

DOPRINOS PRELIMINARNOM OSNIVANJU TANKERA ZA PRIJEVOZ SIROVE NAFTE

**mr.sc. Danko Gugic¹, dipl.ing.,
dr. sc. Vedran Slapnicar², dipl. ing.,
Juraj Brigic³, dipl. ing**

¹Brodarski Institut d.o.o., Av. V. Holjevca 20, Zagreb, HRVATSKA
Tel. ++386 1 6504 115, fax. ++386 1 6504 230

gdanko@hrbi.hr

²Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb
vedran.slapnicar@fsb.hr

³Ministarstvo obrane Republike Hrvatske, Zagreb
juraj.brigic@zg.hinet.hr

Sažetak: Temeljem podaka o 111 izgrađenih suvremenih tankera za prijevoz sirove nafte analizirane su zavisnosti volumena teretnih i balastnih tankova o nosivosti, istisnini i glavnim izmjerama. Ove zavisnosti su definirane regresijskim izrazima čiji su koeficijenti determinacije veći od 0.9. Definiran je model za preliminarno određivanje glavnih značajki tankera pomoću regresijskih izraza. Na primjeru tankera nosivosti 250000 tona pokazana je primjenjivost ovog modela.

Ključne riječi: tankeri za prijevoz sirove nafte, preliminarni projekt, volumen teretnih tankova, volumen balastnih tankova

A CONTRIBUTION TO PRELIMINARY CRUDE OIL TANKER DESIGN

**mr.sc. Danko Gugic¹, dipl.ing.,
dr. sc. Vedran Slapnicar², dipl. ing.,
Juraj Brigic³, dipl. ing**

¹Brodarski Institut d.o.o., Av. V. Holjevca 20, Zagreb, CROATIA
Tel. ++386 1 6504 115, fax. ++386 1 6504 230

gdanko@hrbi.hr

²Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb
vedran.slapnicar@fsb.hr

³Ministarstvo obrane Republike Hrvatske, Zagreb
juraj.brigic@zg.hinet.hr

Summary: The dependences of cargo tanks volume and ballast tanks volume on deadweight, displacement and main dimensions are analysed based on the characteristics of 111 contemporaneous built crude oil tankers. These dependences are defined by the regression equations for which determination coefficient are greater than 0.9. The model for preliminary crude oil tanker design are build based on the regression equations. The application of this model is shown in the example of 250000 DWT crude oil tanker design.

Keywords: crude oil tankers, preliminary design, cargo tanks volume, ballast tanks volume

1. UVOD

Suvremeni tankeri, zbog dvodna i dvoboka, postali su brodovi čiji je volumen potrebno kontrolirati, [1], već u fazi preliminarnog projekta. U tom smislu se u ovom radu istražuju zavisnosti između volumena teretnih, V_T , i balastnih tankova, V_B , tankera za prijevoz sirove nafte o njihovoj istisnini, nosivosti i glavnim dimenzijama. Cilj rada je, temeljem podataka o izgrađenim suvremenim tankerima za prijevoz sirove nafte, regresijskom analizom definirati spomenute zavisnosti izrazima koji mogu poslužiti u preliminarnom projektu.

Podaci za spomenute analize uzeti su iz baze podataka o tankerima, objavljene u [2], koja sadrži značajke 215 tankera, izgrađenih u periodu od 1991. do 2001. godine, svih vrsta i velicina. Za potrebe ovog rada korišteni su podaci o tankerima za prijevoz sirove nafte, nosivosti veće od 50 000 t i duljine veće od 200 m, za ukupno 111 brodova. Granicne vrijednosti značajki razmatranih brodova su dane u Tablici 1.

Tablica 1. Granicne vrijednosti značajki tankera za prijevoz sirove nafte u bazi podataka za 111 tankera

Značajka	Vrijednost značajke	
	najmanja	najveća
Duljina između okomica L_{pp} , m	205.00	366.00
Širina B, m	32.20	68.00
Najveći gaz (scantling draft) T_S , m	12.02	24.92
Projektni gaz (design draft) T_D , m	11.75	23.00
Visina D, m	17.60	34.00
Omjer L_{pp} / B	5.28	6.83
Omjer L_{pp} / D	9.91	12.72
Omjer B / T_S	2.30	3.45
Omjer B / T_D	2.64	3.54
Omjer D / T_S	1.36	1.48
Omjer D / T_D	1.38	1.75
Nosivost na najvećem gasu DWT_S , t	63360	442470
Istisnina na najvećem gasu ρ_s , t	81500	507770

U spomenutoj bazi podataka za većinu brodova dane su vrijednosti nosivosti i istisnine na najvećem gasu T_S . Za neke brodove nedostajao je podatak o istisnini pa je ona određena pomoću koeficijenta punoce. Vrijednost koeficijenta punoce izračunata je prema kalibriranom izrazu Jensena navedenom u [3]. Faktor kalibracije 0.981 određen je prema vrijednostima koeficijenta punoce onih brodova za koje je bila poznata istisnina. Kako je istisnina bila na najvećem gasu to je izračunata vrijednost koeficijenta punoce C_{BS} za najveći gaz:

$$C_{BS} = 0.981 * (-4.22 + 27.8 * F_n^{1/2} - 39.1 * F_n + 46.6 * F_n^3) \quad (1)$$

uvrštena u bazu podataka. Radi kompletnosti podataka, pomoću vrijednosti istisnine na projektnom i najvećem gasu, koje su bile poznate za dovoljan broj brodova, nađena je veza između koeficijenata punoce na projektnom, C_{BD} , i najvećem gasu:

$$C_{BD} = 0.896 * C_{BS} + 0.0819 \quad (2)$$

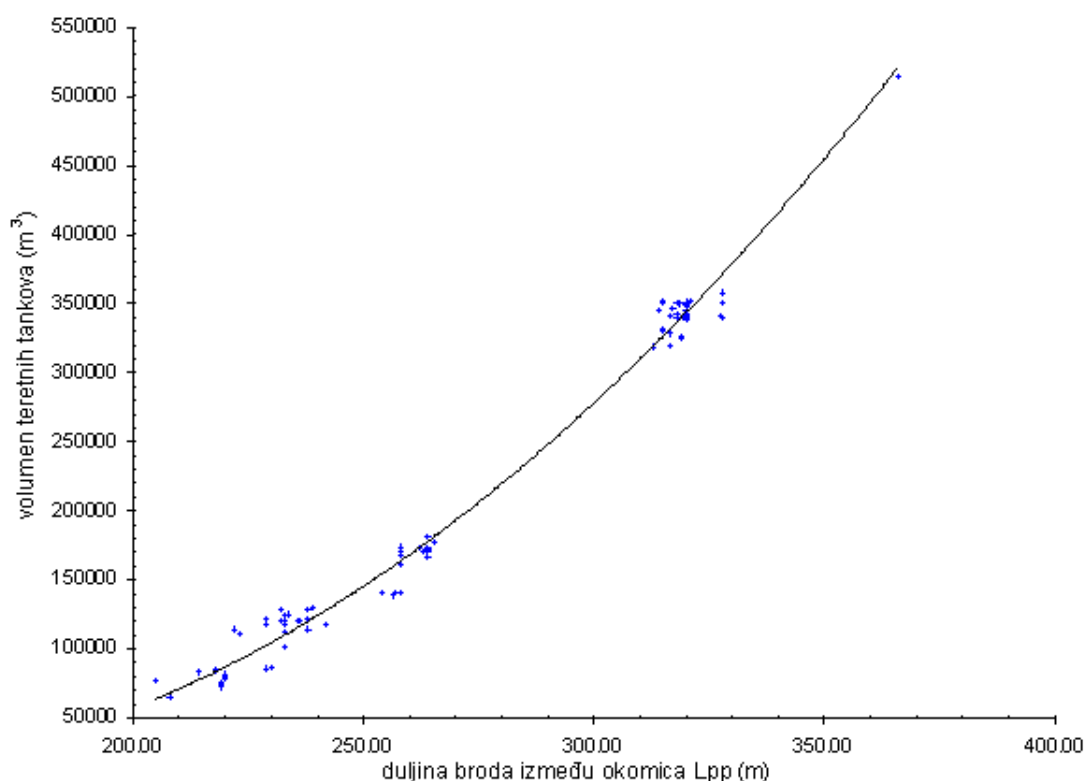
Zavisnosti između volumena teretnih i balastnih tankova o istisnini, nosivosti i glavnim dimenzijama određene su u poglavlju 2 a primjer određivanja glavnih značajki tankera za prijevoz sirove nafte dan je u poglavlju 3.

2. ZAVISNOSTI VOLUMENA TERETNIH I BALASTNIH TANKOVA O ZNACAJKAMA TANKERA ZA PRIJEVOZ SIROVE NAFTE

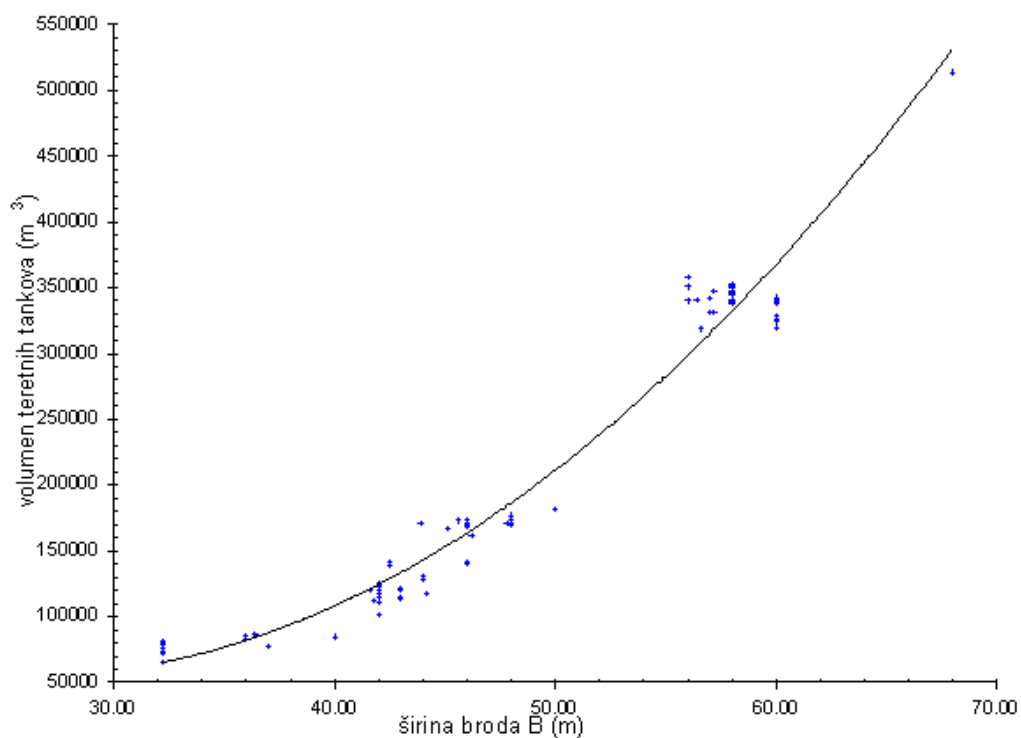
Izrazi koji definiraju zavisnosti volumena teretnih i balastnih tankova o duljini, širini i visini broda te nosivosti i istisnini dani su u Tablici 2 skupa s pripadajucim vrijednostima koeficijenta determinacije. Kako je vrijednost koeficijenta determinacije veca od 0.64, za sve izraze, prema [4] nadenе zavisnosti definiraju cvrstu korelacijsku vezu izmedu volumena teretnih odnosno balastnih tankova i razmatranih znacajki tankera. Dijagramima na Slikama 1 do 6 prikazane su neke od nadenih zavisnosti.

Tablica 2. Regresijski izrazi

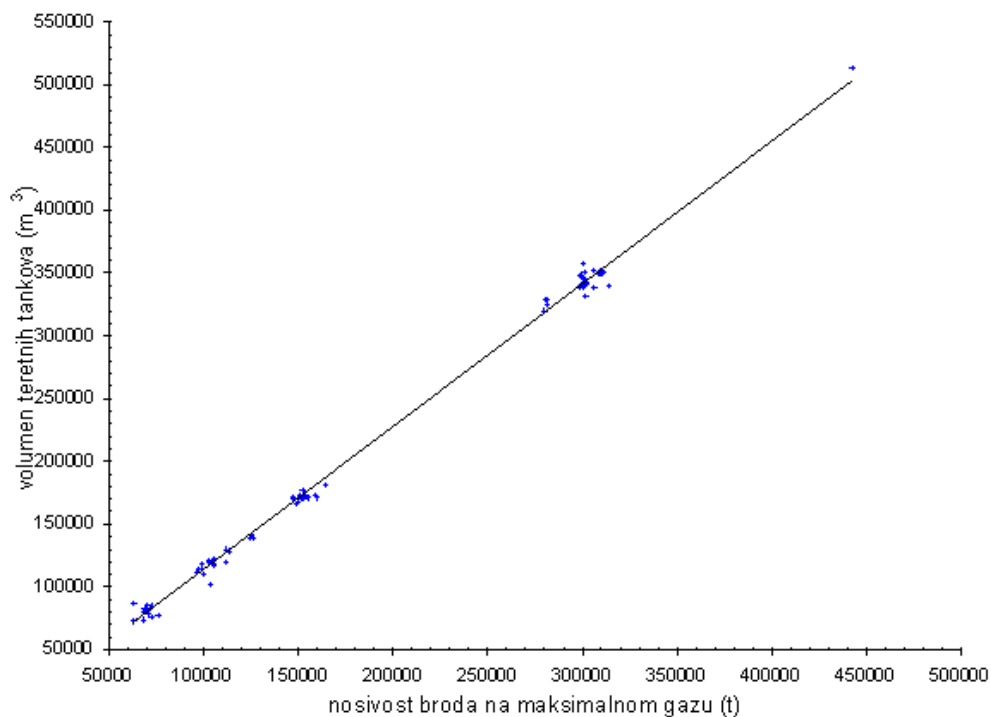
Izraz	Koeficijent determinacije R^2	Broj izraza
$V_T = 8.875 \cdot L_{pp}^2 - 2230.0 \cdot L_{pp} + 1.48 \cdot 10^5$	$R^2 = 0.988$	(3)
$V_T = 267.9 \cdot B^2 - 13800.0 \cdot B + 2.317 \cdot 10^5$	$R^2 = 0.965$	(4)
$V_T = 22800.0 \cdot D - 3.587 \cdot 10^5$	$R^2 = 0.964$	(5)
$V_T = 1.141 \cdot DWT_S - 965.5$	$R^2 = 0.998$	(6)
$V_T = 1.016 \cdot ?_S - 5650.0$	$R^2 = 0.998$	(7)
$V_B = 1.998 \cdot L_{pp}^2 - 359.2 \cdot L_{pp} + 1.36 \cdot 10^4$	$R^2 = 0.986$	(8)
$V_B = 73.33 \cdot B^2 - 3710.0 \cdot B + 6.90 \cdot 10^4$	$R^2 = 0.970$	(9)
$V_B = 6380.0 \cdot D - 9.19 \cdot 10^4$	$R^2 = 0.947$	(10)
$V_B = 0.319 \cdot DWT_S + 7240.0$	$R^2 = 0.987$	(11)
$V_B = 0.282 \cdot ?_S + 6610.0$	$R^2 = 0.987$	(12)



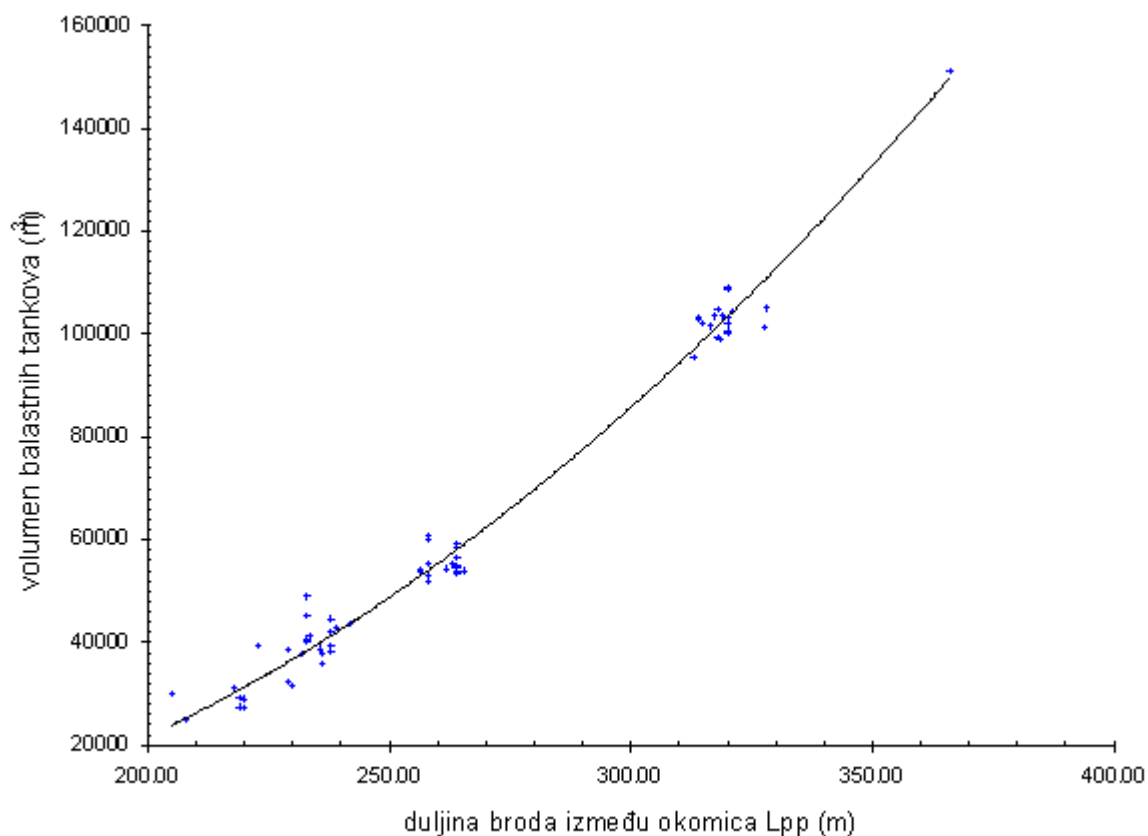
Slika 1. Ovisnost volumena teretnih tankova o duljini između okomica, krivulja predstavlja izraz (3)



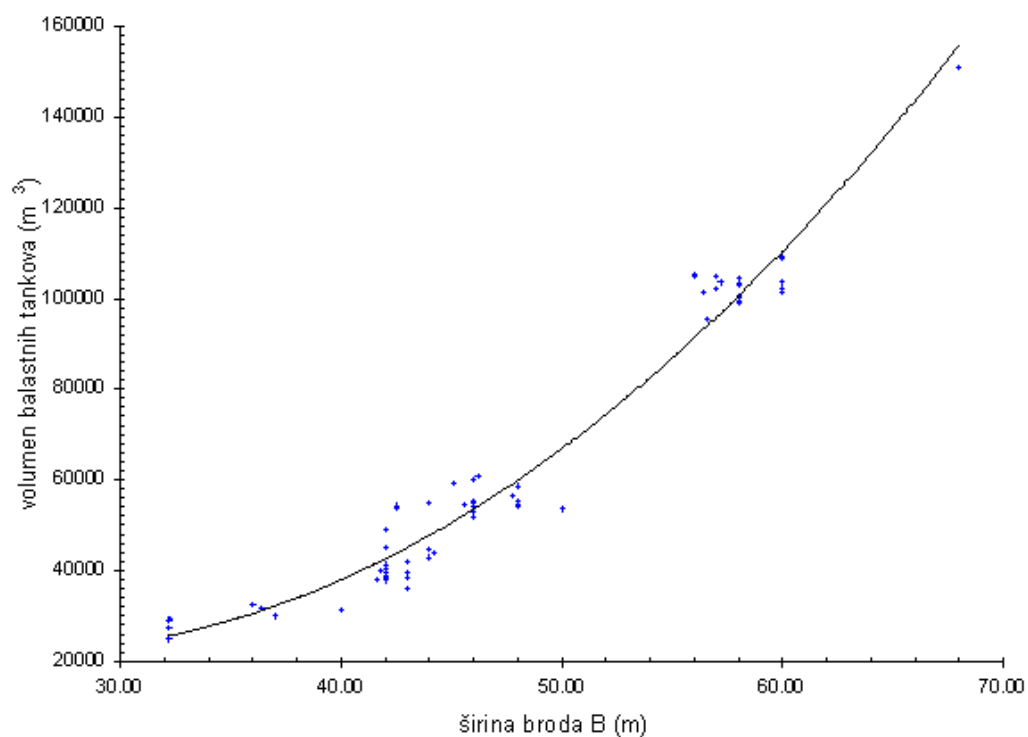
Slika 2. Ovisnost volumena teretnih tankova o širini, krivulja predstavlja izraz (4)



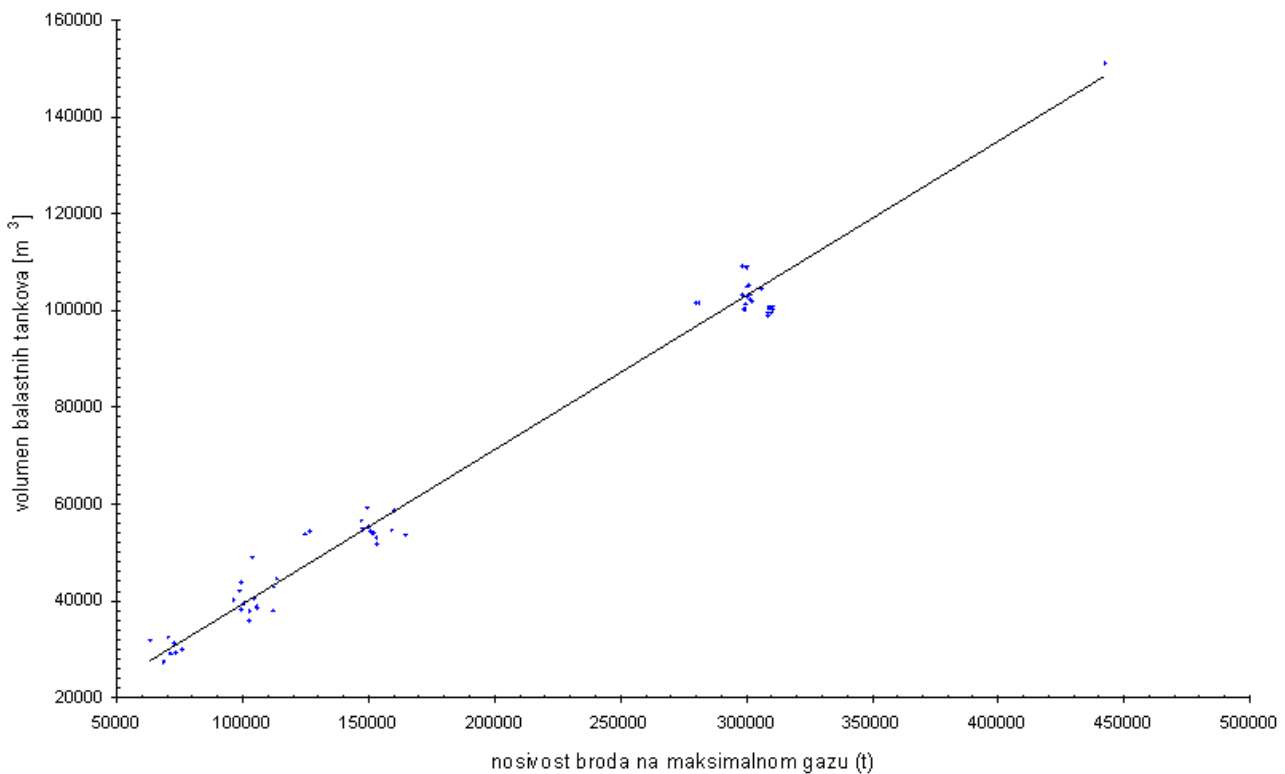
Slika 3. Ovisnost volumena teretnih tankova o nosivosti na najvećem gasu, krivulja predstavlja izraz (6)



Slika 4. Ovisnost volumena balastnih tankova o duljini između okomica, krivulja predstavlja izraz (8)



Slika 5. Ovisnost volumena balastnih tankova o širini, krivulja predstavlja izraz (9)



Slika 6. Ovisnost volumena balastnih tankova o nosivosti na najvećem gasu, krivulja predstavlja izraz (11)

Gledajući na vrijednosti volumena teretnih i balastnih tankova za pojedine brodove, na Slikama 1 do 6, uočljivo je rasipanje ovih vrijednosti oko krivulja koje predstavljaju vrijednosti izračunate pomoću regresijskih izraza (3) do (12). Ova rasipanja niti u jednom slučaju ne ugrožavaju navedene zakonitosti a odraz su različitosti pojedinih brodova ili, možda, netočnosti publiciranih podataka. Na Slikama 1 i 4 rasipanja su manja nego na Slikama 2 i 5. Veza između volumena teretnih i balastnih tankova o duljini između okomica jaca je od veze između volumena teretnih i balastnih tankova o širini. Treba istaknuti vrlo mala rasipanja na Slikama 3 i 5 na kojima je prikazana ovisnost volumena teretnih odnosno balastnih tankova o nosivosti.

Na Slikama 1 do 6 nema podataka za izgrađene brodove u područjima: duljine između okomica oko 300 m i 350 m, širine oko 55 m i 65 m te nosivosti oko 250 000 t i 400 000 t. Grupe podataka van ovih područja navedene zakonitosti efikasno povezuju.

Za ostale navedene zavisnosti definirane izrazima (5), (7), (10) i (12), koje nisu pokazane slikama radi uštede na prostoru, vrijedi prije rečeno. Analizirana je također zavisnost volumena teretnih i balastnih tankova o gasu ali navedena korelacijska veza nije bila kvalitetna.

3. ODREĐIVANJE GLAVNIH ZNAČAJKI TANKERA ZA PRIJEVOZ SIROVE NAFTE

Za primjer određivanja glavnih značajki tankera za prijevoz sirove nafte odabran je brod, u području u kojem nema podataka u bazi podataka za 111 tankera, nosivosti na projektnom gasu $DWT_D = 250\,000$ t i brzine na pokusnoj vožnji $V = 16,9$ cvorova uz 100% MCR - projekt A. Namjera je bila usporediti projekt A s nekim odgovarajućim izgrađenim tankerom čije značajke nisu u bazi podataka.

Kako izrazi (3) do (12) nisu dovoljni za postizanje postavljenog cilja, pomoću podataka iz baze podataka o 111 tankera, navedeni su dodatni regresijski izrazi dani u Tablici 3 skupa s pripadajućim vrijednostima koeficijenta determinacije

Tablica 3. Dodatni regresijski izrazi

Izraz	Koeficijent determinacije R^2	Broj izraza
$D = 1.313 \cdot T_S + 1.765$	$R^2 = 0.994$	(13)
$DWT_D = 0.9187 \cdot DWT_S - 777.0$	$R^2 = 0.995$	(14)
$?_S = 1.523 \cdot DWT_S^{0.977}$	$R^2 = 0.999$	(15)

Regresijski izrazi (14), (3), (4), (5), (13) i (7) prevedeni su, u formu pogodnu za određivanje glavnih značajki projekta A, u izraze (17) do (21):

$$DWT_S = (DWT_D + 777.0) / 0.9187 \quad (16)$$

$$L_{pp} = 125.63 + (0.1127 \cdot V_T - 892.21)^{1/2} \quad (17)$$

$$B = 25.76 + (0.003733 \cdot V_T - 201.5)^{1/2} \quad (18)$$

$$D = (V_T + 3.587 \cdot 10^5) / 22800.0 \quad (19)$$

$$T_S = (D - 1.765) / 1.313 \quad (20)$$

$$?_S = (V_T + 5650.0) / 1.016 \quad (21)$$

Vrijednost koeficijenta punoce odredit ce se po definicijskom izrazu, racunajuci s gustocom morske vode od 1.026 t/m^3 :

$$C_{BS} = ?_S / (1.026 \cdot L_{pp} \cdot B \cdot T_S) \quad (22)$$

Po definiciji koeficijenta iskoristivosti istisnine iz izraza (15) izveden je donji izraz:

$$?_{DWT} = 0.657 \cdot DWT^{0.023} \quad (23)$$

Proracun vrijednosti glavnih značajki projekta A dan je u Tablici 4 kroz cetnaest koraka. Potrebno je

Tablica 4. Proracun vrijednosti glavnih značajki projekta A

Korak	Izraz	Broj izraza	Izracunato
1	$DWT_S = (DWT_D + 777.0) / 0.9187$	(16)	$DWT_S = 272969.4 \text{ t}$
2	$V_T = 1.141 \cdot DWT_S - 965.5$	(6)	$V_T = 310492.6 \text{ m}^3$
3	$V_B = 0.319 \cdot DWT_S + 7240.0$	(11)	$V_B = 94317.2 \text{ m}^3$
4	$L_{pp} = 125.63 + (0.1127 \cdot V_T - 892.21)^{1/2}$	(17)	$L_{pp} = 310.29 \text{ m}$
5	$B = 25.76 + (0.003733 \cdot V_T - 201.5)^{1/2}$	(18)	$B = 56.70 \text{ m}$
6	$D = (V_T + 3.587 \cdot 10^5) / 22800.0$	(19)	$D = 29.35 \text{ m}$
7	$T_S = (D - 1.765) / 1.313$	(20)	$T_S = 21.01 \text{ m}$
8	$?_S = (V_T + 5650.0) / 1.016$	(21)	$?_S = 311164.0 \text{ t}$
9	$C_{BS} = ?_S / (1.026 \cdot L_{pp} \cdot B \cdot T_S)$	(22)	$C_{BS} = 0.8205$
10	$?_S = 1.523 \cdot DWT_S^{0.977}$	(15)	$?_S = 311733.3 \text{ t}$
11	$F_n = 0.51444 \cdot V / (9.81 \cdot L_{pp})^{1/2}$		$F_n = 0.1576$
12	$C_{BS} = 0.981 \cdot (-4.22 + 27.8 \cdot F_n^{1/2} - 39.1 \cdot F_n + 46.6 \cdot F_n^3)$	(1)	$C_{BS} = 0.8206$
13	$T_S = ?_S / (1.026 \cdot L_{pp} \cdot B \cdot C_{BS})$		$T_S = 21.05 \text{ m}$
14	$C_{BD} = 0.896 \cdot C_{BS} + 0.0819$	(2)	$C_{BD} = 0.817$

komentirati rezultate polucene u koracima 8 i 10, 7 i 13 te 9 i 12. Razlika vrijednosti istisnine na najvećem gasu, određenih u 8. koraku pomocu volumena teretnih tankova i u 10. koraku pomocu nosivosti na najvećem gasu, iznosi 569.3 t ili 0.18% . Shodno ovome su i razlike najvećih gazova, određenih u koracima 7 i 13, vrlo male i iznose 0.04 m ili 0.19% . Interesantne su razlike vrijednosti koeficijenta punoce odredene u 9. koraku po definicijskom izrazu, u kojem se koriste vrijednosti odredene regresijskim izrazima, i

vrijednosti određene u 12. koraku pomoću izraza (1) dobijenog kalibriranjem Jensenovog izraza. Apsolutna je razlika 0.0001 ili 0.012 %.

Radi usporedbe mase broda s masom istisnine izračunat će se mase lakog broda m_{LS} , masa celika trupa m_S , masa pogonskog postrojenja m_{PP} i masa opreme m_O donjim izrazima:

$$m_{LS} = m_S + m_{PP} + m_O \quad (24)$$

$$m_S = L_{PP} * B * D * C_S \quad (25)$$

$$C_S = 0.0664 + 0.064 * e^{-(0.5 * u + 0.1 * u^{2.45})} \quad (26)$$

$$u = \log_{10}(0.01 * ?) \quad (27)$$

$$m_{PP} = 8.172 * V^{2.52} * e^{0.00596 L_{WL} / N^{0.84}} + 0.523 * V^{2.1} * e^{0.0049 L_{WL}} \quad (28)$$

$$L_{WL} = 0.0005 * L_{PP}^2 + 0.8583 * L_{PP} + 13.174 \quad (29)$$

$$m_O = 0.2 * L_{PP} * B \quad (30)$$

Izrazi (25), (26) i (27) uzeti su iz [3], uz zanemarenje nadgrada; izrazi (28) i (29) iz [5] a izraz (30) iz [1]. Izračunate su sljedeće vrijednosti mase:

$$m_S = 34958.1 \text{ t}$$

$$m_{PP} = 2809.5 \text{ t}$$

$$m_O = 3518.7 \text{ t}$$

$$m_{LS} = 34958.1 + 2809.5 + 3518.7 = 41286.3 \text{ t}$$

Racunajući s netom izračunatom masom lakog broda određuju se:

- nosivost na najvećem gasu: $DWTS = 311733.3 - 41286.3 = 270447.0 \text{ t}$,
- istisnina na projektnom gasu: $?_D = 250000 + 41286.3 = 291286.3 \text{ t}$,
- projektni gaz: $T_D = 291286.3 / (1.026 * 310.29 * 56.70 * 0.817) = 19.75 \text{ m}$.

Pregled značajki projekta A i dvaju projekata iz [6], projekta B koji je osnovan primjenom višekriterijalnog projektnog modela s neizrazitim funkcijama cilja i projekta C koji je plovcevi tanker NAVIX ASTRAL, izgrađen 1996., dan je u Tablici 5.

Tablica 5. Pregled glavnih značajki projekata A, B i C

Značajka	Projekt A	Projekt B	Projekt C
Duljina između okomica, m	310.30	308.45	313.00
Širina, m	56.70	56.30	56.60
Projektni gaz, m	19.75	19.65	19.60
Najveći gaz, m	21.00	/	/
Visina, m	29.40	30.00	28.60
Istisnina na projektnom gasu, t	2912300.00	288000.00	/
Istisnina na najvećem gasu, t	311700.00	/	/
Koeficijent punoce na projektnom gasu	0.817	0.823	/
Koeficijent punoce na najvećem gasu	0.821	/	/
Nosivost na projektnom gasu, t	250000.00	249900.00	/
Nosivost na najvećem gasu, t	270400.00	264000.00	275600.00
Brzina, kn	16.90	15.30	14.90
Volumen teretnih tankova, m ³	310500.00	308400.00	/
Volumen balastnih tankova, m ³	94300.00	89100.00	122000.00

4. ZAKLJUCAK

Regresijskom analizom podataka za 111 izgrađenih tankera za prijevoz sirove nafte ustanovljene su korelacijski cvrste zavisnosti volumena teretnih i balastnih tankova o nosivosti, istisnini, duljini između okomica, širini i visini tankera, koje su definirane regresijskim izrazima. Gledajući na vrijednosti volumena teretnih i balastnih tankova za pojedine tankere uočljivo je rasipanje ovih vrijednosti oko krivulja koje predstavljaju vrijednosti izračunate pomoću regresijskih izraza. Ova rasipanja niti u jednom slučaju ne ugrožavaju nadene zakonitosti a odraz su razlika između pojedinih tankera ili, možda, netočnosti publiciranih podataka. Analizirana je također zavisnost volumena teretnih i balastnih tankova o gasu ali nadena korelacijska veza nije bila kvalitetna.

Temeljem nadenih regresijskih izraza formiran je jednostavan i efikasan model za određivanje volumena teretnih i balastnih tankova te glavnih izmjera tankera za prijevoz sirove nafte dan u Tablici 4. Pomoću ovog modela određene su glavne značajke za tanker nosivosti na projektnom gasu $DWT_D = 250\,000\text{ t}$ i brzine na pokusnoj vožnji $V = 16,9$ čvorova uz 100% MCR - projekt A. Apsolutne vrijednosti značajki kao i odnosi glavnih izmjera projekta A leže unutar granicnih vrijednosti značajki 111 brodova iz baze podataka koje su dane u Tablici 1. Treba istaknuti da je u Tablici 4 određena nosivost na najvećem gasu od 272969.4 t nakon što je određena masa lakog broda smanjena na 270447.0 t. Razlika od 2522.4 t ili 0.92 % nosivosti manja je od dozvoljene greške - 1.0 % prema navodu u [7].

Unutar samog modela za određivanje glavnih značajki ugrađene su tri mogućnosti kontrole kvalitete postupka u koracima 8 i 10, 7 i 13 te 9 i 12. Prvom se kontrolira vrijednost istisnine na najvećem gasu, koja se u 8. koraku određuje pomoću volumena teretnih tankova a u 10. koraku pomoću nosivosti na najvećem gasu. Razlike vrijednosti najvećih gazova, određenih u koracima 7 i 13, su druga mogućnost kontrole a treća je mogućnost kontrole prema razlikama vrijednosti koeficijenta punoće. Naime vrijednosti koeficijenta punoće u 9. koraku se određuju po definicijskom izrazu, u kojem se koriste vrijednosti određene regresijskim izrazima, a u 12. koraku pomoću izraza (1) dobijenog kalibriranjem Jensenovog izraza. Velicine apsolutnih i relativnih razlika mjera su kvalitete postupka odnosno polučenih rezultata.

Velicina projekta A odabrana je radi usporedbe s nekim odgovarajućim izgrađenim tankerom čije značajke nisu u bazi podataka i s nekim projektom osnovanim na drugi način. Namjera je ostvarena u Tablici 5. Razlike vrijednosti glavnih značajki projekata A, B i C sigurno su manje od razlika u metodama kojima su razmatrani projekti osnovani.

5. LITERATURA

- | | | |
|-----|-------------------------------|---|
| [1] | Watson, D. G. M.: | <i>Practical Ship Design</i> , Elsevier, Oxford, 1998. |
| [2] | Brigic, J.: | <i>Zavisnosti prostora o glavnim značajkama tankera</i> , diplomski rad, FSB, Zagreb, 2001. |
| [3] | Schneekluth, H., Bertram, V.: | <i>Ship design for efficiency and economy</i> , Butterworth – Heinemann, Oxford, 1998. |
| [4] | Šošić, I., Serdar, V.: | <i>Uvod u statistiku</i> , Školska knjiga Zagreb, 1995. |
| [5] | Gugic, D., Kota, I.: | Doprinos određivanju mase pogonskog postrojenja u preliminarnom projektu tankera, priredeno za XV Simpozij –Teorija i praksa brodogradnje, SORTA 2002, Trogir, 2002. |
| [6] | Vinchierutti, D.: | Preliminarni projekt tankera primjenom višekriterijalnog projektnog modela s neizrazitim funkcijama cilja, priredeno za XV Simpozij –Teorija i praksa brodogradnje, SORTA 2002, Trogir, 2002. |
| [7] | Belamaric, I.: | <i>Brod i entropija</i> , Književni krug, Split, 1998. |