

TRIMOVANJE BRODA

Analiza slučaja ravnomjernog iskrcaja tereta

UDK 629.123.(4+56):(656.615+656.65)

Stručni rad

Sazetak

Uradu se obrađuje problem kad brod mora iskrcevati teret u dvije luke, od kojih druga ima ograničenu dubinu. Brod se u prvoj luci mora iskrcevati tako da u drugu dopremi maksimalnu količinu tereta. Ono što je važno napomenuti jest da se pri tome balastiranje broda svodi na minimum ili, što je najbolje, potpuno izbjegne.

Dakle, zadatak je da se za prvu luku izračunaju minimalne mase tereta koje će se u njoj iskrcati iz svakoga pojedinog skladišta, a da brod u drugu luku dopremi maksimalnu količinu tereta pri zadanom gazu, koji je ograničen dubinom druge luke.

Da bi se to postiglo, osnovni je uvjet da brod, nakon utroska goriva i vode u plovidbi između iskrcajnih luka, u drugu uplovi na ravnoj kobilici. U članku je dana računaska metoda rješenja tog problema.

TRIMMING

A case of balanced discharge

Summary

The paper analyses the situation when the ship is to discharge in two ports second of which having limited depth. In the first port of discharge the vessel discharges less cargo than she is to discharge in the second port.

It should be pointed out that, at the discharge, ballasting should be reduced to minimum or completely avoided.

Hence, one should calculate minimum weights of cargo to be discharged from each hold in the first port of discharge to enable the vessel to carry on the maximum amount of cargo at a given draught required by the depth of the second port.

In order to achieve this, the basic condition is that the vessel, having consumed fuel and water on the passage between the ports of discharge, can reach the second port on an even keel. The paper gives a method how this problem could be solved.

1. RAVNOMJERNI ISKRCAJ TERETA U LUCI ODREDIŠTA

1.1. Problemi kod ukrcavanja i iskrcevavanja tereta

Operativni zadaci u eksploataciji broda koji su u vezi s iskrcajem ili ukrcajem brodskog tereta su specifični po svojoj prirodi, pa se to odnosi i na proračune koji se moraju rješavati u operativnom radu pri izvršenju tog dijela plovidbenog zadatka. Posebno je to važno na brodovima velikih dimenzija kakvi se danas grade.

Glavni operativni zadaci su slijedeći:

1. proračun istisnine broda nakon ukrcane ili iskrcaje količine tereta
2. određivanje ravnomjerne raspodjele masa tereta i to u uzdužnom, poprečnom i vertikalnom smjeru
3. proračun ravnomjernog ukrcaja ili iskrcaja tereta s obzirom na trim broda, na čvrstoću brodske konstrukcije i na brzinu iskrcaja ili ukrcaja u luci
4. proračun poprečnog stabiliteta broda
5. proračun pretege (trima) broda
6. proračun opterećenja broda, posebno momenta savijanja
7. određivanje optimalnog broja skladišta za ukrcaj ili iskrcaj u luci.

U ovom radu obradit će se samo jedan od tih zadataka i to onaj pod točkom (3) iz razloga što je to u praksi složen zadatak. Treba znati da može doći do ozbiljnih oštećenja brodske konstrukcije, trajnih deformacija trupa i gubitka vremena ukoliko se dovoljno ne vodi računa o sva ta tri međusobno povezana zadatka. Do oštećenja, pa čak i do gubitka broda, može doći i u luci za vrijeme iskrcaja ili ukrcaja tereta tj. u mirnoj vodi, ako se ne poštuju principi i pravila sigurne manipulacije s teretom.

* Antun Prlenda, kap.d.pl., dipl.inž.pom.prom.
JUGOOCEANIJA, Kotor

1.2. Faza putovanja

Prvenstvena briga zapovjednika i I oficira palube je da se u polaznoj luci dobro ukrca teret, vodeći maksimalno računa da se ispune svi zahtjevi nužni za sigurnost putnika, posade, tereta i broda, a da se u isto vrijeme maksimalno iskoristi prostor i nosivost broda. To bi bila prva faza putovanja.

Tokom druge faze putovanja, a to je sama plovidba, ozbiljno se pazi da stanje broda u svakom trenutku zadovoljava propisane kriterije sigurne plovidbe, a istovremeno se posebno vodi računa o području plovidbe, vremenskim prilikama i godišnjem dobu. Brod mora uvijek da ima najoptimalniji trim, dobru poprečnu stabilnost, dovoljnu rezervu dinamičke stabilnosti i zadovoljavajuće nadvođe za zonu plovidbe i godišnje doba. Dalje je važno da mu uzdužni i poprečni momenti savijanja ne prelaze dopuštene granice. Konačno je nužno da se sačuva teret od oštećenja tj. da se preveze i isporuči onako kako je bio primljen na brod, što i jeste osnovni smisao i zadatak svakog pomorskog prijevoza tereta.

Dolaskom broda u određenu luku započinje treća faza putovanja, a to je iskrcaj i predaja tereta primaocu.

1.3. Završetak putovanja

Zbog raznih faktora, koji ponekad imaju i psihološki karakter, često se neopravdano smatra da je dolaskom u luku putovanje završilo. Naravno da pomorci znaju da nije, ali se nerijetko suprotno ponašaju. Tako nastaje situacija u kojoj se samo čeka iskrcaj posljednje tone ili komada tereta da bi se i administrativno-statistički utvrdio završetak putovanja.

Ljudski je donekle shvatljivo, ali ne i opravdano, da nakon završene plovidbe, koja često može biti veoma teška i naporna, pažnja posade malo popusti. Danas je obična pojava da se brod nakon trideset dana plovidbe zadrži u luci manje od 24 sata. Nije teško zamisliti što sve posada broda, a pogotovo komandno osoblje, za tako vrijeme mora da obavi, a što je vezano za svršetak prethodnog - još uvijek tekućeg - i početak novog putovanja. Međutim čovjek, kao socijalno i društveno biće, ima potrebu za obavljanje i zadovoljenje nekih obaveza prema sebi i svojim bližnjima, kako bi se što bolje odmorio i u kratkom vremenu pripremio za predstojeće putovanje.

Veoma često se u pomorskim - i u drugim - incidentima spominje "ljudski faktor". Ne može se opravdati činjenica da nismo sve poduzeli kako bi se negativni utjecaj tog činioca eliminirao ili bar smanjio na minimum.

U oštroj i bezpoštednoj konkurenciji kakva danas vlada na pomorskom tržištu opstaju samo najspremniji brodari, čiji su brodovi opremljeni najsuvremenijim tehnologijama, ali i sposobnim posadama. Broj članova posade današnjeg modernog broda drastično se smanjuje zbog težnje za maksimalno smanjenje dnevnih operativnih troškova, što je jedan od neizbježnih imperativa opstanka na tržištu prijevoza pomorskim putem.

Tako se može dogoditi, što ne znači da je to pravilo, da se uslijed navedenih razloga iskrcaj tereta previše prepusti operativnom osoblju, luke, što ima za posljedicu da popušta pažnja posade. Interesantno je napomenuti da su ovaj problem prvo uočili prijevoznici tekućih i opasnih tereta, a zbog specifičnosti tehnologije prijevoza i brodari koji se bave prijevozom kontejnera. Oni su bili prinuđeni da se usko povežu s osobljem na kontejnerskom terminalu. To osoblje je visoko specijalizirano i u stanju je da potpuno preuzme operativni dio ukrcaja ili iskrcaja tereta - kontejnera - s obzirom da se računalom upravlja operativa u toj luci odnosno na tom terminalu. Svakako je tu potrebno konačno odobrenje plana ukrcaja ili iskrcaja tereta od strane zapovjednika broda. Ta suradnja između zapovjedništva kontejnerskog broda i osoblja terminala dostigla je intezivnim uvođenjem informatike u glavnim svjetskim lukama neslućene razmjere i ubrzano se širi i u lukama manjeg značaja.

1.4. Problemi kod prijevoza rasutih i tekućih tereta

U prijevozu velikih količina rasutih čvrstih i tekućih tereta situacija je i pored visoke automatizacije nešto drugačija. Na terminalima pretovarivaju se ogromne mase tereta velikom brzinom s mehanizacijom koju poslužuje mali broj ljudi. Ti terminali su gotovo redovno daleko od gradske sredine lučkih gradova, što nije nimalo beznačajan faktor za posadu broda i njezinu opskrbu.

Osim toga često se i terminali tvornica ili rafinerija nalaze u neposrednoj blizini akvatorijuma luke. Isto tako i lučki skladišni prostori, otvoreni ili zatvoreni, nisu uvijek podesni za prijem velikih količina tereta u kratkom roku i da istovremeno kopnena transportna mreža nije u stanju te količine na vrijeme i da otpremi.

Iz tih i još drugih brojnih razloga događa se da lučko operativno osoblje iskrca teret kako to brodu ne odgovara, a da zaduženi oficir pravovremeno ne reagira i zaustavi iskrcaj tereta koji se ne odvija prema utvrđenom planu iskrcaja. Normalno je da je zapovjednik broda predočio i predao lučkom osoblju plan pretovara prije početka iskrcaja ili ukrcaja tereta.

U svemu ovome često se pojavljuje jedna veoma važna činjenica, koju nikako ne bi smjeli zaboraviti odgovorni oficiri ili zapovjednik broda. Iako brod pluta u mirnoj vodi luke, ipak je on izložen naprezanjima koja se nepravilnim iskrcajem ili ukrcajem mogu povećati do takvih razmjera da u ekstremnim slučajevima može doći do trajnih deformacija brodske trupa, manjih ili većih puknuća konstrukcije, pa i do samog loma, a time i gubitka broda. Obično se takva manja oštećenja kasnije pripisuju naprezanjima na moru u nevremenu ili nasukanjima i dodirima dna - posebno u plovidbi rijekama gdje je gaz broda redovno ograničen nedovoljnom dubinom rijeke.

Brodská konstrukcija je na specijaliziranim brodovima posebno pojačana, pa se manje nepravilnosti prilikom manipulacije s teretom svjesno ili nesvjesno toleriraju,

dok brodska konstrukcija pretrpi male ili nikakve deformacije.

1.5. Problemi kod iskrcavanja broda u više luka

Ukoliko brod završi kompletan iskrcaj tereta u jednoj luci, to se u većini slučajeva, uz manje probleme sve normalno završava. Međutim situacija se u znatnoj mjeri mijenja ako moramo dio tereta iskrcati u još jednoj ili više luka. Dodamo li tome još izvjesna ograničenja, koja se mogu tada pojaviti kao npr. postizavanja maksimalnog gaza broda do kojeg ga slijedeća luka može primiti, onda je jasno kakav se složen i ozbiljan zadatak postavlja pred odgovornog oficira odnosno zapovjednika broda. Rješenje tog zadatka može biti podložno važnim uvjetima od kojih će se ovdje samo neki spomenuti:

1. Brod nakon iskrcaja tereta u prvoj luci mora imati takav trim, da nakon potroška goriva i vode, u slijedeću luku uplovi po mogućnosti na ravnoj kobilici.

2. U istoj luci mora se balastiranje, potrebno za korekciju trima, svesti na minimum.

3. Brod u plovidbi između luka mora imati dobar stabilitet. Ako je prestabilan, može se nakon prve luke iskrcaja poboljšati stabilitet minimalnim balastiranjem visinskih tankova. Neposredno pred dolazak u drugu luku ovaj balast se mora izbaciti, vodeći računa da ne dođe do zagađenja mora.

4. U prvoj luci iskrcaja mora se omogućiti iskrcaj tereta iz maksimalnog broja skladišta, jer se time postiže ušteda u vremenu i smanjuju ukupni troškovi iskrcaja. Uvjet je da se teret iskrca na takav način da se ni u jednom trenutku ne ugrozi sigurnost posade i broda i da se ne pređu dopuštene granice vrijednosti do kojih se može opteretiti brodska konstrukcija.

U cilju što bržeg iskrcaja, a i zahtjeva primaoca tereta, iskrcaj se mora vršiti iz najvećeg mogućeg broja skladišta. Radi toga potrebno je unaprijed izračunati točno mase tereta koje se moraju u prvoj luci iskrcati iz svakog skladišta i tako pripremljen plan iskrcaja tereta predati primaocima i silosu prije početka iskrcaja.

Za vrijeme iskrcaja moraju u svakom trenutku biti zadovoljeni kriteriji o stabilitetu i čvrstoći broda tj. ne smiju se preći granične vrijednosti metacentarske visine, momenta savijanja a i smičnih sila. Stalno se mora voditi računa o uzdužnom i poprečnom stabilitetu i naprezanjima brodske konstrukcije.

Kao i tokom polovidbe tako i u prvoj luci iskrcaja mora se točno voditi računa o potrošku goriva i vode, jer svaka promjena masa na brodu, a pogotovo njihovo nepoznavanje ima značajnog udjela na promjenu gaza i trima broda.

2. TEORETSKI PRISTUP

2.1. Općenito

Normalno je da oficirsko osoblje i zapovjednik poznaju osnove hidrostatičke broda. U protivnom neće moći razumjeti ponašanje broda tokom ukrcaja ili iskrcaja tereta, a niti na ispravan način riješiti postravljeni zadatak. Lako je dokazati da bi time brodarsko poduzeće moglo pretrpjeti izvjene gubitke.

Ovaj zadatak je jedan od važnijih u eksploataciji broda, a on se u praksi na brodovima, koji nisu opremljeni elektronskim računalom, rješava postupno i to dosta netočno. U tu svrhu se najčešće koristi krivulja promjene trima za ukrcaj/iskrcaj 100 tona tereta. Kod toga se gotovo redovno izbjegava izvedba proračuna centracije.

Tokom manipulacije s teretom veoma je važno znati i shvatiti promjene položaja središta sistema broda (G), središta istisnine (B), središta tereta (G_T) i središta površine vodne linije (F), koje nastaju promjenom tereta i promjenom položaja njegovog središta mase. Rezultat toga je promjena pretege ili trima broda.

2.2. Teoretske osnove krcanja broda

Zadan je brod s dimenzijama L₀, B₀, T₀, H₀, deplasma- nom D₀, položajem X₀, središta F₀ plovne vodne linije VL₀. Središte istisnine nalazi se u točki B₀ a središte sistema u točki G₀. U brod se ukrcava teret mase (m_t).

Da bi se bolje shvatio utjecaj tog ukrcaja tereta, promatra se ukrcaj u dvije faze. U prvoj se fazi ukrcava teret točno ispod središta (F₀) plovne vodne linije, a zatim se pomakne teret na njegovo konačno mjesto.

Kod ukrcaja tereta ispod središta (F₀), brod zaroni za veličinu (ΔT), a središte sistema pomakne se po spojnici B₀Q₀ u točku B₁. Središte sistema pomakne se po spojnici G₀S₀ u točku G₁.

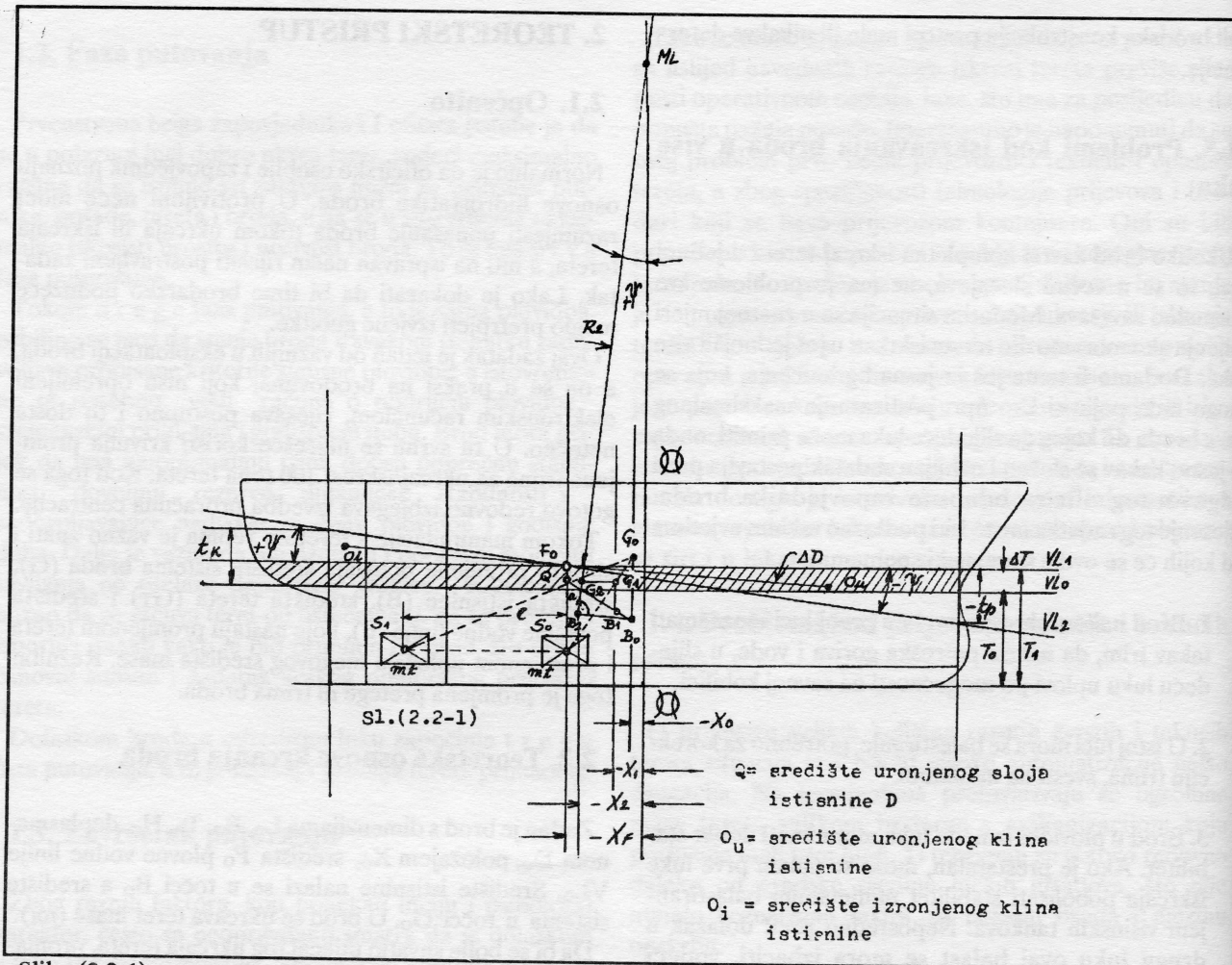
Kod toga je :

$$\overline{B_0B_1} = \frac{\Delta D}{D_0} \overline{B_0Q} \quad \text{i} \quad \overline{G_0G_1} = \frac{\Delta D}{D_0} \overline{G_0S_0}$$

Budući da su projekcije veličina $\overline{B_0Q}$ i $\overline{G_0S_0}$ jednake, slijedi da se ukrcavanjem tereta ispod središta momentalne plovne vodne linije ne mijenja uzdužni položaj broda.

Pomakne li se sada teret iz položaja S₀ u S₁ to se jasno mijenjaju i položaji središta sistema i središta istisnine. Pomakom tereta (m_t) iz točke S₀ u točku S₁ pomakne se i središte G₁ paralelno sa (e) u točku G₂. Brod postaje zatežan te se nova VL₁ koja sada prolazi kroz točku (F₀) nagne za kut (ψ). Središte istisnine B₁ pomakne se paralelno sa spojnicom središta uronjenog klina O_u i središta izronjenog klina O_i u točku B₂, koja se nalazi točno ispod točke G₂. Vertikalna kroz ove dvije točke siječe vertikalnu kroz točke B₁G₁ u točki ML₁ ili u uzdužnom metacentru.

$$\overline{B_1B_2} = R_2 \tan \psi = \overline{MLB_2} \tan \psi = \frac{I_L}{V_1} \tan \psi \quad O(2,2-1)$$



Slika (2.2-1)

$$\overline{G_1G_2} = \overline{MLG_2} \tan \psi = \overline{(MLB_2 - B_2G_2)} \tan \psi = \overline{S_1S_2} \frac{m_t}{D_1} =$$

$$\frac{M_t}{D_1} = (R_2 - a) \tan \psi = R_2 \left(1 - \frac{a}{R_2}\right) \tan \psi = \frac{I_L}{V_1} \left(1 - \frac{a}{R_2}\right) \tan \psi$$

$$\tan \psi = (t_p + t_k) / L_p \quad O(2.2-2)$$

$$M_t = \frac{I_L}{V_1} V_1 \gamma \left(1 - \frac{a}{R_2}\right) \frac{t_k - t_p}{L_{pp}}$$

$$(\gamma) = 1,025 \text{ do } 1,03 \text{ (t/m}^3) = (1 + 0,03) \text{ (t/m}^3)$$

ili približno

$$(\gamma) \approx (1 - 0,03) \cdot 1 \text{ (t/m}^3) = 1/0,97 \text{ (t/m}^3)$$

$a/R_2 \approx 0,97$ kod normalnih teretnih brodova

prema tome je numerus kod dimenzije za (γ) iste veličine sa veličinom odnosa $(2/R_2)$ pa se ove vrijednosti ukidaju, ali ostaje dimenzija gustoće, dakle (t/m^3)

$$M_t \text{ (tm)} = \frac{I_L \text{ (m}^2 \text{ m}^2)}{L_p \text{ (m)}} \text{ (t/m}^3) (t_k - t_p) \text{ (m)}$$

$$M_t \text{ (tm)} = \frac{I_L}{L_p} (t_k - t_p) \quad O(2.2-3)$$

Taj je izvod umetnut iz razloga, što bi bez njega lijeva strana ove jednadžbe imala dimenziju (tm) a desna samo (m)!

Kod (γ) se krati samo numerus (1,03) sa $a/R_2 = 0,97$. Imamo li ukrcavanje više tereta s momentima:

$$\Sigma M_t = m_1x_1 + m_2x_2 + m_3x_3 + \dots + m_nx_n$$

pišemo jednostavnije M_T

$$M_T = \frac{I_L}{L_p} (t_k - t_p) = \frac{I_L}{L_p} t = I_L \tan \psi \quad O(2.2-4)$$

Iz ovih izraza slijedi:

$$\text{Kut } (\psi) \text{ pretege broda: } \tan \psi = \frac{M_t}{I_L} = \frac{t_k - t_p}{L_p} \quad O(2.2-5)$$

$$\text{Pretega } (t_p) \text{ broda: } t_p = \pm (0,5 L_p - X_F) \tan \psi \quad O(2.2-6)$$

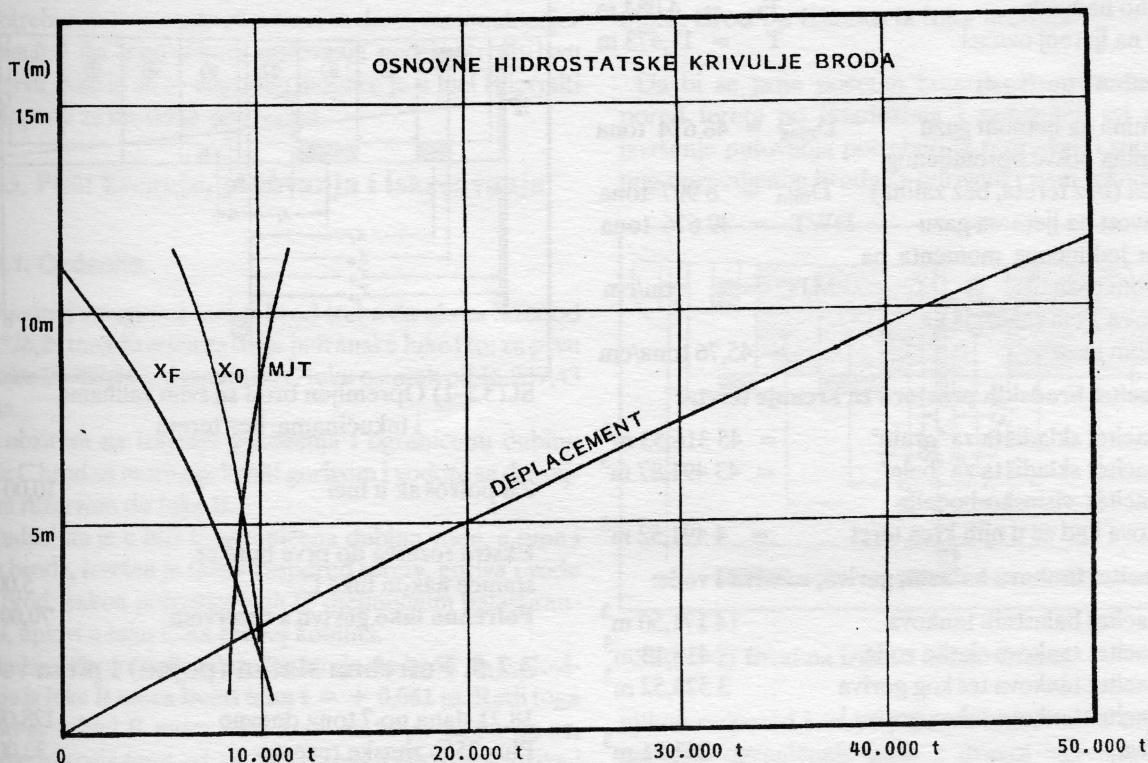
$$\text{Zatega } (t_k) \text{ broda: } t_k = \pm (0,5 L_p + X_F) \tan \psi \quad O(2.2-7)$$

$$\text{Trim } (t) \text{ broda: } t = t_k - t_p \quad O(2.2-8)$$

$$\text{Gaz } (T_p) \text{ na pramcu: } T_p = T_1 + t_p \quad O(2.2-9)$$

$$\text{Gaz } (T_k) \text{ na krmi: } T_k = T_1 - t_k \quad O(2.2-10)$$

Kut (ψ) uzdužnog nagnuća broda može biti pozitivan ili negativan, pa je najbolje da odlučimo da je on pozitivan, kada je zatega na krmi pozitivna, dakle onako kako je to prikazano na slici S(2.2-1). Prema tome, pretega (t_p) i zatega (t_k) moraju imati uvijek pozitivne predznake, a iz njihove razlike je odmah vidljivo, u kojem je smjeru brod uzdužno nagnut tj. trimovan!



Slika (2.2.1-1) Osnovne hidrostatske krivulje broda

2.2.1. Moment jediničnog trima

Ako kod nekog broda sa zadanom VL povećavanjem momenta M_T povećamo trim (t), to ćemo moment, koji prouzrokuje jedinični trim, dakle $t = 1(m)$ nazvati "momentom jediničnog trima" i ne kao do sada "jedinični moment pretege", jer to nije niti jedinični moment a niti pretege, nego trim!

U vrijeme se, nažalost, tako zbog lošeg prevoda sa njemačkog!

Dakle: $t_k - t_p = 1$

$$MJT = \frac{I_L}{L_{pp}} \quad (tm/m) \quad O(2.2-11)$$

Dimenzija tog momenta je (tm/m) ali se može izraziti i u (tm/cm) ili (tm/inch) ili (tm/ft) već prema jedinici, kojom se mjeri gaz!

Rad sa ovom veličinom je jednostavan, postojeći moment broda, dakle umnožak istisnine i međusobne udaljenosti središta istisnine i središta masa podjelimo sa MJT i dobiva se trim (t).

$$t = \frac{D_1(X_0 - X_G)}{MJT} \quad O(2.2-12)$$

U do sada prikazanim obrascima O(2.2-1) do O(2.2-12) neke se veličine uzimaju iz dijagramnog lista. To su krivulja središta (X_0) istisnine, krivulja središta (X_F) plovne vodne linije, krivulja MJT i krivulja istisnine D_0

kao funkcija gaza (T). Iz tog razloga prikazane su te krivulje u dijagramu na slici (2.2.1-1).

Potrebne apscise (X_G) središta broda dobivamo sistematskim proračunima, koje nazivamo "centracijama broda", što će biti prikazano u slijedećem poglavlju.

3. PRAKTIČKI PRIMJER

3.1. Osnovni tehnički podaci o motornom brodu 'KOZARA'

OPIS;

Jednoviječni brod s pramčanim bulbom, samotrimujućim skladištima za prijevoz rasutih tereta, specijalno pojačan, bez opreme za krcanje..

smještaj motora i nadgradnja : NA KRMI

tip i snaga motora:

SULZER MARINE

DIESEL ENGINE

8RD76, 8832 kW

registarska tonaža:

Bruto = 23 072,33

Neto = 14 591,43

glavne dimenzije;

Duljina preko svega

$L_{oa} = 199,000$ m

Duljina među okomicama

$L_{pp} = 188,000$ m

Širina proračunska

$B_r = 27,500$ m

Visina

$H = 15,500$ m

Ljetni gaz + nadvođe

$H = 15,557$ m

Ljetno nadvođe $F_b = 4,084 \text{ m}$
 Gaz na ljetnoj oznaci $T = 11,473 \text{ m}$

istisnina i nosivost;

Istisnina na ljetnom gazu $D_{\max} = 48\,674 \text{ tona}$
 Istisnina posve opremljenog broda (bez tereta, bez zaliha) $D_{\min} = 8\,997 \text{ tona}$
 Nosivost na ljetnom gazu $DWT = 39\,676 \text{ tona}$
 Trim jediničnog momenta na ljetnom gazu $MJT = \text{tm/cm}$
 Tone za 1 cm zagažaja na ljetnom gazu $= 45,76 \text{ tona/cm}$

kapacitet brodskih prostora za krcanje tereta;

Kapacitet skladišta za "grain" $= 45\,316,53 \text{ m}^3$
 Kapacitet skladišta za "bale" $= 43\,491,87 \text{ m}^3$
 Kapacitet visinsko-bočnih tankova kad se u njih krca teret $= 4\,491,52 \text{ m}^3$

kapacitet tankova balasta, goriva, maziva i vode:

Kapacitet balastnih tankova $14\,171,50 \text{ m}^3$
 Kapacitet tankova slatke vode $413,13 \text{ m}^3$
 Kapacitet tankova teškog goriva $3\,523,52 \text{ m}^3$
 Kapacitet tankova lakog goriva i maziva $241,81 \text{ m}^3$
 sveukupni kapacitet tankova: $18\,351,96 \text{ m}^3$

3.2. Podaci za prazan, opremljen brod**3.2.1. Brzina broda i potrošci goriva i vode**

Brzina nakrcanog broda $14,00 \text{ čvorova}$
 Dnevni potrošak teškog goriva $38,00 \text{ tona}$
 Dnevni potrošak lakog goriva $2,20 \text{ tona}$
 Dnevni potrošak slatke vode $6,00 \text{ tona}$
 Dnevni potrošak pitke vode $1,00 \text{ tona}$

3.2.2. Izračunavanje potrebne količine goriva i vode

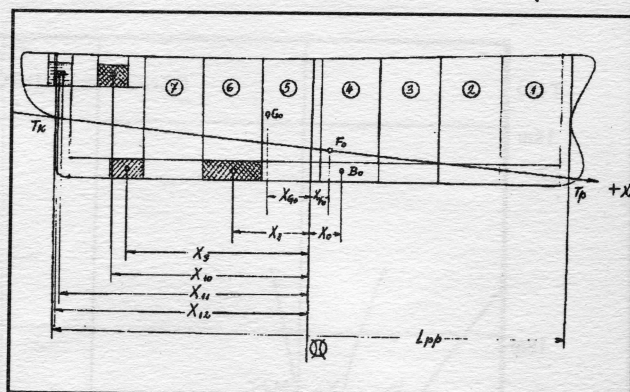
Udaljenost od luke A do luke B $6.120,00 \text{ Nm}$
 Udaljenost od luke B do luke C $330,00 \text{ Nm}$
 Potrebno vrijeme od luke A do luke B $18,21 \text{ dana}$
 Potrebno vrijeme od luke B do luke C $0,98 \text{ dana}$

3.2.3. Potrebno teško gorivo s rezervom

18,21 dana po 38 tona dnevno $692,00 \text{ tona}$
 Plus 25% zimske rezerve $173,00 \text{ tona}$
 Ekstra rezerva do prve bunker stanice nakon luke C $76,00 \text{ tona}$
 Neispumpljivo gorivo iz tankova dvodna br. 6 L/D $34,00 \text{ tona}$
 Potrebno teško gorivo s rezervom $975,00 \text{ tona}$

3.2.4. Potrebno lako gorivo s rezervom

18,21 dana po 2,2 tona dnevno $40,00 \text{ tona}$
 plus 25% zimske rezerve $10,00 \text{ tona}$
 Za manevar broda $5,00 \text{ tona}$



Sl.(3.3-1) Opremljen brod sa svim zalihamama i tekućinama, bez tereta

Za potrošak u luci $10,00 \text{ tona}$

Ekstra rezerva do prve bunker stanice nakon luke C $5,00 \text{ tona}$
 Potrebno lako gorivo s rezervom $70,00 \text{ tona}$

3.2.5. Potrebna slatka (pojna) i pitka voda

18,21 dana po 7 tona dnevno $128,00 \text{ tona}$
 Plus 25% zimske rezerve $32,00 \text{ tona}$
 Za potrošak u luci i ekstra rezerva do luke C $40,00 \text{ tona}$
 Potrebna slatka i pitka voda $200,00 \text{ tona}$

PRAZAN, OPREMLJEN BROD SVIM ZALIHAMA I TEKUĆINAMA U LUCIA

Tablica 1.

PRAZAN BROD			
Predmet	Mase m (tona)	Poluge x (metara)	Momenti M (metar-tona)
Predmet	Mase m (tona)	Poluge x (metara)	Momenti M (metar-tona)
1.Prazan brod	8 997,10	- 13,422	- 120 759
2.Potrebštine	2,03	- 87,005	- 177
3.Ostale mase	244,87	- 44,315	- 10 851
Prazan,opremljen brod	9 244,00	- 14,256	- 131 787
GORIVO + VODA			
Predmet	Mase m (tona)	Poluge x (metara)	Momenti M (metar-tona)
1.Voda,tank-br.1	120,00	-88,73	-10 646
2.Voda,tank-br.2	80,00	-89,75	-7 180
3.Lako gorivo	70,00	-71,84	-5 029
4.Teško gorivo u tanku stroja	200,00	-62,29	-12 458
5.Teško gorivo u dvodnu br.6	775,00	-29,04	-22 506
Gorivo + voda	1 245,00	-46,443	-57 821
PRAZAN BROD SA GORIVOM + VODOM			
Predmet	Mase m (tone)	Poluge x (metara)	Momenti M (metara-tona)
1.Prazan, opremljen brod	9 244,00	-14,256	-131 787
2.Gorivo + voda	1 245,00	-46,443	-57 821
Prazan brod sa gorivom + voda	10 489,00	-18,077	-189 608

Potrebno gorivo i voda planirani su dosta racionalno, jer se smatra da brod tokom putovanja neće potrošiti svu rezervu. Ako bi se to dogodilo moguće je u luci B izvršiti nadopunu za nastavak putovanja.

3.3. Plan krcanja, putovanja i iskrcavanja

3.3.1. Općenito

U jednoj američkoj luci A brod treba da ukrca teret od 34.526,28 tona žitarica za dvije jadranske luke i to: za prvu B luku 18.288,85 t, a za drugu C luku ostatak od 16.237,43 tona.

S obzirom na trajanje putovanja i ograničenu dubinu luke C brod se mora opskrbiti gorivom i vodom sa dovoljnom rezervom do luke B.

Budući da je u luci C ograničena dubina vode, a time i gaz broda, izvršen je takav raspored tereta, goriva i vode da brod, nakon potroška istih te djelimičnim balastiranjem, uplovi u luku C na ravnoj kobilici.

Da bi se to postiglo proračunato je da brod na isplavljenju iz luke B mora imati trim $t = + 0,061$ m. Radi toga brod se u luci B mora iskrcavati na takav način da se, nakon iskrcaja teret od 18.288,85 tona i potroška goriva i vode, postigne zadani trim $t = + 0,061$ m.

Dakle, nakon potroška goriva i vode u plovidbi od luke B do luke C brod mora na uplovljenju u luku C imati trim $t = 0,00$ m.

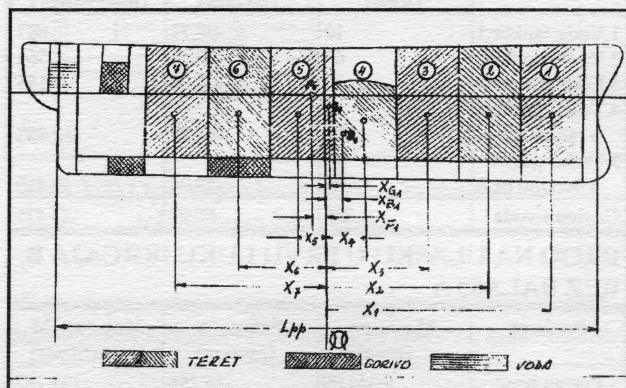
BROD NA IZLASKU IZ LUKE KRCANJA A

Tablica 2.

PRAZAN BROD SA GORIVOM + VODOM			
Predmet	Masa m (tona)	Poluge x (metara)	Momenti M (metar-tons)
1.Prazan, opremljen brod	9 244,00	-14,256	-131 787
2.Gorivo + voda	1 245,00	-46,443	-57 821
Prazan brod sa gorivom + voda	10 489,00	-18,077	-189 608
TERET U SKLADIŠTIMA			
Predmet	Mase m (tona)	Poluge x (metara)	Momenti M (metar-tons)
1.Skladište br.1	4 120,07	+ 72,232	+ 297 601
2.Skladište br.2	5 293,60	+ 52,587	+ 278 375
3.Skladište br.3	5 379,97	+ 32,135	+ 172 885
4.Skladište br.4	3 883,33	+ 11,649	+ 45 237
5.Skladište br.5	5 261,09	-8,751	-46 041
6.Skladište br.6	5 335,26	-28,929	-154 344
7.Skladište br.7	5 252,96	-49,332	-259 139
Teret	34 526,28	+ 9,690	+ 334 575
BROD NA IZLASKU IZ LUKE KRCANJA A			
Predmet	Mase m (tona)	Poluge x (metara)	Momenti M (metar-tons)
1.Prazan, opremljen brod	9 244,00	-14,256	-131 787
2.Gorivo + voda	1 245,00	-46,443	-57 821
3.Teret	34 526,28	+ 9,690	+ 334 575
Brod na izlasku iz luke A	45 015,28	+ 3,222	+ 145 027

3.3.2. Brod na izlasku iz luke krcanja

Da bi se prije početka krcanja napravio dobar raspored tereta po skladištima i zadovoljili svi uvjeti za izvršenje putovanja potrebno je poznavati i stanje praznog opremljenog broda sa gorivom i svim tekućinama tj.



Sl.(3.3-2) Brod na izlasku iz luke krcanja A

njihov raspored i mase prilagoditi traženim uvjetima, a naročito ograničenju gaza u drugoj iskrcajnoj luci C. Radi toga proračunata je centracija za prazan opremljen brod sa gorivom i svim tekućinama.

IZ DIJAGRAMNOG LISTA:

Gaz broda bez trima: $T_0 = 2,764$ m
 Apscisa središta istisnine B_0 $X_0 = + 4,865$ m
 Apscisa središta površine VL $X_{F0} = + 4,636$ m
 Moment jedinične pretege $MJT_0 = 43 530$ tm

IZ PRORAČUNA CENTRACIJE:

Displacement: $D_0 = 10 489$ t
 Apscisa središta sistema G_0 $X_{G_0} = -18,077$ m

SLIJEDI:

Trim = $\frac{10.489(4,864 + 18,077)}{43 530}$ $t = + 5,528$ m

Kut pretege $\tan \psi = + 5,528/188$ $\tan \psi = + 0,029404$
 Zatega broda $t_k = + (0,5 \times 188 + 4,636) 0,0294$
 $t_k = + 2,900$ m

Pretega broda $t_p = -(0,5 \times 188 - 4,636) 0,0294$ $t_p = - 2,628$ m
 Gaz na krmi $T_k = 2,764 + 2,900$ $T_k = 5,664$ m
 Gaz na pramcu $T_p = 2,764 - 2,628$ $T_p = 0,136$ m

IZ DIJAGRAMNOG LISTA:

Gaz broda bez trima: $T_1 = 10,673$ m
 Apscisa središta istisnine B_1 $X_1 = + 3,223$ m
 Apscisa središta VL $X_{F1} = - 0,460$ m
 Moment jedinične pretege $MJT_1 = 55 123$ tm

IZ PRORAČUNA CENTRACIJE:

Displacement: $D_1 = 45 015,28$ t
 Apscisa središta sistema G_1 $X_{G1} = + 3,222$ m

POTROŠAK GORIVA I VODE NA PRVOM
DIJELU PUTOVANJA

Tablica 3.

GORIVO + VODA			
Predmet	Mase m (tona)	Poluge x (metara)	Momenti M (metar-tona)
1.Voda,tankbr.1	10	-88,73	-887
2.Voda,tankbr.2	62	-89,75	-5 564
3.Lako gorivo	30	-71,84	-2 155
4.Teško gorivo u tanku stroja	200	-62,29	-12 458
5.Teško gorivo u dvodnu br.6	83	-29,04	-2 410
Gorivo + voda	385	-60,97	-23 475

BROD NA ULASKU U PRVU LUKU IKRCAJA B, BEZ BALASTA			
Predmet	Mase m (tona)	Poluge x (metara)	Momenti M (metar-tona)
1.Prazan brod	9 244,00	-14,256	-131 787
2.Gorivo + voda	385,00	-60,97	-23 474
3.Teret	34 526,28	-9,69	-334 575
Brod na ulasku u luku B, bez balasta	44 155,28	-4,062	-179 374

SLIJEDI:

$$\text{Trim } t = \frac{45\,015,28(3,243 - 3,222)}{55\,123} \quad t = +0,018 \text{ m}$$

$$\text{Kut pretege } \tan\psi = +0,018/188 \quad \tan\psi = +0,000093$$

$$\text{Zatega broda } t_k = +(0,5 \times 188 - 0,460)0,000093$$

$$t_k = +0,009 \text{ m}$$

$$\text{Pretega broda } t_p = -(0,5 \times 1,88 + 0,460)0,000093$$

$$t_p = -0,009 \text{ m}$$

$$\text{Gaz na krmu } T_k = 10,673 + 0,009 \quad T_k = 10,682 \text{ m}$$

$$\text{Gaz na pramcu } T_p = 10,673 - 0,009 \quad T_p = 10,664 \text{ m}$$

3.3.3. Potrošak goriva i vode na prvom dijelu
putovanja

U točki 3.2. dati su podaci o trajanju prvog dijela putovanja kao i količine s utrošcima goriva i vode. Iz tih podataka je vidljivo da će brod potrošiti do prve iskrcajne luke B 692 tone teškog goriva i 40 tona lakog goriva kao i 128 tona vode. Da bi brod tokom putovanja imao što povoljniji trim, utrošak goriva i vode postupno će se kompenzirati krcanjem balasta u tanku dvodna br. 7; pri tome će se voditi računa o utjecaju slobodnih površina na stabilitet broda.

IZ DIJAGRAMNOG LISTA:

$$\text{Gaz broda bez trima:} \quad T_2 = 10,484 \text{ m}$$

$$\text{Apscisa središta istisnine } B_2 \quad X_2 = +3,310 \text{ m}$$

$$\text{Apscisa središta } V_1 \quad X_{F2} = -0,225 \text{ m}$$

$$\text{Momenti jedinične pretege} \quad MJT_2 = 54\,550 \text{ tm}$$

IZ PRORAČUNA CENTRACIJE:

$$\text{Displacement:} \quad D_2 = 44\,155,28 \text{ t}$$

$$\text{Apscisa središta sistema } G_2 \quad X_{G2} = +4,062 \text{ m}$$

SLIJEDI:

$$\text{Trim } t = \frac{44\,155,28(4,062 - 3,310)}{54\,550} \quad t = -0,609 \text{ m}$$

$$\text{Kut pretege } \tan\psi = -0,609/188 \quad \tan\psi = -0,0032382$$

$$\text{Zatega broda } t_k = -(0,5 \times 188 - 0,225)0,0032382$$

$$t_k = -0,304 \text{ m}$$

$$\text{Pretega broda } t_p = +(0,5 \times 188 + 0,225)0,0032382$$

$$t_p = +0,305 \text{ m}$$

$$\text{Gaz na krmu } T_k = 10,484 - 0,304 \quad T_k = 10,180 \text{ m}$$

$$\text{Gaz na pramcu } T_p = 10,484 + 0,305 \quad T_p = 10,789 \text{ m}$$

3.3.4. Uplovljenje u prvu luku iskrcaja B

IZ DIJAGRAMNOG LISTA:

$$\text{Gaz broda bez trima:} \quad T_3 = 10,654 \text{ m}$$

$$\text{Apscisa središta istisnine } B_3 \quad X_3 = +3,252 \text{ m}$$

$$\text{Apscisa središta VL} \quad X_{F3} = -0,439 \text{ m}$$

$$\text{Moment jedinične pretege} \quad MJT_3 = 55\,074 \text{ tm}$$

IZ PRORAČUNA CENTRACIJE:

$$\text{Displacement:} \quad D_3 = 44\,941,28 \text{ t}$$

$$\text{Apscisa središta sistema } G_3 \quad X_{G3} = +3,137 \text{ m}$$

SLIJEDI:

$$\text{Trim } t = \frac{44\,941,28(3,252 - 3,137)}{55\,074} \quad t = +0,094 \text{ m}$$

BROD NA ULASKU U PRVU LUKU KRCANJA B

Tablica 4.

BROD NA ULASKU U LUKU B, BALASTIRAN TANK BR. 7			
GORIVO + VODA + BALAST			
Predmet	Mase m (tona)	Poluge x (metara)	Momenti M (metar-tona)
1.Voda,tank-br.1	10	-88,73	-887
2.Voda,tank-br.2	62	-89,73	-5 564
3.Lako gorivo	30	-71,84	-2 155
4.Teško gorivo u tanku stroja	200	-62,29	-12 458
5.Teško gorivo u dvodnu br.6	83	-29,04	-2 410
6.Balast u tanku dvodna br.7	786	-48,86	-38 404
Gorivo + voda + balast	1 171	-52,84	-61 878
BROD NA ULASKU U PRVU LUKU ISKRCAJA B BALASTIRAN TANK BR. 7			
Predmet	Mase m (tona)	Poluge x (metara)	Momenti M (metar-tona)
1.Prazan brod	9 244,00	-14,256	-131 787
2.Gorivo + voda + balast	1 171,00	-52,84	-61 878
3.Teret	43 526,28	-9,69	+334 575
Brod na ulasku u luku iskrcaja B	44 941,28	+3,137	+140 970

Kut pretege $\tan\psi = + 0,094/188$ $\tan\psi = + 0,000501$
 Zatega broda $t_k = +(0,5 \times 188 - 0,439)0,000501$
 $t_k = + 0,047$ m
 Pretega broda $t_p = (0,5 \times 188 + 0,439)0,000501$ m
 $t_p = - 0,048$ m
 Gaz na krmi $T_k = 10,654 + 0,047$ $T_k = 10,701$ m
 Gaz na pramcu $T_p = 10,654 - 0,047$ $T_p = 10,607$ m

3.3.5. Izlazak iz prve luke iskrcaja B

Poznato je koliko tereta treba iskrcati i u prvoj i u drugoj luci, ali nije poznato kakav treba biti pojedinačni raspored tereta u svih sedam skladišta.

Za proračun tih pojedinačnih masa tereta po skladištima uzima se da je iskrcaj i drugi dio tereta (16 237,43) u prvoj luci, pa će se izvršiti centracija (Sl.3.3.-3) za opremljen brod sa svim zalihama i tekućinama, ali ovaj put bez tereta. Time se dobivaju svi potrebni podaci koji služe za proračun takvog pojedinačnog tereta po skladištima da brod postigne zadani trim.

Centracija će se izvesti da bi se izračunala apscisa X_{G_4} , središte sistema G_4 opremljenog broda sa svim tekućinama na izlasku iz luke B, ali bez tereta u skladištima.

Upotreba te apscise objasniti će se kasnije.

U točki 3.2. rečeno je da u prvoj luci iskrcaja B trebamo iskrcati 18 188,85 tona tereta.

S obzirom da na izlasku iz prve luke iskrcaja B trim broda mora biti $t = + 0,061$ m da bi, nakon potroška goriva i vode tokom plovidbe do druge luke iskrcaja C, brod uplovio u luku C na ravnoj kobilici - to u prvoj luci iskrcaja B, uzevši u obzir potrošak goriva i vode u luci B, teret se mora tako iskrcati da trim na izlasku iz luke B zaista i bude $t = 0,061$ m.

Dakle masa tereta m_{T_s} predviđena za iskrcaj u luci B je: $m_{T_s} = 18 288,85$ t

IZ DIJAGRAMNOG LISTA:

Gaz broda bez trima: $T_4 = 2,689$ m
 Apscisa središta istisnine B4 $X_4 = + 4,877$ m
 Apscisa središta VL $X_{F_4} = + 4,712$ m
 Moment jedinične pretege $M_{J_4} = 42 994$ tm

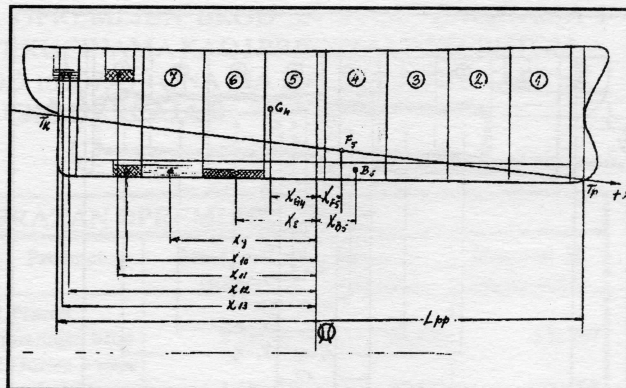
IZ PRORAČUNA CENTRACIJE:

Deplacment: $D_4 = 10 394$ t
 Apscisa središta sistema G_4 $X_{G_4} = -18,452$ m

SLIJEDI:

Trim $t = \frac{10 393(4,877 - 18,452)}{42 994}$ $t = + 5,640$ m

Kut pretege $\tan\psi = + 5,640/188$ $\tan\psi = + 0,03$
 Zatega broda $t_k = +(0,5 \times 188 + 4,712)0,003$
 $t_k = + 2,960$ m
 Pretega broda $t_p = -(0,5 \times 188 - 4,712)0,003$ $t_p = -2,678$ m
 Gaz na krmi $T_k = 2,687 + 2,960$ $T_k = 5,647$ m
 Gaz na pramcu $T_p = 2,687 - 2,677$ $T_p = 0,01$ m



Sl.(3.3-3) Opremljen brod sa svim zalihama i tekućinama bez tereta

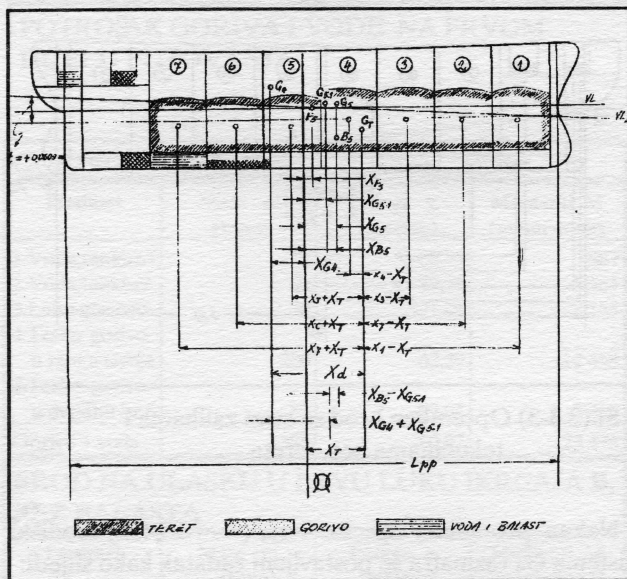
Nakon proračuna apscise X_{G_4} ($= - 18,452$) središta sistema G_4 razmatra se postavljeni zadatak kako slijedi:

1. Kako se traži da brod nakon iskrcaja prvog dijela tereta, u prvoj luci iskrcaja, od 18 188,85 tona ima trim $t = 0,061$ m to se mora izračunati nova apscisa središta sistema koja će izazvati promjenu trima od $= 0,061$ m. Drugim riječima to znači da se središte sistema G_5 pomakne u novi položaj $G_{5.1}$. To je položaj središta sistema opremljenog

PRAZAN BROD SA ZALIHAMA I TEKUĆINAMA U LUCI ISKRCAJA B

Tablica 5.

PRAZAN BROD			
Predmet	Mase m (tona)	Poluge x (metara)	Momenti M (metar-tona)
1.Prazan brod	8 997,10	-13,422	-120 759
2.Potrebštine	2,03	-87,005	-177
3.Ostale mase	244,87	-44,315	-10 851
Prazan, opremljen brod	9 244,00	-14,256	-131 787
GORIVO + VODA			
Predmet	Mase m (tona)	Poluge x (metara)	Momenti M (metar-tona)
1.Voda,tank-br.1	8	-88,73	-710
2.Voda,tank-br.2	47	-89,75	-4 218
3.Lako gorivo	26	-71,84	-1 868
4.Teško gorivo u tanku stroja	200	-62,29	-12 458
5.Teško gorivo u dvodnu br.6	83	-29,04	-2 410
6.Balast u tanku dvodna br.7	786	-48,86	-38 404
Gorivo + voda + balast	1 150	-52,233	-60 068
PRAZAN BROD SA GORIVOM + VODOM + BALASTOM			
1.Prazan brod	9 244,00	-14,256	-131 787
2.Gorivo + voda + balast	1 150,00	-52,233	-60 068
Prazan brod sa gorivom + vodom + balast	10 394	-18,452	-191 795



Sl.(3.3-4) Određivanje uzdužnog pomaka središta sistema G₄ opremljenog broda zalihama i tekućinama, bez tereta

broda s teretom od 16 237,43 tone za slučaj da pluta na ravnoj kobilici.

2. Sada je potrebno odrediti takav položaj središta sistema G_T preostalog tereta (16 237,43 t), da se središte sistema G₄ opremljenog broda bez tereta (Sl.3.3-3 i Sl.3.3-4) pomakne u G_{5.1}.

To ustvari znači da raspored preostalog tereta za drugu luku iskrcaja C mora biti takav da rezultantno središte tereta iz svih sedam skladišta mora padati u položaj G_T, jer se u tom slučaju središte sistema G₄ opremljenog broda (ali bez tereta) (Sl.3.3-4.) pomiče u novi položaj G_{5.1}, a time se prouzrokuje i zahtijevani trim od t = + 0,061 m.

VL je vodna linija broda na ravnoj kobilici kad središte sistema G₅ ima jednaku apscisu kao i središte istisnine B₅.

VL₁ je vodna linija broda s trimom t = + 0,061 m, nakon što se je središte sistema G₅ pomaklo u novi položaj G_{5.1} stvorivši tako polugu trima čija je apscisa X_{B5} - X_{G5.1}.

Za daljnje računanje potrebni su podaci za slučaj kad brod s preostalim teretom (16 237,43 t) pluta na ravnoj kobilici. Ovi podaci, kao središte istisnine B, središte vodne linije F, deplalsman D itd., vade se s gazom ravnog broda kao apscisom. Ako brod nije ravan mora se izračunati gaz koji odgovara središtu plutanja F za tu vodnu liniju.

(Koristimo Tablicu 5.)

Displacement = 10 394 + 16 237,43 D₅ = 26 631,43 t

IZ DIJAGRAMNOG LISTA :

Gaz broda bez trima	T ₅ = 6,510 m
Apscisa središta istisnine B ₅	X _{B5} = + 4,346 m
Apscisa središta VI	X _{F5} = + 3,155 m
Moment jedinične pretege	MJT ₅ = 47 565 tm

IZ PRORAČNA CENTRACIJE:

Apscisa središta sistema G ₄	X _{G4} = -18,452 m
---	-----------------------------

Apscisa središta sistema kad se uzme i preostali teret na brodu (16 237,43 t) s obzirom da je brod ravan ista je kao i za B₅ X_{G5} = + 4,346 m

3.3.6. Kontrola proračuna

1. Izračunavanje apscisa koja prouzrokuje traženi trim od t = + 0,061 m i položaja konačnog središta sistema G_{5.1}.

$$(X_{B5} - X_{G5.1}) = \frac{MJT_5 \cdot t}{D_5}$$

$$(X_{B5} - X_{G5.1}) = \frac{47\,565 \cdot 0,061}{26\,631,43} = 0,108$$

$$X_{G5.1} = + 4,346 - 0,108 = + 4,238$$

Dakle apscisa konačnog položaja središta sistema opremljenog broda sa svim potrebnim tekućinama i teretom od 16 237,43 t je + 4,238.

2. Izračunavanje udaljenosti X_d, vidi sl. (3.3-4) za koju treba zajedničko središte tereta (16 237,43 t) G_T biti udaljeno od središta sistema G₄ prema sl. (3.3-3) i sl. (3.3-4) da bi se novo središte sistema opremljenog broda i s dijelom tereta m_{T1} (16 237,43) našlo u položaju G_{5.1}.

Iz slike 3.3-4 vidi se da je tražena udaljenost X_d jednaka:

$$X_d = X_{G4} + X_T$$

Na osnovu poučka o pomaku središta imamo, (X_{G4} + X_{G5.1}) : X_d = m_{T1} : D₅

$$X_d = \frac{(X_{G4} + X_{G5.1}) \cdot D_5}{m_{T1}}$$

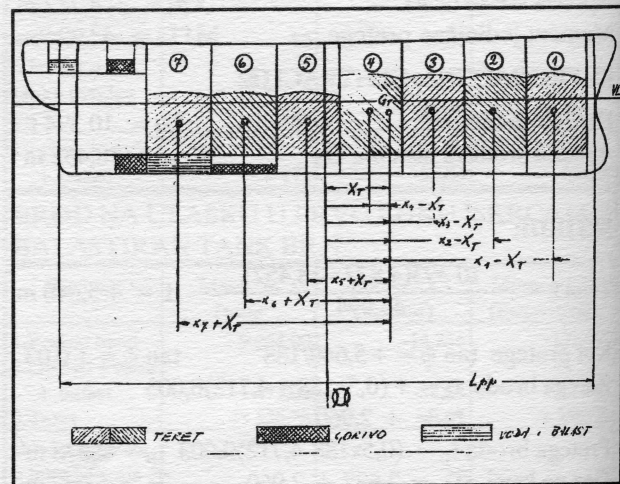
a dalje je,

$$(X_{G4} - X_{G5.1}) = 18,452 + 4,238 = 22,69 \text{ m}$$

pa je,

$$X_d = \frac{22,69 \times 26\,631,43}{16\,237,43} = 37,214 \text{ m}$$

što predstavlja traženu daljinu na kojoj se, udaljeno od središta sistema G₄, mora naći G_T.



Sl.(3.3-5) Oznake apscisa pojedinih masa tereta

I konačno se može izračunati i apscisu središta tereta G_T ,

$$X_T = X_d - X_{G4} = 37,214 - 18,452 = 18,762$$

$$X_T = + 18,762 \text{ m}$$

3. Iz slike 3.3-2 slijede apscisa tereta pojedinih skladišta:

$$x_1 = + 72,232 \text{ m} \quad x_5 = - 8,751 \text{ m}$$

$$x_2 = + 52,587 \text{ m} \quad x_6 = - 28,929 \text{ m}$$

$$x_3 = + 32,135 \text{ m} \quad x_7 = - 49,332 \text{ m}$$

$$x_4 = + 11,649 \text{ m}$$

Suma pozitivnih apscisa je,

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 168,603 \text{ m}$$

a suma negativnih apscisa je,

$$(-x_5) - (-x_6) - (x_7) = -87,012 \text{ m}$$

Označimo li sa:

B_5 = središte istisnine kompletnog broda nakon iskrcaja prvog dijela tereta (18 288,85 t) i pred isplovljenje iz luke B, sa apscisom X_{B5}

G_5 = središte sistema mase istog broda kada pluta na ravnoj kobilici (X_{G5} jednako X_{B5})

$G_{5.1}$ = pomaknuto središte sistema broda, ali sa zategom od 0,061m i sa apscisom $X_{G5.1}$

G_4 = središte sistema opremljenog broda sa zalihama i svim tekućinama, ali bez tereta sa apscisom X_{G4} .

G_T = središte mase preostalog tereta od 16 237,43 tona sa apscisom X_T .

m_p = masa tereta pojedinih skladišta na pramcu (ukupno 4 m_p)

m_k = masa tereta pojedinih skladišta na krmi (ukupno 3 m_k)

to slijedi momentna jednadžba:

$$m_p(x_1 - X_T) + m_p(x_2 - X_T) + m_p(x_3 - X_T) + m_p(x_4 - X_T) = m_k(x_5 + X_T) + m_k(x_6 + X_T) + m_k(x_7 + X_T)$$

odnosno,

$$m_p(x_1 + x_2 + x_3 + x_4) - m_p 4X_T = m_k(x_5 + x_6 + x_7) + m_k 3X_T \quad (1)$$

a s obzirom da je,

$$4m_p + 3m_k = \text{preostali dio tereta} = 16\,237,43 \text{ tona} \quad (2)$$

to se sada rješava ovaj sistem jednadžbi u kojima su sve veličine poznate osim m_p i m_k , koje se traže. Uvrstimo li u gornje jednadžbe odgovarajuće vrijednosti dobivamo,

$$168,603 m_p - 4x18,762055 m_p = 87,012 m_k + 3x18,76205 \quad (1A)$$

$$i \quad 4x1,5317028 m_k + 3 m_k = 16\,237,43 \text{ t} \quad (2A)$$

$$\text{slijedi,} \quad 93,5548 m_p = 143,29815 m_k \quad (1B)$$

$$9,1268 m_k = 16\,237,43 \text{ t} \quad (2B)$$

Rješenje tih jednadžbi daje,

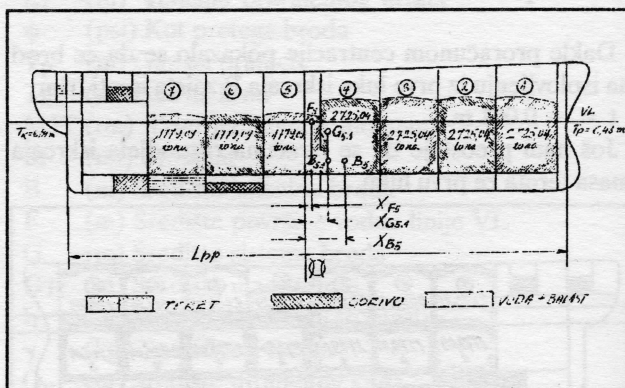
$$m_k = 1\,779,09 \text{ tona}$$

$$m_p = 2\,725,04 \text{ tona}$$

OPREMLJEN BROD SA SVIM ZALIHAMA I TEKUĆINAMA KAO I PREOSTALIM TERETOM OD 16 237,43 TONA, NA ISPLOVLJENJU IZ PRVE LUKE ISKRCAJA B

Tablica 6.

PRAZAN OPREMLJEN BROD			
Predmet	Mase m (tona)	Poluge x (metara)	Momenti M (metar-tona)
1.Prazan, opremljen brod	9 244,00	-14,256	-131 787
2.Gorivo + voda + balast	1 150,00	-52,233	-60 068
Prazan brod sa gorivom + sve tekućine	10 394,00	-18,452	-191 795
TERET ZA DRUGU LUKE ISKRCAJA C			
Predmet	Mase m (tona)	Poluge x (metara)	Momenti M (metar-tona)
1.Skladište br.1	2 725,04	+ 72,232	+ 196 835
2.Skladište br.2	2 725,04	+52,587	+ 143 302
3.Skladište br.3	2 725,04	+32,135	+87 569
4.Skladište br.4	2 725,04	+11,649	+31 744
5.Skladište br.5	1 779,09	-8,751	-15 569
6.Skladište br.6	1 779,09	-28,929	-51 467
7.Skladište br.7	1 779,09	-49,332	-87 764
Teret	16 237,43	+4,238	+ 304 650
BROD NA IZLASKU IZ PRVE LUKE ISKRCAJA B			
Predmet	Mase m (tona)	Poluge x (metara)	Momenti M (metar-tona)
1.Prazan, opremljen brod	9 244,00	-14,256	-131 787
2.Gorivo + voda + balast	1 150,00	-52,233	-60 068
3.Teret	16 237,43	+ 18,762	+ 304 650
Brod na izlasku iz luke B	26 631,43	+4,238	+ 112 855



Sl.(3.3-6) Opremljen brod sa svim zalihama i tekućinama za plovidbu od luke B do luke C, nakrcan sa preostalim teretom od 16 237,43 t za luku C

Iz toga slijedi da će u pramčanim skladištima biti pojedinačno po skladištu jednake mase tereta, tj. 2 725,04 tona, a po svakom krmenom po 1 779,09 tona.

To se može provjeriti uvrštavanjem rezultata u jednadžbu (2), kako slijedi,

$$4 \times 2\,725,04 + 3 \times 1\,779,09 = 16\,237,43$$

$$10\,900,16 + 5\,337,27 = 16\,237,43$$

Prije nego li se na bazi ovih dobivenih rezultata proračuna raspodjela iskrcaja masa tereta po svim skladištima za prvu iskrcajnu luku treba izvesti još centraciju za stanje broda na isplovljenju iz prve luke iskrcaja B, i to sa gore određenim masama tereta po pramčanim i krmenim skladištima.

Osnovna svrha centracije je, da se provjeri da će u kupna pretege na isplovljenju iz prve luke iskrcaja B, nakon iskrcaja 18 288,85 tona tereta, biti $t = +0,061$ m.

IZ DIJAGRAMNOG LISTA:

Gaz broda bez trima	$T_5 = 6,510$ m
Apscisa središta istisnine B ₅	$X_{B5} = +4,346$ m
Apscisa središta VL	$X_{F5} = +3,155$ m
Moment jedinič ne pretege	$MJT_5 = 47\,565$ tm

IZ PRORAČUNA CENTRACIJE:

Deplacement:	$D_5 = 26\,631,43$ t
Apscisa središta sistema G ₅	$X_{G5} = +4,238$ m

SLIJEDI:

$$\text{Trim } t = \frac{26\,631,43(4,346 - 4,238)}{47\,565} \quad t = +0,061 \text{ m}$$

$$\text{Kut pretege } \tan \psi = +0,0609166/188 \quad \tan \psi = +0,000324$$

$$\text{Zatega broda } t_k = +(0,5 \times 188 + 3,155)0,000324$$

$$t_k = +0,032 \text{ m}$$

$$\text{Pretega broda } t_p = -(0,5 \times 188 - 3,155)0,000324$$

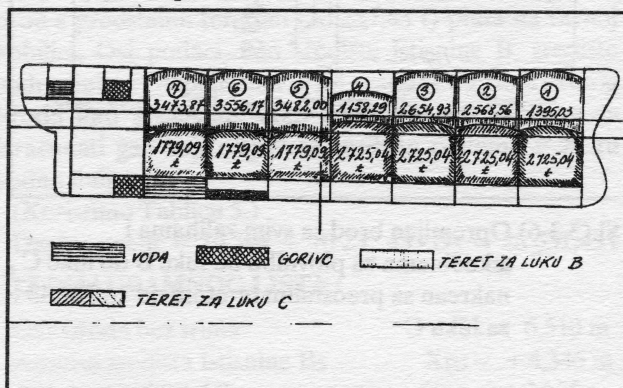
$$t_p = -0,03 \text{ m}$$

$$\text{Gaz na krmi } T_k = 6,510 + 0,032 \quad T_k = 6,542 \text{ m}$$

$$\text{Gaz na pramcu } T_p = 6,510 - 0,029 \quad T_p = 6,481 \text{ m}$$

Dakle proračunom centracije pokazalo se da će brod na isplovljenju iz prve luke iskrcaja B zaista imati trim $t = +0,061$ m.

Još nam preostaje da se izračuna raspodjela iskrcaja masa tereta za prvu luku.



Sl.8. Masa od 18 288,85 tona tereta za prvu luku iskrcaja B i 16 237,43 tona tereta za drugu luku iskrcaja C

Tablica 7

Prostor	masa m _{Tu} (tona)	masa m _{Ti} (tona)	masa m _{Ts} (tona)
1	2	3	4
1.Skladište br.1	4 120,07	2 725,04	1 395,03
2.Skladište br.2	5 293,60	2 725,04	2 568,56
3.Skladište br.3	5 379,97	2 725,04	2 654,93
4.Skladište br.4	3 883,33	2 725,04	1 158,29
5.Skladište br.5	5 261,09	1 779,09	3 482,00
6.Skladište br.6	5 335,26	1 779,09	3 556,17
7.Skladište br.7	5 252,96	1 779,09	3 473,87
Ukupno	34 526,28	16 237,43	18 288,85

Označi li se sa:

m_{Tu} = ukupna masa tereta na ulasku u prvu luku iskrcaja B (= 34 526,28 t)

m_{Ts} = ukupna masa tereta za iskrcaj u prvoj luci B (= 18 288,85 t)

m_{Ti} = ukupna masa tereta za iskrcaj u drugoj luci C tj. na izlazu iz prve luke B (= 16 237,43 t)

slijedi,

$$m_{Ts} = m_{Tu} - m_{Ti}$$

i pojedinačno po skladištima,

$$m_{kTs} = m_{kTu} - m_{kTi}$$

U tablici 7. u stupcu br. 4 dane su mase tereta koje treba iskrcati iz svakog pojedinog skladišta u prvoj iskrcajnoj luci B, a da brod, nakon iskrcaja 18 288,86 tona tereta i potroška goriva i vode u luci B, na isplovljenju iz luke B za drugu iskrcajnu luku C ima trim $t = +0,061$ m.

Te mase ćemo unijeti u plan iskrcaja tereta u prvoj iskrcajnoj luci B i predati isti primaocima.

3.3.7. Potrošak goriva i vode na drugom dijelu putovanja od luke B do luke C

Na osnovu podataka iz točke 3.2. brod će u plovidbi od luke B do luke C potrošiti 36 tona teškog goriva, 6 tona lakog goriva (uključen potrošak u manovri) i 7 tona vode. Utrošak tih masa ima za posljedicu promjenu trima, te će brod uploviti u drugu luku iskrcaja C na ravnoj kobilici, a to je i osnovni smisao postavljenog zadatka.

3.3.8. Uplovljavanje u drugu luku iskrcaja C

Uzevši u obzir potroške goriva i vode navedene u točki 3.3.6. i preostali teret od 16 237,43 tona kao i potrebne zalihe proračunat će se kontrolna centracija za stanje broda prilikom uplovljavanja u luku C.

IZ DIJAGRAMNOG LISTA:

Gaz broda bez trima:	$T_6 = 6,499$ m
Apscisa središta istisnine B ₆	$X_6 = +4,359$ m
Apscisa središta VL	$X_{F6} = +3,164$ m
Moment jedinične pretege	$MJT_6 = 47\,553$ tm

BROD NA UPLOVLJENJU U DRUGU LUKU
ISKRCAJA C

Tablica 8.

PRAZAN BROD			
Predmet	Mase m (tona)	Poluge x (metara)	Momenti M (metar-tona)
1.Prazan brod	8 997,10	-13,422	-120 759
2.Potrebštine	2,03	-87,005	-177
3.Ostale mase	244,87	-44,315	-10 851
Prazan, opremljen brod	9 244,00	-14,356	-131 787
GORIVO + VODA + BALAST			
1.Voda,tank-br.1	7,00	-88,73	-621
2.Voda,tank-br.2	41,00	-89,75	-3 680
3.Lako gorivo	20,00	-71,84	-1 437
4.Teško gorivo u tanku stroja	164,00	-62,29	-10 216
5.Teško gorivo u dvođnu br.6	83,00	-29,04	-2 410
6.Balast u dvođnu br.7	786,00	-48,86	-38 404
Gorivo + voda + balast	1 101,00	-51,56	-56 768
TERET			
Predmet	Mase m (tona)	Poluge x (metara)	Momenti M (metar-tona)
1.Skladište br.1	2 725,04	+ 72,232	+ 196 835
2.Skladište br.2	2 725,04	+ 52,587	+ 143 302
3.Skladište br.3	2 725,04	+ 32,135	+ 87 569
4.Skladište br.4	2 725,04	+ 11,649	+ 31 744
5.Skladište br.5	1 779,09	-8,751	-15 569
6.Skladište br.6	1 779,09	-28,929	-51 467
7.Skladište br.7	1 779,09	-49,332	-87 766
Teret	16 237,43	+ 18,762	+ 304 648
BROD NA UPLOVLJENJU U DRUGU LUKU C			
1.Prazan, opremljen brod	9 244,00	-14,256	-131 727
2.Gorivo + voda + balast	1 101,00	-51,560	-56 768
3.Teret	16 237,43	+ 18,762	-304 648
Beod na ulasku u luku C	26 582,43	+ 4,369	-116 153

IZ PRORAČUNA CENTRACIJE:

Displacement: $D_6 = 26 582,43$ t
 Apscisa središta sistema G_6 $X_{G_6} = -4,369$ m

SLIJEDI:

Trim $t = \frac{26 582,43(4,369 - 4,359)}{47 553}$ $t = -0,006$ m

Kut pretege $\tan \psi = -0,006/188$ $\tan \psi = -0,00003$
 Zatega broda $t_k = -(0,5 \times 188 + 3,164)0,00003$
 $t_k = -0,003$ m

Pretega broda $t_p = +(0,5 \times 188 - 3,164)0,00003$
 $t_p = +0,003$ m

Gaz na krmi $T_k = 6,499 - 0,003$ $T_k = 6,496$ m
 Gaz na pramcu $T_p = 6,499 + 0,003$ $T_p = 6,502$ m

Iz proračuna proizlazi da brod praktički pluta na ravnoj kobilici što se i trebalo dokazati.

ZAKLJUČAK

Danas se ovakvi zahtjevi u praksi na brodovima rješavaju najsuvremenijim računalima, te se do rezultata dolazi veoma brzo. Traženi podaci očitavaju se na ekranu računala i u isto vrijeme odštampavaju printerom. Osim toga računalo daje podatke o čvrstoći broda što je neobično važno, tako da se za svki pojedini slučaj može donijeti najoptimalnija odluka.

Mišljenja sam, da se rad s računalom, bez solidnog poznavanja osnovnih principa hidrostatičke, svodi na prostu manipulaciju tastaturom računala, što u slučaju kvara može imati neželjene posljedice.

S namjerom da naglasim neprolaznu vrijednost klasične teorije, uz puni respekt informatike, ovaj rad sam i napisao.

5. TABLICA SIMBOLA I NJIHOVO
ZNAČENJE

D	(t) Deplasman broda
DWT(t)	Nosivost na ljetnom gazu
F _b	(m) Visina ljetnog nadvođa
L _{oa}	(m) Duljina preko svega
L _{pp}	(m) Duljina među okomicama
B _r	(m) Širina proračunska
H	(m) Visina
H	(m) Ljetni gaz nadvođe
T	m) Gaz broda
t _p	(m) Pretega broda
t _k	(m) Zatega broda
t	(m) Trim broda
Δ _t	(m) Veličina praralelnog urona
ψ	(psi) Kut pretege broda
T _p	(m) Gaz na pramcu
T _k	(m) Gaz na krmi
MJT	(tm) Trim jediničnog momenta
M	(mt) Moment
B	(m) Središte istisnine broda
F	(m) Središte površine vodne linije VL
G	(m) Središte sistema broda
G _T	(m) Središte masa tereta
I _L	(m ⁴) Uzdužni moment tromosti
γ	(kg) Specifična težina
O _u	(m) Središte uronjenog klina
O	(m) Središte izronjenog klina
Q	(m) Središte paralelnog sloja
ML	(m) Uzdužni metacentar
ΔD	(t) Dodatni uzgon
R	(m) Uzdužni metacentarski radijus
X	(m) Apscise glavnih središta u sistemu broda
x	(m) Apscise središta masa pojedinačnih tereta

N.B. Numerički i slovački indeksi upotrebljeni u tekstu imaju svoj logički redoslijed i vezu.

6. UPOTREBLJENA LITERATURA

- | | | | |
|-----------------------------------|---|---------------------------------------|--|
| 1. BULJAN Ivo | STABILNOST BRODA,
Školska knjiga, Zagreb 1982. | 8. MILOŠEVIĆ M.Š. | NAUKA O BRODU, III DIO
Kotor, 1961. |
| 2. BENIGAR V. | STABILITET BRODA,
VPŠ, Rijeka 1960. | 9. MUCKLE.W | NAVAL ARCHITECTURE
FOR MARINE ENGINEERS
Newnes - Butterworths, London, 1975. |
| 3. BAXTER Brian | NAVAL ARCHITECTURE,
The English Universities Press Ltd.,
London | 10. RAWSON, K.J. | BASIC SHIP THEORY,
Volume I, Third edition
Longman, London, New York, 1983. |
| 4. FATUR Josip | TEORIJA BRODA,
Zagreb, 1954. | 11. PODRUGIN, E.M.
GORAJAČEV, A.M. | USTROISTVO I OSNOVI
TEORII MORSKI SUDOVA,
Izdateljstvo "Sudostroenie",
Leningrad, 1971. |
| 5. GILMER Thomas
JOHNSON Bruce | INTRODUCTION TO NAVAL
ARCHITECTURE
Annapolis, Maryland, USA 1983. | 12. URŠIĆ Josip | PLOVNOST BRODA,
Sveučilište u Zagrebu, 1966. |
| 6. LOVRIČEVIĆ Božo | KRCANJE BRODOVA,
Školska knjiga, Zagreb 1961. | 13. URŠIĆ Josip | STABILITET BRODA,
Sveučilište u Zagrebu, 1962. |
| 7. McKERREL J. | BROWN'S PRACTICAL
POCKET-BOOK FOR
MERCHANT SEAMEN, Glasgow, 1958. | 14. | POMORSKA ENCIKLOPEDIJA,
Jugoslavenski leksikografski zavod,
Zagreb, 1972. (drugo izdanje) |

Jadranska slobodna plovidba

SPLIT

Obala Jugoslavenske narodne armije 16
Telefon: 058/43-333, 42-984, 41-185, 42-985, 43-550, 589-333

Telex: yu jadrop 26-138 i 26-117, yu jadro 26-339

Ispostava RIJEKA
Obala Jugoslavenske mornarice 16
P. O. B. 127

Telegram: JADROPLOV — RIJEKA • Telex: 024-117 • Telefon: 22-623, 22-626, 22-881

Vrši redovite teretno-putničke linije i službe:

1. JADRAN — VELIKA JEZERA (Kanada i SAD)
2. JADRAN — BLISKI ISTOK — CRVENO MORE
3. JADRAN — AUSTRALIJA — NOVI ZELAND
4. JADRAN — ISTOČNA OBALA AFRIKE
5. SLOBODNA PLOVIDBA /tramp servis/