótest, tehát mekkora a hengeres közép rész, és hogyan van kialakítva a hajó mellső illetve hátsó része.

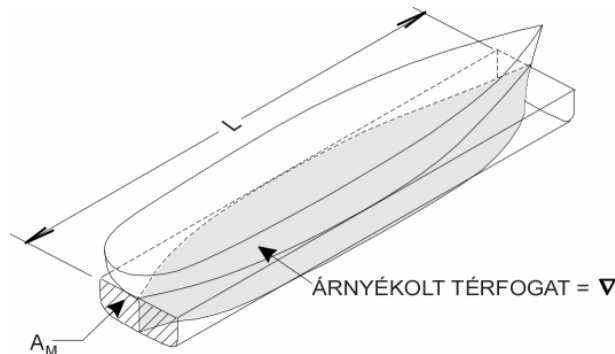


2.3.2.1.2.3.2 ábra Főborda-teltség $C_M = A_M / BT$

A hajótest középső részének teltségére jellemző a *főborda-teltség* (midship section coefficient, C_M), amely a főborda-metszet vízbemerült felületét hasonlítja össze a befoglaló téglalap területével (2.3.2.1.2.3.2 ábra).

A nagyon karcsú hajótesteknél, amilyenek a rombolóknál fordulnak elő, a C_M értéke 0,75 vagy még kisebb is lehet, de a legtöbb nagy kereskedelmi hajónál a főbordán a fenék lapos kialakítású, az oldal pedig függőleges egyenes, tehát a bordametszet a befoglaló téglalaptól csak a lekerekített medersor miatt tér el, így ezeknél a főborda-teltség 0,95 és 0,995 között van.

Az a teltségi fok, amely a hajótest végeinek (orr és far) karcsúságát legjobban jellemzi anélkül, hogy a főborda alakja befolyásolná, a 2.3.2.1.2.3.2 ábra szerinti *hengeres teltség* (prismatic coefficient, longitudinal coefficient, C_P).

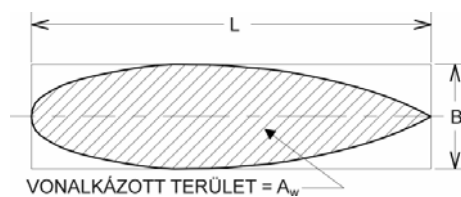


2.3.2.1.2.3.3 ábra Hengeres teltség

Úgy definiálható, mint a vízkiszorítás térfogatának (∇) viszonya annak a prizmának a térfogatához, amelynek keresztmetszete azonos a főbordametszet vízbemerült felületével, hossza pedig a hajó hosszával egyenlő. Tehát

$$C_P = \nabla / A_M L$$

A hengeres teltség tipikus értékei a nagysebességű karcsú hajók kb. 0,57 értékétől a nagy tömegű szállító hajókra vagy tankhajókra jellemző 0,85 értékig terjednek.



2.3.2.1.2.3.4 ábra Vízvonalreltség

Nem lehet meglepő, hogy matematikai kapcsolat áll fenn a hajótest végeinek karcsúságára jellemző (C_P) és a középső részt leíró (C_M) teltségi tényezők, valamint a teljes hajótestre vonatkozó (C_B) hasábos teltség között.

A kapcsolat:

$$\nabla / LBT = (\nabla / A_M L)(A_M / BT)$$

vagy másként

$$C_B = C_P \times C_M$$

A vízvonal teltsége vagy karcsúsága a *vízvonalreltséggel* (waterplane coefficient, C_W vagy C_{WP}) jellemezhető, amely a vízvonalfelület területének (A_w) aránya a befoglaló téglalapéhoz, ld. 2.3.2.1.2.3.4 ábra.

$$C_W = A_w / LB$$

A C_W tipikus értékei a tervezési vízvonal esetében 0,67 és 0,92 között vannak.