

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU, GRAĐEVINSKI FAKULTET

Marko pršić

PLOVNI PUTEVI I LUKE

WEB SKRIPTA

5 BRODOVI

ZAGREB, 1.5.2011.

5 BRODOVI

Brod je plovno sredstvo posjeduje pomorstvenost, što znači ako ima svojstva održivosti na vodi, stabilnosti i upravljivosti u svim prilikama valova i vjetra. Ako nema neko od tih svojstava radi se o „plovilu“. I jedno i drugo se zučava u brodogradnji.

5.1 MORSKI BRODOVI

U Europi najstariji brodovi pojavili su se u Sredozemnom moru. Koliko je poznato bili su to Egipćani. U to staro vrijeme more i brodovi bili su komunikacije, neophodne za život i opstanak („navigare necesse est“). Zatim su došli brodovi za osvajanje obala. Dugo je poslije toga, u Srednjem vijeku, bio zastoj brodogradnje i pomorstva. Tek pojavom brodova na jedra živnulo je pomorstvo. Pravi polet nastao je u doba industrijske revolucije: parni brod. Njega će zamijeniti pogon naftom koji još i danas vlada. Najnoviji napredak su superbrodovi koji koriste naftu za turbine.

5.1.1 OPIS MORSKOG BRODA

5.1.1.1 VRSTE MORSKIH BRODOVA

Vrsta broda ovisi o prometnom supstratu koji prevozi, ili o zadatku koji treba izvršiti.

5.1.1.1.1 Opći teretni brod (engl. all purpose ship)

Sposobni prevoziti sve vrste tereta: generalni (komadnog), rasuti (rinfuso) i čak nešto tekućeg. To je bio i ranije bio najčešći tip teretnog broda, koji je potisnut specijaliziranim brodovima. Specijaliziranih brodova je mnogo vrsta:

5.1.1.1.2 Specijalizirani brodovi za generalni teret (engl. general cargo ship)

5.1.1.1.2.1 Konvencionalni generalni (obični)

Prekrcava teret u luci jednostavnim sredstvima:

- brodskim dizalicama (američki način)
- obalnim dizalicama (europski način)
- viličarima (viličar – viličaru).

5.1.1.1.2.2 Ro-Ro generalni (Roll on – Roll of, , engl. ukotrljaj - iskotrljaj)

Prevozi automobile i generalni i teret. Prekrcava generalni i teret pomoću tegljača (truck) tako da se teret na prikolici utkotrlja u brod i na odredištu iskotrlja iz broda, te proslijedi putovanje dalje po cestama.

5.1.1.1.2.3 Kontejnerski (engl. container ship)

1 Standardni kontejnerski – LO-LO (Lift On – Lift Of, engl. podigni - spusti) prekrcava kontejnere u lukama porteinerima, tj. jakim kontejnerskim dizalicama po sistemu dizanja i spuštanja. Obzirom na broj kontejnera koje prevozi takav brod može biti:

- 1 punokontejnerski
- 2 polukontejnerski
- 3 razvoznokontejnerski (engl. feeder, dodavač) za kratke prijevoze od kontejnerskog terminala do luke bliske potrošaču.

2 Ro-Ro kontejnerski prekrcava pomoću tegljača (truck) kontejnere na prikolicama tako da se teret na prikolici utkotrlja u brod i na odredištu iskotrlja iz broda, te proslijedi putovanje dalje po cestama.

3 LASH brod (Lighter Aboard Ship) nakrcan s, od sebe bitno manjim, pasivnim plovilima - potisnicama (engl. lighters) nosivosti 370 t. Potisnice se po krmi brodskom dizalicom spostru u more. povežu ukrutu tablu od desetak i povežu kruto s aktivnim plovilom - potiskivačem. Tabla potisnica i potiskivač, kao jedinstveni brod, otplove u plitku luku, ili uzvodno rijekom.

4 SEABEE - Morske pčele, USA, su manja samohodna plovila nosivosti 1000 do 1300 t, koja su dio brodskog trupa velikog matičnog Seabee broda. Pred plitkom lukom, ili riječnim ušćem, Morske pčele se odvoje od matičnog broda i samostalno otplove u plitku luku, ili uzvodno rijekom.

5 BACO (BArge - COntainer) brod može prevoziti potisnice (franc. barge) i kontejnere.

6 BACAT (BArge - CATamaran) brod je brod katamaran (Catamaran – dvotrupac) koji prevozi manje potisnice (franc. barge) do 150) na kraćim linijama u Sjevernoj Europi. Prije plovidbe broda katamarana potisnice se uvlače u potopljenu platformu katamarana koja se prije otplovljavanja iz luke podigne brodskim vitlima u visinu iznad mora.

7 INTERLIGHTER brod tipa „Seabee“ 60.000 t (Rusija)s potisnicama nosivosti 1070 t za Dunav i Ganges.

5.1.1.1.2.4 Specijalizirani brodovi za istovrsan generalni teret

Takvi brodovi racionalni samo ako postoji svjetski značajna količina neke robe. Moraju zadovoljiti posebne uvjete koje roba traži. Tako postoje npr. brodovi:

- 1 za banane,
- 2 za citrus voće,³
- 3 brodovi hladnjače za duboko smrznuto mesu,
- 2 za automobile,

5.1.1.1.3 Brodovi za rasuti teret (BC, engl. Bulk Carrier)

Služe za prijevoz rasutog tereta u masovnim količinama, uglavnom: ugljena, rudače, fosfata, žita, kamena i dr. Kako su svjetske količine rasutog tereta „ogromne“ BC brodovi su nosivosti preko 20.000 t jer se manje prijevoze (ako se isplati) općim teretnim brodovima. Ako nosivost broda prelazi 40.000 t onda je to super BC (danas do 200.000 t). Skladište BC broda nalazi se u sredini, a sa strane su balastni tankovi za more koji se (programirano) pune kad treba brod trimovati (i kad plovi prazan). U luci se ovakav brod manipulira na dva potpuno različita načina: ukrcava obično pomoću širokih konvejera, a iskrcava pomoću moćnih grtalica na prekrcajnim tornjevima zahvata 15 t). Postoje i BC brodovi koji imaju vlastitu prekrcajnu mehanizaciju sa transporterima na brodu to su tzv. samoprekrcivači (selftrimmer). U novije vrijeme mnogi brodovi za čvrste rasute terete imaju mogućnost prevoženja i nafte, pa se za naftu (Oil) i gomilu (Bulk) rudače (Or) nazivaju OBO brodovima.

5.1.1.1.4 Brodovi za tekući teret (TANKERI)

Slično kao kod BC brodova i ovi su brodovi velike nosivosti. Postoje superbtankeri pa čak i mamutbrodovi do 350.000 dwt. Njima se prevozi sirova nafta (gusta se grije. Skladište je uzdužnim i poprečnim pregradama podijeljeno na manje tankove. Svi su povezani cijevima za punjenje i pražnjenje. Podvrste su: brodovi za naftne derivate (hidrokarbonate), tekući plin (engl. LNG - Liquid Natural Gas), vodu, jestiva ulja i vino. Nisu super i mamut dimenzija.

5.1.1.1.5 Putnički brodovi

Po veličini postoji veliki raspon: od ogromnog dužobalnog do malog motornog čamca. Veličina se povećava sa duljinom linije. Neki su za mješoviti transport: putnici i nešto robe (ekspresne) i automobila. Putnički promet je danas jako smanjen. Nekad je to bio jedini način prijevoza u Dalmaciji, ili preko Atlantika za USA). Sada su taj promet preuzeli brži i jeftiniji cestovni, trajektni i zračni promet. Ipak se na nekim linijama još održava: uzduž Jadrana i s otocima.

5.1.1.1.6 Trajektni brodovi

Prevozi cestovna ili željeznička (ferry-boat) vozila. Na Sredozemnom moru prevladavaju cestovni trajekti koji prevoze sve vrste vozila (osobna, teretna, radna), dok su u Zapadnoj Europi jako zastupljeni i željeznički (putnički) trajekti. Obzirom na udaljenosti prijevoza postoje: duge trajektne veze (npr. Dubrovnik – Bari), srednji (npr. Split – Starigrad na Hvaru) i kratki (npr. Brestova – Porozina).

5.1.1.1.7 Turistički (Cruiseri)

Za razliku od putničkih brodova (vozni red), služe za rekreaciju, razonodu i zabavu. Obično su to kružna putovanja po blagim i interesantnim morima i područjima. Ti brodovi imaju luksuzan ili superluksuzan komfor.

5.1.1.1.8 Rekreacijske brodice

Prema pogonu rekreacijske brodice su: motorne i jedrilice. Prema komforu brodice se dijele na: čamce (3,5-5m) na kojima se ne može spavati, bitno komfornije jahte na kojima se može spavati i plovne kućice (na jezerima gdje nema velikih valova, kod nas ih nema). Veličina im se izražava dužinom preko svega, koja se kreće od 3,5 do 25m. Mega jahte su dužine 30-60m, a super jahte duže od 60m. Sustava vezivanja jahti u marinama je mnogo no osnovni su: mediteranski i na fingerpier (mali gatić dužine brodice vezam okomito na gat). Posebni su sustavi vezivanja na rijeci, gdje se vezuje u za pramac i krmu u pravcu tečenja vode. Vezivanje je, obzirom na zauzeće površine akvatorija, najracionalnije na međusobno paralelna gatove dužine 100 do 200m. Ti gatovi najčešće su plutajući, ali mogu biti i fiksni koji su komforniji.

5.1.1.1.9 Ribarski brodovi

Su raznih veličina od malih čamaca do velikih (do 160 m), opremljenih. Daleka lovišta koriste tzv. ribarske brodove-skupljače i brodove-tvornice, velikih dimenzija (do 35.000 t deplasmana), koje opskrbljuje čitava flotila malih ribolovnih brodova.

5.1.1.1.10 Pomoćni i radni brodovi

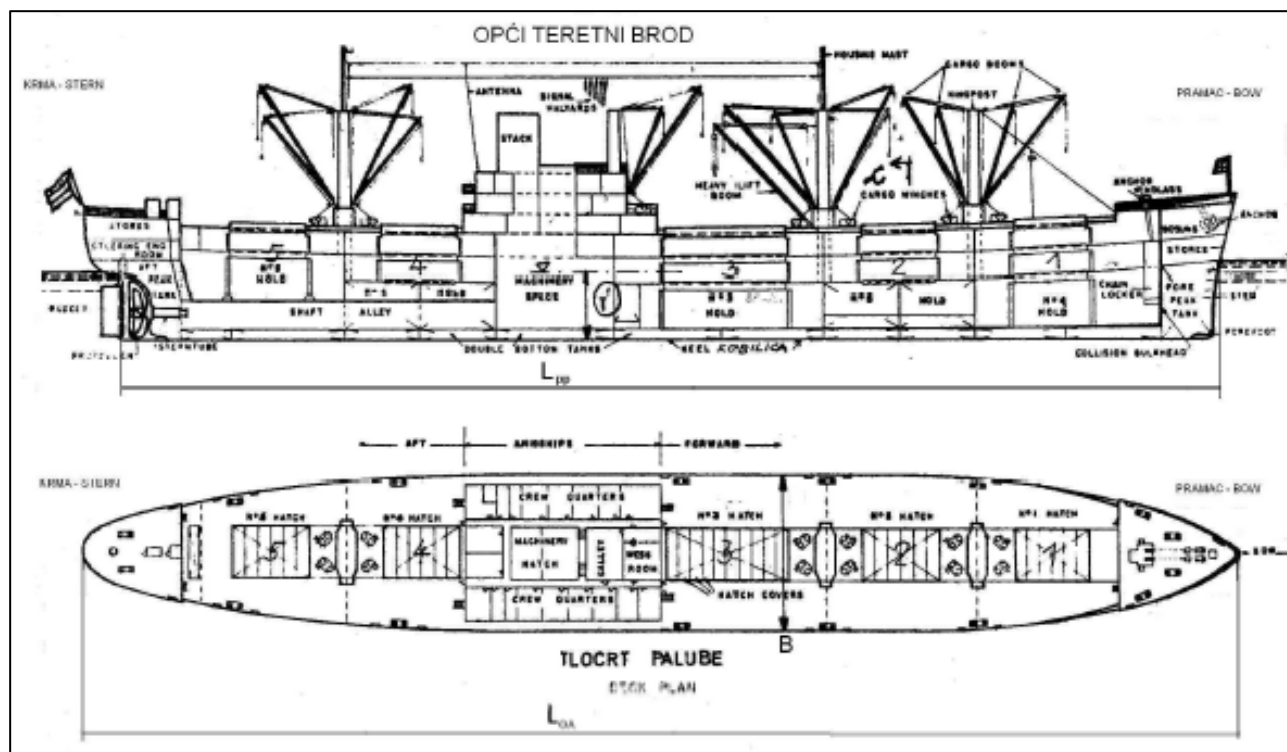
Su brodovi i plovila koji služe drugim brodovima i lukama: tegljači, vedete za vezu, signalni, bageri, maone, ledolomci, plovne dizalice itd.

5.1.1.1.11 Vojni brodov

Raznih veličina (vedete od nekoliko metara do krstarica 250 m i više te nosači aviona 45.000 t deplasmana).

5.1.1.2 PARAMETRI MORSKOG BRODA

Dat će se fiksni i promjenjivi parametri broda interesantni za eksploataciju i gradnju:



Sl. 5.1.1.2.1::1 Fiksni parametri općeg teretnog broda

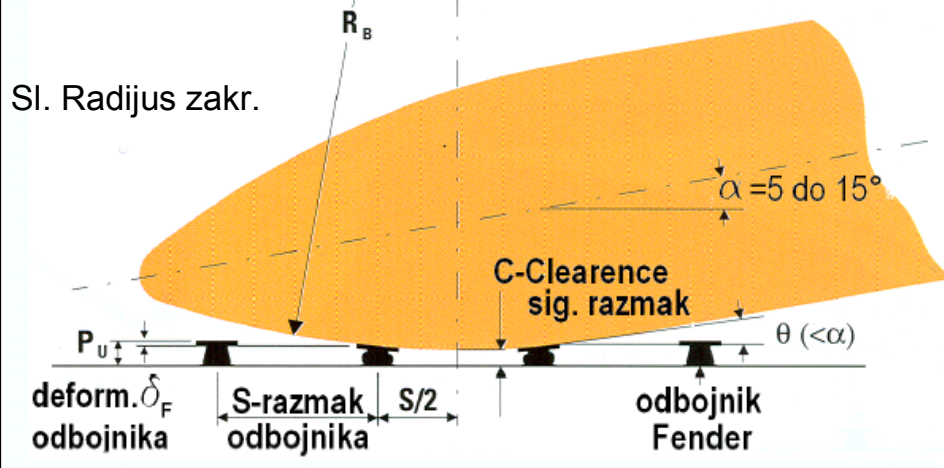
5.1.1.2.1 Fiksni_parametri broda

R_B [m]-radijus zakrivljenosti pramca-Bow broda

$$R_B \approx \frac{1}{2} \left[\frac{B}{2} + \frac{L_{OA}^2}{8B} \right]$$

R_B -detaljno Fentek 2001

Sl. Radijus zakr.



Sl. 5.1.1.2.1::2
Definicija radijusa
zakrivljenosti
pramca-Bow broda
Fentek 2001

$L_{OA}[m]$	-duž. preko svega, (Lenght Overall)
$L_{PP}[m]$	-duž. između okomica-perpendikulara (eng. LBP- Lenght Betw. Perpendiculars)
$B[m]$	-širina na najširem mjestu (eng. Beam),
$R_B[m]$	-radijus zakrivljenosti pramca-Bow,
$A_{UZD}[m^2]$	-uzdužna površina nadgrađa praznog broda izložena vjetru,
$A_{POPR}[m^2]$	-poprečna površina nadgrađa praznog broda izložena vjetru.

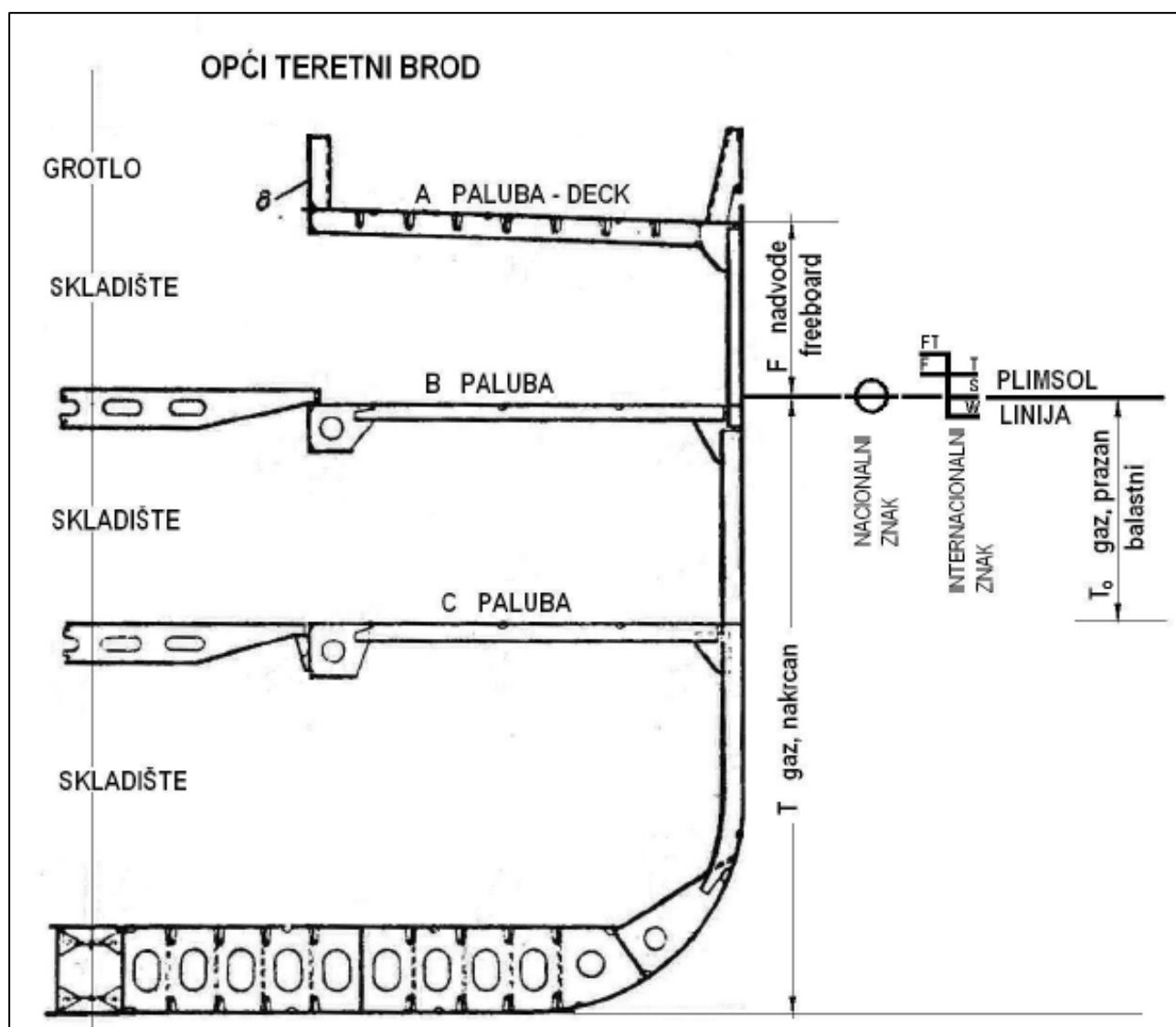
5.1.1.2.2 Promjenjivi parametri broda

Ovisni su o količini tereta koji brod nosi. Geometrijski promjenjivi parametri broda su:

$T[m]$	-gaz nakrcanog broda (engl. Draft, njem. Tauchtiefe)
$T_o[m]$	-gaz praznog broda
$H[m]$	-visina nadgrađa (visina između vodnog lica i najviše točke) nakrcanog broda,
$H_o[m]$	-visina nadgrađa praznog broda,
$F[m]$	-visina nadvođa (visina između vodnog lica i palube) nakrcanog broda (engl. Freeboard),
$F_o[m]$	-visina nadvođa praznog broda

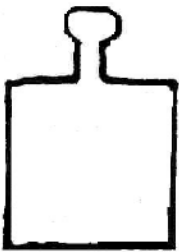
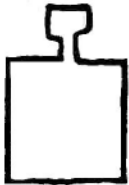
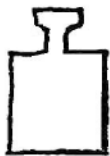
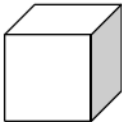
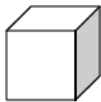
Druga grupa promjenjivih parametara broda odnosi se na nosivost koja se može izraziti odnosno mjeriti na više načina:

Prostorna nosivost izražava se u registarskim tonama RT (Tab. 5.1.1.2.2::I), koje su u stvari prostorne jedinice. Označavaju volumen u trupu i nadgrađu koji se može koristiti. Ukupna (brutto) prostorna nosivost BRT određuje se baždarenjem (po Englezu Moorson-u 1849.) pomoću Simpsonovih formula i svaki brod dobiva svjedodžbu o tom. Jedinica nije u SI sustavu mjera, ali se i dalje koristi u pomorstvu kod putničkih, trajektnih i drugih brodova koji ne prevoze teret.



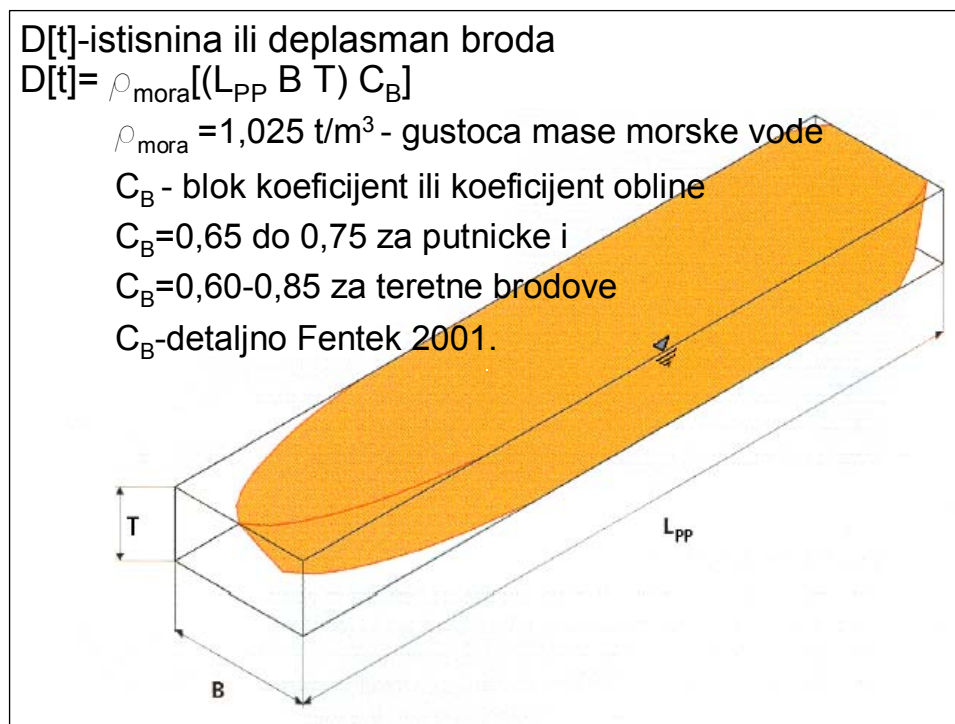
Sl. 5.1.1.2.2.:1 Neki promjenjivi parametri teretnog broda

Teretna nosivost dwt se izražava u jedinici mase; t.j. u tonama (Tab. 5.1.1.2.2.:I). Koristi kod rodova koji prevoze teret, a tih je najviše.

MJERE ZA NOSIVOST BRODA			
PRIBLIŽNI ODNOS MJERA za opći teretni brod	SIMBOL	JEDINICA MJERE	DEFINICIJA
1,45		D[t]	ISTISNINA (Deplasman, engl. Displacement) je masa nakrcanog broda i za plovību potpuno opremljenog i opskrbljenog broda izražena kao istisnina $D[t] = \rho_{\text{mora}} \cdot L_{\text{pp}} \cdot B \cdot T \cdot C_B$; C_B -blok koeficijent ili koeficijent obline; $C_B=0,65$ do $0,75$ za putničke i $C_B=0,60-0,85$ za teretne brodove; $\rho_{\text{mora}} = 1,025 \text{ t/m}^3$ -gustoća mase morske vode; $1[t] = 1\,000 \text{ [kg]}$. Mjera koju ima svaki brod. Koristi se kod mjerenja vojnih brodova.
0,45		lwt [t]	LIGHT WEIGHT TONAŽA (engl. <u>l</u> ight <u>w</u> eight <u>t</u> onnage) je ukupna masa praznog broda bez: terta, goriva, pitke, kaljužne i balasne vode, zaliha, matreijala za separiranje i fiksiranje tereta, inventara, posade, osobne prtljage i sl. Mjera teretnih brodova.
1		dwt[t]	DEAD WEIGHT TONAŽA (engl. <u>d</u> ead <u>w</u> eight <u>t</u> onnage) je ukupna masena nosivost broda izražena kao razlika istisnina punog i praznog broda: $dwt=D-lwt$, Mjera teretnih brodova.
0,9		nwt [t]	NETO WEIGHT TONAŽA (engl. <u>n</u> et <u>w</u> eight <u>t</u> onnage) je korisna masena nosivost na koju se obračunava vozarina. Dobije se kad se od dwt odbije gorivo, pitka, kaljužna i balasna voda, balast, zalihe, matreijal za separiranje i fiksiranje tereta, inventar, posada i osobna prtljaga i sl. Mjera teretnih brodova.
		RT[m ³]	REGISTARSKA TONA je mjera za zapreminu broda: $RT=100[\text{cuft}]=2,83[\text{m}^3]$. Dolazi od franc. <u>t</u> onneau=bačva zapremine $100[\text{cuft}]$.
0,65		BRT[m ³]	BRT[m ³] BRUTO REGISTARSKA TONA (engl. GRT-gross registered tonnage) je mjera za ukupnu zatvorenu zapreminu broda prema kojoj se naplaćuju takse. Mjera putničkih brodova.
0,4		NRT[m ³]	NETO REGISTARSKA TONA (engl. NRT-net registered tonnage) je mjera za korisnu zatvorenu zapreminu broda na koju se plaća vozarina za prijevoz robe ili putnika ako se ugovara brodski prostor. Mjera putničkih brodova.

Tab. 5.1.1.2.2.:I Definicije nosivost broda

Istisnina ili deplasman $D[t]$ je mjera nosivosti broda prema (masi) vode koju istisne. Izračunava se po obrascu Arhimedovog zakona modificiranog s koeficijentom obline sa Sl. 5.1.1.2.1::2. Pogodna je za označavanje nosivosti ratnih, ali ju sadrži i svjedodžba svake druge vrste broda.

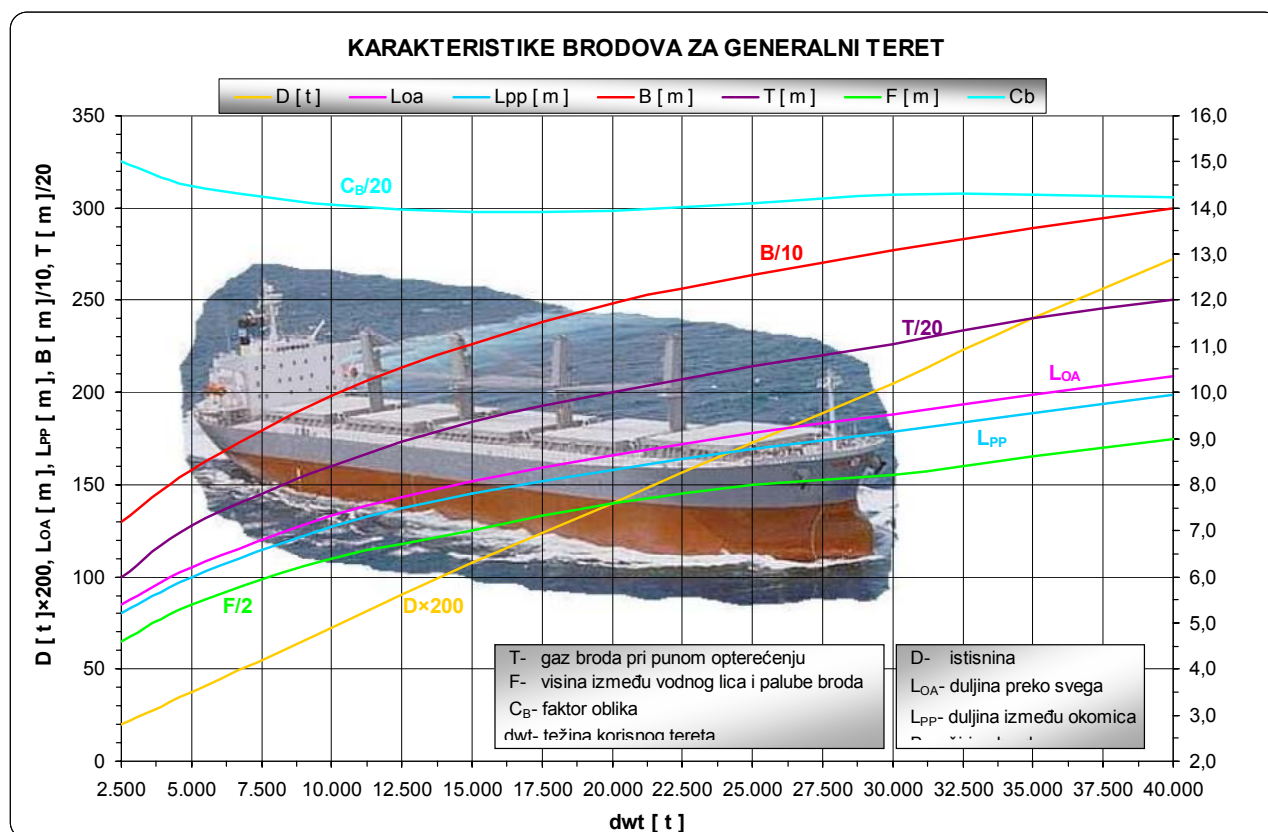


Sl. 5.1.1.2.1::2
 Definicija istisnine
 (deplasmana) broda
 Fentek 2001

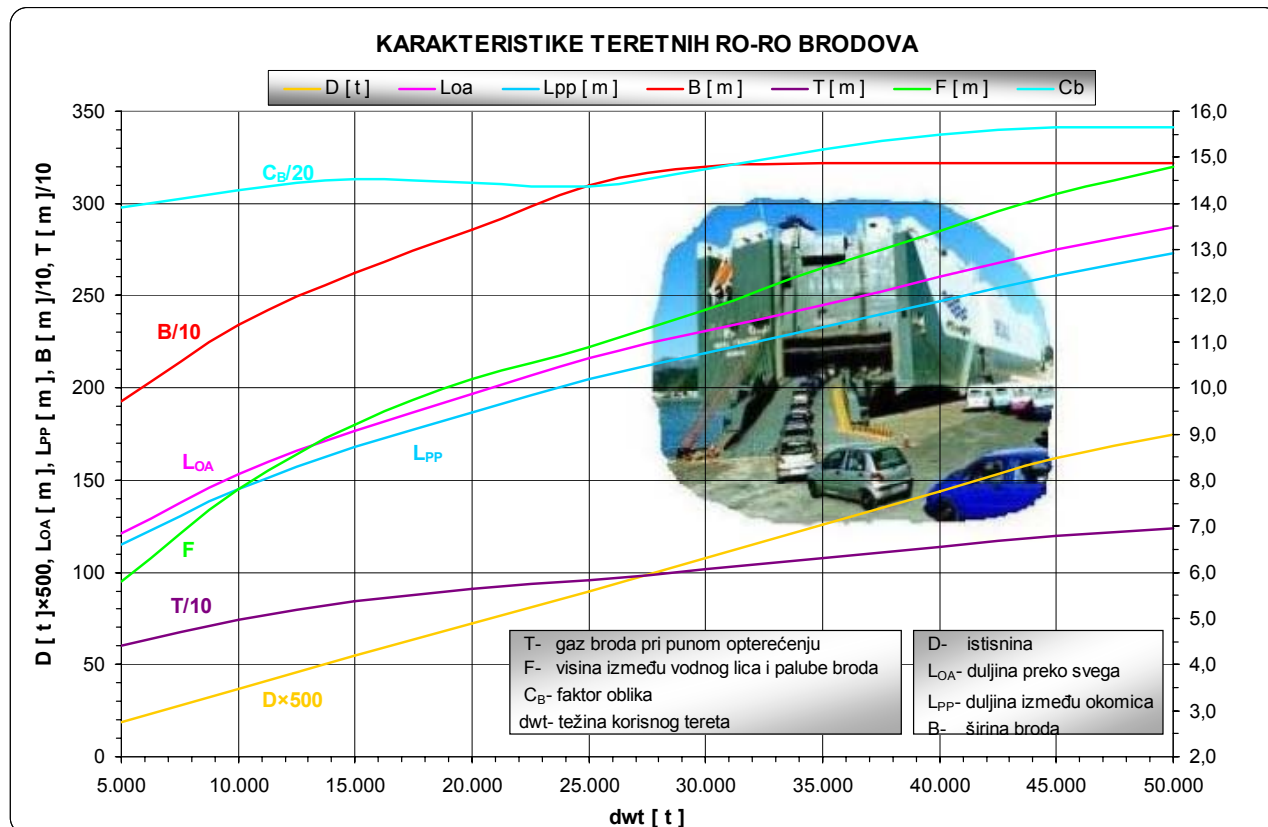
5.1.1.3 Zbirka brodskih parametara za neke vrste brodova

U nastavku se daje zbirka parametara za neke vrste brodova koji su od interesa za eksploataciju i projektiranje luka. Fentek 2001

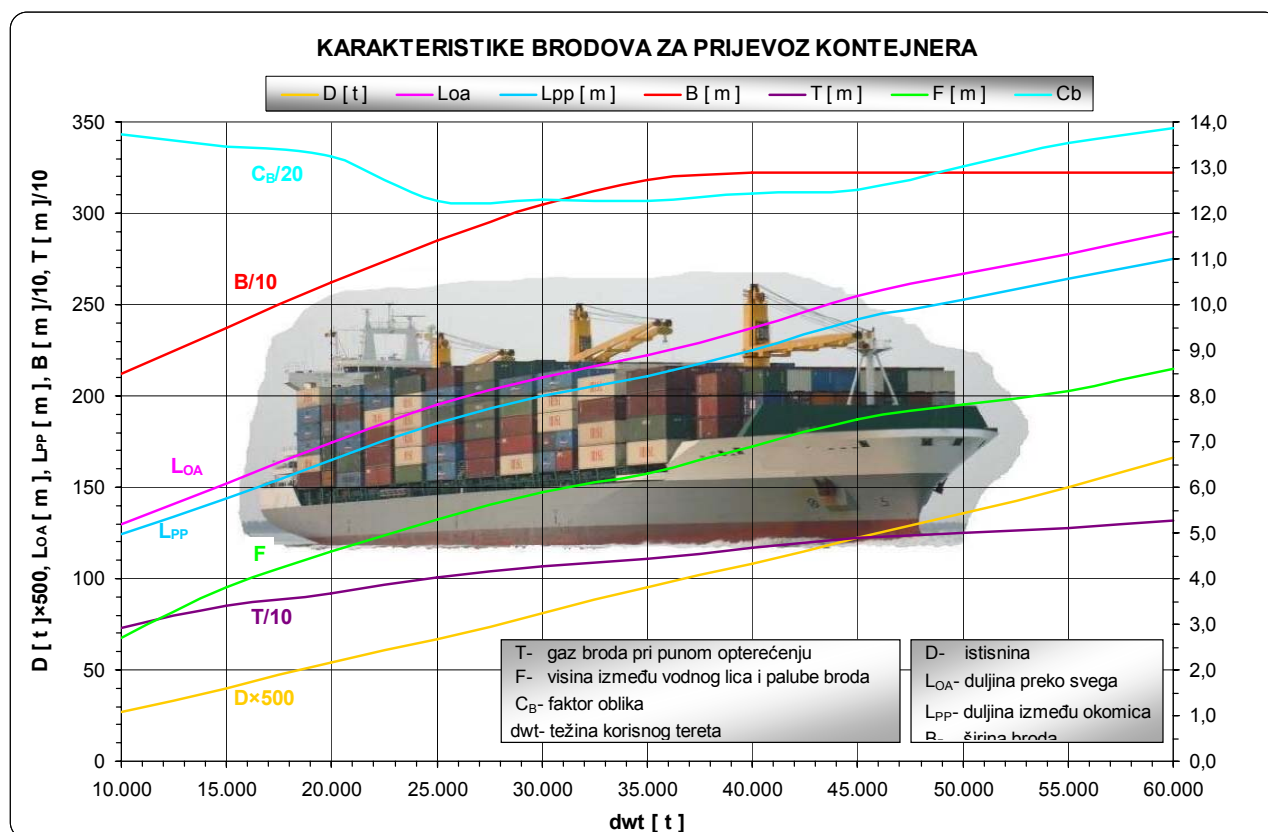
DALIBOR: napisati reference



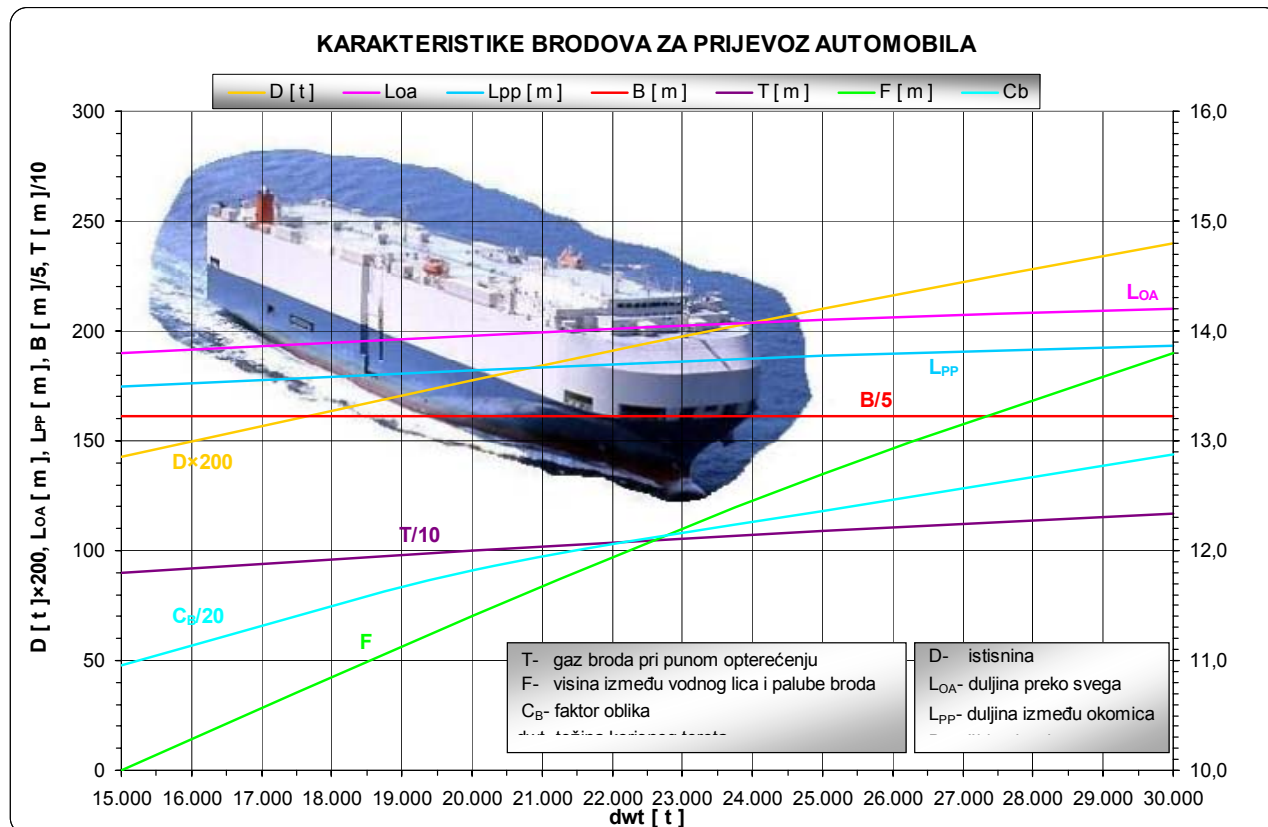
5.1.1.3::1 Brodovi za generalni teret



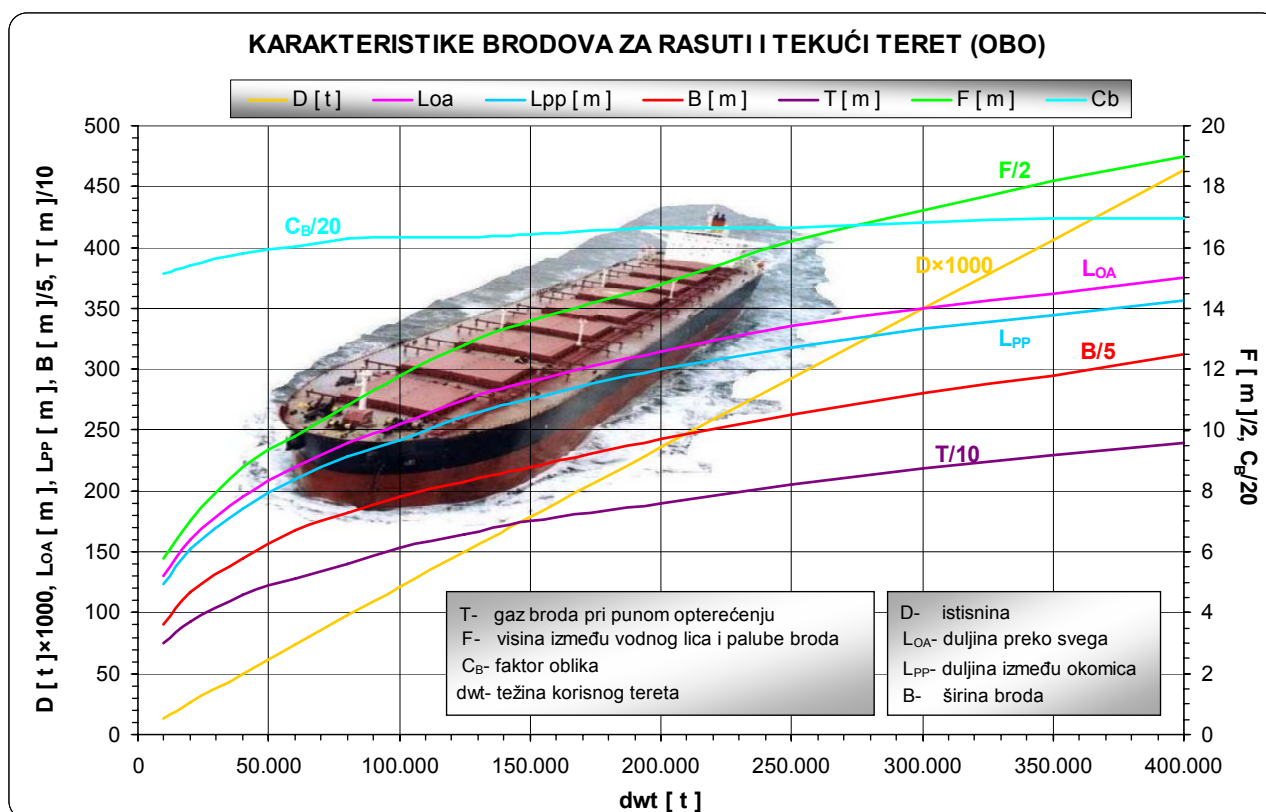
5.1.1.3::2 Ro-Ro teretni



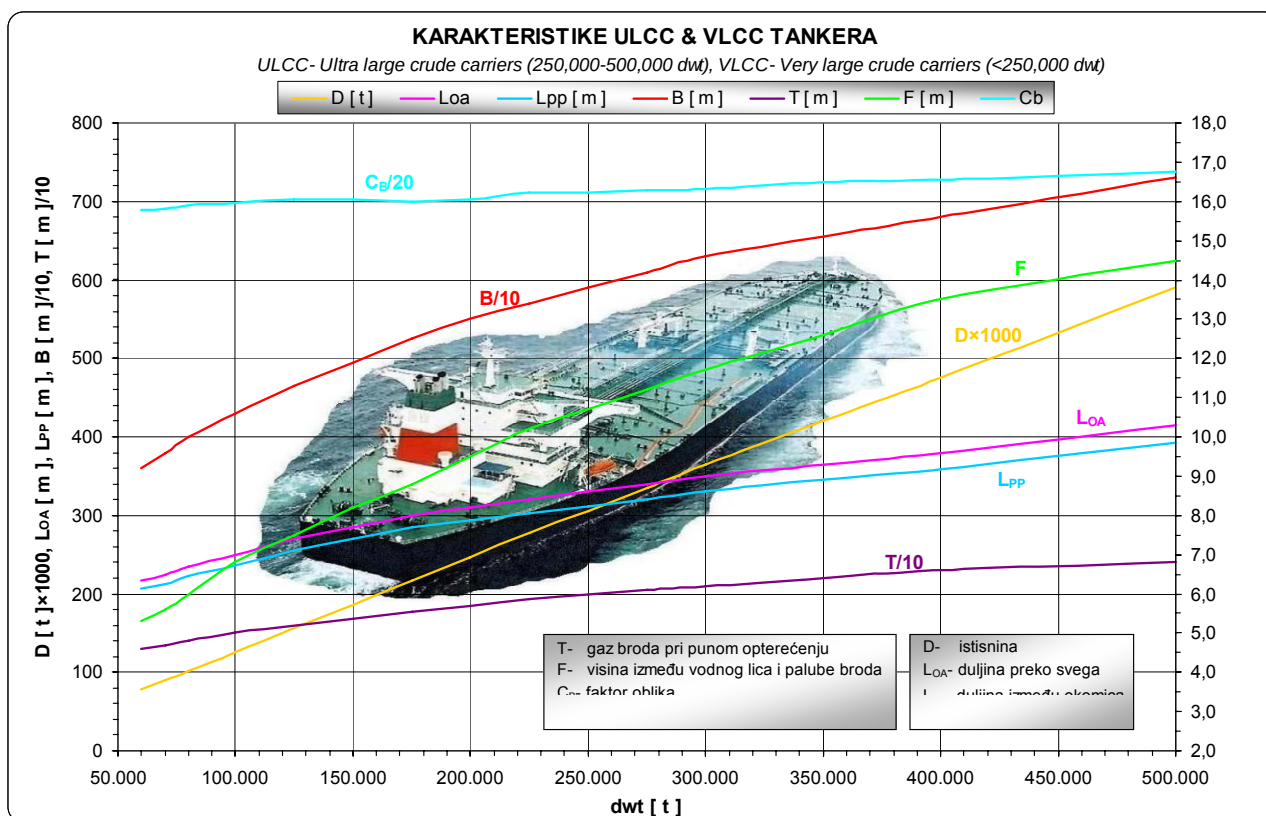
5.1.1.3::3 Kontejnerski brodovi



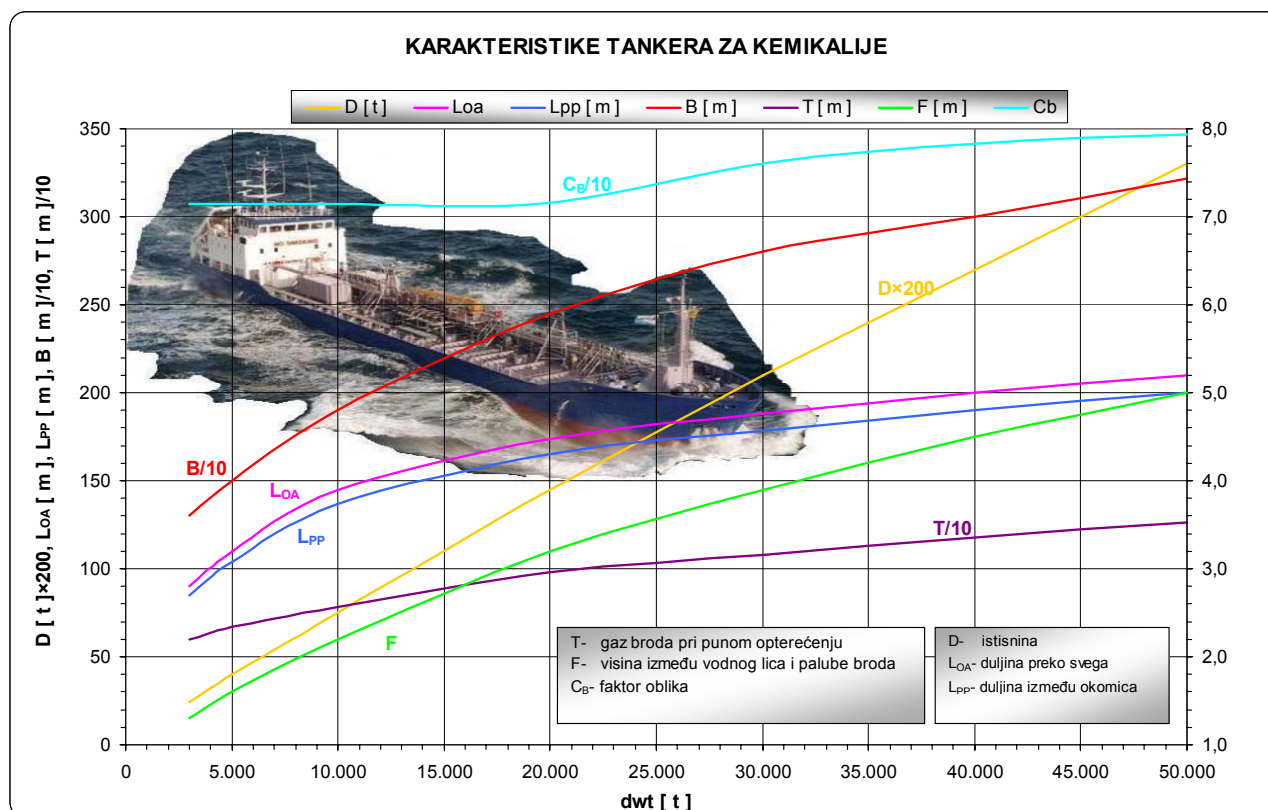
5.1.1.3::4 Specijalizirani brodovi za prijevoz novih i rabljenih automobila



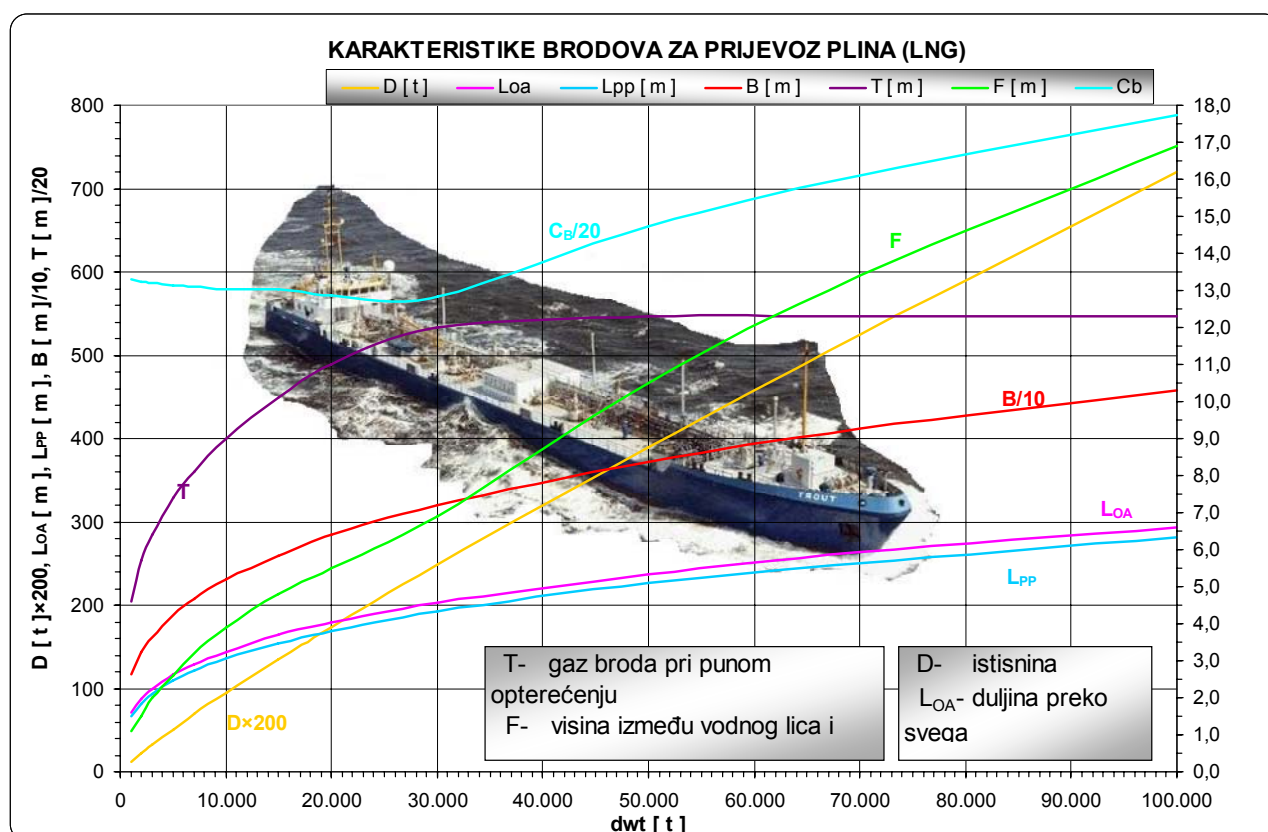
5.1.1.3::5 Brodovi za masovni tekući i rasuti teret - OBO (Oil-Bulk-Or) brodovi

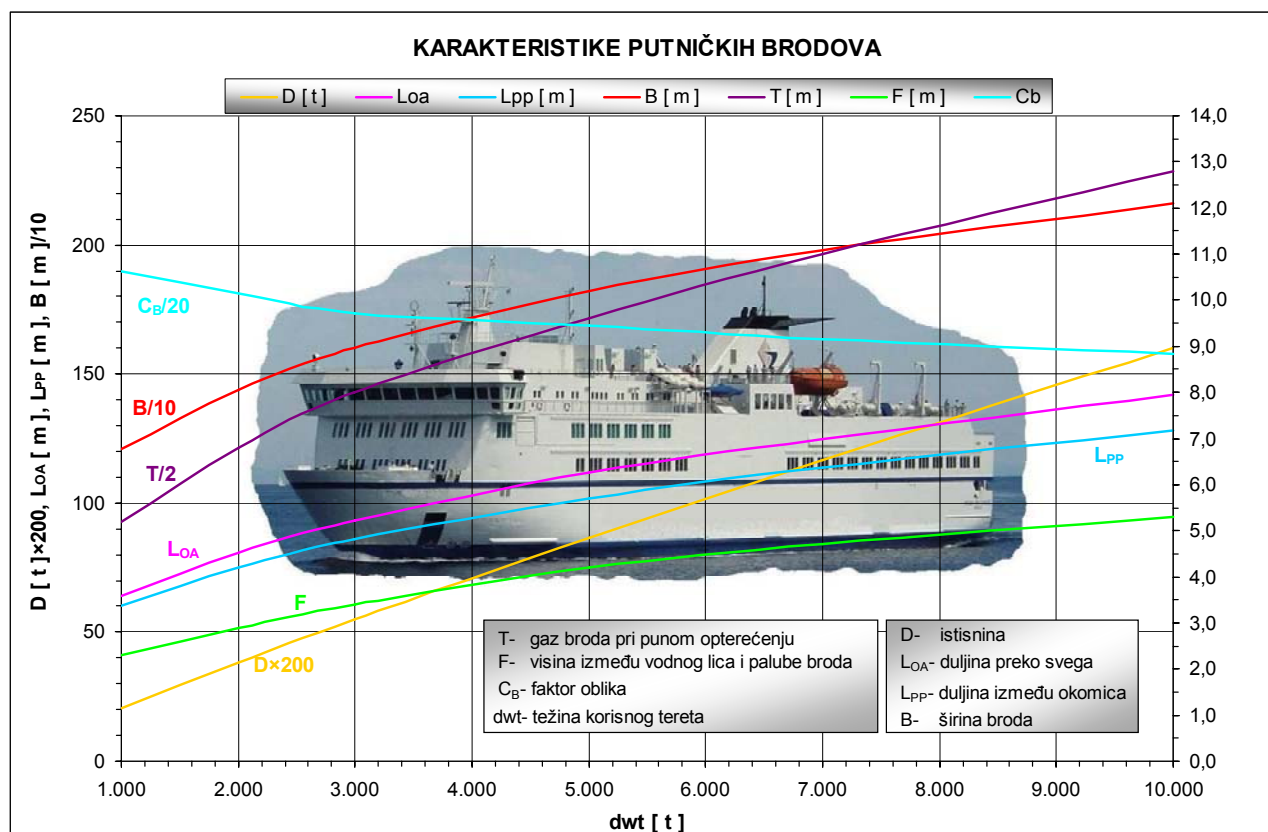


5.1.1.3::6 Brodovi za tekući teret – TANKERI

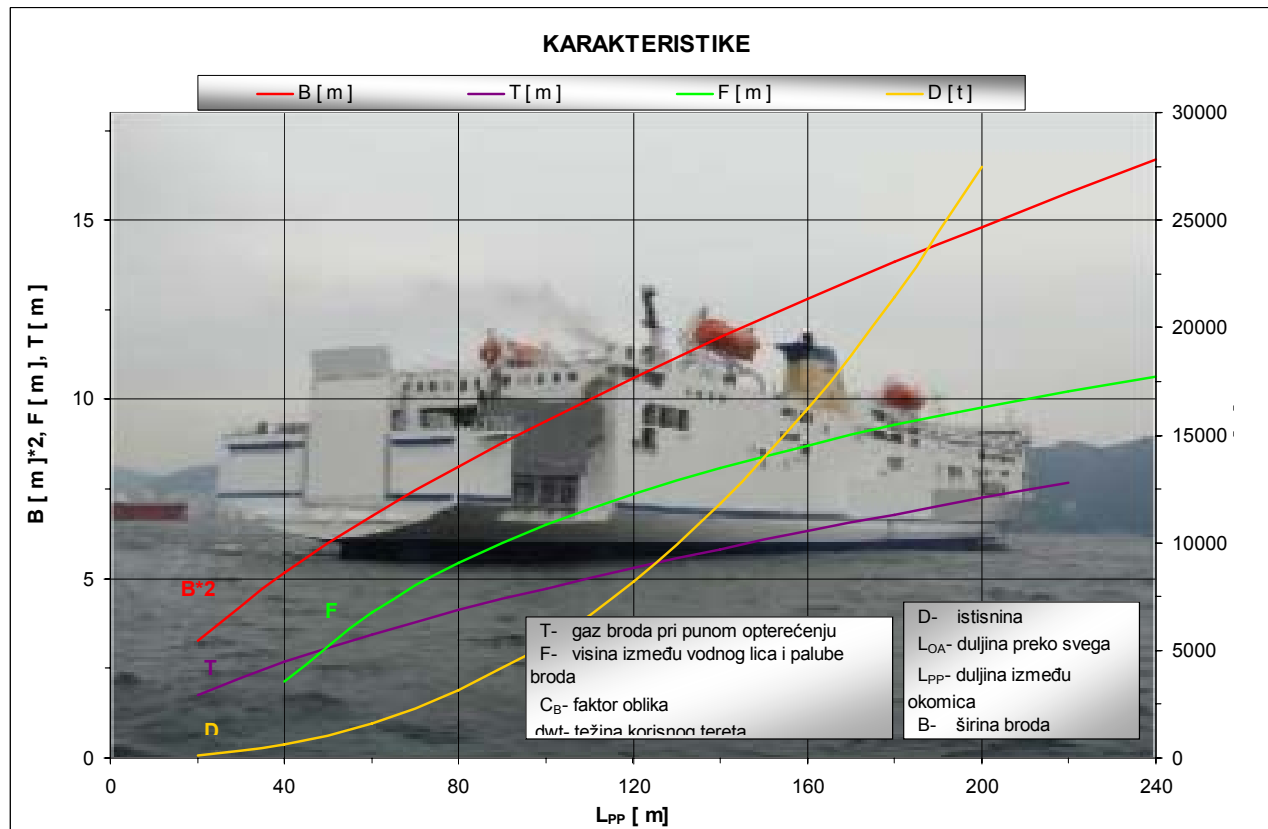


5.1.1.3::7 Brodovi za kemikalije - PRODUCT & CHEMICAL TANKERI

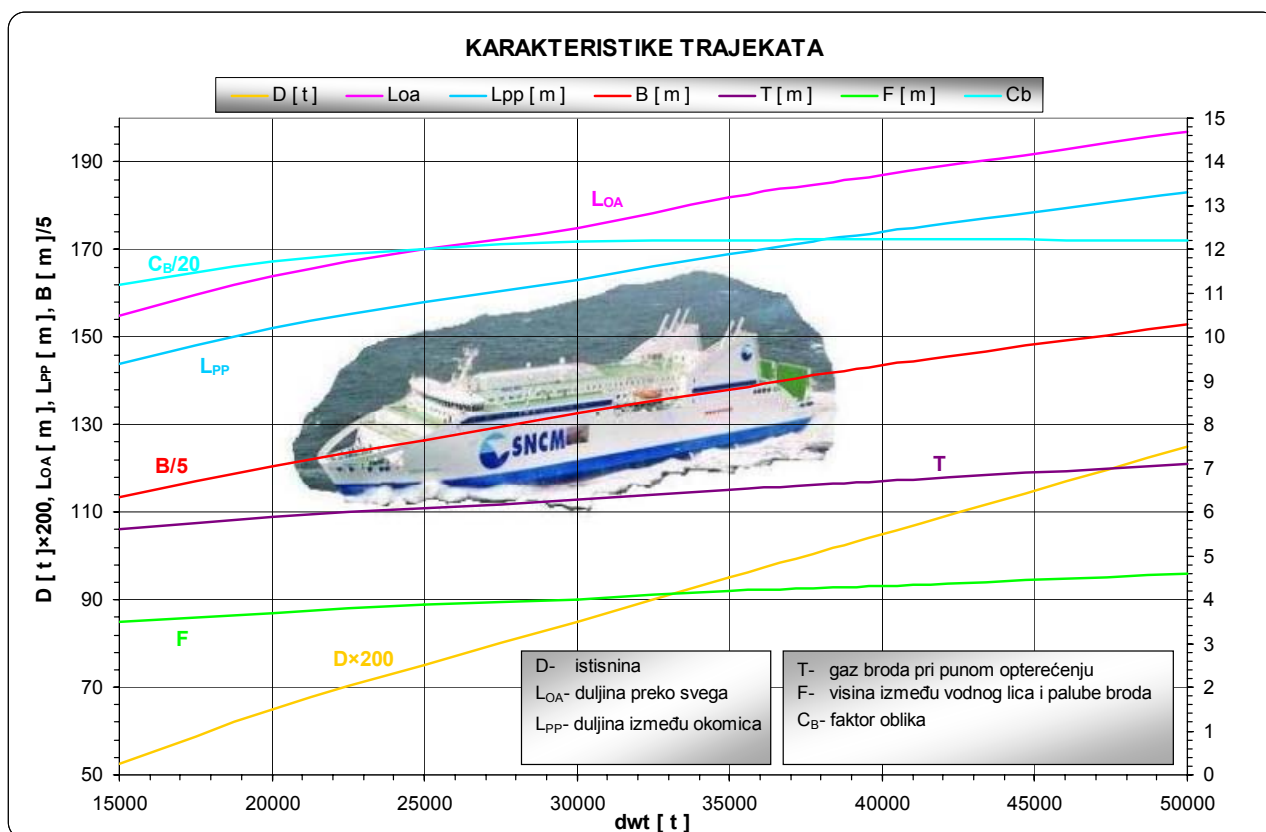
5.1.1.3::8 Brodovi ukapljeni prirodni plin – LNG TANKERI **KRIVA SL- trebaju biti kugle**



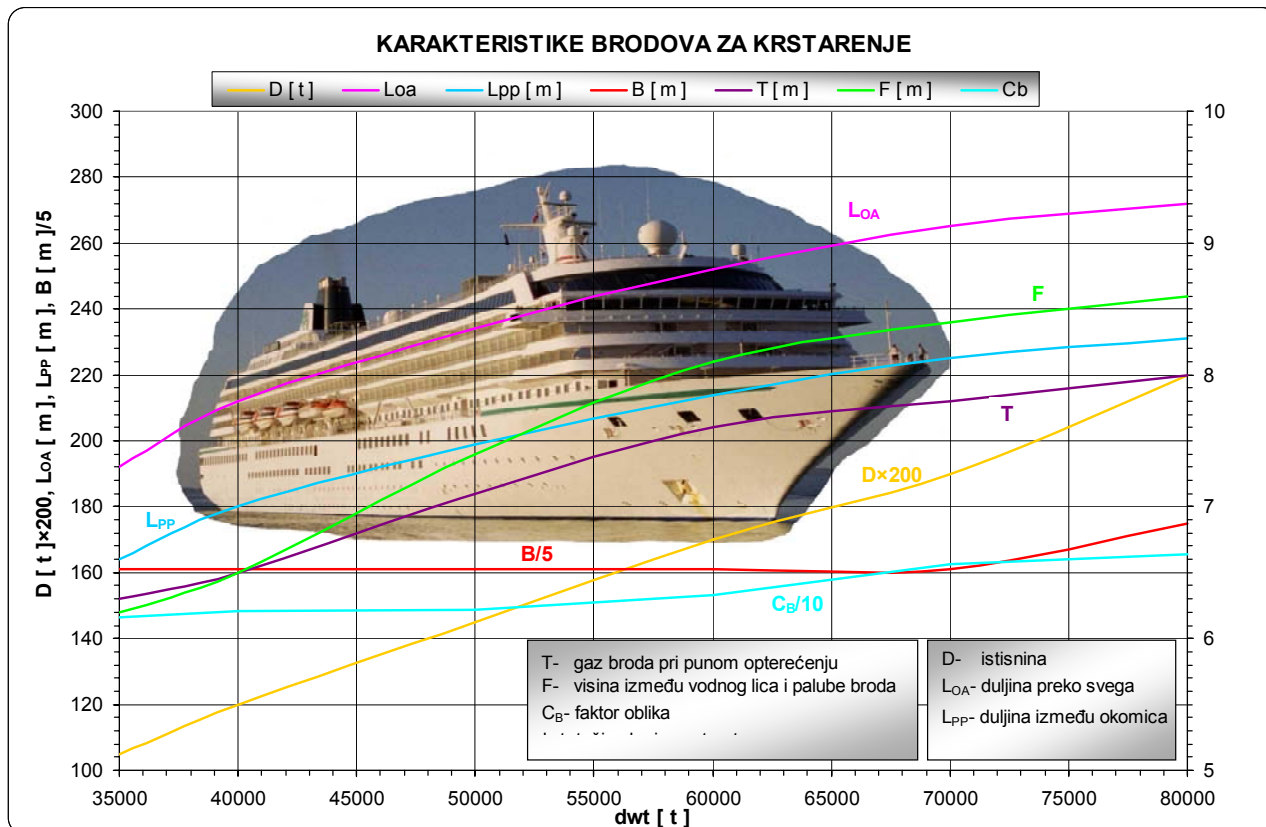
5.1.1.3::9 Putnički brodovi



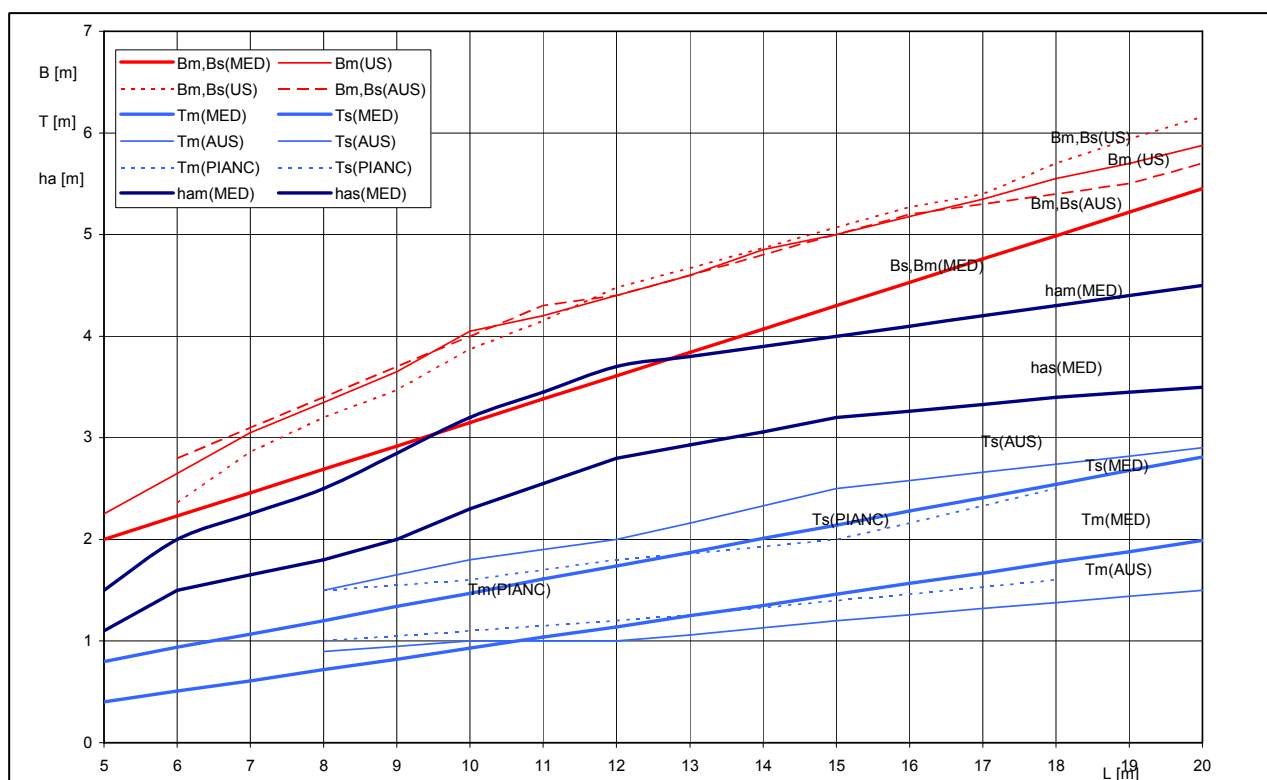
5.1.1.3::10 RO-RO Putnički brodovi za prijevoz putnika i vozila



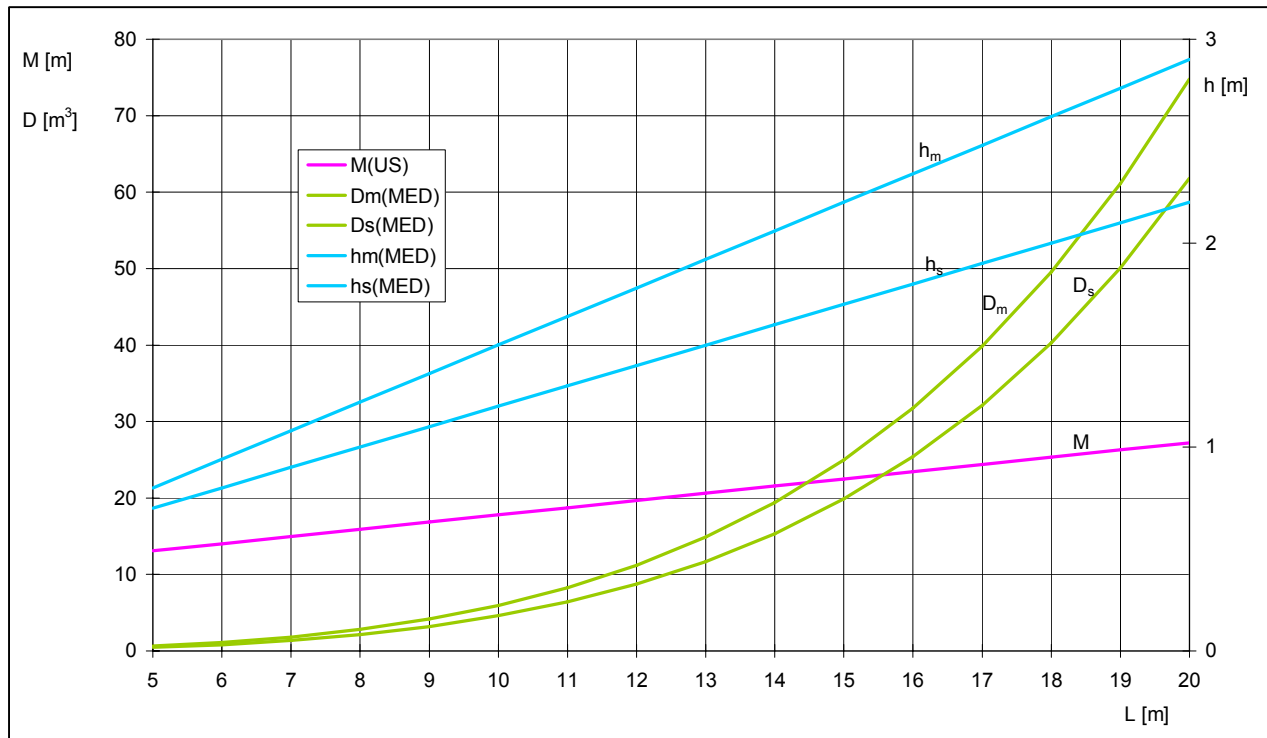
5.1.1.3::11 Trajekti



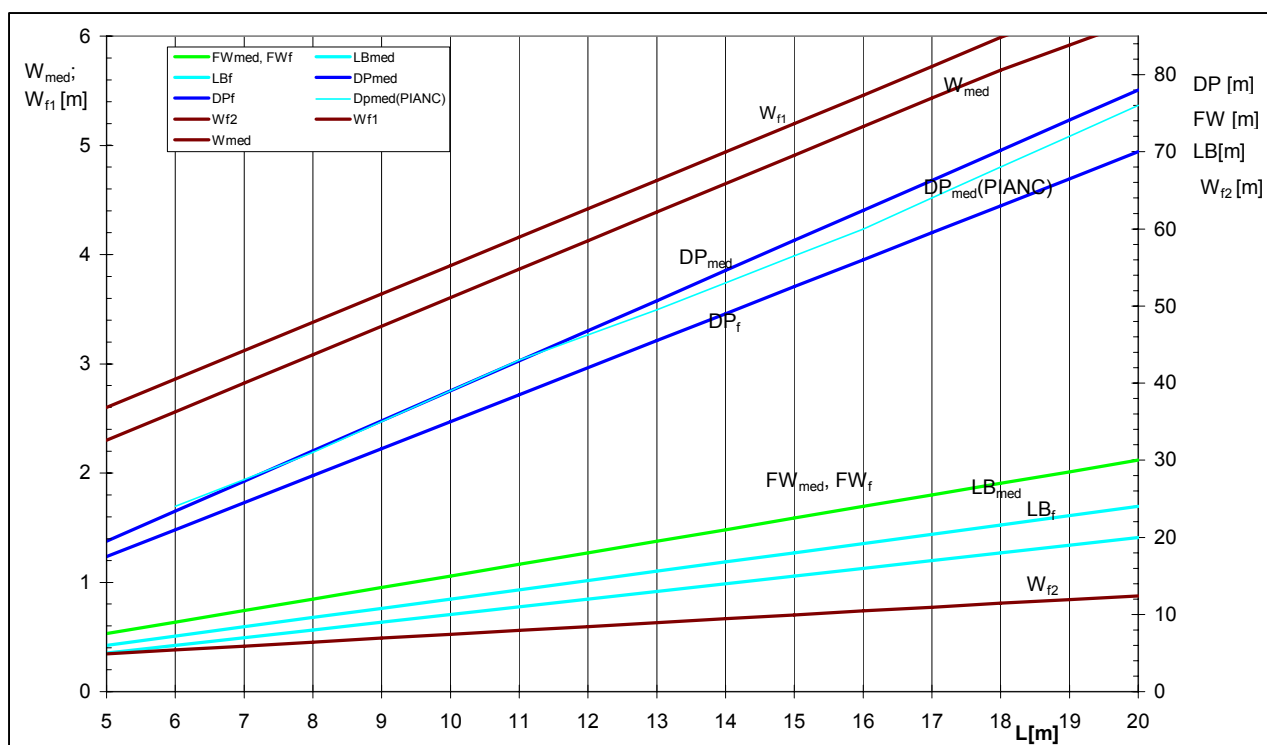
5.1.1.3::12 Turisrički brodovi - CRUISERI



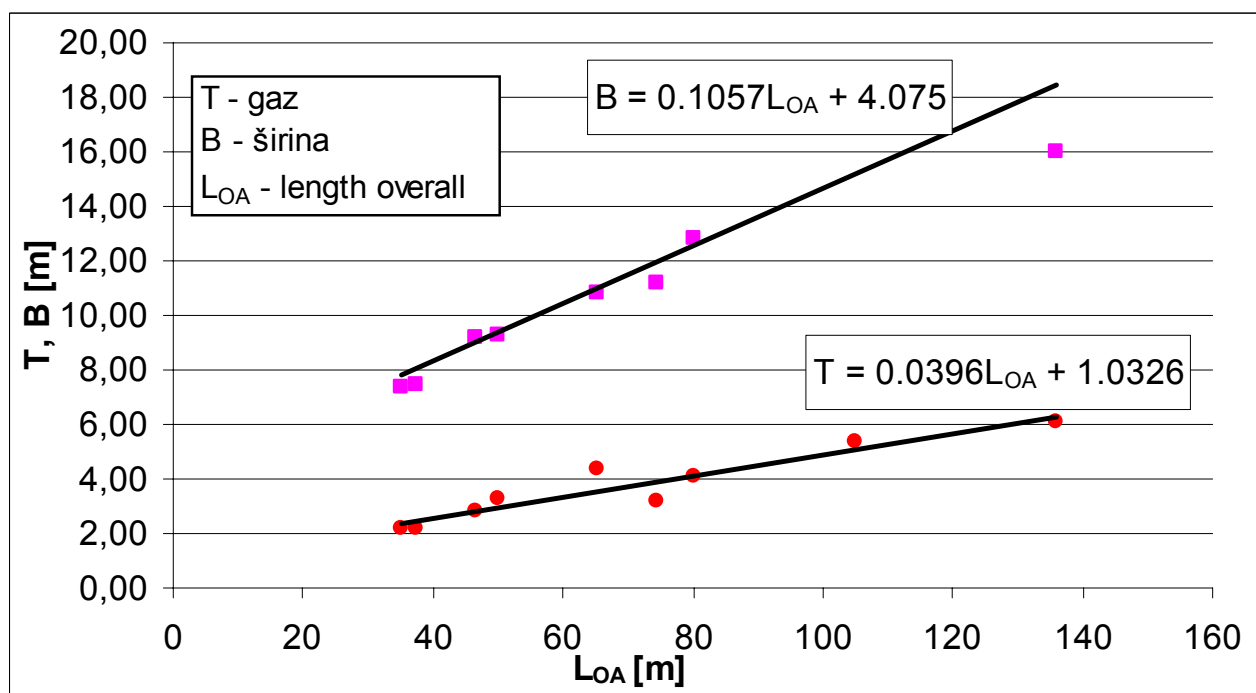
5.1.1.3::13 Brodice (jahte) za rekreaciju: : L-dužina, ha-visina nadvođa, B-širina, T-gaz, m-motorni, s (sailor)-jedrilica, AUS-australski, USA-američki, MED-mediteranski, PIANC-Permanent Int. Assoc. of Navigation Congresses **DALIBOR: dati bolje iz članka?**



5.1.1.3::14 Brodice (jahte) za rekreaciju: L-dužina, h-visina pramca, M (Mast)-visina jarbola, D-deplasman, m-motorni, s (sailor)-jedrilica, USA-američki, MED-mediteranski, **DALIBOR: bolje iz članka?**



5.1.1.3::15 Dimenzije vezova za brodice (jahte) za rekreaciju: L-dužina, W-širina veza, LB-dužina veza, DP-razmak gatova, FW-širina prolaza, med-mediteranski vez, f1-jednostruki vez na fingerpier, f1-dvostruki vez na fingerpier, PIANC-Permament Int. Assoc. of Navigation Congresses **DALIBOR: dati bolje iz članka ako ima?**



5.1.1.3::16 Mega yahte 30-60m' i Super yahte >60m'

5.1.2 Plovidba

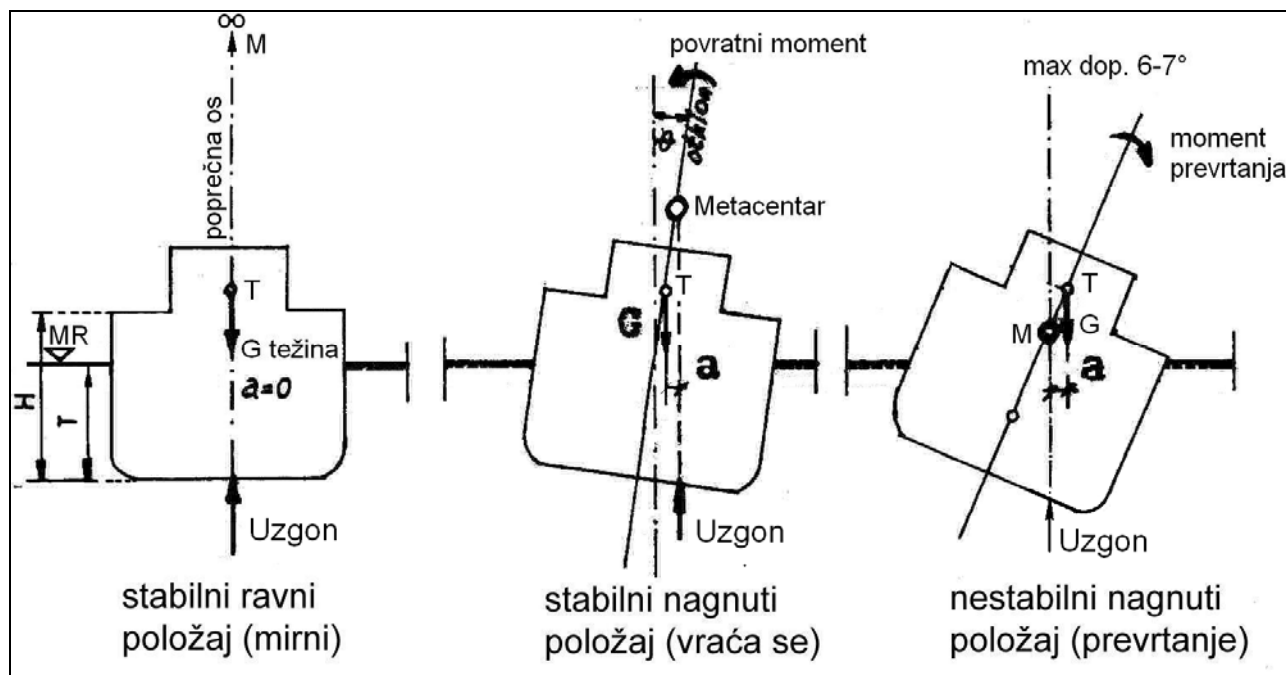
Plovidba je širi pojam za akciju broda (strategijska radnja), a obuhvaća kompleksno putovanje broda, uzimajući u obzir sve faktore kao npr. pravne, ekonomske, geografske i dr. Navigacija je užiji pojam (taktička radnja), a obuhvaća osnovne (tehničke) radnje, potrebne za plovidbu (npr. vođenje broda, iznalaženje točke broda, korekcije kursa, manevriranje i sl.). Plovljenje je hidromehanički dio navigacije gdje se proučavaju zakonitosti kretanja broda. Pritom se razmatraju dva stanja:

- u mirnoj vodi,
- na valovima.

5.1.2.1 Brod u mirnoj vodi

5.1.2.1.1 Stabilnost

Za stabilitet broda je važna poprečna stabilnost. Stupanj te stabilnosti ocjenjuje se prema visini metacentra (M) u odnosu na visinu težišta (T) broda s teretom. Metacentar je hvatište sile uzgona, a brod je stabilan sve dok je metacentar iznad težišta. Tada moment sile $G \times a$ ili $U \times a$ od vlastite težine G i uzgona U ($G=U$) ima smjer koji poprečnu os broda teži postaviti u uspravan. Kada je obrnuto moment ima smjer koji poprečnu os broda teži postaviti vodoravno; t.j. prevrnuti brod. Dakle moguć je stabilan uspravan i nagnuti poprečni nagib broda, te nestabilan poprečni nagib broda (Sl. 5.1.2.1.1::1).



Sl. 5.1.2.1.1::1 Stabilnost broda u mirnoj vodi

5.1.2.1.2 Trimovanje broda

Fino reguliranje poprečnog i uzdužnog nagiba broda vrši se u luci da bi bio stabilan u mirnoj vodi i plovidbi, te s minimumom otpora u plovidbi, je trimovanje (engl. osposobljavanje). U luci ga treba trimovati tako da ne tiče dno bokom, krmom ili pramcem i da bokom ne tiče obalni zid. Trimovanje se obavlja pravilnim krcanjem tereta u svakoj luci, a u obzir se uzima i gustoću mora na slijedećem putovanju. Konačno trimovanje vrši se brodskim balasnim takovima. Trimovanje se ranije radilo ručno prema t.z.v. dijagramima trimovanja koje je imao svaki brod. Danas se radi kompjutorski automatizirano.

Poprečni nagib (trim)

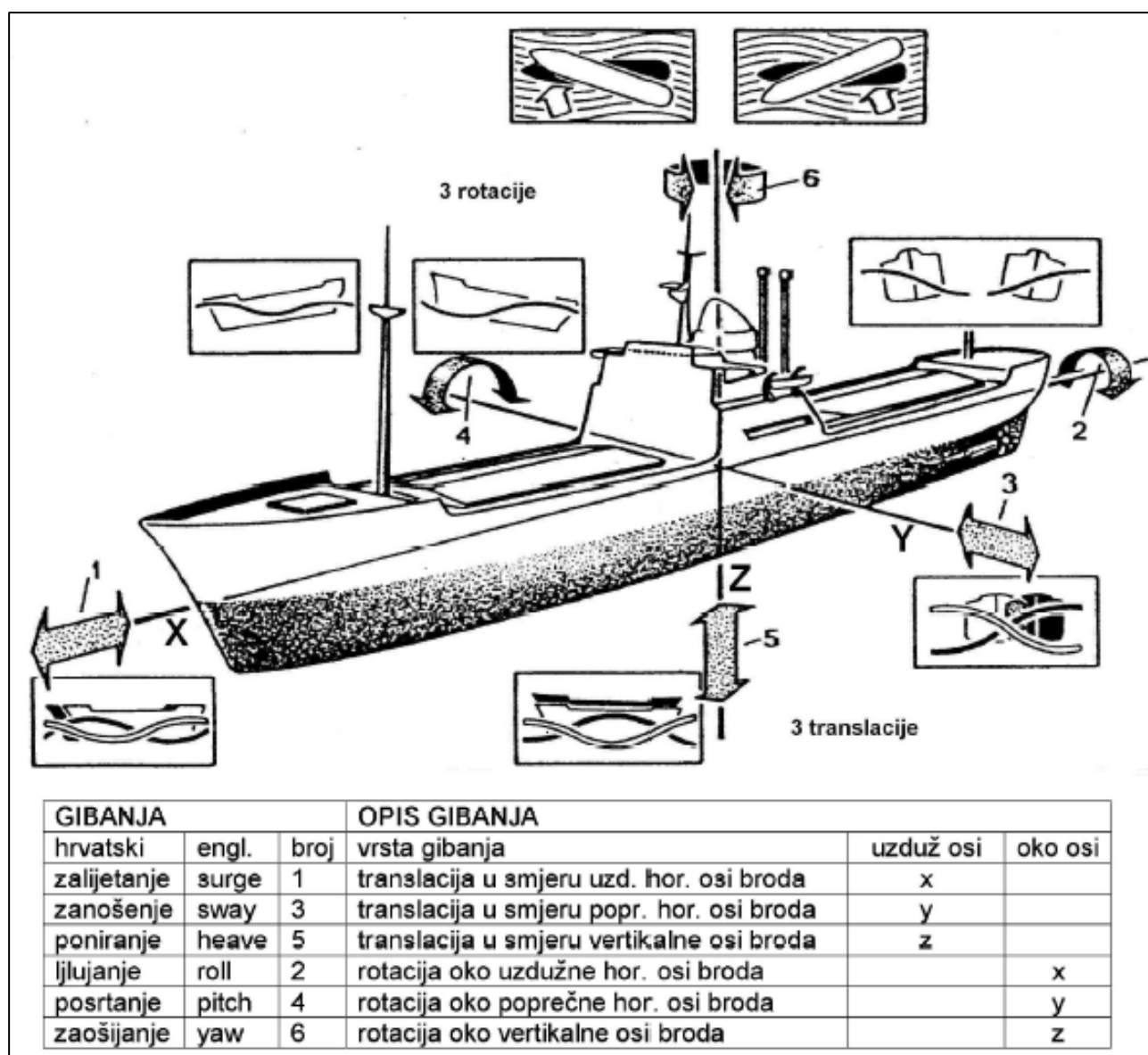
Poprečni trim je nagib osi poprečnog presjeka broda prema vertikali. Dešava se zbog nesimetričnog rasporeda i nehomogene gustoće tereta u brodskim skladištima. Svaki brod u svojoj svjedodžbi ima upisan dozvoljeni poprečni trim u plovidbi, a koji iznosi 6° do 7° . Na temelju njega u luci se slaže teret u brodskim skladištima ovisno njegovoj vrsti i valnoj klimi na budućoj plovidbi. U luci poprečni trim proizlazi iz zahtjeva da korito donjim bočnim rubom ne udari u dno ili u obalni zid. To iznosi 2° do $2,5^{\circ}$.

Uzdužni nagib (trim)

Uzdužni trim je nagib osi uzdužnog presjeka broda prema horizontali. Dešava se oko centra rotacije koji je otprilike na sredini broda. Obično je vrlo mali. Kada pramac više roni onda se naziva pretega, a kada krma više roni (što je pravilo) oda je zatega. On u plovidbi nije vezan za stabilitet broda nego na brodski otpor i potrošnju goriva. Osnova za račun uzdužnog trima je centar rotacije koji se dobije temeljem momenta sila uzgona koje teže dizanju pramca i momenta koji teži dizanju krmu. Točka u kojoj su ti momenti jednaki naziva se centar rotacije. Pozicija tog centra ovisna je o obliku površine vode, od oblika broda i rasporeda tereta. Računanje uzdužnog trima radi se kompjuterski, a na bazi izračunavanja momenata težina tereta u odnosu na centar rotacije. U luci uzdužni trim proizlazi iz zahtjeva da korito pramcem i krmom ne udari u dno. To iznosi do $0,5^{\circ}$. Na pr uzdužni trim od $0,5^{\circ}$ kod broda dužine 100 m' daje povećan uron na pramcu ili krmu za oko 0,5 m!

5.1.2.2 Brod na valovima

Brod na valovima pobuđen oscilacijama daje odziv u vidu 6 gibanja koja ovise o brodskoj masi i obliku trupa. U odnosu na 3 osi, razlikujemo 3 pomaka i 3 rotacije (Sl. 5.1.2.2::1).



Sl. 5.1.2.2::1 Gibanja broda

Posebno je poglavlje ponašanje brodova na valovima u luci: t.j. gibanja broda pobuđena valnom uzbuđenošću (agitacijom) lučkog bazena. Gibanja su važna za obavljanje operacija prekrcaja i manevara u luci, a ograničenja agitacije lučkog akvatorija i gibanja broda za te operacije dana su u poglavlju 6.5.3 Raspored površina u morskoj luci.

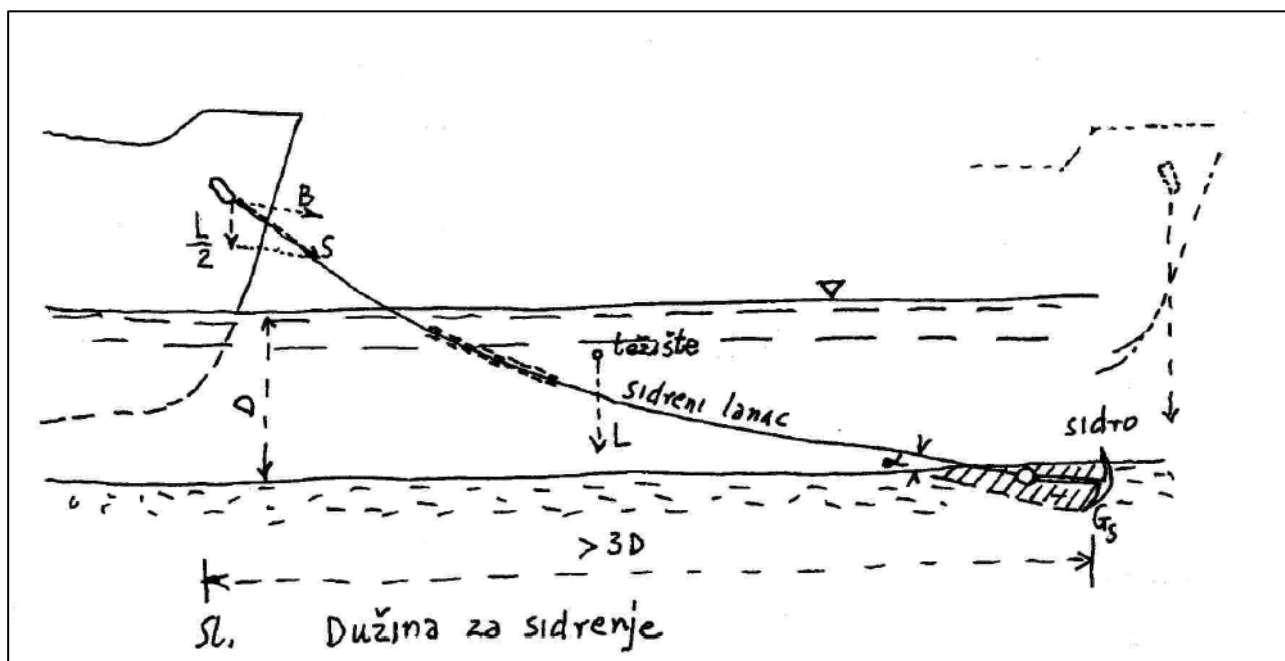
5.1.3 MANEVRI MORSKOG BRODA

U području luke (ovamo spadaju i oni pred lukom) vrše se oprezno, pretežno u manjim brzinama. Poznavanje tih manevara potrebno je za projektiranje luke. Svaki manevar osnovno ovisi o vrsti i veličini broda. Razmatrat će se ovdje uglavnom teretne brodove i to poglavito standardni opći teretni brod.

5.1.3.1 Zaustavljanje

Opći teretni brod (dužine L) u punom zamahu ima zaustavnu dužinu oko $3 L$ računajući od početka vožnje „svom silom natrag“. Ovakvo naglo zaustavljanje se dozvoljava samo u slučaju izbjegavanja sudara. Mora se uzeti u obzir da su dizel strojevi vrlo osjetljivi na naglu vožnju natrag, jer se ona vrši sa neugodnim hladnim zrakom u vrućem stroju. Brutalno mijenjanje smjera okretanja vijka brodovi mogu ublažiti ukoliko imaju specijalne vijke sa promjenjivim hodom. Takvi se brodovi onda mogu i brže zaustaviti, cca $1,5 L$ im je zaustavna dužina. Poseban problem imaju veliki teretni brodovi (velika inercija) npr. mamut tankeri koji se zaustavljaju tek nakon $10 Nm$ zaustavnog hoda. U kritičnim situacijama (npr. kad kormilo ne sluša, padne vijak i dr.) brod se može zaustaviti jedino bacanjem sidra ukoliko dubina mora nije veća od one koja odgovara dužini brodskog sidrenog lanca.

5.1.3.2 Sidrenje



SL. 5.1.3.2::1 Sidrenje broda

Sidrenje se obavlja u cilju umirenja broda od vožnje ili djelovanja vjetrova, valova i struje. Obavlja se na plovnom putu, a najčešće ispred luka dok brod čeka slobodan vez na sidrištu (radi). Sidrenje se obavlja brodskim sidrom SL. 5.1.3.2::1), na usidrenu plutaču i na sidreno mrtvo tijelo na morskom dnu. Računa se da je u normalnim uvjetima i kod dubine manje od $20 m$) za trgovački brod potrebna udaljenost sidra oko 3 dubine mora (D), a na

rijekama 6 dubina rijeke. Dužina lanca je kod standardnih općih brodova oko 600 m, a težina oko 12 kN/m'. Što je lanac teži to je sidrenje sigurnije, jer i on svojom težinom djeluje na držanje broda.

Brodsko sidro je svakom brodu neophodna oprema, jer mu garantira sigurnost i pomoć u kritičnim situacijama. Konstrukcija im je takva da budu što teža i da se što bolje zariju duboko u dno. Jedno od poznatih starih sidara je admiralsko sidro sa poprečnom prečagom tako da se lopatice moraju postaviti za zarivanje u dno. Danas je najčešće čelično sidro npr. tip Hall sa 2 zglobne lopatice. Težina sidra ovisi o veličini broda. pa na pr. brod od 10.000 t ima sidro od oko 50 kN. Pouzdanost sidra uvisi o otporu tla koji djeluje na lopaticu. Sidro (G_s) zarinuto u dno pod uglom α kod zatezanja izaziva pasivni otpor tla (S) u pravcu lanca pri dnu. Taj otpor je tim veći što je:

- sidro dublje u tlu, materijal sposoban za otpor i široke lopatice.
Najbolje je muljevito (m) dno jer obično sidro duboko propadne u mulj do gustog mulja, gline ili nekog drugog otpornog sloja. Najgore je ako je dno kamenito (k) jer se onda sidro ne može zarinuti u dno, a slučajna izbočina dna može se pokazati vrlo varljivom. Ostala dna (pijesak, šljunak i sl.) su između tih ekstrema. Ukoliko sidro ne uđe dovoljno duboko u tlo, odnosno uske su lopatice sidra u odnosu na materijal tla (slab), tada sidro putuje sa brodom, kažemo da „ore“ po dnu;
- ugao α mali (tada je veća mirujuća masa pasivnog otpora tla). Mali ugao dobije se ako je brod dosta udaljen od sidra, što ovisi o veličini broda (potrebnoj sili) i veličini smetnje broda (sili vjetrova, struje i dr.).

Sila od sidra na brod (B) je rezultanta iz poligona sile zatezanja sidra (S) i sile od $\frac{1}{2}$ težine lanca ($L/2$). Približno se uzima u ovisnosti o obliku i težini sidra (G_s) da je $B = (3 - 10) G_s$.

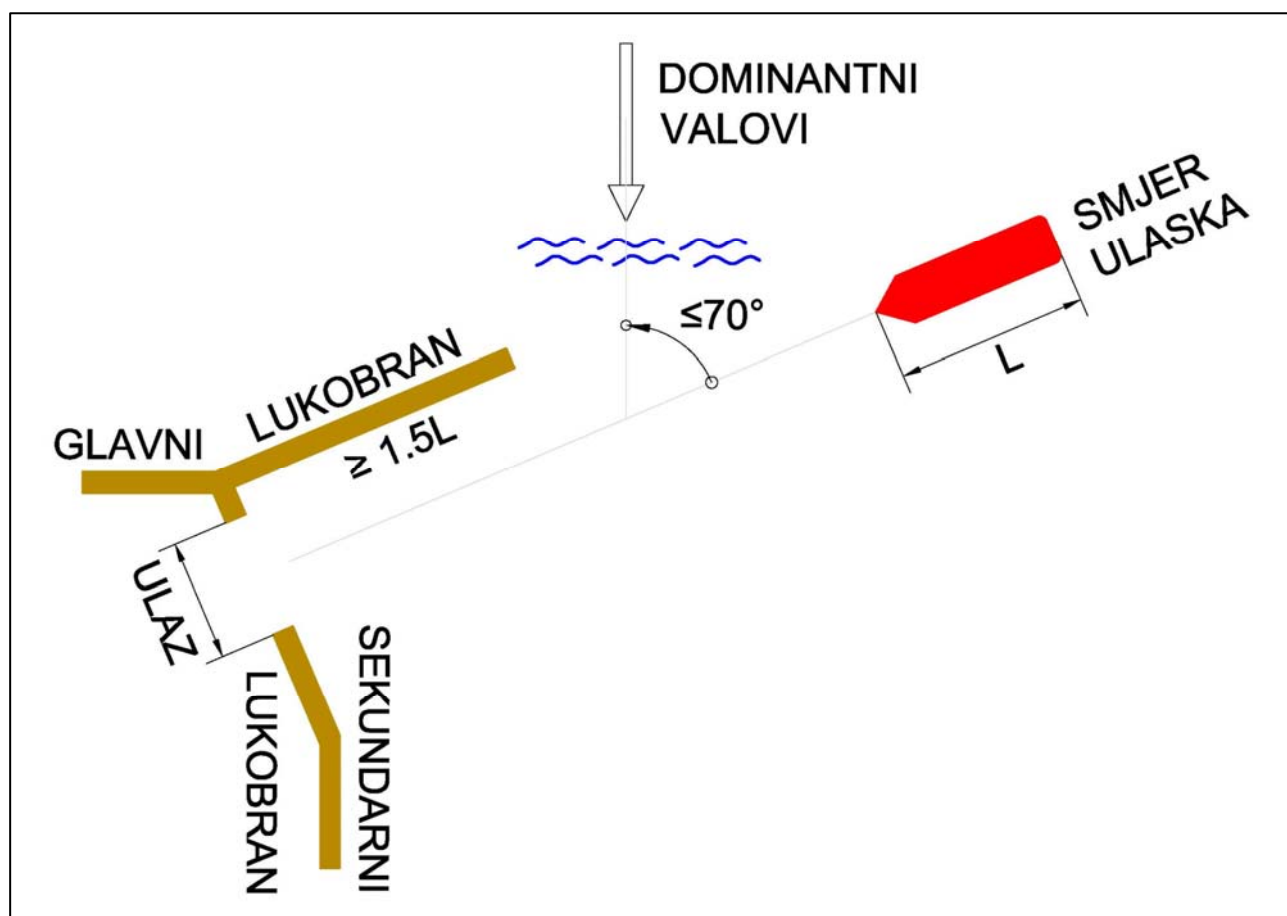
5.1.3.3 Tegljenje

Tegljenje može biti morsko i lučko. Lučko tegljenje utječe na dispoziciju luke i na lučku tehnologiju. Osobito danas kad su u prometu veliki brodovi koji sporo reagiraju svojim uređajima za manevriranje uslijed velike inercije. U većini luka postoji propis da brod za lučki manevar mora uzeti tegljača ako pređe izvjesnu veličinu (npr. 500 dwt). Na taj način se luka osigurava protiv havarija koje štete ugledu luke i dugotrajnih manevara koji smetaju drugim brodovima. Tegljači ili remorkeri (engl. tugs) su radni brodovi specijalnog oblika (široki, kratki, duboki gaz) i opreme (vitla, bite, tegljeno užje). Veličina im se mjeri prema snazi stroja, a ona varira od 200-3.000 KS. Duboko usađeni u vodu i velikim vijkom imaju jaku vučnu snagu, a k tome i stabilitet za najvećih valova i vjetrova. Tegljači uzimaju brod u luci pod tegalj u raznim položajima, ovisno o obliku lučkog akvatorija i veličini broda. To može biti:

- o vuča po pramcu,
- o vuča po krmu,
- o prislanjanje bočno (pod pazugo), najčešće u paru,
- o potiskivanje bočno (boksanje).

Kod velikih brodova uzima se više jakih tegljača (2-6) koji se onda raspoređuju u raznim kombinacijama. Vođa tegljača i lučki pilot (na komandnom mostu broda) povezani su međusobno radio vezom, a isto tako pojedini tegljači sa vođom. Osnovni princip sigurnosti kod tegljenja je da strojevi broda miruju. Katkad i povremeno rade, pomažu tegelj savladavajući samo veliku inerciju, ali uz veliki oprez. Sve ostalo rade tegljači. Pri tome je najveća opasnost da brod povuče, odgurne, prevrne (zapletaj užeta) ili čak i potopi (u virovima vijka) tegljač.

5.1.3.4 Uplovljavanje



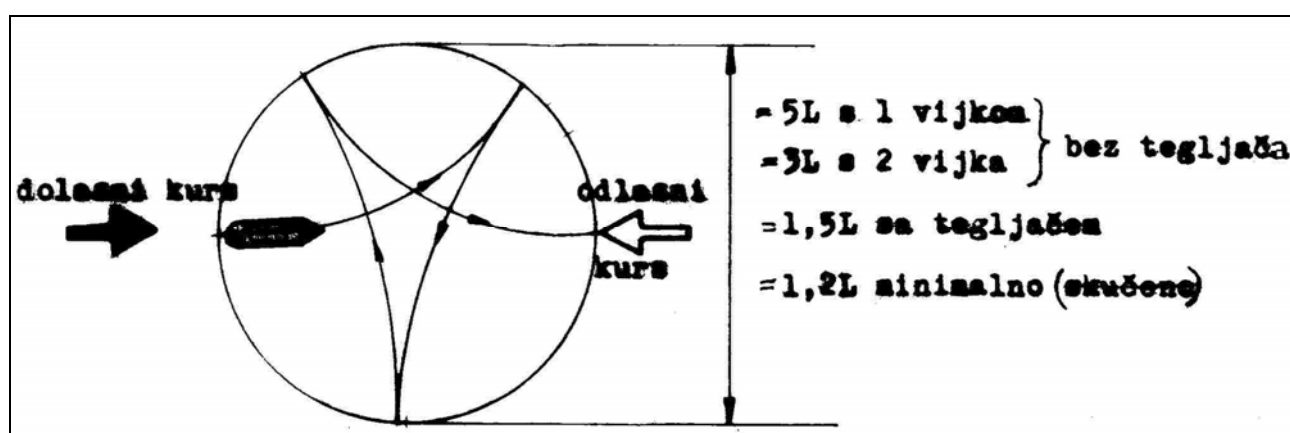
Sl. 5.1.3.4 Trasiranje ulaza u luku

Uplovljavanje definira trasiranje lučkog ulaza kako je pokazano na (Sl. 5.1.3.4). Kod ulaza u luku za vrijeme oluja, a bez tegljača, kritični moment je kad je polovica broda pod zaštitom lukobrana, a druga polovica izložena bočnom djelovanju valova. Tada se brod zakreće oko svoje vertikalne osi. Kapetan to mora unaprijed (dok još ima brzinu) parirati lokalnim odstupanjem od kursa. Ne smije se zaboraviti da kod uskog ulaza u luku brod treba imati dobru upravljivost kormilom, a ta se postiže jedino velikom brzinom. S druge strane velika brzina traži dugu zaustavnu dužinu u lučkom akvatoriju. Uplovljavanje u luku je stoga,

naročito za velike brodove mnogo rizičnije od isplovljavanja. Sve to dovodi do zaključka da iole veći brodovi trebaju ove manevre izvoditi sa tegljačima, a ne vlastitim strojem. Pri trasiranju luke mora se poznavati brodove, promet i vremenske prilike. Pri tome pravilo je da je za formiranje ulaza luke mjerodavan manevar ulaska broda. Ulazak se ne može odgoditi pošto brod u oluji najviše treba luku. Izlazak se da odgoditi, brod čeka dok prestane oluja.

5.1.3.5 Okretanje

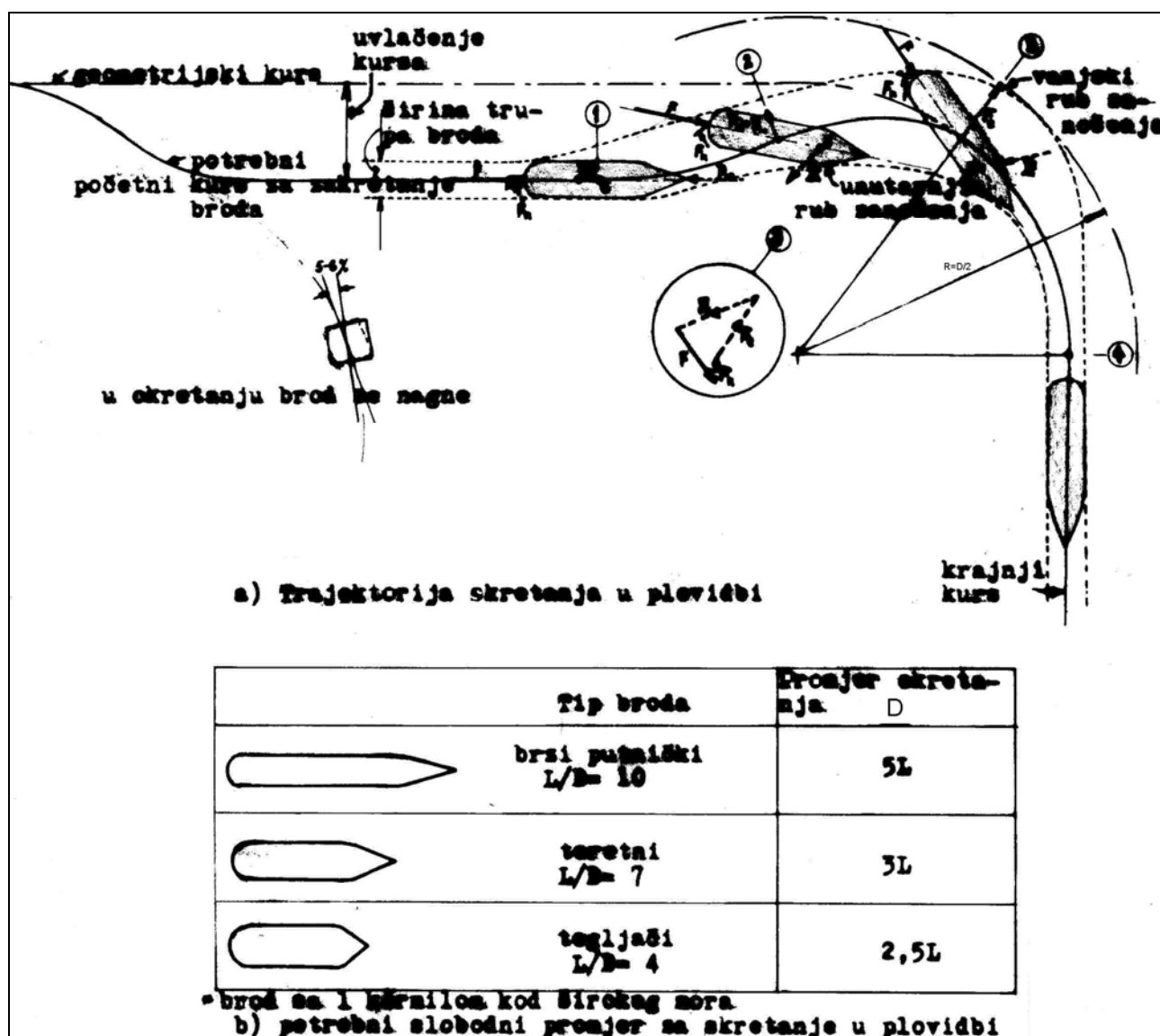
Poznavanje prostora potrebnog za okretanje broda u luci bitno je kod projektiranja manevarskog lučkog akvatorij (Sl. 5.1.3.5::1).



Sl. 5.1.3.5::1 Okretanje broda u luci

Kod manevra okretanja broda u luci, u skućenim uvjetima, razlikuju se dva slučaja: bez i s tegljačima. Pravilo je okretanje s tegljačima, jasni i uz vlastiti navigacijski sustav. Tu puno pomažu poprečne turbine: pramčana i krmna (entgl. bow thruster i stern thruster). Lakše se okreću i brodovi s 2 vijka, jer mogu svaki od njih voziti u suprotnim hodovima. „Okretniji“ su putnički brodovi i cruiseri, jer imaju sve moguće sustave za manevriranje. Kod manevriranja koriste se efekti strujanja vode, naročito na rijekama, i vjetra. Ako se brod okreće uz pomoć vuče tegljača onda a) tegljač mora biti vezan konopom na onoj strani na kojoj se brod okreće. b) tegljač može biti privezan sa strane broda (pod pazuhu) pa se vlastitim pritezanjem konopaca može pomicati po brodu i tako povećavati moment okretanja c) tegljač, ili par tegljača odbojnikom na pramcu može „boksati“ brod sa maksimumom okretnog momenta i najmanjim radijusom okretanja.

Skretanje u plovidbi na širokom plovnom putu je drukčiji manevr i obavlja se samo vlastitim navigacijskim uređajima samog broda (Sl. 5.1.3.5::2). Važno je za trasiranje plovnog puta na prilazu luci ako je tamo plitko more, ili za plovne kanale u koje uplovljavaju morski brodovi.



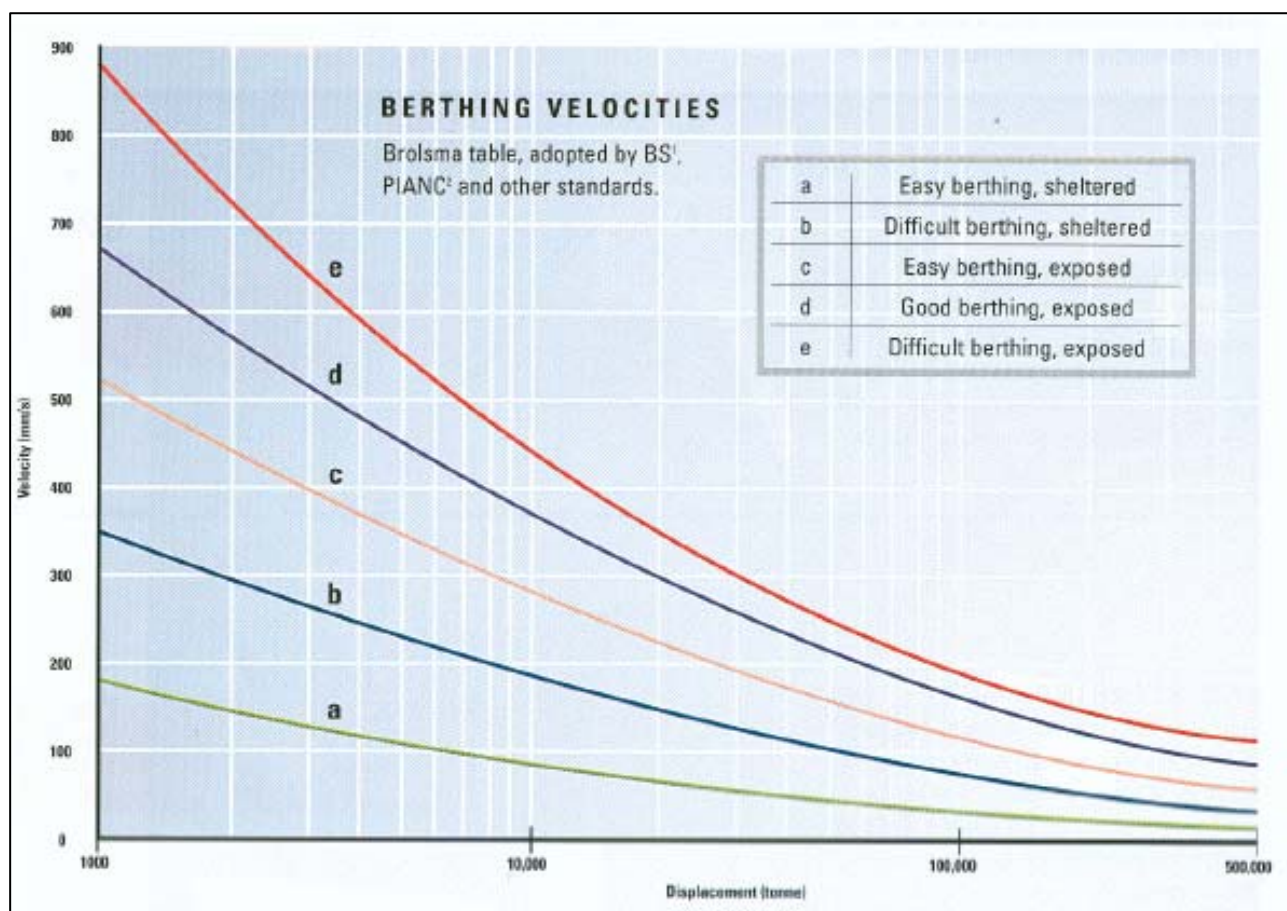
Sl. 5.1.3.5::2 Skretanje morskog broda na plovnom putu.

5.1.3.6 Pristajanje

U luci brod smanji brzinu i upravi se pod kutem $5-15^\circ$ prema obali na koju želi pristati tako da stigne približno paralelan sa obalom i na malom (sigurnosnom) razmaku od obale. Pošto je bez brzine, nije upravljiv, može manevrirati (zakretati) jedino radom vijka naprijed ili natrag. Stoga je usluga remorkera nužna za efikasan manevar.

Brzina pristajanja bitna je kod kejova na pilotima koji su osjetljivi na horizontalne sile. Horizontalne sile su to manje što je manja brzina, odnosno, kinetička energija kojom brod udari u kej. Stoga su strukovna društva definirala prihvatljive brzine (Sl. 5.1.3.6::1) pristajanja. One se postižu primjenom thruster, tegljača i brodsko-lučkog

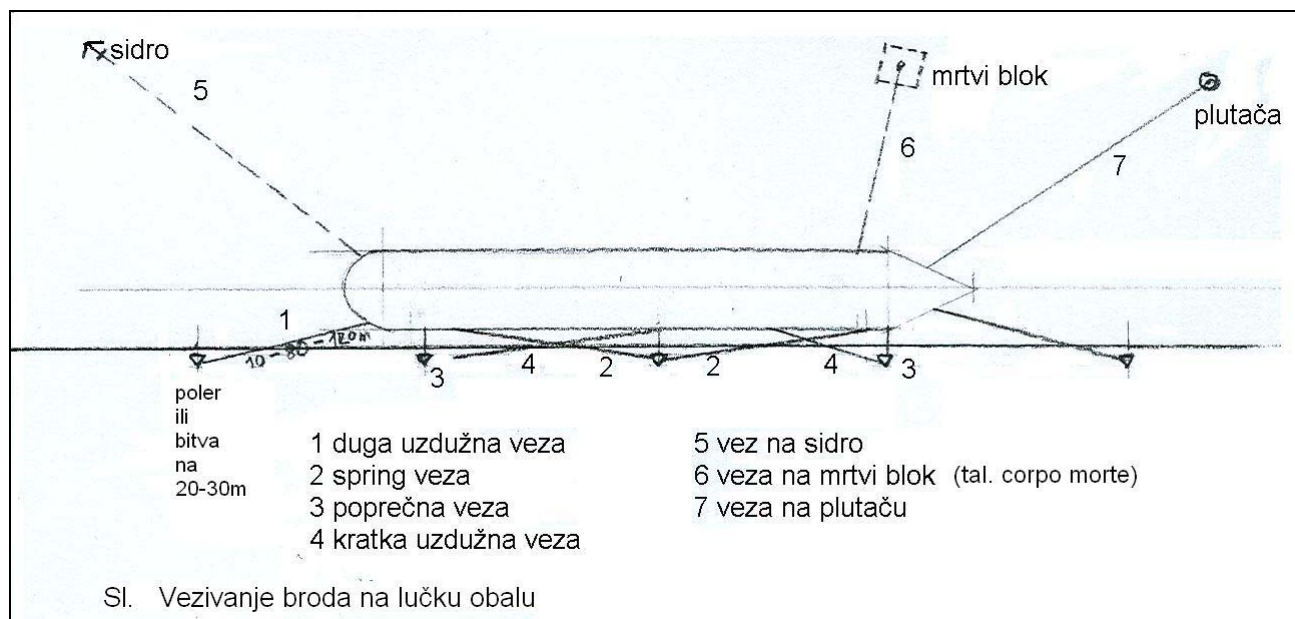
sustava.kompjutersko-elektroničke kontrole prilazne brzine. Udar broda u kej ristajanje takvom brzinom je redovan događaj koji se dešava i više puta na dan, te pripada u promjenjiva djelovanja za proračun konstrukcije keja. Pristajanje s većim brzinama predstavlja izvanredan udar broda i na njega se proračunavaju stupovi mosta. Kejovi se, iz ekonomskih razloga, ne projektiraju na prihvat takvih sila nego se nakon njih repariraju.



Sl. 5.1.3.6::1 Brzine pristajanja broda na kej PIANC-Fentek

5.1.3.7 Vezivanje

Vezivanje broda o obalu sprječava micanje broda uslijed valova struja ili vjetera. To omogućava operacije prekrcaja te brani brod i obalu od oštećenja. Vezivanje se vrši od bitava na brodu, preko priveznih užadi do bitava na obali (Sl. 5.1.3.7::1).



Sl. 5.1.3.7::1 Vezivanje broda