

ODABIR FORME I PROCJENA OTPORA ZA OBALNI TANKER NOSIVOSTI 5000 TONA

Gregurek, Tin

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:844917>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-29**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Sveučilišni prijediplomski studij brodogradnje

Završni rad

**ODABIR FORME I PROCJENA OTPORA ZA OBALNI TANKER
NOSIVOSTI 5000 TONA**

Rijeka, rujan 2023.

Tin Gregurek

0035193545

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Sveučilišni prijediplomski studij brodogradnje

Završni rad

**ODABIR FORME I PROCJENA OTPORA ZA OBALNI TANKER
NOSIVOSTI 5000 TONA**

Mentor: doc. dr. sc. Dunja Legović

Komentor: prof. dr. sc. Roko Dejhalla

Rijeka, rujan 2023.

Tin Gregurek

0035193545

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tokom studija i navedenu stručnu literaturu.

Tin Gregurek

Zahvaljujem se mentorici doc. dr. sc. Dunji Legović na savjetima i stručnom vodstvu te razumijevanju i strpljenju.

Zahvaljujem i svojoj supruzi Sarah Gregurek za neizmjernu podršku i motivaciju.

Rijeka, 15. ožujka 2023.

Zavod: **Zavod za brodogradnju i inženjerstvo morske tehnologije**
Predmet: **Hidrodinamika plovnih objekata I**
Grana: **2.02.02 hidromehanika plovnih i pučinskih objekata**

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Tin Gregurek (0035193545)**
Studij: Sveučilišni prijediplomski studij brodogradnje

Zadatak: **ODABIR FORME I PROCJENA OTPORA ZA OBALNI TANKER NOSIVOSTI 5000 TONA / HULL FORM SELECTION AND RESISTANCE ESTIMATION FOR A COASTAL TANKER WITH DEADWEIGHT OF 5000 TONNES**

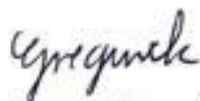
Opis zadatka:

Odabrati glavne dimenzije obalnog tankera nosivosti od 5000 tona na način da se može primijeniti MARAD sustavni niz modela brodova.

Primjenom navedenog sustavnog niza definirati formu broda te izraditi nacrt linija broda.

Izraditi proračun otpora za odabrano područje brzina za potpuno nakrcan brod i brod u balastu. Rezultate prikazati tablično i grafički te napraviti usporedbu dobivenih rezultata s rezultatima iz proračuna otpora prema metodi Holtrop-Mennen.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

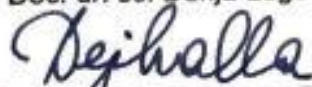


Zadatak uručen pristupniku: 20. ožujka 2023.

Mentor:



Doc. dr. sc. Dunja Legović



Prof. dr. sc. Roko Dejhalla (komentor)

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:



Prof. dr. sc. Roko Dejhalla

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Glavne dimenzije broda.....	2
2.1. Odabir glavnih dimenzija broda.....	2
2.2. Izračun i odabir ostalih veličina bitnih za proračun otpora.....	2
2.3. Nacrt linija broda.....	6
3. Otpor broda.....	12
3.1. Otpor broda prema MARAD-u	12
3.2. Otpor broda prema Holtrop-Mennen metodi	12
4. Izračun otpora broda i usporedba rezultata.....	15
4.1. Rezultati otpora broda prema MARAD-u.....	15
4.2. Rezultati otpora broda prema Holtrop Mennen metodi	19
4.3. Usporedba rezultata.....	21
5. Zaključak.....	32
Literatura	33
Popis simbola i oznaka	34
Popis slika	36
Popis tablica	37
Sažetak	38
Summary	39
Prilog 1	40
Prilog 2	43

1. Uvod

MARAD (MARitime ADministration) sustavni niz modela nastao je u sedamdesetim godinama prošlog stoljeća zbog potrebe tržišta za brodovima vrlo velike istisnine i malih brzina, ali koji mogu proći bitnim pomorskim kanalima. Zbog uvjeta prolaska kanalima, tim plovilima ograničen je gaz. Ograničenje gaza brodova rezultiralo je potrebom za novom serijom formi brodova koji imaju veliki koeficijent punoće istisnine, C_B , maleni omjer duljine i širine, L/B , te veliki omjer širine i gaza, B/T . Kako do tada nisu postojali sabrani podaci o hidrodinamičkim značajkama takvih plovila, Maritime Administration iz Sjedinjenih Američkih Država, ugovorio je sa Hydronautics Incorporated, iz Marylanda, SAD, osmišljavanje i ispitivanje takvog sustavnog niza modela koji bi udovoljio prethodno navedene zahtjeve geometrije forme. Od 1971. do 1977. identificirani su parametri, razvijene su linije formi, napravljena su modelska ispitivanja i analiza rezultata. Razvijeno je 16 modela kojima su ispitani otpor, propulzija i upravljivost. Rezultati su objavljeni 1987. u konsolidiranoj i editiranoj formi, koja se danas skraćeno zove MARAD [1].

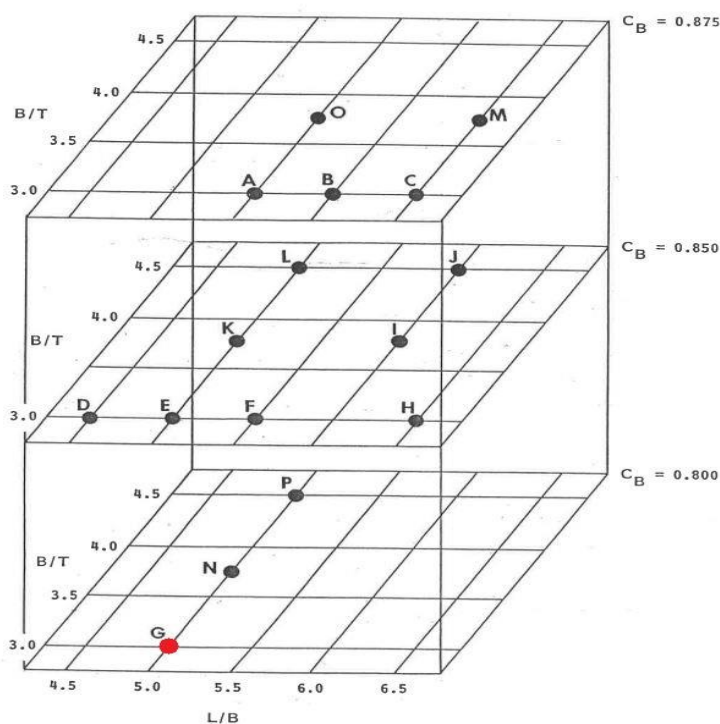
Holtrop i Mennen metoda jedna je od najkorištenijih metoda za procjenu ukupnog otpora broda. Metoda je nastala 1977. godine ali je nekoliko puta revidirana od strane autora, pa je tako konačna verzija objavljena 1984. Zbog toga je metoda danas poznatija pod imenom Holtrop 1984. Holtrop i Mennen su regresijskom analizom (regresijska analiza, ili interpolacija, je statistička obrada međusobno zavisnih varijabli) obradili podatke modelskih ispitivanja sakupljene u institutu MARIN u Wageningenu u Nizozemskoj. Sakupljeni podaci sadržavali su 1707 mjerenja otpora modela i 1287 mjerenja propulzije obavljenih sa 147 modela, te 82 mjerenja na pokusnim vožnjama 46 brodova u naravi. Iako kritizirana zbog svoje složenosti i nejasnoće fizike problema, na kojoj se temelje formule, mnogi projektanti je koriste jer daje prihvatljive rezultate [2]. Metoda Holtrop-Mennen se sastoji od kompliciranih formula, no korištenjem računalnih softvera to više nije problem, a i na mreži postoje već gotovi kalkulatori u koje se može unijeti parametre geometrije broda kako bi se dobio rezultat ukupnog otpora broda.

Cilj ovog rada je odabrati brodsku formu za tanker nosivosti 5000 tona koja odgovara parametrima MARAD sustavnog niza modela te usporediti rezultate ukupnog otpora broda dobivene MARAD metodom te metodom Holtrop 1984 za brod u potpuno nakrcanom stanju i balastnom stanju.

2. Glavne dimenzije broda

2.1. Odabir glavnih dimenzija broda

Brod za proračun ima nosivost 5000 tona. Morski brodovi nosivosti 5000 tona imaju duljinu L_{OA} između 85 i 110 metara, ovisno o širini i gasu broda. Da brod uđe unutar parametara za procjenu otpora uz pomoć MARAD sustavnog niza omjeri L/B i B/T , te koeficijent punoće istisnine C_B , moraju biti unutar granica zadanih nizom. Kako bi brod, primjerice, ušao u G seriju modela omjeri glavnih izmjera moraju biti: $L/B = 5$, $B/T = 3$, a $C_B = 0,80$. Odabire se $L_{pp} = 105$ metara, B će zatim biti 21 metar i gas broda $T = 7$ metara. Obzirom da brodovi slične nosivosti imaju i znatno manje širine od izračunate, brod će zadovoljiti uvjet nosivosti 5000 tona. Time su određene glavne izmjere tankera zadane nosivosti. Brod ima jedan vijak, nema bulba ni pramčanih propelera. Također krmeno zrcalo nije uronjeno.



Slika 2.1. Dijagram serije u koju ulazi zadani brod [1]

2.2. Izračun i odabir ostalih veličina bitnih za proračun otpora

Preostale veličine potrebne za proračun otpora potpuno nakrcanog broda objema metodama su izvađene iz tablica ili izračunate formulama kako slijedi.

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gL}}$$

$$Re = \frac{vL}{\nu}$$

Bezdimenzijske vrijednosti parametara forme broda dane su u tablici 2.1.

Tablica 2.1. Parametri bezdimenzijske forme broda [1]

Nondimensional Hull Form Parameters for Series

Parameter	Designation															
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
C_B	0.875	0.875	0.875	0.850	0.850	0.850	0.800	0.850	0.850	0.850	0.850	0.850	0.875	0.800	0.875	0.800
L/B	5.500	6.000	6.500	4.500	5.000	5.500	5.000	6.500	6.000	6.000	5.000	5.000	6.500	5.000	5.500	5.000
B/T	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.750	4.500	3.750	4.500	3.750	3.750	3.750	4.500
LCB	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
C_M	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994
$1000 \nabla/L^3$	9.639	8.100	6.902	13.992	11.331	9.366	10.667	6.706	6.296	5.247	9.067	7.556	5.523	8.533	7.713	7.111
$S/\nabla^{2/3}$	6.243	6.302	6.463	5.749	5.946	6.127	5.942	6.457	6.706	7.144	6.376	6.745	6.883	6.331	6.533	6.750
$S/(\nabla L)^{2/3}$	2.828	2.824	2.820	2.822	2.818	2.813	2.788	2.804	2.882	2.978	2.892	2.988	2.894	2.862	2.904	2.960
L_M/L	0.117	0.117	0.117	0.160	0.160	0.160	0.245	0.160	0.160	0.160	0.160	0.160	0.117	0.245	0.117	0.245
L_N/L	0.537	0.537	0.537	0.443	0.443	0.443	0.251	0.443	0.443	0.443	0.443	0.443	0.537	0.251	0.537	0.251
L_R/L	0.346	0.346	0.346	0.397	0.397	0.397	0.504	0.397	0.397	0.397	0.397	0.397	0.346	0.504	0.346	0.504
L_R/B	1.903	2.076	2.249	1.787	1.985	2.184	2.520	2.581	2.382	2.382	1.985	1.985	2.249	2.520	0.1903	2.520
C_{BE}	0.723	0.723	0.723	0.723	0.723	0.723	0.723	0.723	0.723	0.723	0.723	0.723	0.723	0.723	0.723	0.723
C_{BR}	0.742	0.742	0.742	0.742	0.742	0.742	0.742	0.742	0.742	0.742	0.742	0.742	0.742	0.742	0.742	0.742
C_{BM}	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994

Notes: Length between perpendiculars, denoted as L, is used as the characteristic length for the hull parameters listed in this table. Values of these parameters apply to the design full-load condition. LCB is expressed as percentage of L forward of midships.

Iz tablice 2.1. slijedi:

$$1000 \nabla/L^3 = 10,667 \Rightarrow L^3/\nabla = 1000/10,667 = 93,747$$

$$\nabla = 10,667 \cdot L^3/1000 = 12348 \text{ m}^3$$

$$S/\nabla^{2/3} = 5,942 \Rightarrow S = 5,942 \cdot \nabla^{2/3} = 3174,4 \text{ m}^2$$

$C_{BM} = 0,994$ je koeficijent punoće paralelnog srednjaka broda

$$L_R/L = 0,504 \Rightarrow L_R = 0,504 \cdot 105 = 52,92; L_R/B = 2,52.$$

Brzine za koje se uspoređuju otpori, u čvorovima, su: $V_1 = 8,5$; $V_2 = 9$; $V_3 = 9,5$; $V_4 = 10$; $V_5 = 10,5$; $V_6 = 11$; $V_7 = 11,5$. Brzine su tako odabrane zbog Froudeovih brojeva kojima se određuje koeficijent preostalog otpora broda, a koji prema grafovima iz MARAD-a (slike 4.2. i 4.3.) moraju biti između 0,130 i 0,200.

Glavne dimenzije i koeficijenti broda bitni za proračun objema metodama prikazane su tablično.

Tablica 2.2. Glavne dimenzije i koeficijenti broda u potpuno nakrcanom stanju

L_{PP}	105	m
B	21	m
T	7	m
C_B	0,8	-
∇	12348	m^3
S	3174,4	m^2
C_{BM}	0,994	-
L_R	52,92	m
$C_{A(MARAD)}$	$0,15 \cdot 10^{-3}$	-
C_P	0,805	-

Za računanje glavnih veličina balastnog stanja broda vrijedi tablica 2.3.

Tablica 2.3. Glavne geometrijske značajke modela za balastno stanje [1]

TABLE 3-1
Principal Geometric Characteristics of Series Models

	Designation and Model Number															
	A 7166-1	B 7166-7	C 7166-8	D 7166-4	E 7166-5	F 7166-6	G 7370-2	H 7370-1	I 7370-4	J 7370-7	K 7370-3	L 7370-8	M 7370-6	N 7370-9	O 7370-5	P 7370-10
	(a) Full-Load Condition															
Length (L) ft	22.00	24.00	26.00	18.00	20.00	22.00	20.00	26.00	24.00	27.48	20.00	22.90	26.00	20.00	22.00	22.90
Beam (B) ft	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.58	4.00	4.58	4.00	4.00	4.00	4.58
Draft (T) ft	1.333	1.333	1.333	1.333	1.333	1.333	1.333	1.333	1.067	1.018	1.067	1.018	1.067	1.067	1.067	1.018
Displacement (∇) ft ³	102.64	111.97	121.31	81.58	90.66	99.73	85.34	117.86	87.04	108.88	72.54	90.74	97.07	68.27	82.13	85.40
Wetted Surface (S) ft ²	134.384	146.396	158.374	108.139	119.988	131.750	115.178	155.224	131.719	162.897	110.150	136.208	145.389	105.751	123.440	130.897
LCB (Percent L fwd midship)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	(b) Ballast Condition															
Draft (T) ft. mean	0.792	0.792	0.792	0.792	0.792	0.792	0.792	0.792	0.633	0.604	0.633	0.604	0.633	0.633	0.633	0.604
F.P.	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667	0.533	0.508	0.533	0.508	0.533	0.533	0.533	0.508
A.P.	0.917	0.917	0.917	0.917	0.917	0.917	0.917	0.917	0.733	0.700	0.733	0.700	0.733	0.733	0.733	0.700
Displacement (∇) ft ³	57.50	62.60	67.29	45.74	50.86	55.00	46.56	65.68	48.49	60.65	40.42	50.53	54.59	37.20	46.28	46.50
Wetted Surface (S) ft ² (Bare Hull)	104.673	114.306	123.768	83.211	92.842	101.711	87.519	120.956	105.071	131.987	87.117	109.364	117.204	82.450	98.714	103.816

Iz prethodne tablice računaju se geometrijske značajke broda u balastnom stanju potrebne za izračun otpora broda u balastu.

Geometrijski faktor sličnosti broda i modela, $\lambda = T/T_M = 7/0,4063 = 17,23$.

$$T_M = 1,333 \text{ ft} * 0,3048 = 0,4063 \text{ m}$$

$$T_{bM} = 0,792 \text{ ft} = 0,792 * 0,3048 = 0,2414 \text{ m},$$

$$T_b = T_{bM} * \lambda^2 = 0,2414 * 17,23 = 4,159 \text{ m},$$

$$S_{bM} = 87,519 \text{ ft}^2 = 87,519 * 0,3048^2 = 8,1308 \text{ m}^2,$$

$$S_b = S_{bM} * \lambda^2 = 8,1308 * 17,23^2 = 2413,8 \text{ m}^2,$$

$$\nabla_{bM} = 46,56 \text{ ft}^3 = 46,56 * 0,3048^3 = 1,3184 \text{ m}^3,$$

$$\nabla_b = \nabla_{bM} * \lambda^3 = 1,3184 * 17,23^3 = 6743,77 \text{ m}^3.$$

L_{WL} očitano iz nacrtu linija iznosi: $L_{WL} = 91,55 \text{ m}$.

Tablica 2.4. Dimenzije i koeficijenti broda u balastu

L_{WL}	91,55	m
B	21	m
T_b	4,16	m
C_{Bb}	0,8432	-
∇_b	6743,8	m^3
S_b	2413,8	m^2
L_R	46,14	m
C_P	0,848	-

Vrijednosti koje nisu navedene u tablici 2.4. nisu se promijenile u balastu.

Vrijednosti kinematičke viskoznosti i gustoće morske vode za oba slučaja su iste i iznose:

$$\nu (15^\circ\text{C}) = 1,18831 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\rho (15^\circ\text{C}) = 1025,9 \text{ kg/m}^3.$$

2.3. Nacrt linija broda

Nacrt linija broda dobiven je iz geometrije opisane u MARAD sustavnom nizu modela.

MARAD u svojem izvještaju nudi tablice vrijednosti bezdimenzijskih poluširina vodnih linija koje se množe sa maksimalnom poluširinom broda ($B/2$). Vrijednosti dobivene množenjem su y koordinate točaka vodnih linija u brodskom koordinatnom sustavu. Uzdužne koordinate točaka vodnih linija krmenog zaoštrenja (x) dobiju se tako da se bezdimenzijske veličine x/L_R , iz tablice, množe sa duljinom krmenog zaoštrenja, L_R . Koordinate x je nula na krmenom perpendikularu i raste prema pramcu.

Za pramčano zaoštrenje bezdimenzijska veličina iz MARAD-a, x/L_E , množi se sa duljinom pramčanog zaoštrenja L_E . x koordinata u ovom slučaju je 0 na pramčanom perpendikularu, a raste prema krmu. Time se dobiju skupovi točaka sa koordinatama (x,y). Skupovi točaka su za svaku vodnu liniju uneseni u AutoCAD i kroz njih je provučena funkcija PLINE te PEDIT-FIT koja je u konačnici oblikovala vodne linije sa nacрта.

Rebra brodske forme dobivena su na sličan način. Koristeći podatke iz tablice, bezdimenzijski gaz iz tablice u MARAD-u korišten je kao z koordinata točaka rebara. Za svaki gaz je uzeta maksimalna poluširina vodne linije u svakom uzdužnom presjeku brodske forme za koji MARAD tablice nude podatke. Te točke sa koordinatama (y,z) unesene su u AutoCAD i funkcijom PLINE te PEDIT-FIT dobivene su linije iz nacрта forme broda.

Uzdužnice su nacrtane uz pomoć točaka rebara, kroz svaku bezdimenzijsku poluširinu broda provučena je vertikala i mjesto gdje vertikala sječe rebro točka je na uzdužnici. Koordinata z visina je te točke rebara, a x koordinata poznata je zbog poznatog položaja rebara.

U svim slučajevima koordinatni sustav položen je tako da je X okomit na ravnine rebara, Y je okomit na ravnine uzdužnica, u simetralnoj ravnini je 0 i raste prema lijevom boku broda, a Z je os okomita na ravnine vodnih linija, u kobilici je 0 i raste prema palubi.

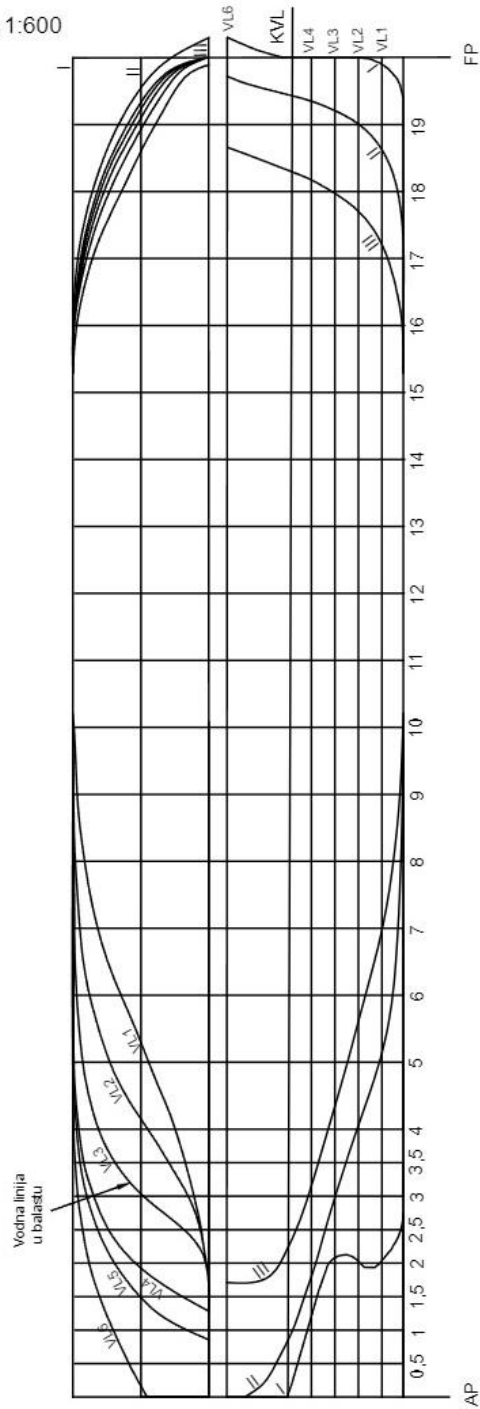
Tablice iz MARADA po kojima su računate koordinate nalaze se u „Prilog 1“ Tablica pramčanog zaoštrenja, Tablica početka krmenog zaoštrenja i Tablica kraja krmenog zaoštrenja.

Konture vodnih linija preuzete iz MARAD-a nalaze se u [1] FIGURE 2-1 LINES OF BASIC SHIP FORMS, sl.pr. linije osnovne forme broda i u [1] FIGURE.2-1 CONTINUED (sl.pr. nastavak).

Konture pramčanog zaoštrenja preuzete iz MARAD-a nalaze se u [1] „FIGURE 2-1 LINES OF BASIC SHIP FORMS“, a konture krmenog zaoštrenja u [1] „FIGURE.2-1 CONTINUED“.

U nastavku nacrt linija broda iz AutoCAD-a koji su iz .dwg formata promijenjeni u .jpg format.

mjerilo 1:600



	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	09.2023.	Tin Gregurek	
Razradio	09.2023.	Tin Gregurek	
Crtao	09.2023.	Tin Gregurek	
Pregledao			
Objekt: Nacrt vodnih linija i udužnica broda			Objekt broj: 1 R. N. broj: 1/2

Slika 2.2. Nacrt vodnih linija i uzdužnica

U tablici 2.5. nalaze se poluširine točaka vodnih linija u metrima u ovisnosti o x , za pramčano zaoštrenje. x je udaljenost od pramčanog perpendikulara, također u metrima, prema krmi. Duljina pramčanog zaoštrenja iznosi: $L_E = 25,73$ m.

U tablici 2.6. nalaze se poluširine točaka vodnih linija, u metrima, u ovisnosti o x . x je udaljenost od krmenog perpendikulara prema pramcu, a duljina krmenog zaoštrenja iznosi: $L_R = 52,92$ m.

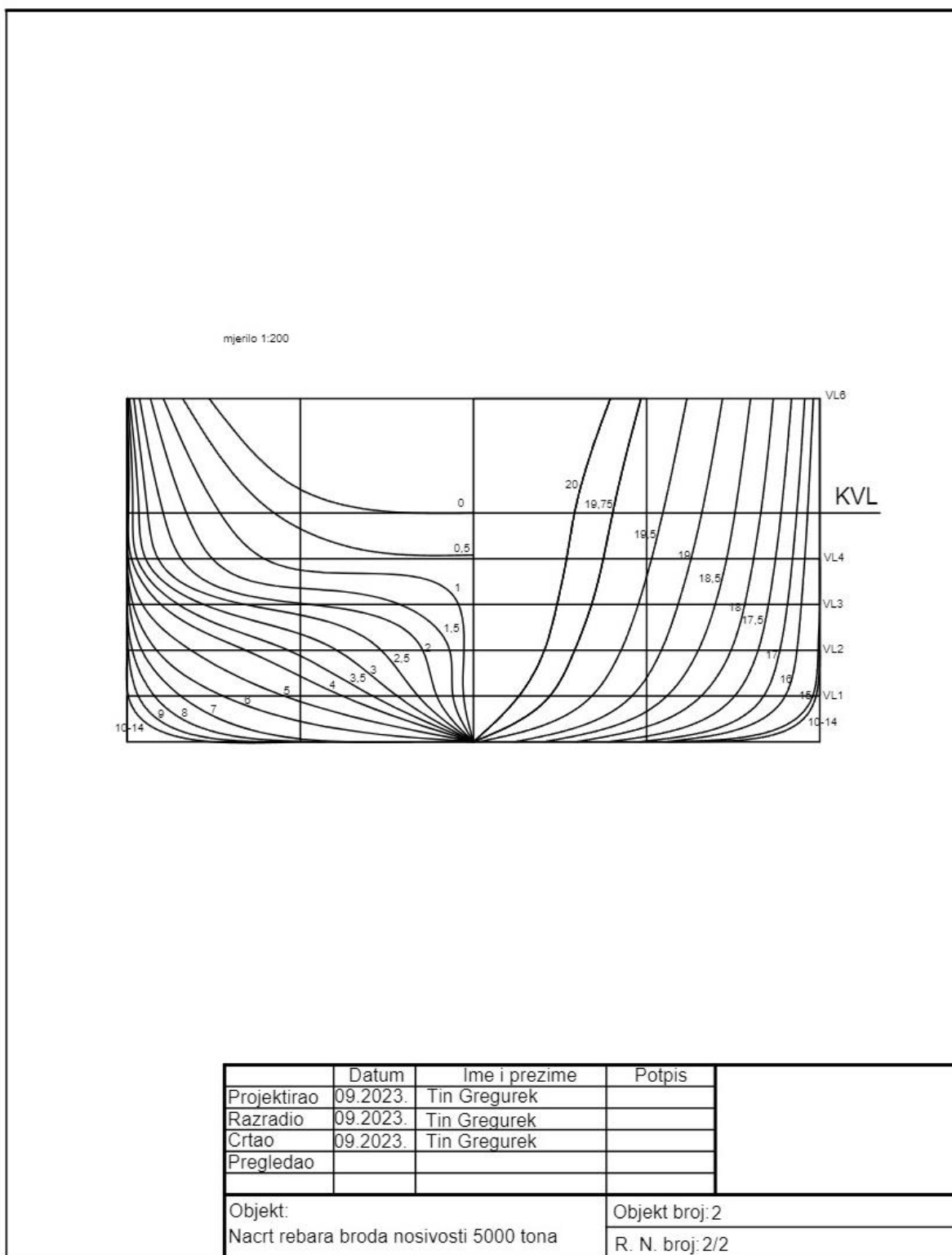
Tablica 2.5. Koordinate pramčanog zaoštrenja

/gaz	1,4	2,8	4,2	5,6	7	10,5
x	VL1	VL2	VL3	VL4	VL5	VL6
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,07	1,38	2,15	2,53	2,82	3,06	4,15
2,14	2,31	3,07	3,58	3,94	4,22	5,07
4,29	3,59	4,48	5,00	5,40	5,74	6,47
6,43	4,80	5,70	6,20	6,60	6,92	7,55
8,58	5,87	6,82	7,33	7,68	7,93	8,40
10,72	6,90	7,81	8,22	8,49	8,71	9,09
12,86	7,92	8,63	8,94	9,16	9,33	9,64
15,01	8,80	9,29	9,52	9,67	9,80	10,04
17,15	9,45	9,81	9,94	10,05	10,13	10,30
21,44	10,29	10,45	10,50	10,50	10,50	10,50
25,73	10,50	10,50	10,50	10,50	10,50	10,50

Tablica 2.6. Koordinate krmenog zaoštrenja

/gaz	1,4	2,8	4,2	5,6	7	10,5
x	VL1	VL2	VL3	VL4	VL5	VL6
-6,615	0	0	0	0	0	4,78
-4,41	0	0	0	0	0	5,99
-2,205	0	0	0	0	0	7,05
0	0	0	0	0	4,12	8,01
2,205	0	0	0	3,76	6,22	8,82
4,41	0,30	0,29	0,45	6,35	7,69	9,41
6,615	0,63	0,72	2,24	7,92	8,70	9,80
8,82	1,11	1,54	4,96	8,86	9,41	10,12
11,025	1,68	2,80	6,92	9,56	9,88	10,30
13,23	2,31	4,14	8,18	9,94	10,15	10,43
15,435	3,06	5,62	8,95	10,20	10,33	10,48
17,64	3,98	6,91	9,48	10,37	10,46	10,50
22,05	5,74	8,57	10,04	10,47	10,47	10,50
26,46	7,59	9,61	10,32	10,50	10,50	10,50
30,87	8,88	10,06	10,43	10,50	10,50	10,50
35,28	9,67	10,35	10,50	10,50	10,50	10,50
39,69	10,16	10,47	10,50	10,50	10,50	10,50
44,1	10,36	10,50	10,50	10,50	10,50	10,50
48,51	10,47	10,50	10,50	10,50	10,50	10,50
52,92	10,50	10,50	10,50	10,50	10,50	10,50

Točke iz gornjih tablica uzete su za izradu nacrtu linija broda, no obzirom da je koordinata x prve tri točke krmenog zaoštrenja negativna, a krmeni se perpendikular poklapa sa zrcalom, sve je pomaknuto u x smjeru za 6,62 metra prema pramcu. Točke označene crvenom bojom razlikuju se od vrijednosti iz MARAD-a pomnožene sa poluširinom broda iz razloga što kod crtanja vodnih linija sa vrijednosti iz MARAD-a vodna linija dobije neobičan oblik, te se pretpostavila greška u prepisivanju tablica, te je umjesto navedenih 0,4258 (iz „Prilog 1“ Tablica pramčanog zaoštrenja) i 0,9338 (iz „Prilog 1“ Tablica kraja krmenog zaoštrenja) usvojeno 0,4758, odnosno 0,9858. obje točke su u dotičnim tablicama u „Prilog 1“ posebno naznačene.



Slika 2.3. Nacrt rebara (lijevo krma, desno pramac)

U nastavku se nalazi tablica stvarnih vrijednosti koordinata točaka rebara u metrima.

Tablica 2.7. Koordinate rebara po gazu, u metrima

/	B/2	B/2	B/2	B/2	B/2	B/2	B/2	B/2	B/2
T	R0	R0,5	R1	R1,5	R2	R2,5	R3	R3,5	R4
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,4	0	0	-0,30	-0,63	-1,11	-1,68	-2,31	-3,06	-3,98
2,8	0	0	-0,29	-0,72	-1,54	-2,80	-4,14	-5,62	-6,91
4,2	0	0	-0,45	-2,24	-4,96	-6,92	-8,18	-8,95	-9,48
5,6	0	-3,76	-6,35	-7,92	-8,86	-9,56	-9,94	-10,20	-10,37
7	-4,12	-6,22	-7,69	-8,70	-9,41	-9,88	-10,15	-10,33	-10,46
10,5	-8,01	-8,82	-9,41	-9,80	-10,12	-10,30	-10,43	-10,48	-10,50

/	B/2	B/2	B/2	B/2	B/2	B/2	B/2	B/2	B/2
T	R5	R6	R7	R8	R9	R10-14	R15	R16	R17
0	0	0	-1,87	-4,55	-6,29	-5,47	5,85	5,85	5,03
1,4	-5,74	-7,59	-8,88	-9,67	-10,16	-10,36	10,29	9,45	8,8
2,8	-8,57	-9,61	-10,06	-10,35	-10,47	-10,50	10,45	9,81	9,28
4,2	-10,04	-10,32	-10,43	-10,50	-10,50	-10,50	10,5	9,94	9,52
5,6	-10,47	-10,50	-10,50	-10,50	-10,50	-10,50	10,5	10,05	9,67
7	-10,47	-10,50	-10,50	-10,50	-10,50	-10,50	10,5	10,13	9,8
10,5	-10,50	-10,50	-10,50	-10,50	-10,50	-10,50	10,5	10,30	10,04

/	B/2	B/2	B/2	B/2	B/2	B/2	B/2
T	R17,5	R18	R18,5	R19	R19,5	R19,75	R20
0	4,10	3,13	2,15	1,26	0,18	0	0
1,4	7,92	6,90	5,87	4,80	3,59	2,31	1,38
2,8	8,63	7,81	6,82	5,70	4,48	3,07	2,15
4,2	8,94	8,22	7,33	6,20	5,00	3,58	2,53
5,6	9,16	8,49	7,68	6,60	5,4	3,94	2,82
7	9,33	8,71	7,93	6,92	5,74	4,22	3,06
10,5	9,64	9,09	8,40	7,54	6,47	5,07	4,15

3. Otpor broda

3.1. Otpor broda prema MARAD-u

Za MARAD sustavni niz modela ukupni otpor broda računa se kao:

$$R_T = R_F + R_R + R_A \quad (3.1)$$

dok se koeficijent ukupnog otpora broda računa kao:

$$C_T = C_F + C_R + C_A \quad (3.2)$$

Koeficijent korelacijskog otpora C_A prema MARAD-u uvijek je konstantan te vrijedi

$$C_A = 0,15 \cdot 10^{-3}.$$

Koeficijent otpora trenja broda i modela računa se prema metodi ITTC 1957, odnosno za brod vrijedi:

$$C_F = \frac{0,075}{(\log Re - 2)^2}, \quad (3.3)$$

a ukupni otpor se dobiva iz formule:

$$R_T = C_T \cdot \frac{1}{2} \rho S v^2, \quad (3.4)$$

3.2. Otpor broda prema Holtrop-Mennen metodi

Prema metodi Holtrop-Mennen otpor broda se dobiva prema:

$$R_T = R_F (1 + k_1) + R_{APP} + R_W + R_B + R_{TR} + R_A [3], \quad (3.5)$$

gdje je:

R_F otpor trenja broda, prema ITTC 1957,

$(1 + k_1)$ faktor forme,

R_{APP} otpor privjesaka,

R_W otpor valova,

R_B dodatni otpor zbog bulba, $R_B = 0$ jer brod nema bulb,

R_{TR} dodatni otpor zbog uronjenog zrcala, $R_{TR} = 0$ jer brod nema uronjeno zrcalo,

R_A otpor broda u korelaciji model-brod zbog hrapavosti oplata, otpora zraka i slično.

Nadalje komponente otpora računaju se prema formulama:

$$R_{APP} = \frac{1}{2} \rho V_S^2 C_F (1 + k_2)_E * \Sigma S_{APP} + R_{BT} \quad [4], \quad (3.6)$$

$$(1 + k_2)_E = \frac{\Sigma(1+k_2)S_{APP}}{\Sigma S_{APP}} \quad [4],$$

$$S_{APP} \sim 1\% S$$

$$S_{APP\pi} \sim 31,744 \text{ m}^2,$$

$$S_{APPb} \sim 24,138 \text{ m}^2.$$

R_{BT} je otpor uslijed pramčanog propelera, $R_{BT} = 0$ jer brod nema pramčanih propelera.

$$R_W = c_1 c_2 c_5 \nabla \rho g e^{m_1 * Fr^d + m_4 * \cos(\lambda Fr^{-2})} \quad [3]; \quad (3.7)$$

$$c_1 = 2223105 * c_7^{3,78613} (T/B)^{1,07961} * (90 - i_E)^{-1,37565} \quad [3],$$

$$c_2 = e^{(-1,89 * \sqrt{c_3})} = 1 \quad [3], \text{ jer je } c_3 = 0.$$

$$c_3 = 0,56 * A_{BT}^{1,5} / \{BT(0,31 \sqrt{A_{BT} + T_F - h_B})\} = 0, \text{ jer brod nema bulba} \quad [3].$$

$$c_5 = 1 - 0,8 A_T / (BTC_M) = 1, \text{ jer brod nema uronjeno zrcalo} \quad [3].$$

$$c_7 = B/L \quad [3],$$

$$m_1 = 0,0140407 \frac{L}{T} - 1,75254 \frac{\sqrt[3]{V}}{L} - 4,79323 \frac{B}{L} - c_{16} \quad [3],$$

$$c_{16} = 1,73014 - 0,7067 * C_P \quad [3],$$

$$m_4 = c_{15} * 0,4 e^{-0,034 * Fr^{-3,29}} \quad [3],$$

$$c_{15} = -1,69385 \quad [3],$$

$$d = -0,90 \quad [3]$$

$$i_E = 1 + 89 * \exp\{-(L/B)^{0,80856} (1 - C_{WP})^{0,30484} (1 - C_P - 0,0225 * LCB)^{0,6367} * (L_R/B)^{0,34574} * (100 \nabla/L^3)^{0,16302}\} \quad [2],$$

$$\lambda = 1,446 C_P - 0,03 L/B \quad [3]$$

$$R_A = 0,5 * \rho S V^2 * C_A \quad [4], \quad (3.8)$$

$$C_A = 0,006 (L+100)^{-0,16} - 0,00205 + 0,003 \sqrt{(L/7,5) * C_B^4 * c_2 (0,04 - c_4)} \quad [4],$$

$$c_4 = 0,04 \quad [4].$$

Koeficijent punoće površine vodne linije C_{WP} računa se po formuli:

$$C_{WP} = 0,67 C_B + 0,32 \quad [5]. \quad (3.9)$$

Faktor forme $(1 + k_1)$ računa se prema formuli:

$$(1 + k_1) = 0,93 + 0,487118(1 + 0,011C_{\text{stern}}) \times (B/L)^{1,06806} (T/L)^{0,46106} \times (L_{\text{WL}}/L_{\text{R}})^{0,121563} \times \\ \times (L_{\text{WL}}^3/\nabla)^{0,36486} \times (1 - C_{\text{P}})^{-0,604247} \quad [3]. \quad (3.10)$$

Prema [3] C_{stern} bit će približno $C_{\text{stern}} = - 20$.

4. Izračun otpora broda i usporedba rezultata

4.1 Rezultati otpora broda prema MARAD-u

Metodom MARAD ukupni koeficijent otpora broda računa se tako da se koeficijentu otpora trenja dodaje preostali otpor i iskustveni koeficijent korelacijskog otpora koji je konstantan neovisno o formi broda.

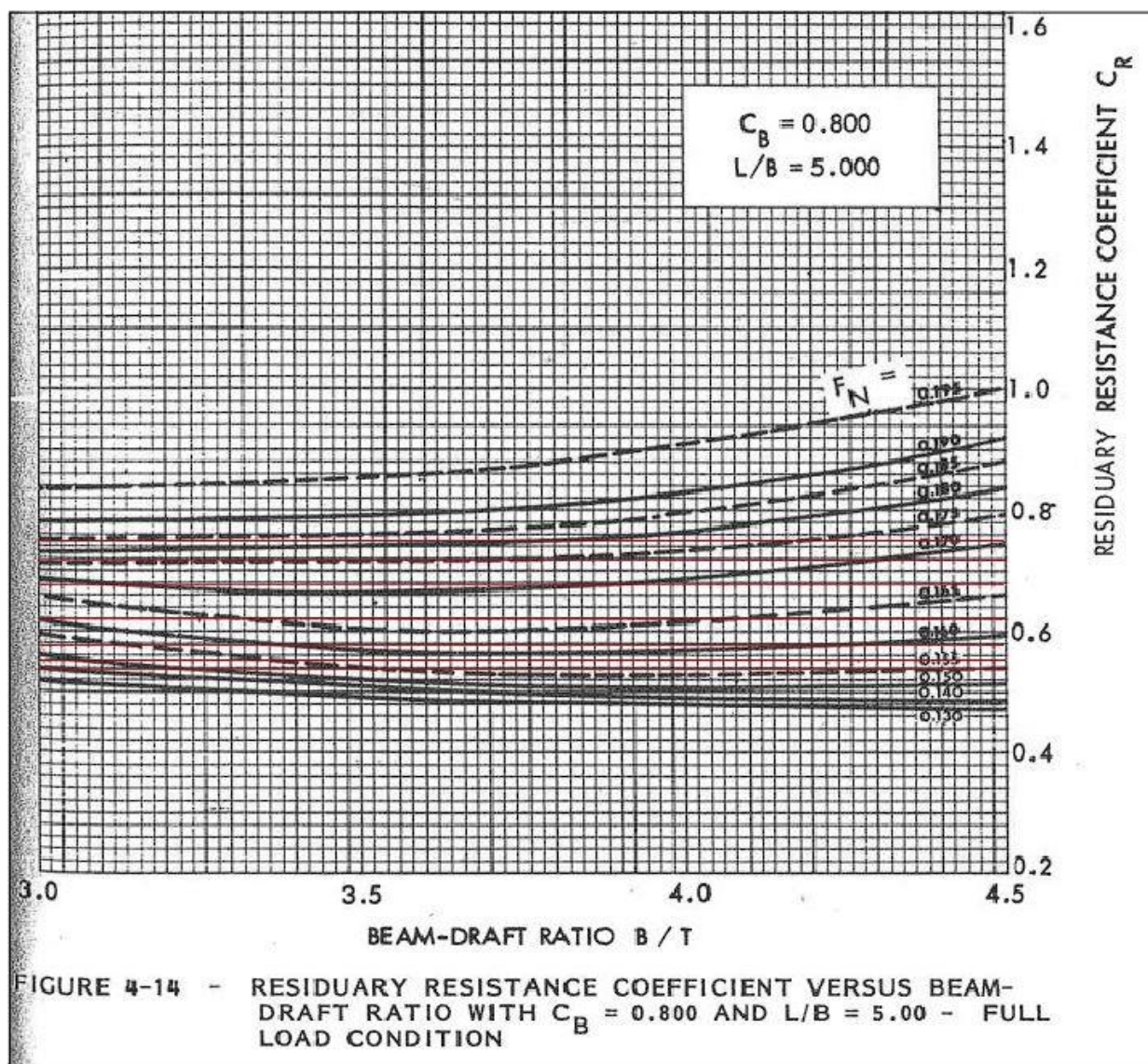
Koeficijent otpora trenja računa se prema ITTC 1957, C_A je uvijek isti za svaki brod, a koeficijenti preostalog otpora MARAD u svojem izvješću daje u obliku grafova koeficijenata preostalog otpora koji ovise o Froudeovom broju te seriji u koju brod ulazi prema svojim geometrijskim karakteristikama. Slika 4.1. prikazuje graf koeficijenata preostalog otpora za seriju G u potpuno ukrcanom stanju, dok slika 4.2. prikazuje C_R za balastno stanje broda.

Razliku otpora broda u potpuno nakrcanom stanju i balastnom stanju daju vrijednosti preostalog otpora iz različitih grafova, kao i promjena geometrije zbog manjeg gaza.

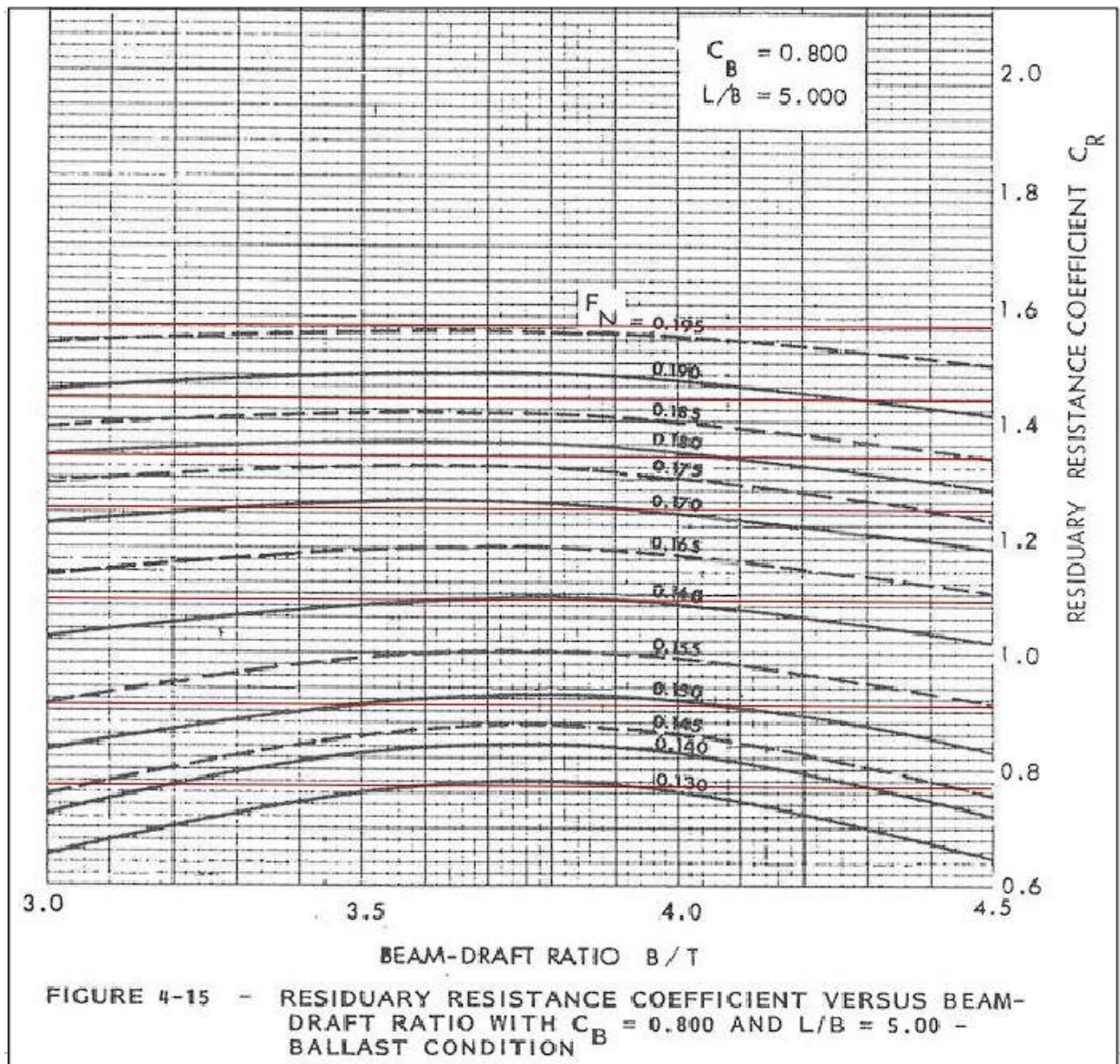
Ovdje se može vidjeti nedostatak MARAD metode, jer za slučajeve kao iz ovog proračuna, kada Froudeovi brojevi nisu zaokruženi na vrijednosti linija u grafovima (što češći slučaj nego da se Froudeovi brojevi u svim brzinama ispadnu isti onima iz grafova), koeficijent preostalog otpora mora se aproksimirati čime se gubi na točnosti konačnog rezultata. Za formu zadane geometrije, iz grafa se očita koeficijent preostalog otpora. Ukupni otpor broda zatim se dobije uz pomoć formule (3.1).

Vrijednosti koeficijenta preostalog otpora iz grafova su očitavane i aproksimirane na način opisan u nastavku.

Iz grafova su očitavane vrijednosti na ordinati $B/T = 3$, za Froudeove brojeve iz tablica 4.1. i 4.2. Većina Froudeovih brojeva nije odgovarala krivuljama iz grafa, pa su vrijednosti tih krivulja na ordinati $B/T = 3$ linearno aproksimirane. Primjerice za Froudeov broj 0,152 izmjerena je udaljenost između linija $0,150 < Fr < 0,155$ na ordinati, te je točki na ordinati za $Fr = 0,150$ dodano $2/5$ izračunate udaljenosti. Tako je napravljeno za svaki Froudeov broj koji ne odgovara krivuljama iz grafova (pr. $Fr = 0,150$) za potpuno nakrcano stanje i balastno stanje.



Slika 4.1. $C_R \cdot 10^3$ u ovisnosti o B/T za seriju G za potpuno nakrcano stanje [1]



Slika 4.2. $C_R \cdot 10^3$ broda u ovisnosti o B/T za seriju G u balastnom stanju [1]

Tablica 4.1. prikazuje vrijednosti brzina, odgovarajuće Froudeove i Reynoldsove brojeve, koeficijente preostalog otpora, koeficijente otpora trenja prema ITTC 1957, koeficijent ukupnog otpora te rezultate izračuna ukupnog otpora broda za potpuno nakrcano stanje (fl - fully loaded) izračunato metodom MARAD sustavnog niza modela.

Tablica 4.2. prikazuje rezultate izračuna otpora broda metodom MARAD za balastno stanje broda.

Tablica 4.1. MARAD: otpor za potpuno nakrcani brod

V , kn	Fr	$Re*10^{-6}$	$C_{Rfl}*10^3$	$C_{Ffl}*10^3$	$C_{Tfl}*10^3$	R_{Tfl} , kN	P_E , kW	©
8,5	0,136	386,38	0,54	1,729	2,419	75,30	329,3	0,5718
9,0	0,144	409,11	0,545	1,716	2,411	84,14	389,6	0,5699
9,5	0,152	431,84	0,58	1,703	2,433	94,64	462,5	0,5753
10,0	0,160	454,57	0,62	1,692	2,462	106,10	545,8	0,5821
10,5	0,168	477,30	0,68	1,681	2,511	119,32	644,5	0,5937
11,0	0,176	500,02	0,72	1,671	2,541	132,51	749,9	0,6008
11,5	0,184	522,75	0,745	1,662	2,557	145,71	862,0	0,6045

Tablica 4.2. MARAD: otpor za balastno stanje

V , kn	Fr	Re	$C_{Rb}*10^3$	$C_{Fb}*10^3$	$C_{Tb}*10^3$	R_{Tb} , kN	P_E , kW	©
8,5	0,146	336,89	0,772	1,760	2,532	59,95	262,2	0,6813
9,0	0,155	356,71	0,91	1,747	2,657	70,52	326,5	0,7149
9,5	0,163	376,52	1,091	1,734	2,825	83,56	408,4	0,7602
10,0	0,172	396,34	1,252	1,723	2,975	97,48	501,5	0,8004
10,5	0,180	416,16	1,34	1,712	3,052	110,25	595,5	0,8211
11,0	0,189	435,97	1,44	1,701	3,141	124,55	704,8	0,8452
11,5	0,197	455,79	1,567	1,692	3,259	141,21	835,4	0,8768

4.2. Rezultati otpora broda prema Holtrop Mennen metodi za potpuno nakrcani brod i za brod u balastnom stanju

Holtrop-Mennen metoda od MARAD-a se razlikuje tako što se otpor trenja dobiven prema ITTC 1957 množi sa faktorom forme, $(1+k_1)$, kao u (3.5). Koeficijent hrapavosti računa se formulom (3.10) i nije isti za sve brodove jer ovisi o geometriji broskog trupa. Metoda Holtrop-Mennen preostali otpor dijeli na veći broj komponenata od kojih svaka ovisi o formi broda (3.5).

Komponente otpora metodom Holtrop 1984. računaju se prema složenim formulama, (3.6) - (3.10) za koje je potrebno detaljno znati geometriju, dimenzije i neke druge značajke broda. Primjerice ima li brod bulb, uronjeno zrcalo, i pramčani propeler; nadalje ima li brod ljuljne kobilice, skeg, kormilo iza skega ili statve, je li brod jednovijčani ili dvovijčani i slično. Kod Holtrop 1984. metode razliku otpora potpuno nakrcanog broda i broda u balastu daje promjena geometrije podvodnog dijela broda, dakle promjene: gaza, oplakivane površine, duljine vodne linije, volumena istisnine, koeficijenata forme i slično.

U tablicama 4.3. i 4.4. prikazane su vrijednosti komponenti otpora izračunate Holtrop-Mennen metodom za predviđanje otpora broda. U tablici 45. uspoređeni su rezultati otpora broda dobiveni metodom MARAD i metodom Holtrop 1984 za brod u potpuno nakrcanom stanju i balastnom stanju.

Bez obzira što je računanje otpora metodom Holtrop-Mennen složeno, poznavajući detalje brodske forme, jednom raspisane formule u softveru mogu se koristiti za računanje otpora bilo kojeg broda, ili istoga broda u raznim stanjima krcanja. Kod MARAD-a nije isti slučaj jer se vrijednosti preostalog otpora moraju očitavati iz drugačijeg grafa, a nema grafova za proizvoljno stanje krcanja.

Tablica 4.3. Holtrop: otpor za potpuno nakrcani brod

V , kn	Fr	R_W , kN	R_A , kN	R_{APP} , kN	R_F , kN	R_{Tj} , kN	P, kW	©
8,5	0,136	0,91	15,88	0,8073	53,82	83,73	366,1	0,6358
9,0	0,144	1,82	17,81	0,8983	59,88	94,11	435,7	0,6374
9,5	0,152	3,39	19,84	0,9938	66,25	105,63	516,2	0,6421
10,0	0,160	5,95	21,99	1,0938	72,92	118,63	610,3	0,6508
10,5	0,168	9,94	24,24	1,1983	79,88	133,52	721,2	0,6644
11,0	0,176	15,86	26,60	1,3072	87,14	150,84	853,6	0,6839
11,5	0,184	24,36	29,08	1,4205	94,70	171,20	1012,8	0,7102

Tablica 4.4. Holtrop: otpor za balastno stanje

V , kn	Fr	R_{Wb} , kN	R_{Ab} , kN	R_{APPb} , kN	R_{Fb} , kN	R_{Tb} , kN	P_E , kW	©
8,5	0,146	1,90	12,74	0,6251	41,674	69,1	299,4	0,7780
9,0	0,155	3,63	14,28	0,6955	46,367	78,5	360,2	0,7885
9,5	0,163	6,50	15,91	0,7694	51,294	89,5	433,2	0,8065
10,0	0,172	11,01	17,63	0,8468	56,452	102,4	522,3	0,8336
10,5	0,180	17,77	19,44	0,9276	61,841	118,1	632,2	0,8717
11,0	0,189	27,52	21,34	1,0119	67,458	137,0	769,2	0,9225
11,5	0,197	41,14	23,32	1,0995	73,303	160,3	941,1	0,9877

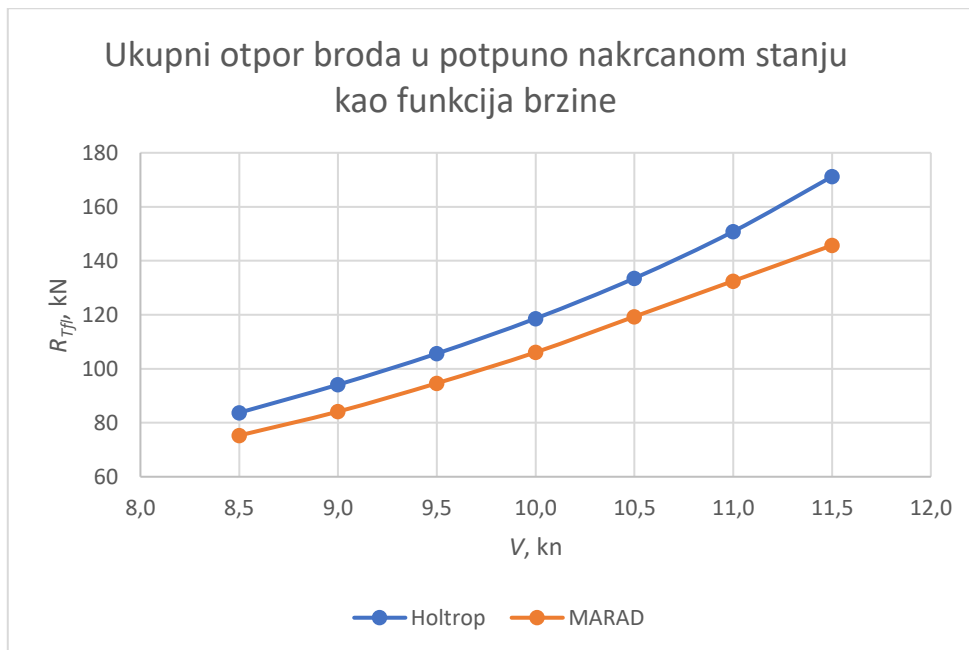
4.3. Usporedba rezultata

Tablica 4.5. Usporedba rezultata za potpuno nakrcano i balastno stanje

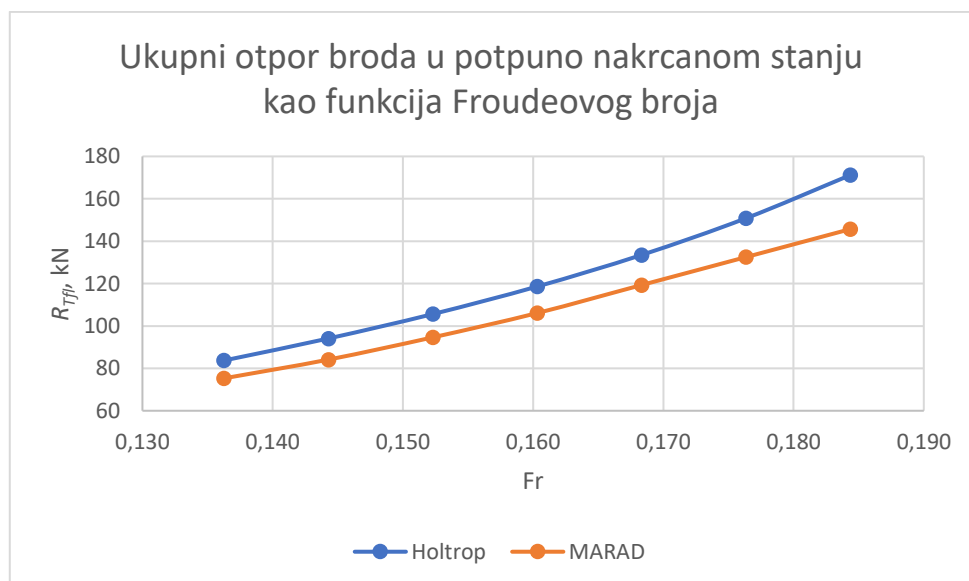
	Potpuno nakrcan	MARAD	Holtrop	Balast	MARAD	Holtrop
V , kn	Fr	R_{Tf} , kN	R_{Tf} , kN	Fr	R_{Tb} , kN	R_{Tb} , kN
8,5	0,136	75,30	83,73	0,146	59,95	69,1
9,0	0,144	84,14	94,11	0,155	70,52	78,5
9,5	0,152	94,64	105,63	0,163	83,56	89,5
10,0	0,160	106,10	118,63	0,172	97,48	102,4
10,5	0,168	119,32	133,52	0,180	110,25	118,1
11,0	0,176	132,51	150,84	0,189	124,55	137,0
11,5	0,184	145,71	171,20	0,197	141,21	160,3

Tablica 4.5. pokazuje da su prisutne razlike u dobivenim rezultatima, što je očekivano. Holtrop-Mennen metoda je u oba slučaja krcanja dala veći ukupni otpor broda od metode MARAD.

Na slici 4.3. grafički su uspoređeni rezultati obje metode za brod u potpuno nakrcanom stanju. Otpor je prikazan kao funkcija brzine. Slika 4.4. pokazuje grafičku usporedbu otpora potpuno nakrcanog broda prikazanog kao funkciju Froudeovog broja. Iz slika je vidljivo da Holtrop-Mennen metoda za potpuno nakrcan brod u prosjeku daje veće rezultate ukupnog otpora broda od MARAD metode. Rezultati metode Holtrop-Mennen za 13% su veći od rezultata metode MARAD.

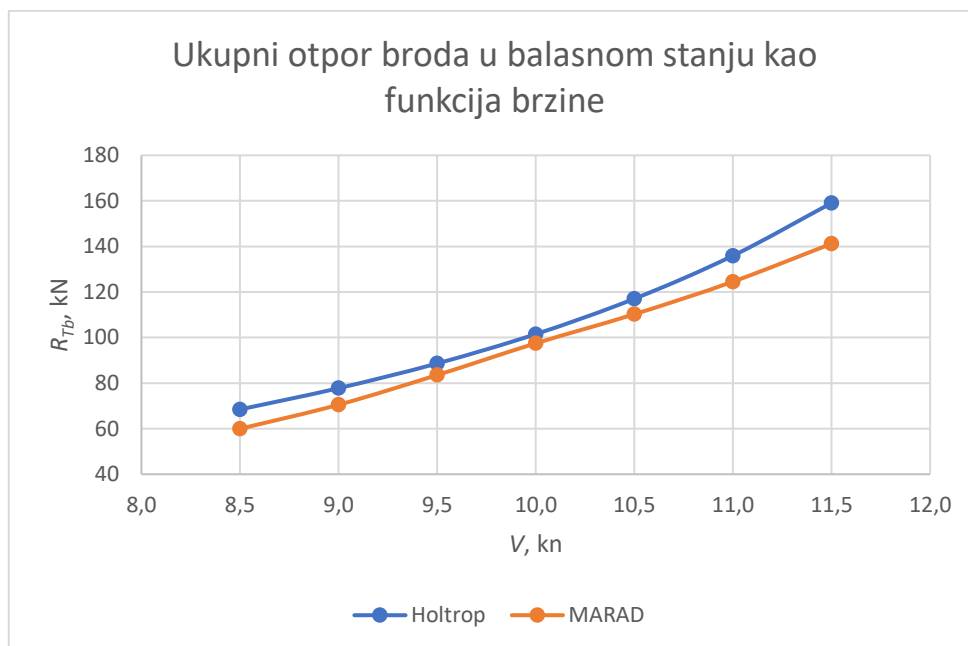


Slika 4.3. Grafička usporedba rezultata za potpuno nakrcani brod

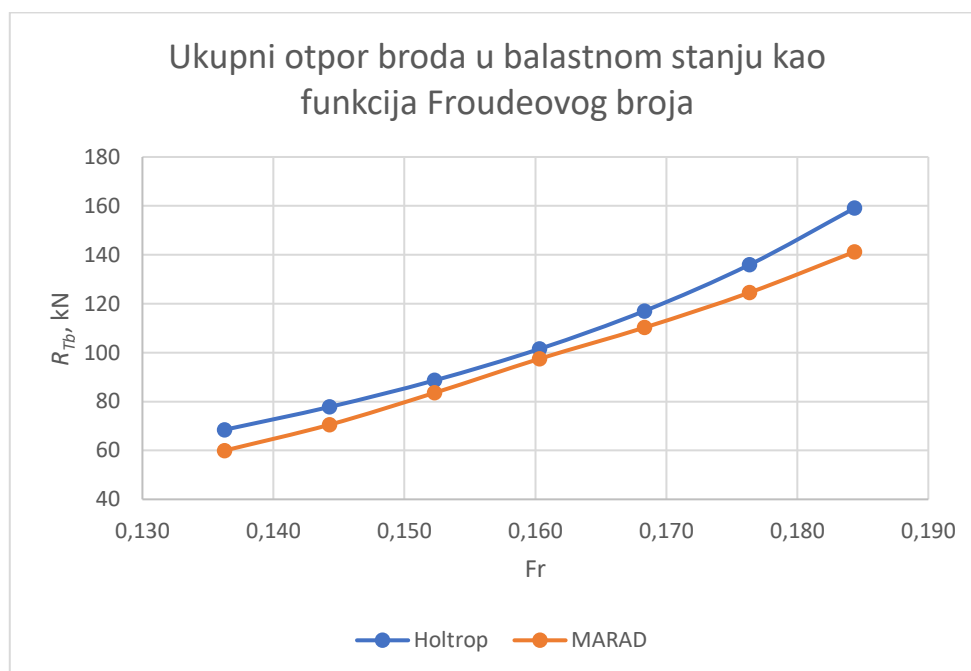


Slika 4.4. Ukupni otpor potpuno nakrcanog broda u ovisnosti o Fr

Slike 4.5. i 4.6. prikazuju grafičku usporedbu otpora izračunatog objema metodama za brod u balastu. Dok slika 4.5. prikazuje otpor u funkciji brzine, slika 4.6. prikazuje ukupni otpor broda kao funkciju Froudeovog broja. U grafovima na slikama 4.5. i 4.6. je vidljivo da su se u balastnom stanju rezultati metoda međusobno približili, međutim Holtrop-Mennen metoda i u ovom slučaju daje veće brojke. U balastnom stanju broda Holtrop 1984 daje u prosjeku 9% veće rezultate.



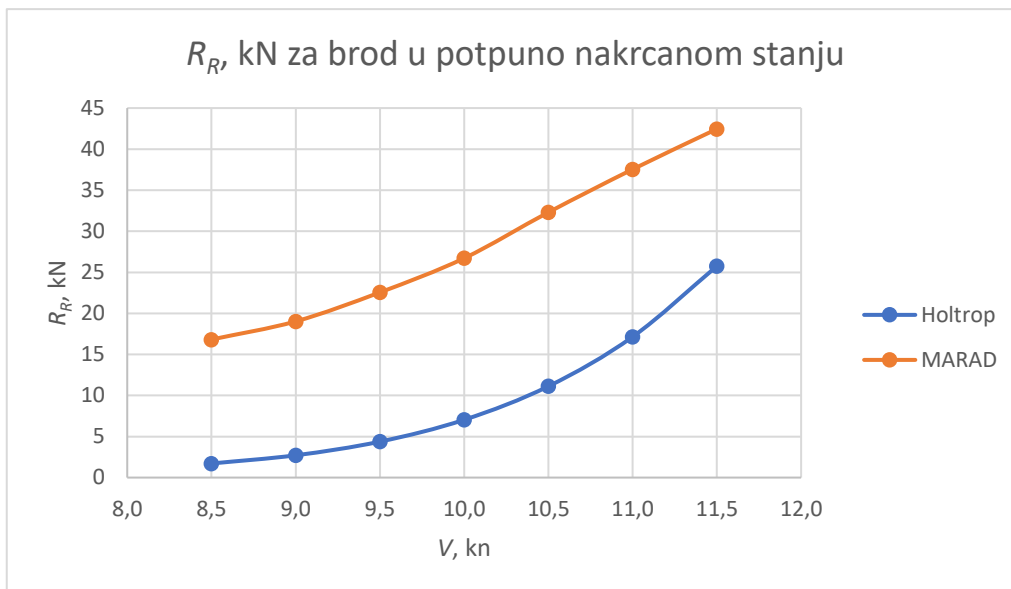
Slika 4.5. Grafička usporedba rezultata za brod u balastu



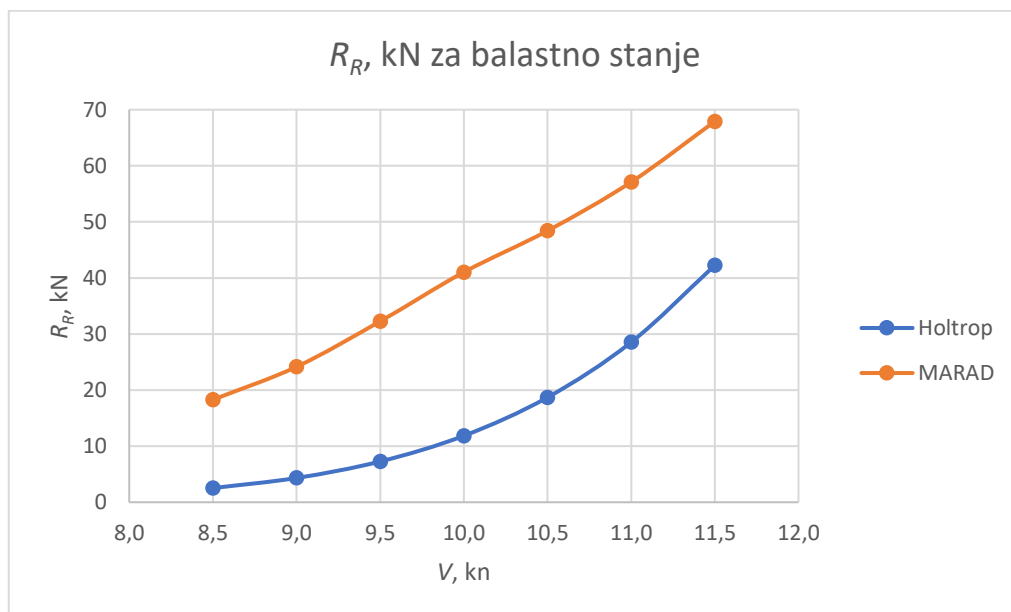
Slika 4.6. Ukupni otpor broda u balastu u ovisnosti o Fr

U nastavku su na slikama prikazani grafovi različitih komponenata otpora broda i razlika u dobivenim rezultatima metodom MARAD i metodom Holtrop za potpuno nakrcani brod i brod u balastu. Preostali otpor metode Holtrop, iako metoda nema tu komponentu u zbroju ukupnog

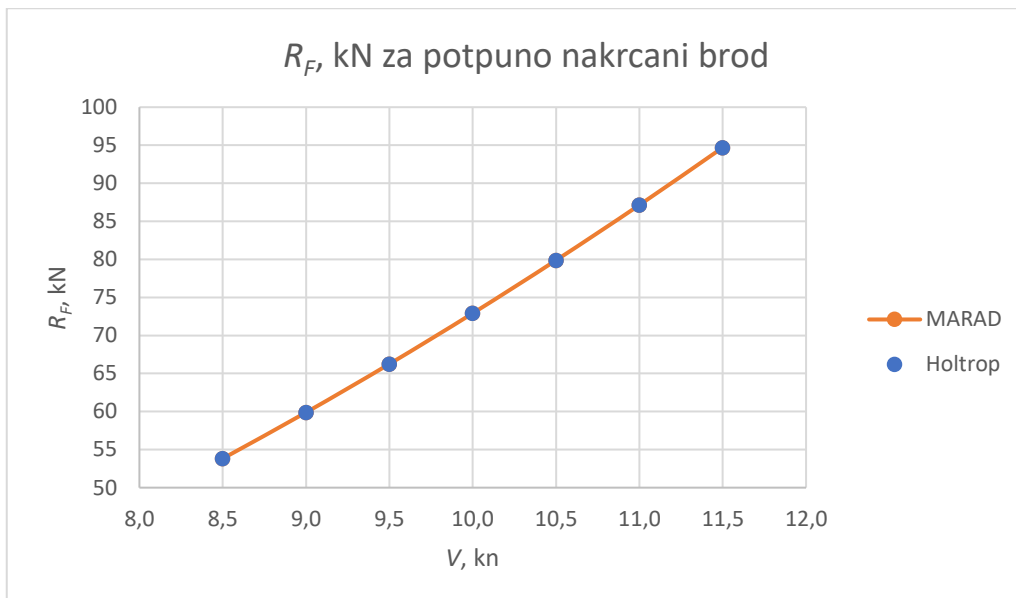
otpora, dobiven je kao zbroj svih komponenti otpora osim R_A i R_F . Korelacijski otpor R_A nije uključen u preostali otpor jer se ni metodom MARAD ne računa u R_R , pa iz tog razloga nije ni ovdje dodan u preostali otpor metode Holtrop 1984.



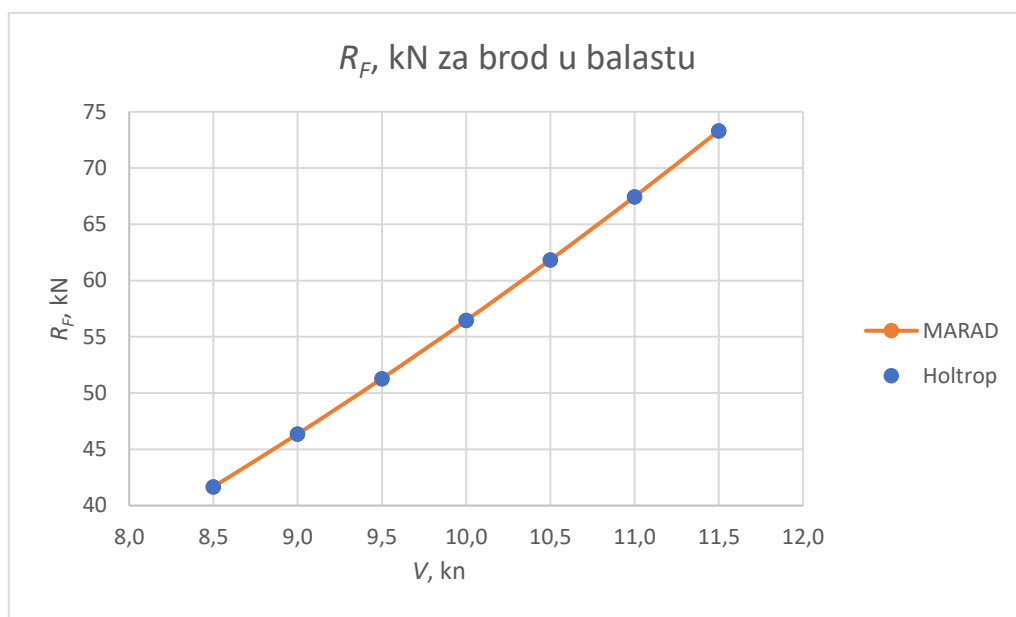
Slika 4.7. Usporedba R_R za potpuno nakrcani brod



Slika 4.8. Usporedba R_R za brod u balastu



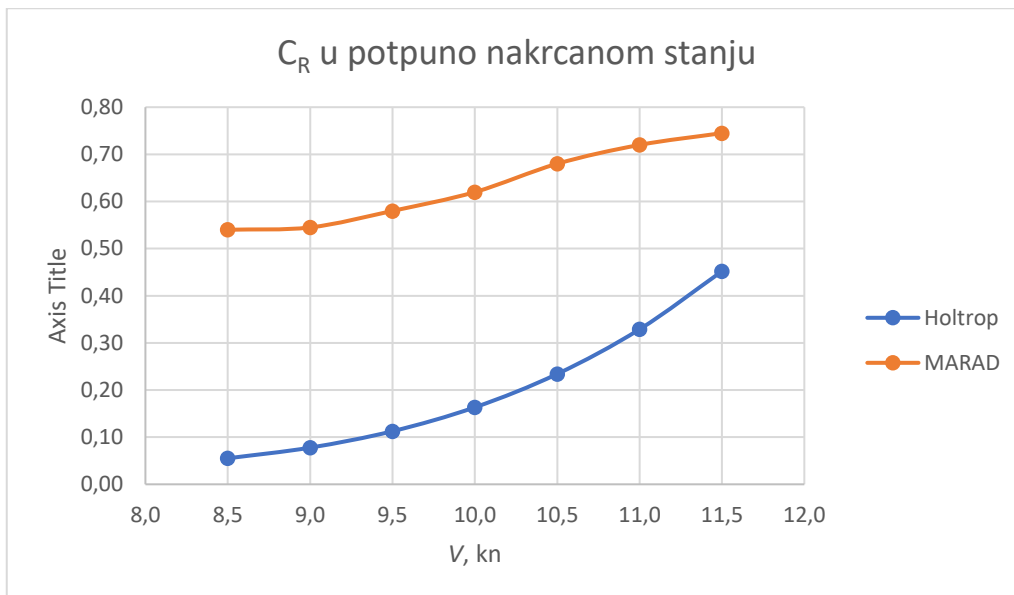
Slika 4.9. Usporedba R_F za potpuno nakrcani brod



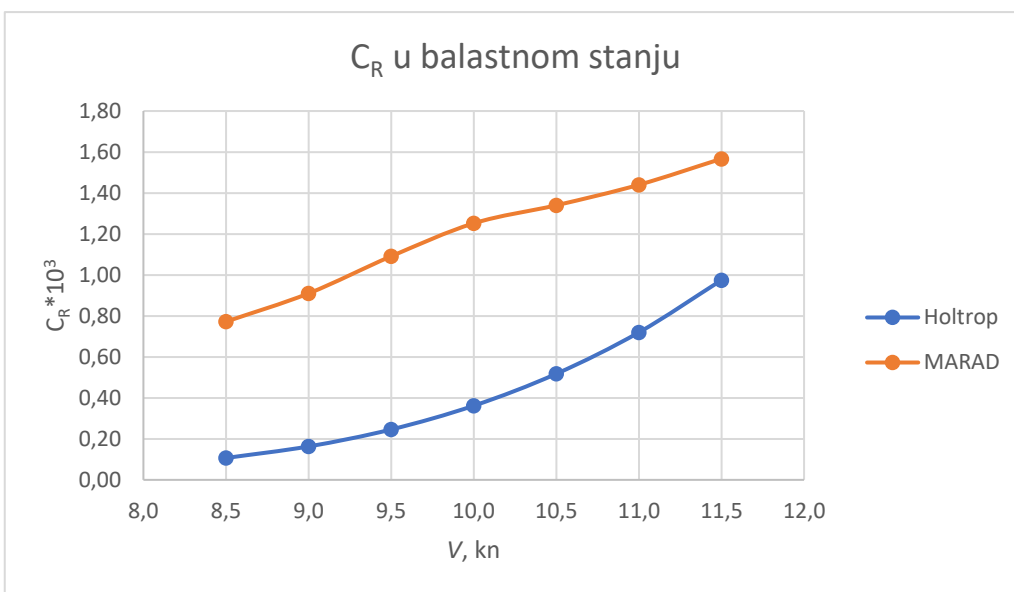
Slika 4.10. Usporedba R_F za brod u balastu

Vrijednosti otpora trenja R_F metode MARAD i metode Holtrop-Mennen jednaki su jer su oba izračunata iz koeficijenta otpora trenja C_F koji je jednak za obje metode jer je izračunat pomoću ITTC 1957 (3.3).

Nadalje na slikama 4.11. i 4.12. prikazana je grafička usporedba koeficijenata otpora C_R za obje metode i svako stanje krcanja, potpuno nakrcano i balastno.

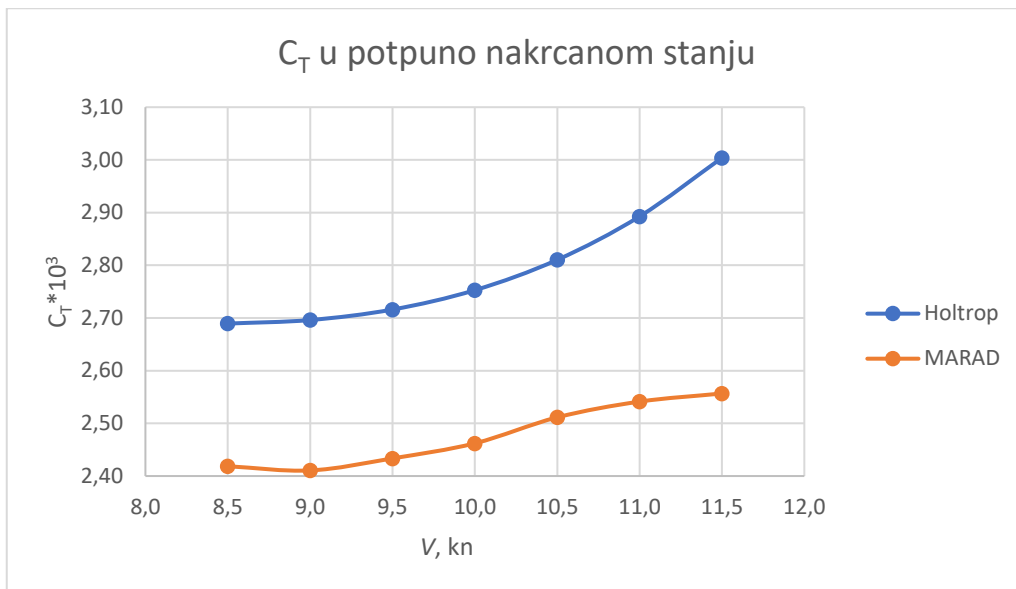


Slika 4.11. Usporedba C_R za za potpuno nakrcani brod

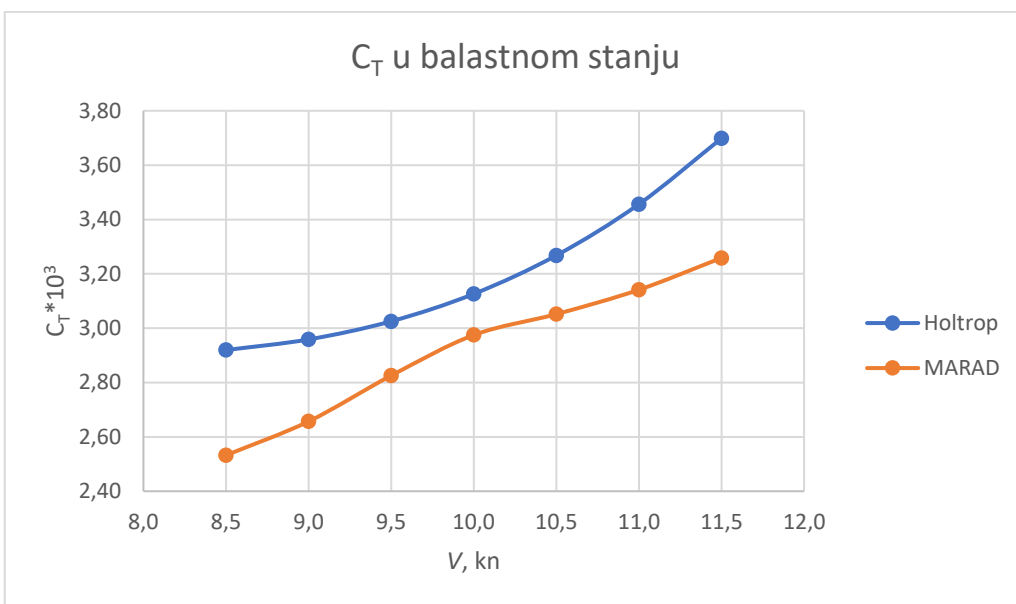


Slika 4.12. Usporedba C_R za brod u balastu

Slike 4.13. i 4.14. daju grafički prikaz razlike rezultata C_T metode MARAD i metode Holtrop za potpuno nakrcano stanje i balastno stanje.

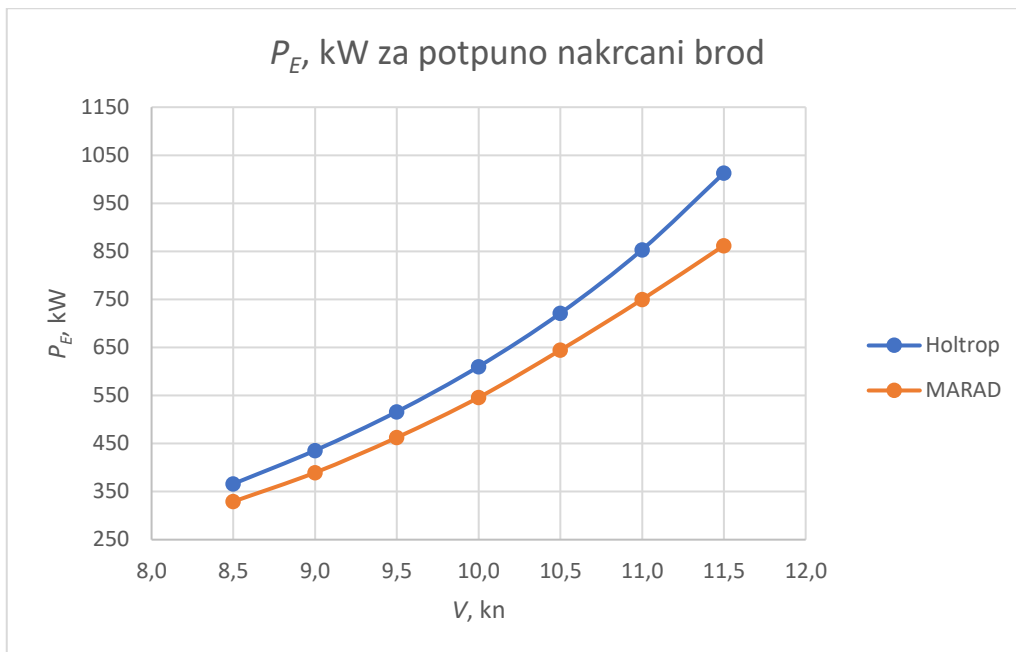


Slika 4.13. Usporedba C_T za potpuno nakrcano stanje

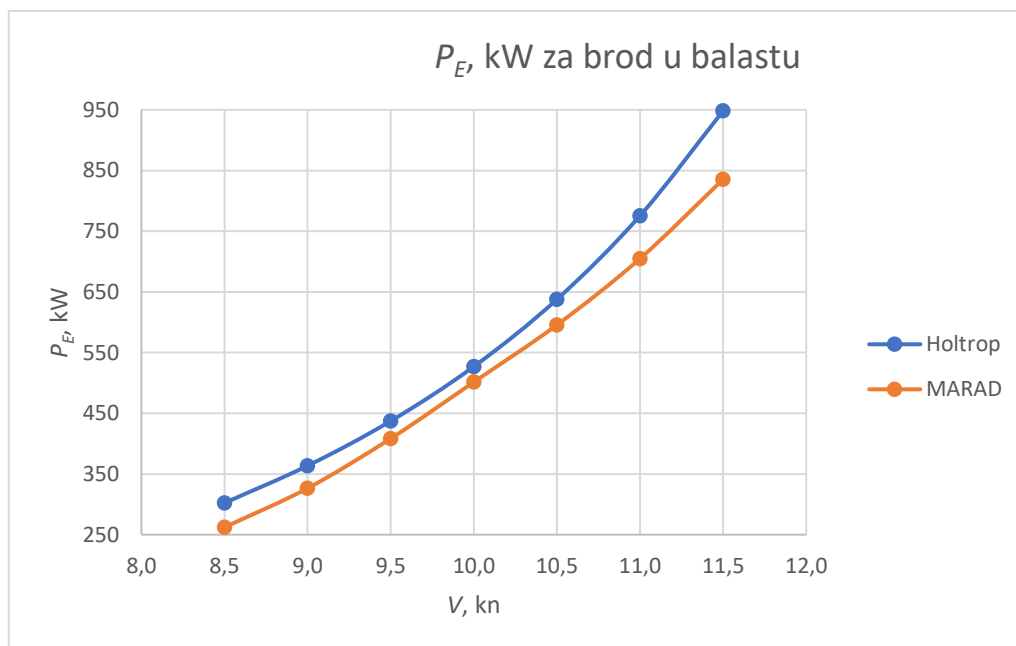


Slika 4.14. Usporedba C_T za balastno stanje

U nastavku na slikama 4.15. i 4.16. slijede grafički prikazi razlike u snazi otpora za potpuno nakrcano stanje i balastno stanje krcanja.

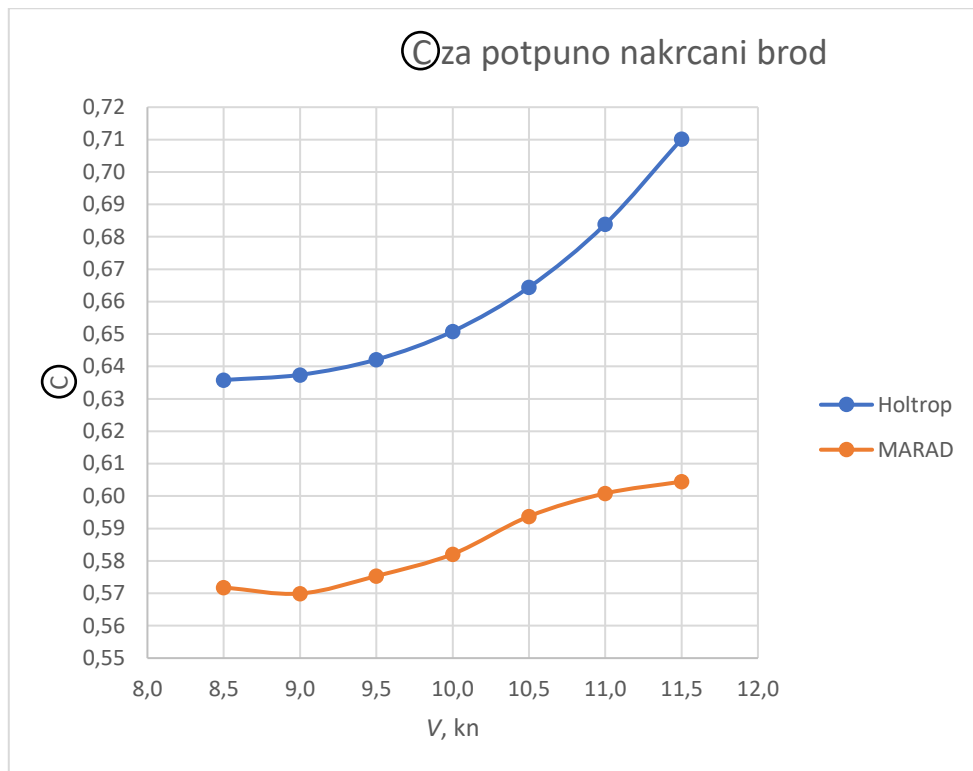


Slika 4.15. Usporedba snage za potpuno nakrcani brod

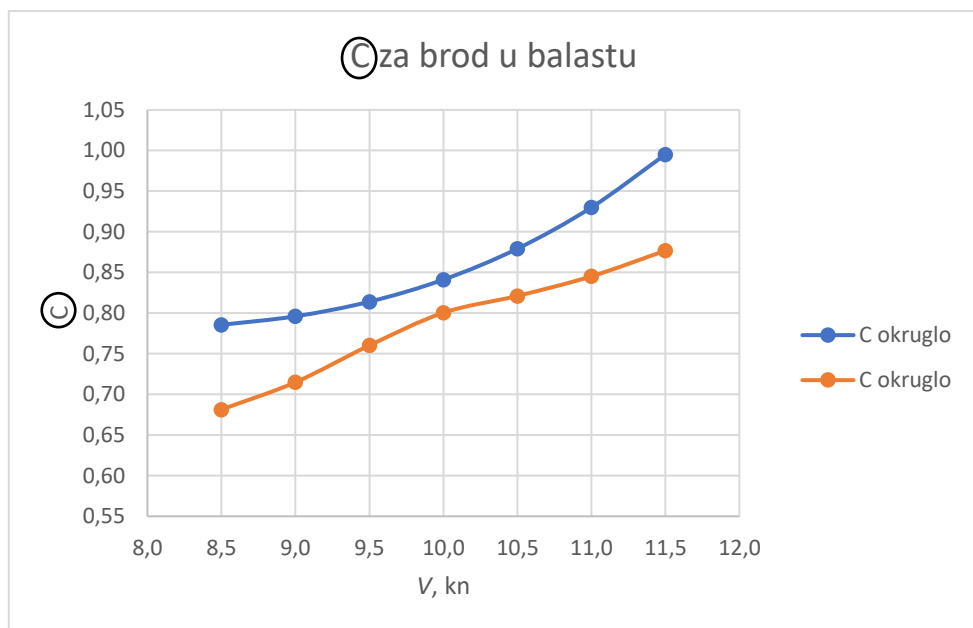


Slika 4.16. Usporedba snage za brod u balastu

Na slici 4.15. prikazana je grafička usporedba © za brod u potpuno nakrcanom stanju, dok je na slici 4.16 grafička usporedba © za brod u balastnom stanju.



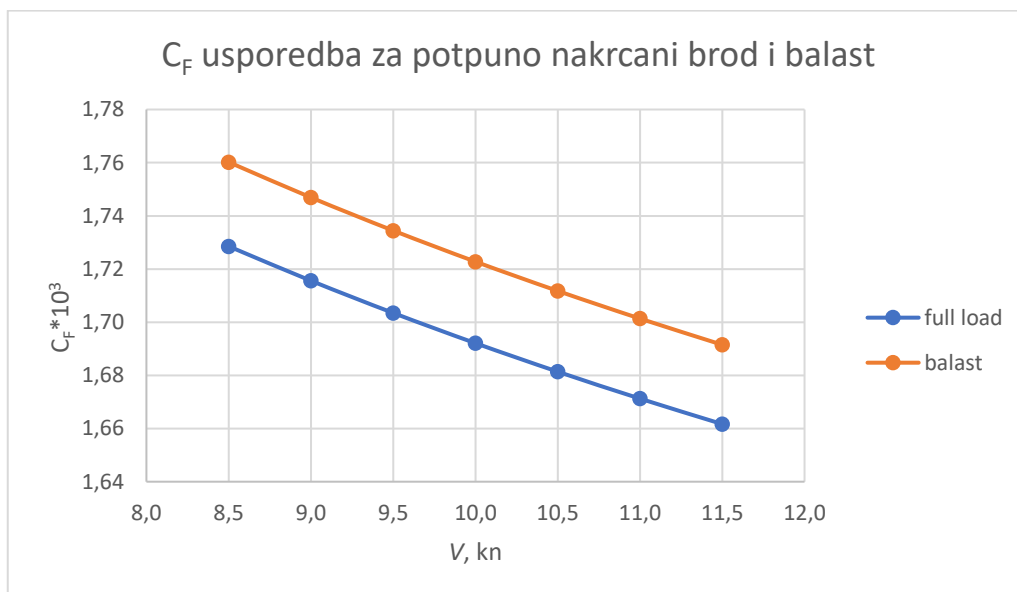
Slika 4.17. Usporedba © za potpuno nakrcani brod



Slika 4.18. Usporedba © za brod u balastu

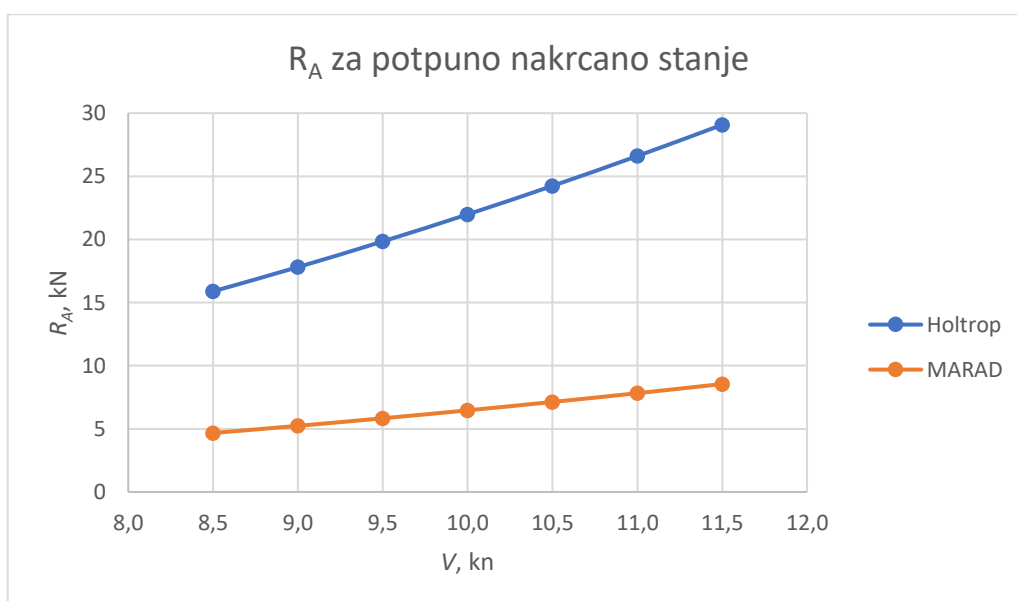
Na slici 4.17. ponuđen je graf koeficijena otpora trenja broda dobivenih metodama MARAD i Holtrop za potpuno nakrcano stanje i za balastno stanje broda. Obzirom da se taj koeficijent

objema metodama računa na isti način, dobiju se isti rezultati, odnosno nema razlike u dobivenim vrijednostima. Stoga graf usporedbe rezultata C_F ne bi imao smisla.

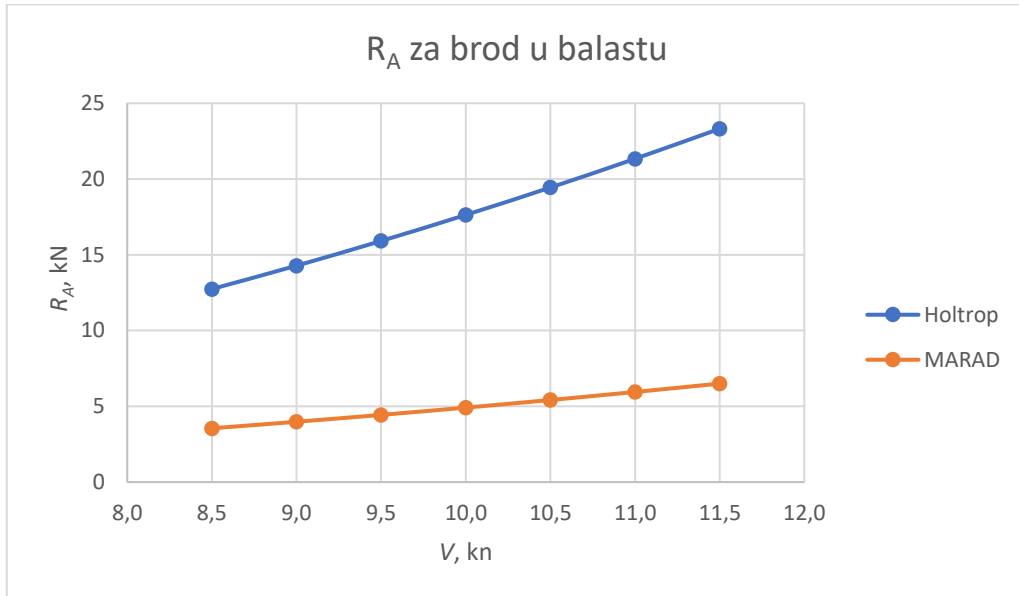


Slika 4.19. Razlika C_F za dva stanja krcanja

Korelacijski otpori prikazani su na slikama 4.20. i 4.21. izračunati metodom MARAD i metodom Holtrop-Mennen. Na slici 4.20. prikazan je R_A broda u potpuno nakrcanom stanju, a na slici 4.21. R_A je prikazan za balastno stanje broda.



Slika 4.20. R_A za potpuno nakrcano stanje



Slika 4.21. R_A broda u balastu

Koeficijent korelacijskog otpora C_A za metodu Holtrop za stanje potpuno nakrcanog broda iznosi $C_A = 0,51 \cdot 10^{-3}$, za balastno stanje broda koeficijent iznosi $C_A = 0,538 \cdot 10^{-3}$, a za metodu MARAD za oba stanja krcanja broda koeficijent C_A iznosi $C_A = 0,15 \cdot 10^{-3}$.

5. Zaključak

Cilj ovog rada bio je odabrati formu broda koja odgovara MARAD sustavnom nizu modela te za taj brod, potpuno nakrcan i u balastu, izračunati ukupni otpor metodom MARAD i Holtrop-Mennen, te tablično i grafički prikazati i usporediti dobivene rezultate.

Obje metode za otpor trenja uzimaju ITTC korelacijsku liniju model-brod, no ono što čini razliku su ostale komponente otpora. Takva razlika u pristupu podjele otpora broda u konačnici daje i razlike u rezultatima. Holtrop-Mennen metoda je za potpuno nakrcani brod dala 13% veće rezultate, dok za brod u balastu ta razlika pada na 9%. Ovakva razlika možda se ne čini puno, ali puno znači i brodograditelju i brodovlasniku. Brod koji bi se projektirao za brzinu 15 čvorova kada bi na kraju postigao 10% manju brzinu brodograditelj bi morao platiti značajne penale, a brodovlasnik bi dobio brod kakav nije naručio. Osim što ju je jednostavno primijeniti na bilo kakvu brodsku formu, što sa MARAD-om nije uvijek moguće, Holtrop 1984. metoda daje veće rezultate pa se nalazi na „sigurnoj strani“, što je inženjerima uvijek drago.

Da bi se sa sigurnošću moglo reći koja metoda je točnija potrebni su podaci otpora sa probne vožnje broda u naravi sa kojima bi se usporedili rezultati ovih metoda.

Literatura

- [1] Roseman, D. P.: "The MARAD Systematic Series of Full-form Ship Models", The Society of Naval Architects and Marine Engineers, New Jersey, 1987.
- [2] Holtrop, J., Mennen, G.G., A statistical power prediction method, International Shipbuilding Progress, Vol. 24, No. 270, p. 253-256, Rotterdam, Nizozemska, 1977.
- [3] Holtrop, J., „A statistical re-analysis of resistance and propulsion data“, International Shipbuilding Progress, Vol. 31, No. 363, p. 272-276., Rotterdam, Nizozemska, 1984.
- [4] Holtrop, J., Mennen, G.G.J., „An approximate power prediction method“, International Shipbuilding Progress, Vol. 29, No. 335, p. 166-170., Rotterdam, Nizozemska, 1982.
- [5] Molland, A. F.; Turnock, S. R.; Hudson, D. A.: „Ship Resistance and Propulsion“, Cambridge University Press, New York, USA, 2011.

Popis simbola i oznaka

Oznaka	Jedinica	Značenje
B	m	širina broda
C_A	-	koeficijent hrapavosti
C_B	-	koeficijent punoće istisnine
C_{BM}	-	koeficijent punoće glavnog rebra
C_F	-	koeficijent otpora trenja broda
C_R	-	koeficijent preostalog otpora broda
C_T	-	koeficijent ukupnog otpora broda
C_W	-	koeficijent otpora valova
Fr	-	Froudeov broj
LCB	%	uzdužni položaj težišta istisnine iskazan u postotku duljine, mjereno od glavnog rebra prema pramcu
L_{PP}	m	duljina između perpendikulara
L_R	m	duljina krmenog zaoštrenja
P_E	kW	snaga otpora
Re	-	Reynoldsov broj
R_A	kN	korelacijski otpor
R_F	kN	otpor trenja broda
R_R	kN	preostali otpor broda
R_T	kN	ukupni otpor broda
S	m ²	oplakivana površina broda
S_{APP}	m ²	površina privjesaka
S_b	m ²	oplakivana površina broda u balastu
S_{bM}	m ²	oplakivana površina modela u balastu
T	m	gaz broda
T_b	m	gaz broda u balastu

T_{bM}	m	gaz modela u balastu
ν	m ² /s	kinematički koeficijent viskoznosti morske vode
ρ	kg/m ³	gustoća morske vode
∇	m ³	volumen istisnine broda
∇_b	m ³	volumen istisnine broda u balastu
∇_{bM}	m ³	volumen istisnine modela u balastu

Popis slika

<i>Slika 2.1. Dijagram serije u koju ulazi zadani brod [1]</i>	<i>2</i>
<i>Slika 2.2. Nacrt vodnih linija i uzdužnica</i>	<i>7</i>
<i>Slika 2.3. Nacrt rebara.....</i>	<i>10</i>
<i>Slika 4.1. $C_R \cdot 10^3$ u ovisnosti o B/T za seriju G za potpuno nakrcano stanje [1] ...</i>	<i>16</i>
<i>Slika 4.2. $C_R \cdot 10^3$ broda u ovisnosti o B/T za seriju G u balastnom stanju [1].....</i>	<i>17</i>
<i>Slika 4.3. Grafička usporedba rezultata za potpuno nakrcani brod</i>	<i>22</i>
<i>Slika 4.4. Ukupni otpor potpuno nakrcanog broda u ovisnosti o Fr</i>	<i>22</i>
<i>Slika 4.5. Grafička usporedba rezultata za brod u balastu.....</i>	<i>23</i>
<i>Slika 4.6. Ukupni otpor broda u balastu u ovisnosti o Fr.....</i>	<i>23</i>
<i>Slika 4.7. Usporedba R_R za potpuno nakrcani brod.....</i>	<i>24</i>
<i>Slika 4.8. Usporedba R_R za brod u balastu</i>	<i>24</i>
<i>Slika 4.9. Usporedba R_F za potpuno nakrcani brod.....</i>	<i>25</i>
<i>Slika 4.10. Usporedba R_F za brod u balastu</i>	<i>25</i>
<i>Slika 4.11. Usporedba C_R za potpuno nakrcani brod</i>	<i>26</i>
<i>Slika 4.12. Usporedba C_R za brod u balastu.....</i>	<i>26</i>
<i>Slika 4.13. Usporedba C_T za potpuno nakrcano stanje.....</i>	<i>27</i>
<i>Slika 4.14. Usporedba C_T za balastno stanje</i>	<i>27</i>
<i>Slika 4.15. Usporedba snage za potpuno nakrcani brod</i>	<i>28</i>
<i>Slika 4.16. Usporedba snage za brod u balastu.....</i>	<i>28</i>
<i>Slika 4.17. Usporedba \odot za potpuno nakrcani brod.....</i>	<i>29</i>
<i>Slika 4.18. Usporedba \odot za brod u balastu.....</i>	<i>29</i>
<i>Slika 4.19. Razlika C_F za dva stanja krcanja</i>	<i>30</i>
<i>Slika 4.20. R_A za potpuno nakrcano stanje</i>	<i>30</i>
<i>Slika 4.21. R_A broda u balastu</i>	<i>31</i>

Popis tablica

<i>Tablica 2.1. Parametri bezdimenzijske forme broda [1]</i>	<i>3</i>
<i>Tablica 2.2. Glavne dimenzije i koeficijenti broda u potpuno nakrcanom stanju....</i>	<i>4</i>
<i>Tablica 2.3. Glavne geometrijske značajke modela za balastno stanje [1]</i>	<i>4</i>
<i>Tablica 2.4. Dimenzije i koeficijenti broda u balastu</i>	<i>5</i>
<i>Tablica 2.5. Koordinate pramčanog zaoštrenja.....</i>	<i>8</i>
<i>Tablica 2.6. Koordinate krmenog zaoštrenja.....</i>	<i>9</i>
<i>Tablica 2.7. Koordinate rebara po gazu, u metrima.....</i>	<i>11</i>
<i>Tablica 4.1. MARAD: otpor za potpuno nakrcani brod.....</i>	<i>18</i>
<i>Tablica 4.2. MARAD: otpor za balastno stanje</i>	<i>18</i>
<i>Tablica 4.3. Holtrop: otpor za potpuno nakrcani brod.....</i>	<i>20</i>
<i>Tablica 4.4. Holtrop: otpor za balastno stanje</i>	<i>20</i>
<i>Tablica 4.5. Usporedba rezultata za potpuno nakrcano i balastno stanje</i>	<i>21</i>

Sažetak

Poznavanje otpora broda osnovni je preduvjet za odabir pogonskog stroja broda koji će dovoljno snage predavati vijku kako bi se brod kretao određenom brzinom. Brzina broda veličina je koja se sa naručiteljem dogovara ugovorom. U slučaju da je brod prespor brodogradilište plaća skupe penale. Zato je otpor broda bitna stavka pri projektiranju broda. U ovom radu proračunat će se otpor broda, u potpuno nakrcanom stanju i balastnom stanju, metodama MARAD i Holtrop 1984, te će se usporediti rezultati tih dviju metoda. Brod za koji se računa otpor ima zadanu nosivost 5000 tona, a ostale dimenzije i koeficijenti bit će odabrani kako bi brod ušao u geometrijske karakteristike modela iz metode MARAD. Ostale veličine određene su bezdimenzijskim koeficijentima iz MARAD-a, te su dobivene veličine korištene za proračun metodom Holtrop 1984. Holtrop 1984 metoda je kojoj odnosi geometrijskih veličina broda nisu od presudnog značaja, pa se iz tog razloga geometrija broda određuje zadanim omjerima metode MARAD. Koeficijenti preostalog otpora metode MARAD izvađeni su iz grafova metode. Izračun koeficijenata otpora kao i iznosa otpora objema metodama obavljen je u programu Microsoft Excel. Proračuni pokazuju da se koristeći dvije različite metode sa istim ulaznim veličinama dobiju različite vrijednosti otpora broda. Međutim da bi se znalo koja metoda je točnija trebalo bi imati rezultate otpora probne vožnje broda u naravi. Prema tome ne može se ocijeniti koja metoda je bliža pravim vrijednostima.

Ključne riječi: *proračun otpora broda, Holtrop, MARAD, potpuno nakrcano stanje, balastno stanje*

Summary

Knowing the ship's resistance is a basic prerequisite for choosing a ship's propulsion engine that will deliver enough power to the propeller to move the ship at a certain speed. The ship's speed is a quantity that is agreed upon with the client in the contract. If the ship is too slow, the shipyard pays expensive penalties. That is why the ship's resistance is an important item when designing a ship. In this paper, the resistance of the ship will be calculated, in the fully loaded state and in the ballast state, using the MARAD and Holtrop 1984 methods, and the results of those two methods will be compared. The ship for which the resistance is calculated has a default load capacity of 5000 tons, and other dimensions and coefficients will be selected so that the ship enters the geometric characteristics of the model from the MARAD method. Other sizes were determined by dimensionless coefficients from MARAD, and the obtained sizes were used for calculation using the Holtrop 1984 method. Holtrop 1984 is a method in which the ratios of the ship's geometric sizes are not of crucial importance, and for this reason the ship's geometry is determined by the default ratios of the MARAD method. The residual resistance coefficients of the MARAD method are extracted from the graphs of the method. All other coefficients of both methods were calculated in Microsoft Excel. Calculations show that using two different methods with the same input values, different values of the ship's resistance are obtained. However, in order to know which method is more accurate, one should have the results of the ship's test driving resistance in nature. Therefore, it is not possible to evaluate which method is closer to the true values.

Key words: ship's resistance calculation, Holtrop, MARAD, fully loaded state, ballast condition

Prilog 1

Tablica pramčanog zaoštrenja [1]

TABLE 2-2
Nondimensional Offsets for Series Hull Forms
(a) Entrance for All Series Hull Forms

Waterline	Station and x/L_E Measured from FP										
	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	1	$1\frac{1}{2}$	2	$2\frac{1}{2}$	3	$3\frac{1}{2}$	4	5	6
	0.0417	0.0833	0.1667	0.2500	0.3333	0.4167	0.5000	0.5833	0.6667	0.8333	1.0000
0.00			0.0167	0.1200	0.2050	0.2979	0.3904	0.4792	0.5562	0.7717	0.8729
0.05		0.0921	0.2104	0.3008	0.3979	0.4983	0.5867	0.6862	0.7825	0.9175	0.9542
0.10	0.0529	0.1508	0.2687	0.3687	0.4662	0.5667	0.6621	0.7662	0.8471	0.9496	0.9812
0.15	0.0992	0.1925	0.3104	0.4187	0.5179	0.6179	0.7175	0.8095	0.8792	0.9675	0.9958
0.20	0.1312	0.2204	0.3417	0.4575	0.5587	0.6575	0.7542	0.8379	0.9000	0.9796	1.0000
0.25	0.1575	0.2421	0.3692	0.4862	0.5887	0.6883	0.7783	0.8546	0.9133	0.9850	1.0000
0.30	0.1767	0.2604	0.3921	0.5092	0.6129	0.7104	0.7962	0.8675	0.9225	0.9883	1.0000
0.35	0.1929	0.2779	0.4112	0.5279	0.6333	0.7283	0.8108	0.8767	0.9292	0.9417	1.0000
0.40	0.2046	0.2921	0.4262	0.5425	0.6492	0.7437	0.8217	0.8846	0.9342	0.9950	1.0000
0.45	0.2158	0.3067	0.4404	0.5571	0.6633	0.7558	0.8312	0.8917	0.9375	0.9979	1.0000
0.50	0.2250	0.3192	0.4529	0.5687	0.6578	0.7662	0.8387	0.8975	0.9408	0.9996	1.0000
0.55	0.2337	0.3308	0.4642	0.5804	0.6875	0.7758	0.8458	0.9021	0.9437	1.0000	1.0000
0.60	0.2412	0.3412	0.4258	0.5908	0.6979	0.7833	0.8517	0.9067	0.9467	1.0000	1.0000
0.65	0.2487	0.3504	0.4862	0.6008	0.7075	0.7904	0.8583	0.9108	0.9487	1.0000	1.0000
0.70	0.2546	0.3587	0.4954	0.6096	0.7158	0.7967	0.8637	0.9142	0.9517	1.0000	1.0000
0.75	0.2617	0.3671	0.5050	0.6196	0.7237	0.8033	0.8679	0.9179	0.9542	1.0000	1.0000
0.80	0.2687	0.3750	0.5142	0.6283	0.7312	0.8087	0.8721	0.9212	0.9567	1.0000	1.0000
0.85	0.2742	0.3817	0.5233	0.6371	0.7379	0.8146	0.8762	0.9242	0.9587	1.0000	1.0000
0.90	0.2796	0.3879	0.5308	0.6442	0.7433	0.8196	0.8804	0.9271	0.9604	1.0000	1.0000
0.95	0.2850	0.3950	0.5392	0.6517	0.7496	0.8250	0.8846	0.9300	0.9633	1.0000	1.0000
1.00	0.2917	0.4017	0.5467	0.6592	0.7550	0.8296	0.8883	0.9333	0.9646	1.0000	1.0000
1.10	0.3029	0.4133	0.5600	0.6721	0.7654	0.8379	0.8942	0.9383	0.9679	1.0000	1.0000
1.20	0.3187	0.4283	0.5754	0.6854	0.7754	0.8462	0.9008	0.9437	0.9725	1.0000	1.0000
1.30	0.3383	0.4433	0.5887	0.6971	0.7842	0.8533	0.9071	0.9479	0.9758	1.0000	1.0000
1.40	0.3629	0.4604	0.5937	0.7079	0.7925	0.8600	0.9133	0.9529	0.9787	1.0000	1.0000
1.50	0.3950	0.4833	0.6162	0.7187	0.8000	0.8658	0.9183	0.9562	0.9812	1.0000	1.0000

Note: Half-breadths of waterlines at each station listed in the table are given as fractions of half maximum beam. Waterline heights are given as fractions of design full-load draft.

Tablica početka krmenog zaoštrenja [1]

TABLE 2-2 (Continued)

(b) Run Beginning for All Series Hull Forms

Waterline	Station and x/L_R Measured from AP							
	5 0.4167	6 0.5000	7 0.5833	8 0.6667	9 0.7500	10 0.8333	11 0.9167	12 1.0000
0.00	0.1092	0.1629	0.2000	0.2533	0.3187	0.3804	0.4400	0.8729
0.05	0.2871	0.3808	0.4862	0.6283	0.7746	0.8946	0.9408	0.9542
0.10	0.3833	0.5083	0.6687	0.8029	0.8987	0.9479	0.9721	0.9812
0.15	0.4683	0.6317	0.7812	0.8779	0.9262	0.9729	0.9879	0.9958
0.20	0.5462	0.7233	0.8454	0.9212	0.9679	0.9871	0.9967	1.0000
0.25	0.6212	0.7925	0.8883	0.9467	0.9812	0.9942	0.9992	1.0000
0.30	0.6908	0.8437	0.9183	0.9642	0.9892	0.9987	1.0000	1.0000
0.35	0.7554	0.8833	0.9400	0.9771	0.9937	1.0000	1.0000	1.0000
0.40	0.8158	0.9154	0.9579	0.9854	0.9967	1.0000	1.0000	1.0000
0.45	0.8646	0.9396	0.9704	0.9917	0.9979	1.0000	1.0000	1.0000
0.50	0.9046	0.9600	0.9804	0.9937	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.55	0.9333	0.9725	0.9879	0.9967	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.60	0.9562	0.9833	0.9933	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.65	0.9721	0.9908	0.9967	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.70	0.9829	0.9967	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.75	0.9925	0.9987	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.80	0.9967	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.85	0.9992	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.90	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.95	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.10	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.20	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.30	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.40	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.50	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

Tablica kraja krmenog zaoštrenja [1]

TABLE 2-2 (Continued)

(i) Run Ending for Series Hull Forms G, N, and P

Waterline	Station and x/L_R Measured from AP											
	$-1\frac{1}{2}$ -0.1250	-1 -0.0833	$-\frac{1}{2}$ -0.0417	0 0	$\frac{1}{2}$ 0.0417	1 0.0833	$1\frac{1}{2}$ 0.1250	2 0.1667	$2\frac{1}{2}$ 0.2083	3 0.2500	$3\frac{1}{2}$ 0.2917	4 0.3333
0							0.0025	0.0075	0.0183	0.0338	0.0567	0.0700
0.05							0.0342	0.0542	0.0888	0.1267	0.1583	0.2029
0.10						0.0096	0.0454	0.0775	0.1175	0.1617	0.2058	0.2662
0.15						0.0204	0.0538	0.0938	0.1400	0.1912	0.2462	0.3212
0.20						0.0288	0.0596	0.1058	0.1600	0.2204	0.2912	0.3788
0.25						0.0288	0.0629	0.1150	0.1779	0.2525	0.3396	0.4388
0.30						0.0342	0.0654	0.1229	0.2004	0.2900	0.3954	0.5038
0.35						0.0296	0.0667	0.1321	0.2271	0.3346	0.4583	0.5750
0.40						0.0275	0.0688	0.1467	0.2667	0.3946	0.5350	0.6579
0.45						0.0254	0.0767	0.1748	0.3250	0.4754	0.6267	0.7362
0.50						0.0262	0.0921	0.2254	0.3758	0.5871	0.7146	0.8050
0.55						0.0308	0.1183	0.3179	0.5362	0.6921	0.7921	0.8600
0.60						0.0433	0.2129	0.4721	0.6592	0.7792	0.8521	0.9029
0.65						0.0800	0.3800	0.6175	0.7521	0.8392	0.8979	0.9362
0.70						0.2700	0.5525	0.7217	0.8229	0.8871	0.9312	0.9604
0.75					0.0975	0.4646	0.6733	0.7917	0.8742	0.9229	0.9546	0.9762
0.80					0.3583	0.6046	0.7542	0.8442	0.9108	0.9467	0.9712	0.9875
0.85				0.1650	0.5196	0.6967	0.8088	0.8842	0.9338	0.9617	0.9825	0.9946
0.90				0.3858	0.6183	0.7525	0.8492	0.9117	0.9479	0.9204	0.9883	0.9971
0.95			0.2100	0.5162	0.6846	0.7954	0.8775	0.9283	0.9583	0.9788	0.9933	0.9992
1.00			0.3925	0.5922	0.7321	0.8288	0.8962	0.9408	0.9662	0.9338	0.9962	1.0000
1.10		0.3667	0.5483	0.6838	0.7933	0.8692	0.9212	0.9567	0.9758	0.9908	0.9979	1.0000
1.20	0.3054	0.4838	0.6183	0.7288	0.8175	0.8842	0.9292	0.9625	0.9796	0.9933	0.9979	1.0000
1.30	0.3979	0.5350	0.6504	0.7479	0.8292	0.8917	0.9325	0.9642	0.9808	0.9923	0.9979	1.0000
1.40	0.4433	0.5625	0.6654	0.7588	0.8362	0.8950	0.9329	0.9512	0.9808	0.9933	0.9979	1.0000
1.50	0.4550	0.5700	0.6717	0.7633	0.8396	0.8958	0.9329	0.9642	0.9808	0.9933	0.9979	1.0000

Prilog 2

Tablica koraka proračuna i izračunatih vrijednosti u Microsoft Excel-u.

Holtrop Mennen full load		Holtrop mennen balast	
L_{PP}	105,00	L_{WL}	91,55
L_R	52,92	L_R	46,1412
B	21,00	B	21,00
T	7,00	T_b	4,16
C_B	0,80	C_B	0,8432
∇	12348,00	∇_b	6743,8
S	3174,40	S_b	2413,8
C_P	0,8048	C_P	0,848
c_4	0,04	c_4	0,04
d	-0,9	d	-0,9
c_{16}	1,161367364	c_{16}	1,130649349
c_{15}	-1,69385	c_{15}	-1,69385
	-		
m_1	2,295186836	m_1	-2,282806344
$c_7= B/L$	0,20000	$c_7= B/L$	0,229382851
$\nabla^{1/3}$	23,11349074	$\nabla^{1/3}$	18,89302767
L_{PP}/T	15	L_{WL}/T	22,00721154
T/B	0,333333333	T/B	0,198095238
c_5	1	c_5	1
c_3	0	c_3	0
c_2	1	c_2	1
c_1	7,202590373	c_1	11,2647573
i_E	40,76512936	i_E	55,52100814
L/B	5	L/B	4,35952381
$L/B^{0,80856}$	3,674169492	$L/B^{0,80856}$	3,288704416
C_{WP}	0,856	C_{WP}	0,884948046
$1-C_{WP}$	0,144	$1-C_{WP}$	0,115051954
$(1-C_{WP})^{0,30484}$	0,553904919	$(1-C_{WP})^{0,30484}$	0,517276712
LCB	2,5	LCB	2,5
$(1-C_P-0,0225*LCB)^{0,6367}$	0,284577379	$(1-C_P-0,0225*LCB)^{0,6367}$	0,224096702
L_R/B	2,52	L_R/B	2,1972
$(L_R/B)^{0,34574}$	1,376512701	$(L_R/B)^{0,34574}$	1,312798259

Holtrop-Mennen full load nastavak		Holtrop-Mennen balast nastavak	
L^3	1157625,00	L^3	767317,40
$(100*\nabla/L^3)^{0,16302}$	1,010576611	$(100*\nabla/L^3)^{0,16302}$	0,979172954
λ	1,013782696	λ	1,095850032
C_A	0,000510181	C_A	0,00053813
$(L+100)^{-0,16}$	0,426697	$(L_{WL}+100)^{-0,16}$	0,43136
S_{APP}	31,744	S_{APP}	24,138
$(1+k_2)$	1,5	$(1+k_2)$	1,5
$S_{APP}*(1+k_2)$	47,616	$S_{APP}*(1+k_2)$	36,207
C_{stern}	-20	C_{stern}	-20
$(B/L)^{1,06806}$	0,17925	$(B/L)^{1,06806}$	0,207510809
$(T/L)^{0,46106}$	0,286913752	$(T/L)^{0,46106}$	0,240434604
L_{WL}/L_R	1,98	L_{WL}/L_R	1,984126984
$L_{WL}/L_R^{0,121563}$	1,09	$L_{WL}/L_R^{0,121563}$	1,086859577
$(L_{WL}^3/\nabla)^{0,36486}$	5,241956829	$(L_{WL}^3/\nabla)^{0,36486}$	5,625716374
$(1-C_p)^{-0,604247}$	2,68	$(1-C_p)^{-0,604247}$	3,13
$(1+k_1)$	1,22879238	$(1+k_1)$	1,292240922

Holtrop full load

$v, m/s$	Fr	$Fr^{-3,29}$	m_4	Fr^d	Fr^{-2}	$\cos(\lambda Fr^{-2})$
4,373	0,136	704,395	-2,6905E-11	6,012	53,851	-0,37508
4,630	0,144	583,642	-1,6326E-09	5,711	48,034	0,00127
4,887	0,152	488,533	-4,1424E-08	5,440	43,111	0,96179
5,144	0,160	412,671	-5,4629E-07	5,194	38,907	-0,17294
5,402	0,168	351,473	-4,3761E-06	4,971	35,290	-0,34449
5,659	0,176	301,594	-2,3856E-05	4,767	32,155	0,37890
5,916	0,184	260,560	-9,6271E-05	4,580	29,420	-0,02001

Holtrop balast

$v, m/s$	Fr	$Fr^{-3,29}$	m_4	Fr^d	Fr^{-2}	$\cos(\lambda Fr^{-2})$
4,373	0,146	562,196	-3,3849E-09	5,653	46,953	0,37345
4,630	0,155	465,820	-8,9667E-08	5,369	41,881	-0,33556
4,887	0,163	389,911	-1,1844E-06	5,114	37,588	-0,93915
5,144	0,172	329,364	-9,2799E-06	4,883	33,924	0,86586
5,402	0,180	280,520	-4,8841E-05	4,674	30,770	-0,66856
5,659	0,189	240,710	-1,8906E-04	4,482	28,036	0,76957
5,916	0,197	207,960	-5,7570E-04	4,306	25,651	-0,98649