

# Procjena otpora tankera za prijevoz naftnih derivata nosivosti 8500 tona

---

Mihaljević, Matija

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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:190:559567>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-05**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U RIJECI

**TEHNIČKI FAKULTET**

Preddiplomski sveučilišni studij brodogradnje

Završni rad

**PROCJENA OTPORA TANKERA ZA PRIJEVOZ NAFTNIH  
DERIVATA NOSIVOSTI 8500 TONA**

Rijeka, srpanj 2022.

Matija Mihaljević

0069075753

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski sveučilišni studij brodogradnje

Završni rad

**PROCJENA OTPORA TANKERA ZA PRIJEVOZ NAFTNIH  
DERIVATA NOSIVOSTI 8500 TONA**

Mentor: Prof. dr. sc. Roko Dejhalla

Rijeka, srpanj 2022.

Matija Mihaljević

0069075753

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**  
**TEHNIČKI FAKULTET**  
POVJERENSTVO ZA ZAVRŠNE ISPITE

Rijeka, 10. ožujka 2021.

Zavod: **Zavod za brodogradnju i inženjerstvo morske tehnologije**  
Predmet: **Hidrodinamika plovniha objekata I**  
Polje: **2.02 Brodogradnja**

## ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Matija Mihaljević (0069075753)**  
Studij: **Preddiplomski sveučilišni studij brodogradnje**

Zadatak: **PROCJENA OTPORA TANKERA ZA PRIJEVOZ NAFTNIH DERIVATA  
NOSIVOSTI 8500 TONA / RESISTANCE ESTIMATION OF PRODUCT TANKER  
WITH DEADWEIGHT OF 8500 TONNES**

Opis zadatka:

Za odabrane glavne dimenzije broda za prijevoz naftnih derivata nosivosti od 8500 t, primjenom MARAD sustavnog niza modela brodova definirati formu broda te izraditi nacrt linija broda. Pretpostaviti da je koeficijent punoće istisnine  $CB=0,85$ . 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.

*Mihaljević M.*

Zadatak uručen pristupniku: 15. ožujka 2021.  
Rok za predaju rada: 8. srpnja 2021.

Mentor:

*Dejhalla*

Prof. dr. sc. Roko Dejhalla

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

*Zamarin*

Prof. dr. sc. Albert Zamarin

## **IZJAVA**

Temeljem članka 8. Pravilnika o završnom radu, završnom ispitu i završetku preddiplomskih sveučilišnih studija, izjavljujem kako sam samostalno izradio ovaj završni rad, prema zadanom zadatku, pod mentorstvom prof. dr. sc. Roka Dejhalle.

Rijeka, srpanj 2022.

---

Matija  
Mihaljević

0069075753

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem prof. dr. sc. Roku Dejhalli na izuzetnoj pomoći, susretljivosti te utrošenom vremenu prilikom izrade ovog završnog rada.

Posebnu zahvalu dugujem obitelji i prijateljima na pruženoj moralnoj podršci.

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. DEFINIRANJE FORME BRODA.....	2
2.1. Brod.....	3
2.2. MARAD-bezdimenzijski koeficijenti forme.....	5
2.3. Nacrt linija.....	12
2.3.1. Nacrt rebara.....	13
2.3.2. Crtanje pramčane i krmene statve.....	15
2.3.3. Crtanje vodnih linija.....	16
2.3.4. Crtanje uzdužnica.....	17
3. PRORAČUN OTPORA BRODA.....	20
3.1. Općenito o otporu broda.....	20
3.2. Proračun otpora.....	21
3.3. Proračun otpora prema metodi Holtrop-Mennen.....	34
3.4. Usporedba dobivenih rezultata za MARAD i Holtrop-Mennen.....	41
4. ZAKLJUČAK.....	45
LITERATURA.....	46
I. Popis oznaka.....	47
II. Popis slika.....	49
III. Popis tablica.....	51
IV. Sažetak i ključne riječi.....	52
V. Abstract and keywords.....	53

# 1. UVOD

Pomorski brod je tijekom cijelog svog radnog vijeka izložen utjecaju mora. Znanost koja proučava kretanje odnosno gibanje broda kroz more zove se hidrodinamika broda.

Hidrodinamika je grana hidromehanike koja se bavi zakonima gibanja tekućina i pojavama uzrokovanim uzajamnim djelovanjem struje tekućine i tijela koje graniči s tekućinom u gibanju. Hidrodinamika je i znanost koja proučava gibanje tekućina zajedno s uzrocima zbog kojih gibanje nastaje, odnosno sila koje djeluju na fluid. Ona proučava zavisnost tih sila i kretanja nastalog pod djelovanjem istih. Čestica tekućine u hidrodinamici nije atom ili molekula od kojih se stvarno fluid sastoji, već mali termodinamički sustav krajnjih dimenzija u kojem se nalazi dovoljno atoma ili molekula. Hidrodinamika opisuje fluid kao skup malih termodinamičkih sustava u ravnotežnom stanju, koji su u međusobnom dodiru te mogu razmjenjivati čestice, energiju i drugo.

Brod se kroz plovidbu kreće kroz dva različita medija, zrak i tekućinu, koji su drugačije gustoće. Svaki od tih medija predstavlja određeni otpor koji brod treba prevladati da bi se mogao kretati.

Za odabrane dimenzije broda primjenom MARAD sustavnog niza definirala se forma broda te se izradio nacrt linija broda, pretpostavljajući da je koeficijent punoće istisnine  $C_B=0,85$ . U zadatku je bilo potrebno odrediti otpor tankera za odabrano područje brzina za potpuno ukrcan brod i brod u balastu. Rezultati su prikazani tablično i grafički. Sa dobivenim rezultatima napravljena je usporedba sa rezultatima iz proračuna prema metodi Holtrop-Mennen.



## 2. DEFINIRANJE FORME BRODA

Pomorska uprava MARAD u suradnji s Hidronautičkom inkorporiranom tvrtkom (Hydronautics Inc.), potaknuta rastućim interesom za trgovačke brodove s punim trupom početkom 1970-ih i nedostatkom sustavnih podataka o performansama ovih brodova, razvila je tzv. „MARAD Systematic Series“, koja se sastoji od 16 oblika trupova (tablica 2.1.), posebno osmišljenih za korištenje kao brodovi za rasuti teret i tanker za prijevoz naftnih derivata. MARAD je tipski odobren sustav upravljanja flotom koji se sastoji od različitih modula. MARAD je praktičan, moćan i dokazan, koristi se na tisućama brodova, postrojenja, strojeva i drugih lokacija.

Za odabrane glavne dimenzije broda za prijevoz naftnih derivata nosivosti od 8500 tona, primjenom MARAD sustavnog niza modela brodova (MARAD Systematic Series) definirana je forma H iz tablice 2.1. Pretpostavljen je koeficijent punoće istisnine  $C_B = 0,85$ . U tablici su prikazane forme od A-P, međutim dimenzije broda se najviše poklapaju sa vrijednostima iz stupca gdje je prikazana forma H. Omjer dužine i širine broda (L/B) bio je najbliži vrijednosti 6,500 i omjer širine i gaza broda (B/T) bio je najbliži vrijednosti 3,000.

Tablica 2.1. Tablični prikaz parametara za formu broda [1]

Parameter	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
$L_E/L$	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
$L_M/L$	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.

## 2.1. Brod

Dimenzije broda izražavaju se u metrima (m), nosivost u tonama (t), i brzina broda u čvorovima. Dolje u prilogu navedene su dimenzije tankera za prijevoz naftnih derivata nosivosti 8500 tona koji je odabran u radu (slika 2.1.).

Dimenzije broda:

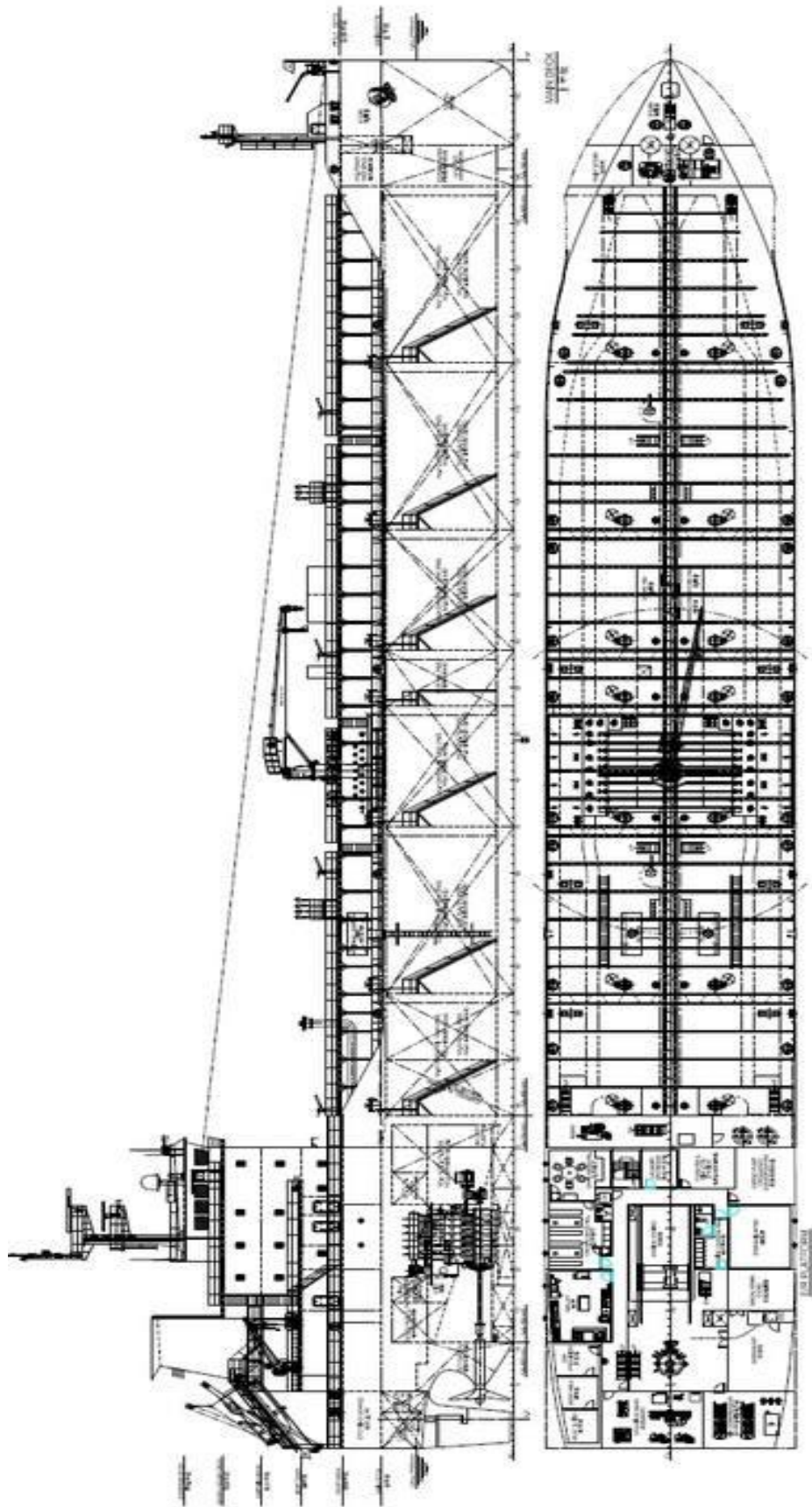
Duljina preko svega:	123,61 m
Duljina između okomica:	117,00 m
Širina:	18,50 m
Visina:	9,50 m
Gaz:	7,20 m
Nosivost:	8 500 t
$C_B$ :	0,85

Glavni motor:

Glavni motor MITSUBISHI 6UEC33LSE-C2 TII

Brzina:

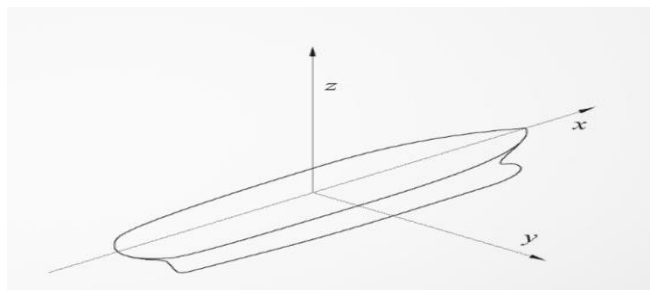
Brzina: 13 čvora



Slika 2.1. Tanker koji je poslužio kao predložak [2]

## 2.2. MARAD-bezdimenzijski koeficijenti forme

Nakon što je izabrana forma broda H u tablici 2.1., u MARAD sustavnom nizu modela u tablicama 2.2., 2.5., 2.6. su prikazani bezdimenzijski koeficijenti forme broda, broj rebara i vodne linije. U ovom slučaju prikazane su tri tablice, jedna tablica (2.2.) je za rebra koja se nalaze u pramčanom zaoštrenju, dok se rebra u preostale dvije tablice (2.5 i 2.6.) nalaze u krmenom zaoštrenju. U tablici svako rebro ima svoj broj i razmaci rebara nisu isti za svako rebro koji se protežu po dužini brodi. Vodne linije se protežu od 0,000 do 1,500. Vodne linije se nalaze u smjeru osi z, rebra se nalaze u smjeru osi x (po dužini broda) dok su poluširine rebara u smjeru osi y (slika 2.2.).



Slika 2.2. Koordinatne osi broda [3]

Tablica 2.2. Bezdimenzijski koeficijenti forme za pramčano zaoštrenje [1]

Waterline	Station and $x/L_{pp}$ Measured from FP										
	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{4}$	1	$1\frac{1}{2}$	2	$2\frac{1}{2}$	3	$3\frac{1}{2}$	4	5	6
0.00	0.0417	0.0833	0.1667	0.2500	0.3333	0.4167	0.5000	0.5833	0.6667	0.8333	1.0000
0.05		0.0921	0.0167	0.1200	0.2050	0.2979	0.3904	0.4792	0.5562	0.7717	0.8729
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	0.4758	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.

X-koordinate su vrijednosti koji se nalaze vodoravno u tablici 2.2., od vrijednosti 0,0417 pa do 1,0000. Rebra se označavaju x-koordinatama koja se protežu uzdužno po brodu, u ovom slučaju za pramčano zaoštrenje (tablica 2.2.). Navedene su prave dimenzije broda (L=123,610 m, B=18,500 m, T=7,200 m) te se dobiju i usklade stvarne poluširine rebara tako da se koeficijenti množe sa B/2= 9,250 m. Vodne linije prikazane u tablicima 2.2., 2.5., 2.6. od 0,000 do 1,500 se množe sa gazom T=7,200 m tako da bi se dobila stvarna vodna linija i visina. Dobivene konačne vrijednosti su u tablici 2.3. i u skladu su sa dimenzijama broda.

Tablica 2.3. *Tablica dobivenih koordinata za pramčano zaoštrenje*

x, m	0,781	1,559	3,121	4,680	6,239	7,801	9,360	10,919	12,481	15,599	18,720
z, m											
0,000			0,154	1,110	1,896	2,756	3,611	4,433	5,145	7,138	8,074
0,360		0,852	1,946	2,782	3,681	4,609	5,427	6,347	7,238	8,487	8,826
0,720	0,489	1,395	2,485	3,410	4,312	5,242	6,124	7,087	7,836	8,784	9,076
1,080	0,918	1,781	2,871	3,873	4,791	5,716	6,637	7,488	8,133	8,949	9,211
1,440	1,214	2,039	3,161	4,232	5,168	6,082	6,976	7,751	8,325	9,061	9,250
1,800	1,457	2,239	3,415	4,497	5,445	6,367	7,199	7,905	8,448	9,111	9,250
2,160	1,634	2,409	3,627	4,710	5,669	6,571	7,365	8,024	8,533	9,142	9,250
2,520	1,784	2,571	3,804	4,883	5,858	6,737	7,500	8,109	8,595	8,711	9,250
2,880	1,883	2,702	3,942	5,018	6,005	6,879	7,601	8,183	8,641	9,204	9,250
3,240	1,996	2,837	4,074	5,153	6,136	6,991	7,689	8,248	8,672	9,231	9,250
3,600	2,081	2,953	4,189	5,260	6,085	7,087	7,758	8,302	8,702	9,246	9,250
3,960	2,162	3,060	4,294	5,369	6,359	7,176	7,824	8,344	8,729	9,250	9,250
4,320	2,231	3,156	3,939	5,465	6,456	7,246	7,878	8,387	8,757	9,250	9,250
4,680	2,300	3,241	4,497	5,557	6,544	7,311	7,939	8,425	8,775	9,250	9,250
5,040	2,355	3,318	4,582	5,639	6,621	7,369	7,989	8,456	8,803	9,250	9,250
5,400	2,421	3,396	4,671	5,731	6,694	7,431	8,028	8,491	8,826	9,250	9,250
5,760	2,485	3,469	4,756	5,812	6,764	7,480	8,067	8,521	8,849	9,250	9,250
6,120	2,536	3,531	4,841	5,893	6,826	7,535	8,105	8,549	8,868	9,250	9,250
6,480	2,586	3,588	4,910	5,959	6,876	7,581	8,144	8,576	8,884	9,250	9,250
6,840	2,636	3,654	4,988	6,028	6,934	7,631	8,183	8,603	8,911	9,250	9,250
7,200	2,698	3,716	5,057	6,098	6,984	7,674	8,217	8,633	8,923	9,250	9,250
7,920	2,802	3,823	5,180	6,217	7,080	7,751	8,271	8,679	8,953	9,250	9,250
8,640	2,948	3,962	5,322	6,340	7,172	7,827	8,332	8,729	8,996	9,250	9,250
9,360	3,129	4,101	5,445	6,448	7,254	7,893	8,391	8,768	9,026	9,250	9,250
10,080	3,357	4,259	5,492	6,548	7,331	7,955	8,448	8,814	9,053	9,250	9,250
10,800	3,654	4,471	5,700	6,648	7,400	8,009	8,494	8,845	9,076	9,250	9,250



Vrijednosti  $L_E/L$ ,  $L_M/L$  i  $L_R/L$  uzete su iz tablice 2.4. gdje je prikazana forma broda H u stupcu.

Tablica 2.4. Preuzete vrijednosti iz tablice za  $L_E/L$ ,  $L_M/L$ ,  $L_R/L$  [1]

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	3.000	3.750	4.500	3.750	4.500	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
$L_E/L$	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
$L_M/L$	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.

Pomoću izraza (2.1, 2.2, 2.3) dobivene su dužine paralelog srednjaka ( $L_M$ ), krmenog zaoštrenja ( $L_R$ ) i pramčanog zaoštrenja ( $L_E$ ).

$$\frac{L_E}{L} = 0,16 \rightarrow L_E = 117 \cdot 0,16 = 18,720 \text{ m} \quad (2.1)$$

$$\frac{L_M}{L} = 0,443 \rightarrow L_M = 117 \cdot 0,443 = 51,831 \text{ m} \quad (2.2)$$

$$\frac{L_R}{L} = 0,397 \rightarrow L_R = 117 \cdot 0,397 = 46,449 \text{ m} \quad (2.3)$$

gdje je:

$L_E$  – duljina pramčanog zaoštrenja, m

$L_M$  – duljina paralelnog srednjaka, m

$L_R$  – duljina krmenog zaoštrenja, m

$L$  – duljina između perpedikulara, m

Da bi se dobio stvaran broj rebara, rebra koja se nalaze na krmenom zaoštrenju ( $L_R$ ) se množe sa vrijednosti 46,449, a rebra koja se nalaze na pramčanom zaoštrenju ( $L_E$ ) množe se sa 18,720 gdje je:

$$x = \text{broj rebra na krmi} \cdot L_R \quad (2.4)$$

$$x = \text{broj rebra na pramcu} \cdot L_E \quad (2.5)$$

Još su preostale dvije tablice (tablica 2.5.) i (tablica 2.6.) koje imaju koeficijente i broj rebra za krmeno zaoštrenje ( $L_R$ ). Dolje su prikazane tablice 2.5. i 2.6. koje imaju vodne linije od 0,000 do 1,500, koeficijente za poluširine rebara i broj rebra. Broj rebara je veći na krmenom zaoštrenju nego na pramčanom. S toga konstrukcija rebara na krmi je nešto kompliciranija nego na prednjem dijelu broda, odnosno pramcu. Da se dobiju stvarne poluširine rebara, postupak je isti kao i kod pramčanog zaoštrenja. Koeficijenti u tablici se množe sa  $B/2=9,250$  m, a vodne linije se množe sa gazom  $T=7,200$  m. Konačne stvarne vrijednosti broda prikazane su u tablicama 2.7. i 2.8.

Tablica 2.5. *Bezdimenzijski koeficijenti forme za krmeno zaoštrenje [1]*

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
0.00							0.0025	0.0042	0.0325	0.5000	0.0667	0.0833
0.05							0.0254	0.0487	0.0862	0.1262	0.1587	0.2012
0.10							0.0333	0.0658	0.1075	0.1579	0.2054	0.2612
0.15							0.0362	0.0779	0.1237	0.1821	0.2446	0.3146
0.20							0.0377	0.0871	0.1387	0.2071	0.2821	0.3679
0.25							0.0354	0.0937	0.1562	0.2350	0.3237	0.4271
0.30							0.0342	0.0996	0.1754	0.2671	0.3721	0.4917
0.35							0.0346	0.1050	0.1975	0.3058	0.4354	0.5604
0.40							0.0362	0.1137	0.2267	0.3562	0.5075	0.6383
0.45							0.0408	0.1312	0.2796	0.4371	0.5950	0.7229
0.50							0.0479	0.1612	0.3679	0.5521	0.6912	0.7950
0.55							0.0604	0.2242	0.4871	0.6767	0.7750	0.8508
0.60							0.0942	0.4329	0.6442	0.7687	0.8417	0.8967
0.65							0.3312	0.6154	0.7537	0.8383	0.8912	0.9304
0.70						0.2087	0.5625	0.7279	0.8242	0.8867	0.9250	0.9554
0.75						0.4987	0.6967	0.8017	0.8750	0.9229	0.9492	0.9750
0.80					0.4087	0.6550	0.7783	0.8521	0.9112	0.9467	0.9658	0.9857
0.85				0.2958	0.5975	0.7400	0.8308	0.8883	0.9342	0.9617	0.9775	0.9938
0.90			0.0562	0.5150	0.6958	0.7975	0.8667	0.9154	0.9508	0.9733	0.9854	1.0000
0.95			0.4271	0.6262	0.7521	0.8308	0.8946	0.9346	0.9621	0.9804	0.9908	1.0000
1.00		0.3267	0.5525	0.6929	0.7917	0.8642	0.8854	0.9492	0.9708	0.9867	0.9942	1.0000
1.10	0.3696	0.5479	0.6658	0.7642	0.8404	0.8992	0.9352	0.9642	0.9796	0.9917	0.9975	1.0000
1.20	0.5137	0.6267	0.7233	0.8033	0.8667	0.9167	0.9467	0.9717	0.9833	0.9937	0.9975	1.0000
1.30	0.5725	0.6696	0.7533	0.8221	0.8804	0.9233	0.9521	0.9725	0.9833	0.9937	0.9975	1.0000
1.40	0.5950	0.6842	0.7654	0.8296	0.8833	0.9250	0.9521	0.9725	0.9833	0.9937	0.9975	1.0000
1.50	0.5992	0.6858	0.7662	0.8300	0.8833	0.9250	0.9521	0.9725	0.9833	0.9937	0.9975	1.0000

Tablica 2.6. *Bezdimenzijski koeficijenti forme za krmeno zaoštrenje [1]*

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	0.9887	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 2.7. Tablica dobivenih koordinata za krmeno zaoštrenje

x, m	-5,760	-3,869	-1,937	0,000	1,937	3,869	5,806	7,743	9,675	11,612	13,549	15,481
z, m												
0,000							0,039	0,077	0,192	0,470	0,632	0,667
0,360							0,304	0,559	0,821	1,183	1,473	1,834
0,720							0,416	0,709	1,064	1,492	1,919	2,455
1,080						0,131	0,470	0,817	1,261	1,765	2,313	3,003
1,440						0,204	0,489	0,898	1,426	2,016	2,686	3,504
1,800						0,247	0,509	0,983	1,611	2,301	3,126	4,077
2,160						0,278	0,521	1,071	1,804	2,636	3,623	4,675
2,520						0,254	0,532	1,183	2,035	3,060	4,212	5,326
2,880						0,220	0,567	1,330	2,394	3,608	4,918	6,051
3,240						0,201	0,620	1,553	2,941	4,548	5,735	6,799
3,600						0,197	0,733	1,908	3,731	5,365	6,502	7,407
3,960						0,243	0,983	2,821	4,899	6,306	7,284	7,944
4,320						0,354	1,658	4,374	6,094	7,181	7,916	8,356
4,680						0,994	3,723	5,751	7,030	7,816	8,332	8,656
5,040						7,296	5,164	6,606	7,643	8,225	8,610	8,861
5,400					1,322	4,406	6,321	7,396	8,090	8,529	8,825	9,019
5,760					3,519	5,689	7,065	7,855	8,387	8,738	8,969	9,119
6,120					5,358	6,541	7,554	8,194	8,599	8,880	9,072	9,188
6,480				3,862	5,909	7,107	7,912	8,437	8,714	8,976	9,134	9,227
6,840			2,482	4,972	6,494	7,473	8,144	8,599	8,861	9,046	9,177	9,243
7,200			3,931	5,692	6,914	7,747	8,329	8,718	8,946	9,096	9,204	9,250
7,920	0,856	3,769	5,299	6,479	7,407	8,074	8,553	8,864	9,046	9,165	9,243	9,250
8,640	3,126	4,694	5,858	6,861	7,662	8,248	8,649	8,926	9,088	9,200	9,250	9,250
9,360	3,943	5,130	6,159	7,061	7,793	8,337	8,679	8,934	9,096	9,204	9,250	9,250
10,080	4,324	5,349	6,321	7,161	7,843	8,356	8,679	8,934	9,096	9,204	9,250	9,250
10,800	4,475	5,446	6,390	7,199	7,855	8,356	8,679	8,934	9,096	9,204	9,250	9,250

Tablica 2.8. Tablica dobivenih koordinata za krmeno zaoštrenje

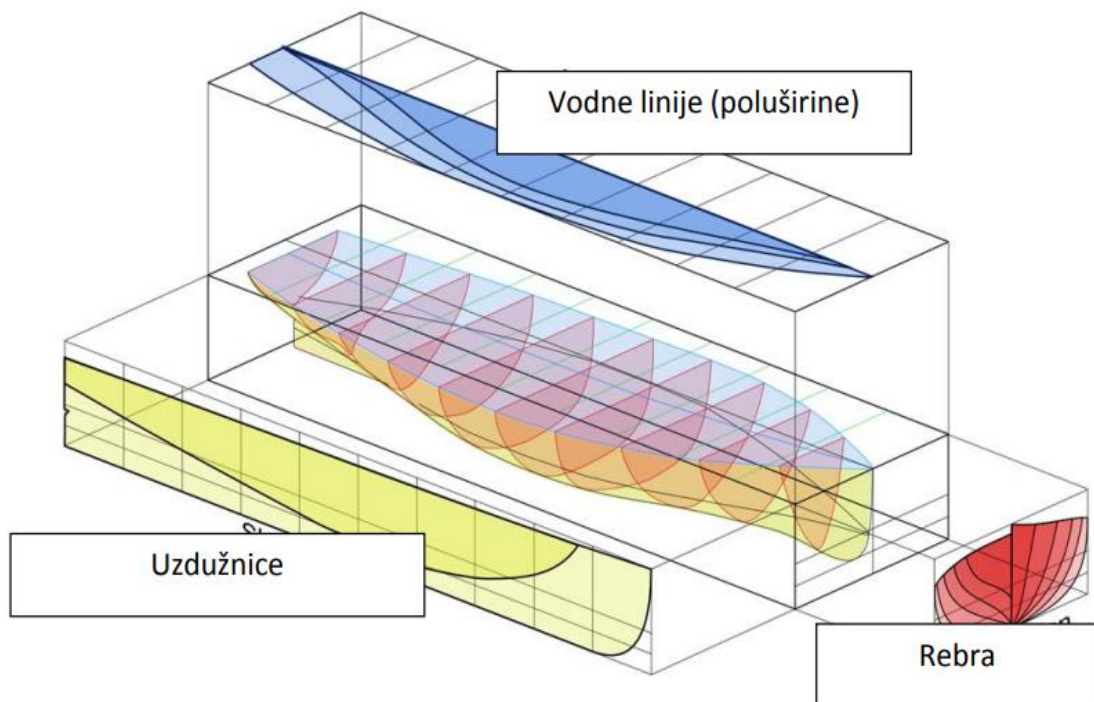
<b>x, m</b>	<b>19,355</b>	<b>23,225</b>	<b>27,094</b>	<b>30,968</b>	<b>34,837</b>	<b>38,706</b>	<b>42,580</b>	<b>46,449</b>
z, m								
0,000	1,010	1,507	1,850	2,343	2,948	3,519	4,070	8,074
0,360	2,656	3,522	4,497	5,812	7,165	8,275	8,702	8,826
0,720	3,546	4,702	6,185	7,427	8,313	8,768	8,992	9,076
1,080	4,332	5,843	7,226	8,121	8,567	8,999	9,138	9,211
1,440	5,052	6,691	7,820	8,521	8,953	9,131	9,219	9,250
1,800	5,746	7,331	8,217	8,757	9,076	9,196	9,243	9,250
2,160	6,390	7,804	8,494	8,919	9,150	9,238	9,250	9,250
2,520	6,987	8,171	8,695	9,038	9,192	9,250	9,250	9,250
2,880	7,546	8,467	8,861	9,115	9,219	9,250	9,250	9,250
3,240	7,998	8,691	8,976	9,173	9,231	9,250	9,250	9,250
3,600	8,368	8,880	9,069	9,192	9,250	9,250	9,250	9,250
3,960	8,633	8,996	9,138	9,219	9,250	9,250	9,250	9,250
4,320	8,845	9,096	9,188	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250
4,680	8,992	9,165	9,219	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250
5,040	9,092	9,219	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250
5,400	9,181	9,238	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250
5,760	9,219	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250
6,120	9,243	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250
6,480	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250
6,840	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250
7,200	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250
7,920	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250
8,640	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250
9,360	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250
10,080	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250
10,800	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250	9,250

### 2.3. Nacrt linija

Za dobivanje nacrt linija potrebno je odrediti:

- rebra
- pramčanu i krmenu statvu
- vodne linije
- uzdužnice

Crta se samo polovica brodske forme u uzdužnom smjeru zbog simetrije (sl. 2.3.)

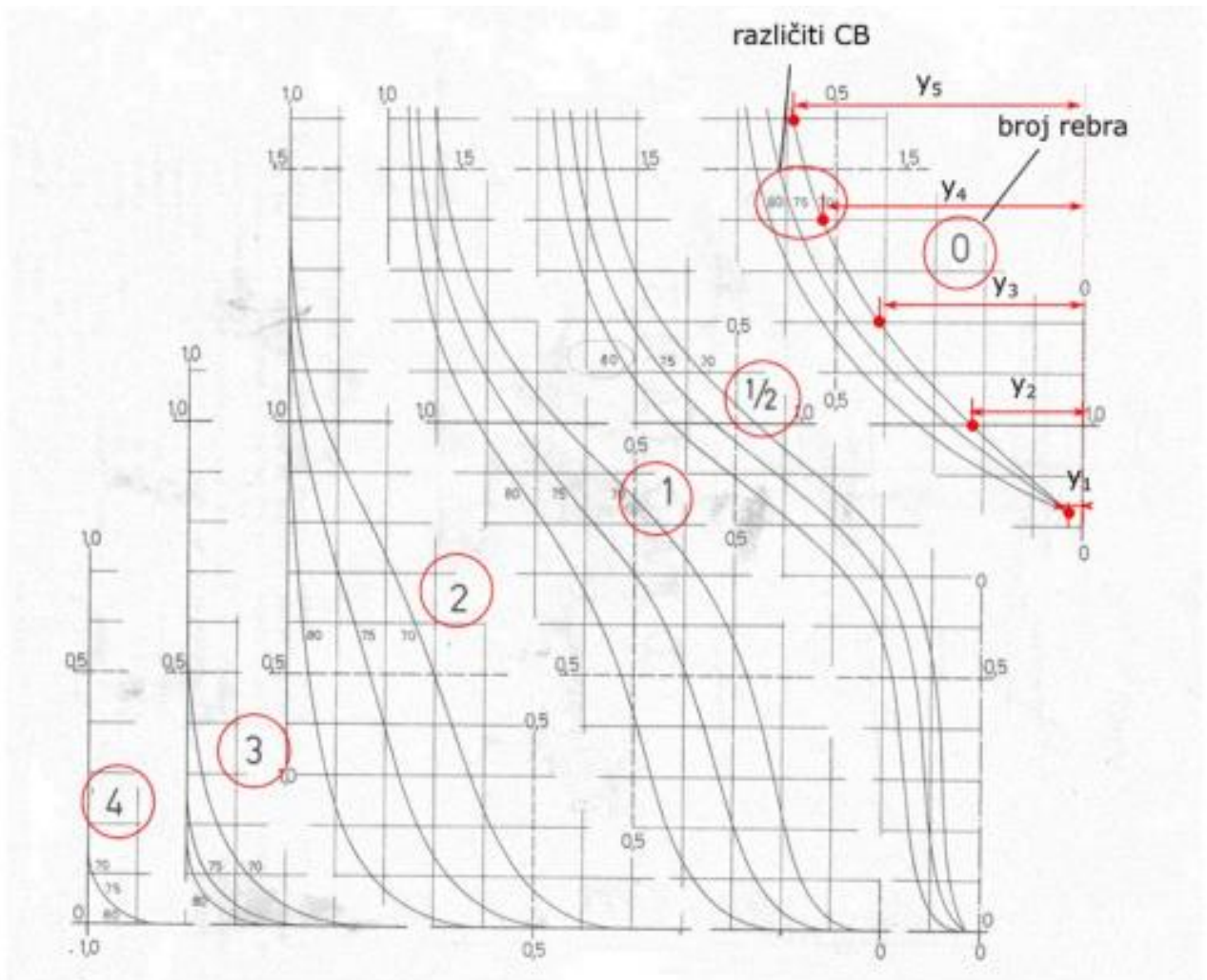


Slika 2.3. Linije brodske forme [4]

### 2.3.1. Nacrt rebara

Koraci za postizanje uspješnog nacrt rebara su sljedeći:

1. Mjerilo se određuje između zadane skice rebara i nacrt kojeg treba napraviti (slika 2.6. i 2.7.)
2. Poluširine zadanih rebara ( $0, \frac{1}{2}, 1, 2, 3\dots$ ) se mjere (sl 2.4.) i dobivene vrijednosti se zapisuju u tablicu (tablica 2.9.)



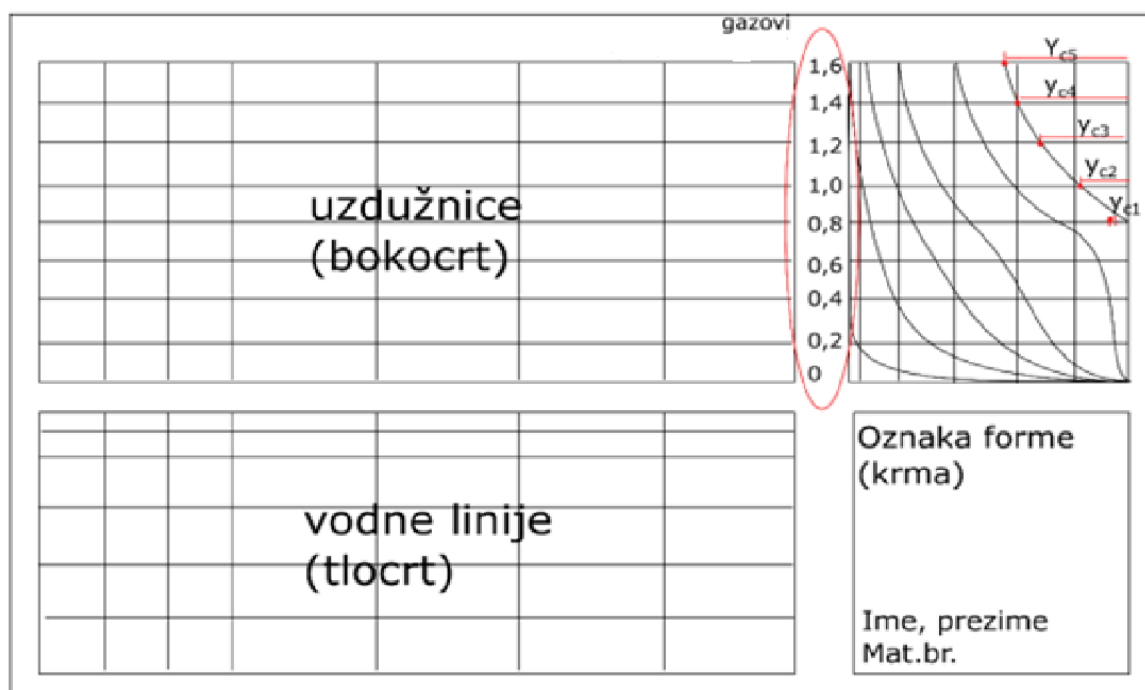
Slika 2.4. Primjer mjerenja poluširina s predložka [4]

3. Dobivene izmjere se pomnože s mjerilom.

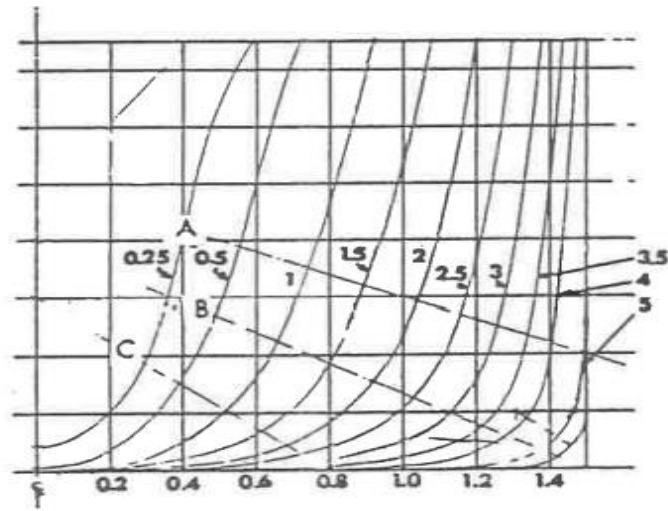
Tablica 2.9. Tablica dobivenih mjera [4]

Broj rebra (npr. 0)		
Gaz (draft) (bezdimenzijski)	Mjerena širina (y), mm	Širina za crtanje, $Y_c$ ( $Y_c = y \cdot \text{mjerilo}$ )
0		
0,2		
0,4		
0,6		
0,8		
1,0	$Y_2$	$Y_{c2}$
1,2	$Y_3$	$Y_{c3}$
1,4	$Y_4$	$Y_{c4}$
1,6	$Y_5$	$Y_{c5}$

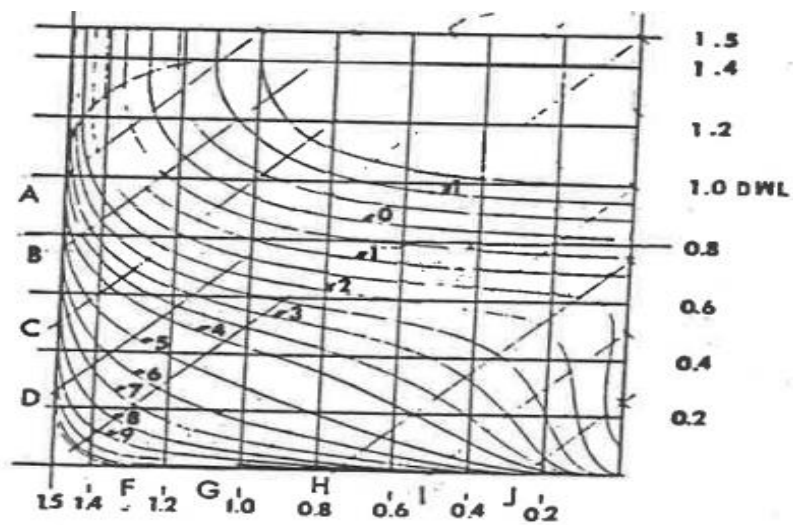
4. Na milimetarskom papiru preračunate vrijednosti nanose se na odgovarajuće gazove kao točke, a zatim se onda spajaju glatkim linijama, te onda nacrtati rebra za pramčani i krmeni dio (slika 2.5.) i označiti rebra (0, ½, 1, 2, 3...).



Slika 2.5. Primjer nacрта krmenih rebara (skica) [4]



Slika 2.6. Primjer predložka pramčanih rebara iz MARAD-a [1]

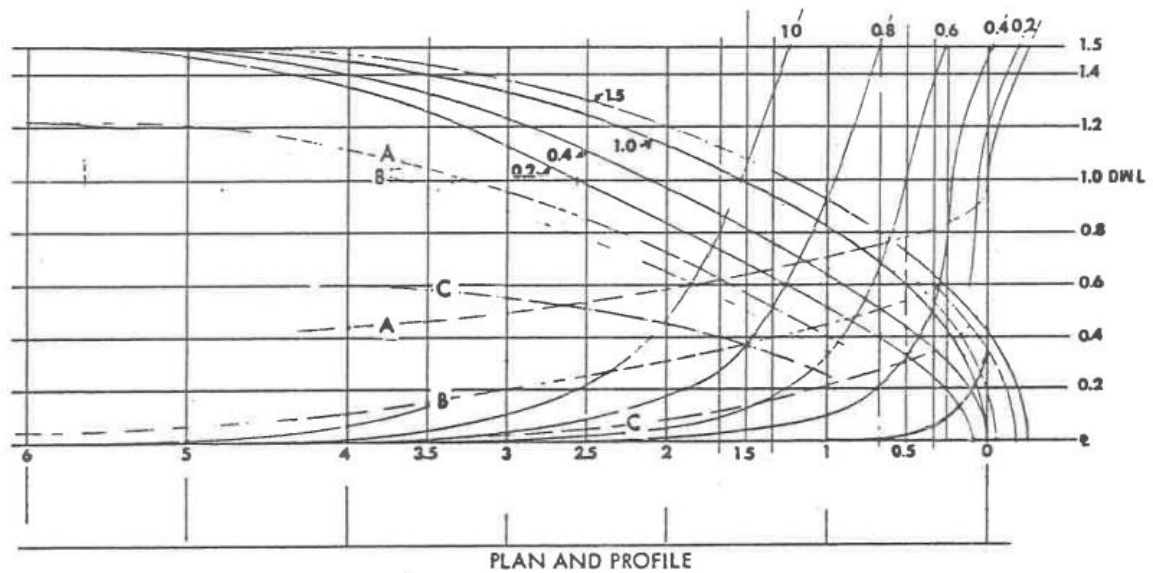


Slika 2.7. Primjer predložka krmene rebara iz MARAD-a [1]

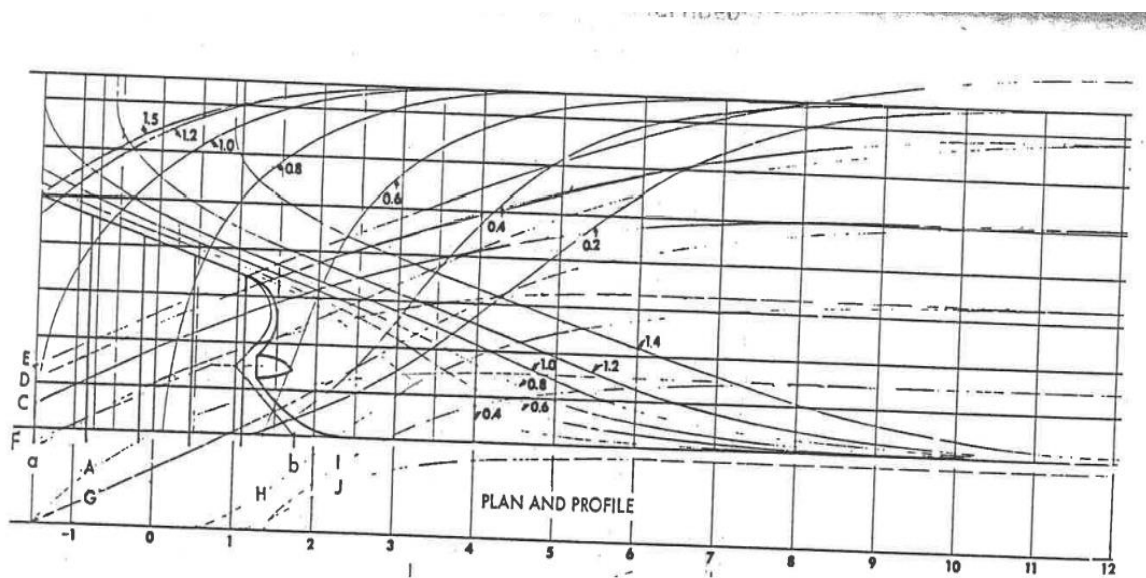
### 2.3.2. Crtanje pramčane i krmene statve

1. Mjerilo se određuje između zadanog predložka statve (slika 2.8. i 2.9.) i nacrtu kojeg treba napraviti.
2. Točke po gazovima se mjere, izmjerene vrijednosti se pomnože s mjerilom na isti način kao što je kod rebara.
3. Crtaju se pramčana statva i krmena statva





Slika 2.8. Primjer predložka pramčane statve iz MARAD-a [1]

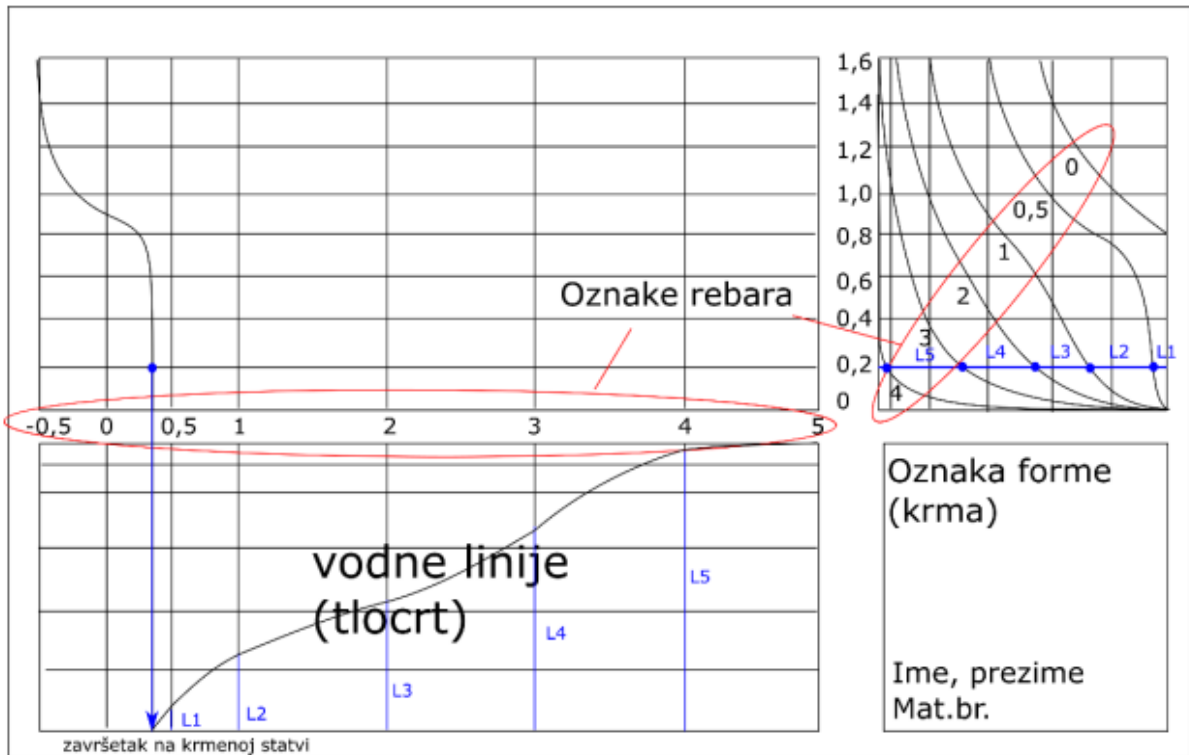


Slika 2.9. Primjer predložka krmene statve iz MARAD-a [1]

### 2.3.3. Crtanje vodnih linija

1. Vodne linije su vodoravni presjeci brodske forme i vodne linije se crtaju koje odgovaraju svim zadanim gazovima (od 0 do 1,6).
2. Primjer za gaz 0,2 (plava linija), promatra se koja rebra siječe vodna linija 0,2, te u ovom primjeru to su sva krmena rebra osim 0. Mjesta presjeka označena su plavim točkama na slici 2.10.

3. Zatim se mjere udaljenosti od simetralne ravnine do točka presjeka – označeno sa L1, L2 itd. Nadalje se te udaljenosti prenose na tlocrt, svaka na rebro na kojemu je očitana.
4. Prenosi se točka vertikalno dolje na statvi koja odgovara promatranom gazu (plava strelica).
5. Prenesene točke spajaju se glatkom linijom i to za svaki promatrani gaz posebno, i u konačnici na taj se način dobivaju vodne linije.



Slika 2.10. Primjer crtanja vodnih linija (skica) [4]

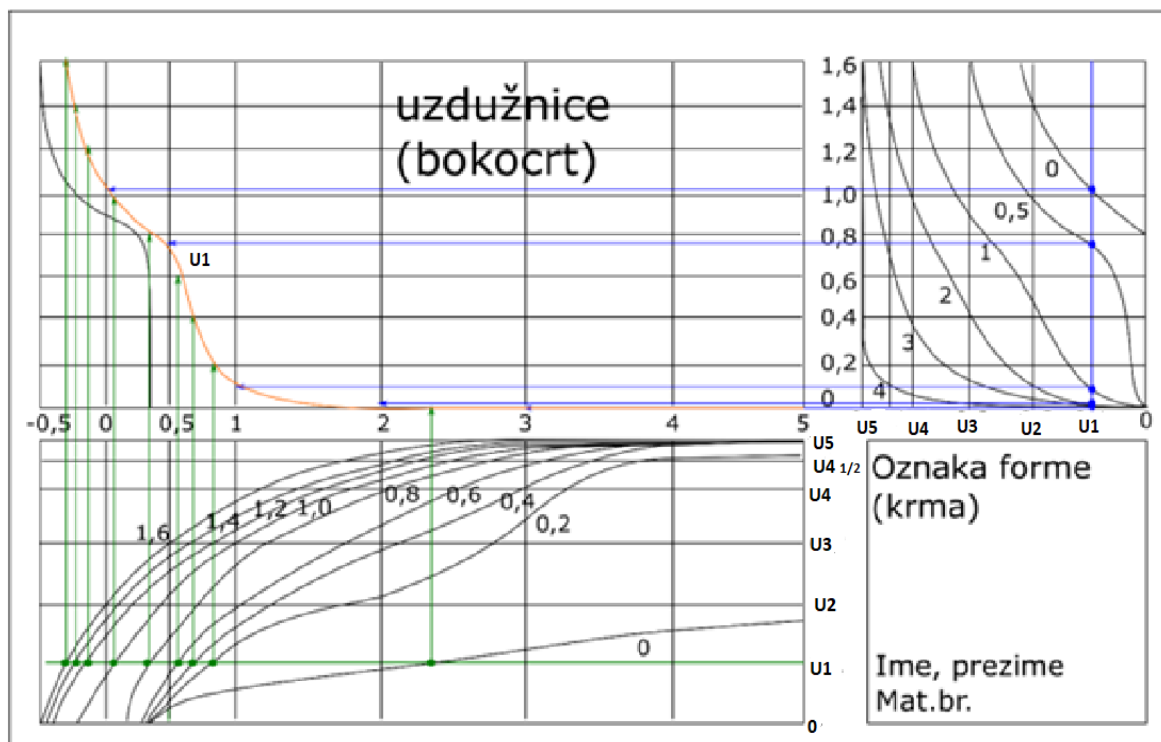
#### 2.3.4. Crtanje uzdužnica

1. Uzdužnice su uzdužni presjeci brodske forme, crtaju se uzdužnice koje odgovaraju svim zadanim uzdužnim presjecima U1, U2, U3, U4, U4 1/2, U5 (slika 2.11.)
2. Primjer za uzdužnicu U1 a to su plave točke na rebrima i zelene na vodnim linijama. Sva rebra i sve vodne linije promatraju se koje imaju presijek sa uzdužnicom U1. Postoje dvije grupe točaka, a to su iz rebara i iz vodnih linija i potrebno je uzeti u obzir obje grupe. Mjesta



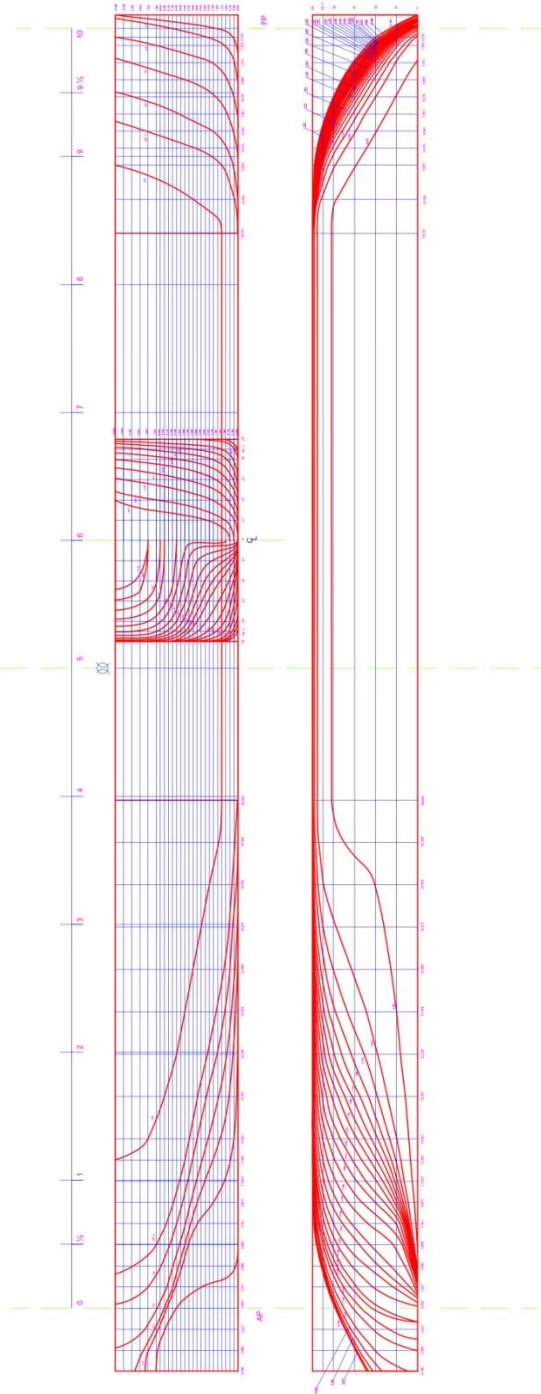
presjeka označena su plavim točkama na rebrima i zelenim točkama na vodnim linijama (slika 2.11.).

3. Presjeci s rebrima prenose se na ordinate odgovarajućih rebara u bokocrtu (plave strelice).
4. Presjeci s vodnim linijama prenose se na visine odgovarajućih vodnih linija (zelene strelice).
5. Glatkom linijom spajaju se prenesene točke (narančasta linija), tako da na taj način dobiva se uzdužnica U1 (slika 2.11) i onda na isti način napravi se za ostale uzdužnice.



Slika 2.11. Crtanje uzdužnica (skica) [4]

Brod se sastoji od rebara od krmelog perpedikulara do pramčanog perpedikulara. Uzimaju se stvarne vrijednosti za zadani brod koje su prikazane u tablicama 2.3., 2.7., 2.8. te se ucrtavaju u zadani predložak prema uputama koji su navedeni za crtanje rebara, uzdužnica, vodnih linija, krmene i pramčane statve. Nakon praćenja koraka izrade rebara, uzdužnica, vodnih linija, krmene i pramčane statve konačno je dobiven nacrt linija. Nacrt linija nalazi se u prilogu (slika 2.12.) i nacrtan je u mjerilu (M 1:200) u programu Auto CAD na papiru formata A1.



IMERLO: M 1200	DATUM: 14.08.2022	IME I PREZIME: MATIJA MIHALJEVIĆ	TEHNIČKI FAKULTET U RIJECI
NAZIV KOLEGUJA: HIDRODINAMIKA PLOVNIH OBJEKATA I		NAZIV DIELA: NACRT LINIJA	

Slika 2.12. Nacrt linija broda

### 3. PRORAČUN OTPORA BRODA

Otpor broda je sila koja se suprotstavlja kretanju broda. Tijekom kretanja brod uzrokuje određene poremećaje u medijima kroz koji se giba u vodi. Otpor broda proučava pojave koje se odvijaju tijekom jednolikog pravocrnog gibanja kroz fluid. Otpor može se promatrati kao otpor trenja, otpor valova, otpor vrtloženja i otpor izdanaka.

#### 3.1. Općenito o otporu broda

Otpor je sila koju brod mora savladati da bi se kretao jednoliko pravocрно kroz zrak i vodu. Sila koja je potrebna za održavanje brzine bez korištenja propulzora naziva se silom tegljenja. Ona na brod djeluje u smjeru suprotnom od pravca gibanja broda. Tijekom projektiranja broda osnovna zadaća i potreba je definirati formu trupa broda koja će napraviti što manji otpor podvodnog dijela broda. Potrebna sila za savladavanje otpora, vode i zraka je porivna sila. Porivnu silu proizvodi propulzor pod utjecajem snage pogonskog stroja. Pogonski stroj povećava ukupni otpor broda. Ukupni otpor broda u plovidbi je veći od otpora broda koji se tegli. Ukoliko je podvodni dio broda bez privjesaka, onda se govori o otporu golog trupa broda. Snaga ukupnog otpora je snaga koja je potrebna da se savlada otpor golog trupa broda. Snaga ukupnog otpora glasi:

$$P_E = R_T \cdot v \quad (3.1)$$

gdje je:

$P_E$ – snaga ukupnog otpora broda, kW

$R_T$ – ukupni otpor broda, kN

$v$ – brzina broda, m/s

### 3.2. Proračun otpora

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

Za odabrane glavne dimenzije broda za prijevoz naftnih derivata nosivosti 8500 tona, primjenom MARAD sustavnog niza modela broda i definiranom formom broda H, izrađen je proračun otpora za potpuno nakrcan brod u tablici 3.2. i proračun otpora za brod u balastu u tablici 3.3.

U tablicama 3.2. i 3.3. se nalaze brzine broda ( $v$ ) u čvorovima (knots) koji su prebačeni u (m/s) pomoću izraza 3.2., Froudeov broj ( $F_R$ ), Reynoldsov broj ( $R_e$ ), koeficijent otpora trenja broda ( $C_F$ ), otpor trenja broda ( $R_F$ ), koeficijent preostalog otpora broda ( $C_R$ ), preostali otpor broda ( $R_R$ ), koeficijent ukupnog otpora broda ( $C_T$ ), ukupni otpor broda ( $R_T$ ), koeficijenti  $\left( c \right)$  i  $\left( k \right)$  i snaga ukupnog otpora broda ( $P_E$ ). Dobivene vrijednosti proračuna otpora u tablicama 3.2. i 3.3. dobivene su jednadžbama:

- za brzinu broda ( $v$ ):

$$1 \text{ čvor} = \frac{1 \text{ morska milja}}{1 \text{ sat}} = \frac{1852 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 0,5144 \text{ m/s} \quad (3.2)$$

- Froudeov broj se izražava jednadžbom:

$$F_R = \frac{v}{\sqrt{g \cdot L}} \quad (3.3)$$

gdje je:

$v$ - brzina broda, m/s

$g$ - ubrzanje sile teže, m/s<sup>2</sup>

$L$ - duljina broda, m

- Reynoldsov broj izražava se formulom:

$$R_e = \frac{v * L}{\nu} \quad (3.4)$$

gdje je:

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

$v$ - brzina broda, m/s

$L$ - duljina broda, m

- koeficijent otpora trenja dobiva se:

$$C_F = \frac{0,075}{\sqrt{(\log R_e - 2)^2}} \quad (3.5)$$

gdje je:

$R_e$ - Reynoldsov broj

- otpor trenja broda izražava se:

$$R_F = \frac{1}{2} * \rho * C_F * v^2 * S \quad (3.6)$$

gdje je:

$\rho$ - gustoća morske vode, ( $\rho = 1025,9 \text{ kg/m}^3$ )

$C_F$ - koeficijent otpora trenja

$v$ - brzina broda, m/s

$S$ - oplakivana površina,  $\text{m}^2$

Oplakivana površina (S) broda dobila se pomoću izraza (3.7 i 3.8) dobivena iz tablice (3.1.)

Tablica 3.1. Dobivena oplakivana površina [1]

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
$L_E/L$	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.

- oplakivana površina (S) broda za puni gaz:

$$S = 6,457 * (\nabla)^{2/3}$$

$$S=3614,960 \text{ m}^2 \quad (3.7)$$

- oplakivana površina (S) za brod u balastnom stanju:

$$S = 6,457 * (\nabla)^{2/3}$$

$$S=2891,256 \text{ m}^2 \quad (3.8)$$

Da bi se dobila oplakivana površina (S) potrebno je prije svega izračunati volumen istisnine broda ( $\nabla$ ) koji glasi:

$$\nabla = C_B * L * B * T, \text{ m}^3 \quad (3.9)$$

gdje je:

$C_B$ - koeficijent punoće istisnine broda

L- duljina broda, m

B- širina broda, m

T- gaz broda, m

Gaz broda u balastnom stanju je nešto manji od gaza broda koji je potpuno nakrcan (puni gaz), tako da čim je gaz manji, manji je volumen broda ( $\nabla$ ) i manja je oplakivana površina broda (S).

- volumen istisnine broda za puni gaz:

$$\nabla = C_B * L * B * T$$

$$\nabla = 13246,740 \text{ m}^3 \quad (3.10)$$

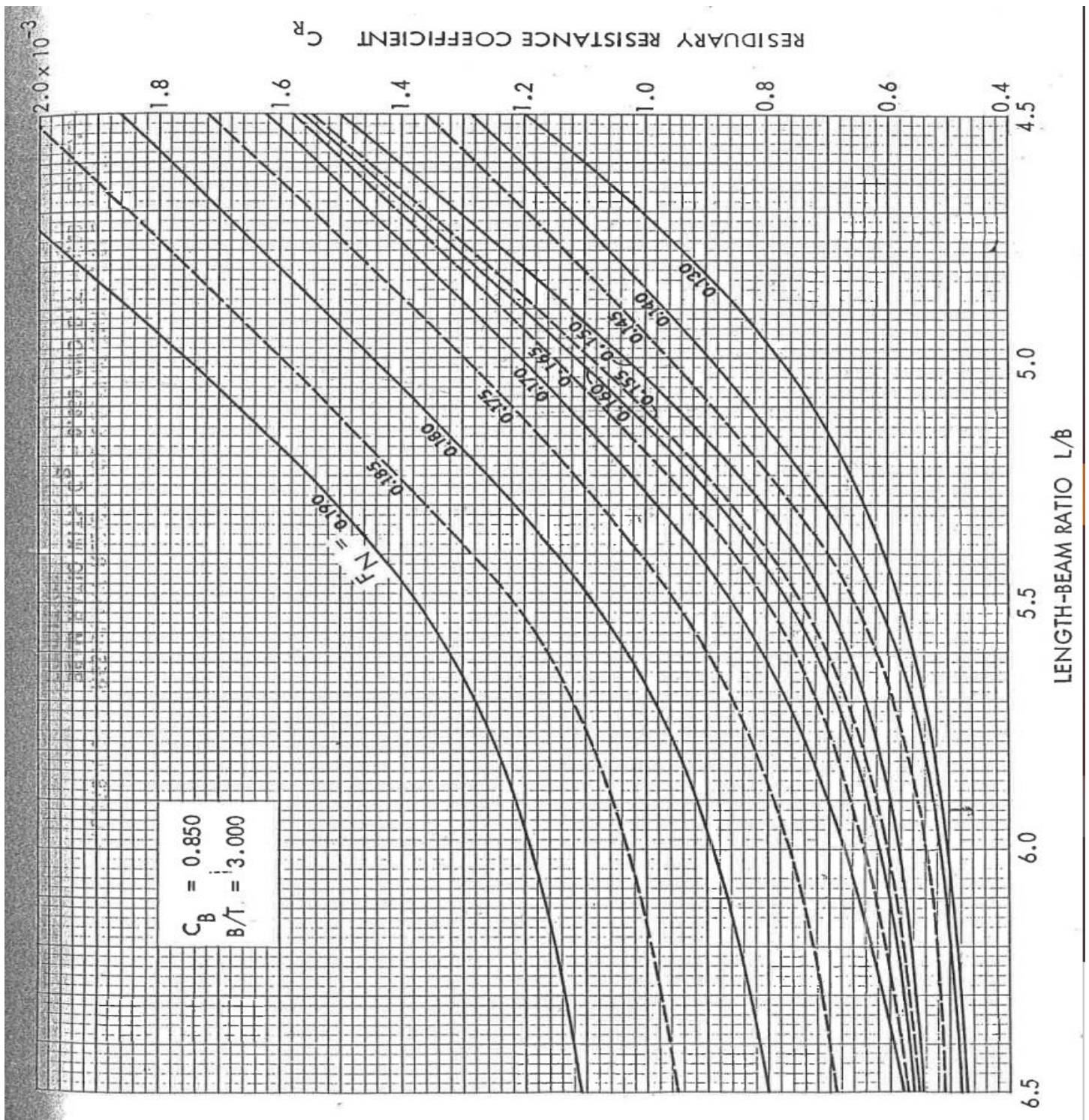
- volumen istisnine broda za balastno stanje:

$$\nabla = C_B * L * B * T$$

$$\nabla = 9475,099 \text{ m}^3 \quad (3.11)$$

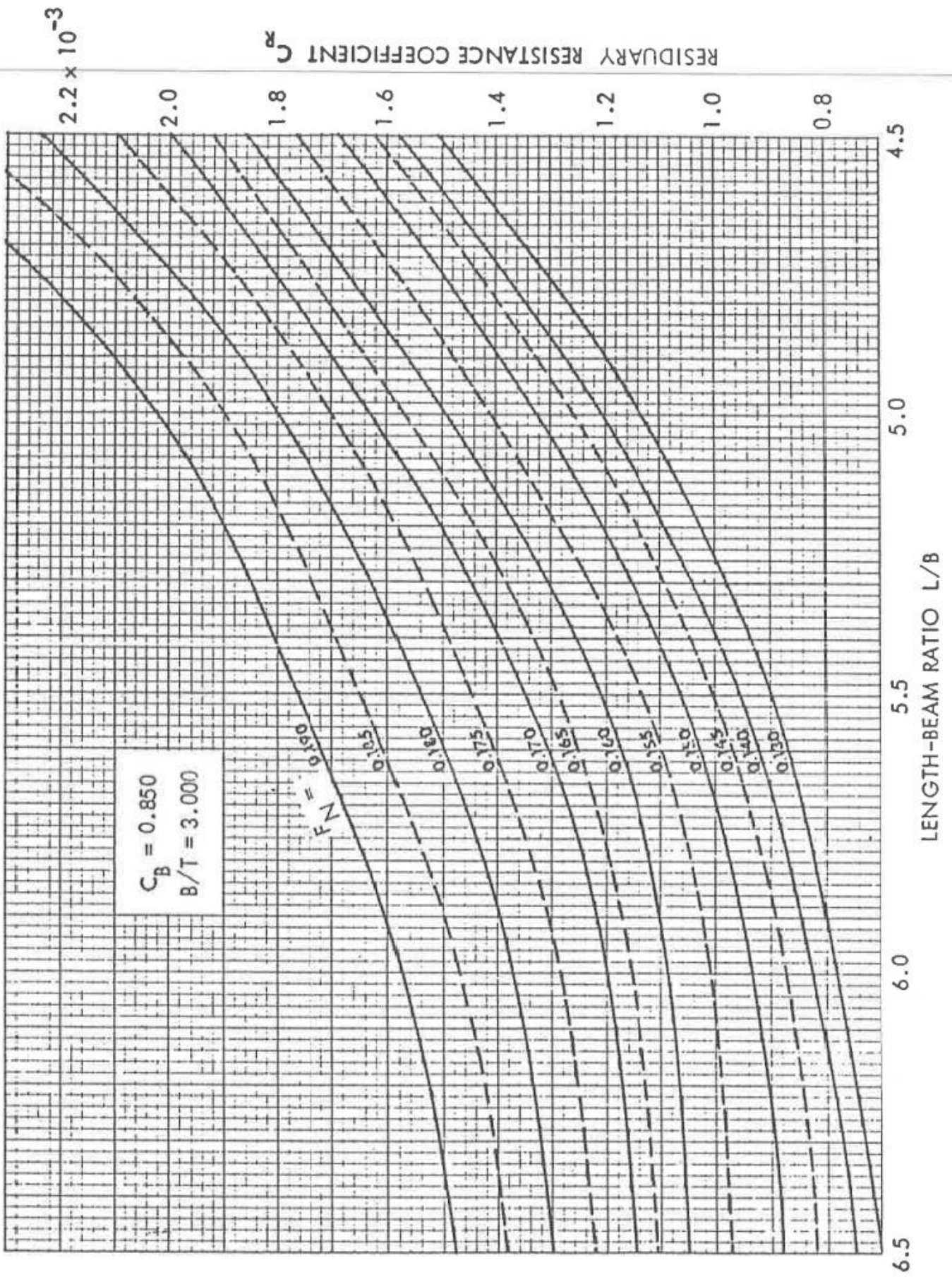


Koeficijent preostalog otpora broda ( $C_R$ ) dobiva se očitavanjem vrijednosti iz dijagrama (slika 3.1. i 3.2.). Dijagram (sl. 3.1.) služi za očitavanje vrijednosti ( $C_R$ ) za potpuno nakrcan brod (full load condition), a dijagram (sl. 3.2.) za očitavanje vrijednosti ( $C_R$ ) za brod u balastu (ballast condition). Vrijednosti  $C_B=0,85$ ,  $B/T=3,000$ ,  $L/B=6,500$  očitavaju se iz tablice 2.1. Nakon toga gleda se dijagram koji se podudara sa prethodno očitanim vrijednostima  $C_B$ ,  $B/T$ ,  $L/B$  i očitavaju se konačne dobivene vrijednosti (sl. 3.1.) i (sl. 3.2.).



Slika 3.1. Dijagram za puni gaz [1]





Slika 3.2. Dijagram za brod u balastu [1]

- preostali otpor broda izražava se jednadžbom:

$$R_R = \frac{1}{2} * \rho * C_R * v^2 * S \quad (3.7)$$

gdje je:

$\rho$ - gustoća morske vode, kg/m<sup>3</sup>

$C_R$ - koeficijent preostalog otpora

$v$ - brzina broda, m/s

$S$ - oplakivana površina, m<sup>2</sup>

- koeficijent ukupnog otpora broda dobiva se jednadžbom:

$$C_T = C_F + C_R \quad (3.8)$$

gdje je:

$C_T$ - koeficijent ukupnog otpora broda

$C_F$ - koeficijent trenja broda

$C_R$ - koeficijent preostalog otpora broda

- ukupni otpor broda izražava se:

$$R_T = \frac{1}{2} * \rho * C_T * v^2 * S \quad (3.9)$$

gdje je:

$\rho$ - gustoća morske vode, kg/m<sup>3</sup>

$C_T$ - koeficijent ukupnog otpora broda

v- brzina broda, m/s

S- oplakivana površina, m<sup>2</sup>

- ukupna snaga otpora broda dobiva se:

$$P_E = R_T * v \quad (3.10)$$

gdje je:

$R_T$ - ukpni otpor broda, kN

v- brzina broda, m/s

- koeficijent za otpor  $C$  :

$$C = \frac{R_T * 1000}{\nabla * \rho * g * K^2} \quad (3.11)$$

gdje je:

$R_T$ - ukupni otpor broda, kN

$\nabla$ - volumen istisnine broda, m<sup>3</sup>

$\rho$ - gustoća morske vode, kg/m<sup>3</sup>

g- ubrzanje sile teže, m/s<sup>2</sup>

- koeficijent za brzinu  $K$  :

$$K = \sqrt{\frac{4 * \pi}{g}} * \frac{v}{\sqrt[6]{\nabla}} \quad (3.12)$$

gdje je :

$g$ - ubrzanje sile teže,  $m/s^2$

$v$ - brzina broda,  $m/s$

$\nabla$ - volumen istisnine broda,  $m^3$

Prema gore navedenim izrazima (3.2-3.12) dobiven je proračun otpora za puni gaz (tablica 3.2.) i proračun otpora za balastno stanje (tablica 3.3.). U tablici 3.2. vidi se da otpor broda nije isti kao u tablici 3.3. zato što brod u punom gasu ima nešto veći gaz u odnosu na brod u balastnom stanju, pa s time ima veći volumen i veću oplakivanu površinu. Za puni gaz broda gaz iznosi  $T=7,2$ , dok gaz za balastno stanje dobiven je izrazom 3.13, gdje je:

- gaz na pramčanoj okomici je  $T_P = 4,8 m$

- gaz na krmenoj okomici je  $T_K = 5,5 m$

$$T_S = \frac{T_P + T_K}{2} = 5,15 m \quad (3.13)$$

gdje je:

$T_S$ - srednji gaz

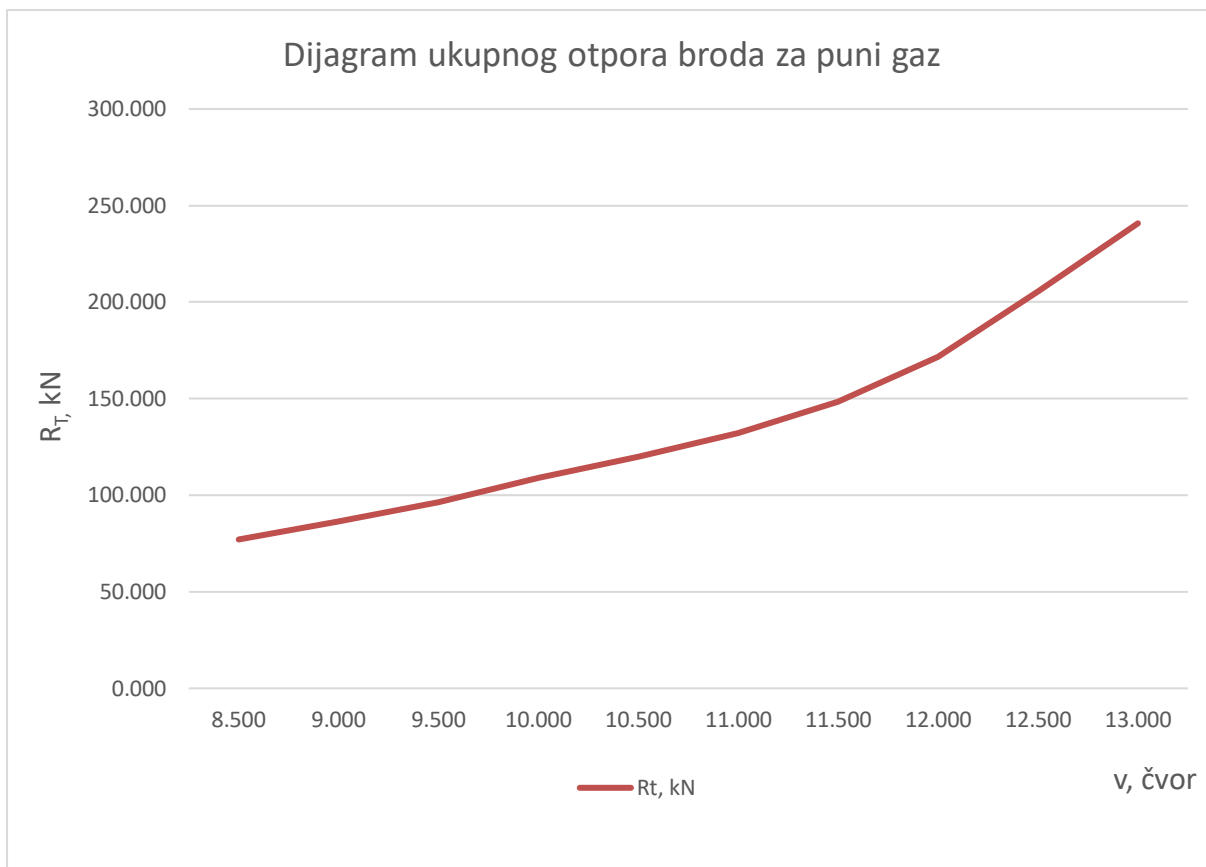
Na slici 3.3. prikazani su grafički rezultati proračuna otpora broda ( $R_T$ ) za brod u punom gasu i grafički rezultati proračuna otpora broda u balastnom stanju (slika 3.4.). Slika 3.5. prikazuje grafički prikaz ukupne snage otpora broda ( $P_E$ ) za puni gaz i grafički prikaz ukupne snage otpora broda u balastnom stanju (slika 3.6.). Krivulja otpora broda za puni gaz (slika 3.3.) je nešto strmija od krivulje otpora u balastnom stanju (slika 3.4.). Također je i krivulja ukupne snage otpora broda za puni gaz (slika 3.5.) strmija u odnosu na krivulju ukupne snage otpora broda za balastno stanje (slika 3.6.).

Tablica 3.2. Proračun otpora za puni gaz

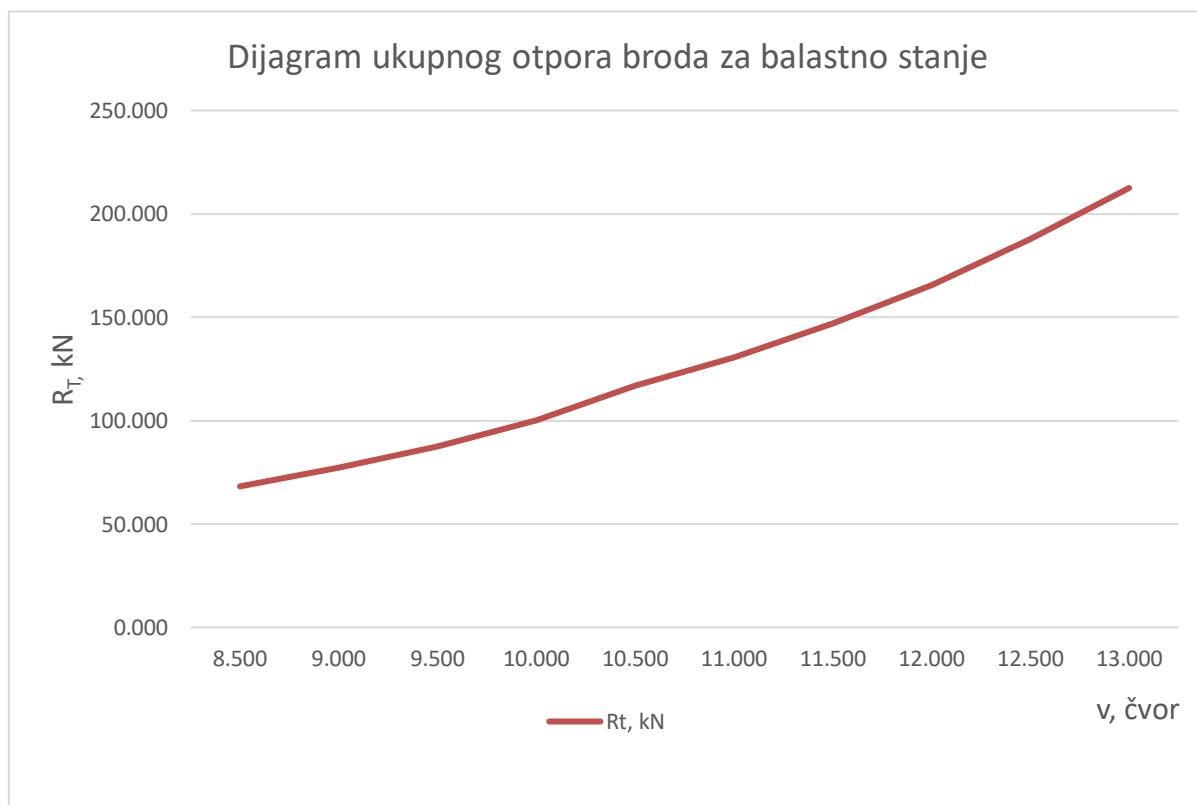
$v$ , knot	8,500	9,000	9,500	10,000	10,500	11,000	11,500	12,000	12,500	13,000
$v$ , m/s	4,373	4,630	4,887	5,144	5,402	5,659	5,916	6,173	6,431	6,688
$F_R$	0,129	0,137	0,144	0,152	0,159	0,167	0,175	0,182	0,190	0,197
$R_e$	430540010,6	455865893,6	481191776,6	506517659,5	531843542,5	557169425,5	582495308,5	607821191,4	633147074,4	658472957,4
$C_F \cdot 10^3$	1,704	1,691	1,680	1,668	1,658	1,648	1,639	1,630	1,621	1,613
$R_F$ , kN	60,423	67,236	74,389	81,879	89,704	97,861	106,350	115,169	124,316	133,789
$C_R \cdot 10^3$	0,470	0,480	0,495	0,550	0,560	0,580	0,650	0,800	1,060	1,290
$R_R$ , kN	16,664	19,080	21,923	26,991	30,299	34,440	42,186	56,534	81,280	106,987
$C_T \cdot 10^3$	2,174	2,171	2,175	2,218	2,218	2,228	2,289	2,430	2,681	2,903
$R_T$ , kN	77,087	86,317	96,313	108,870	120,002	132,302	148,536	171,703	205,595	240,776
$P_F$ , kW	337,086	399,646	470,701	560,075	648,211	748,681	878,756	1059,980	1322,093	1610,259
<b>K</b>	1,018	1,077	1,137	1,197	1,257	1,317	1,377	1,437	1,496	1,556
<b>C</b>	0,559	0,558	0,559	0,570	0,570	0,572	0,588	0,624	0,689	0,746

Tablica 3.3. Proračun otpora broda u balastu

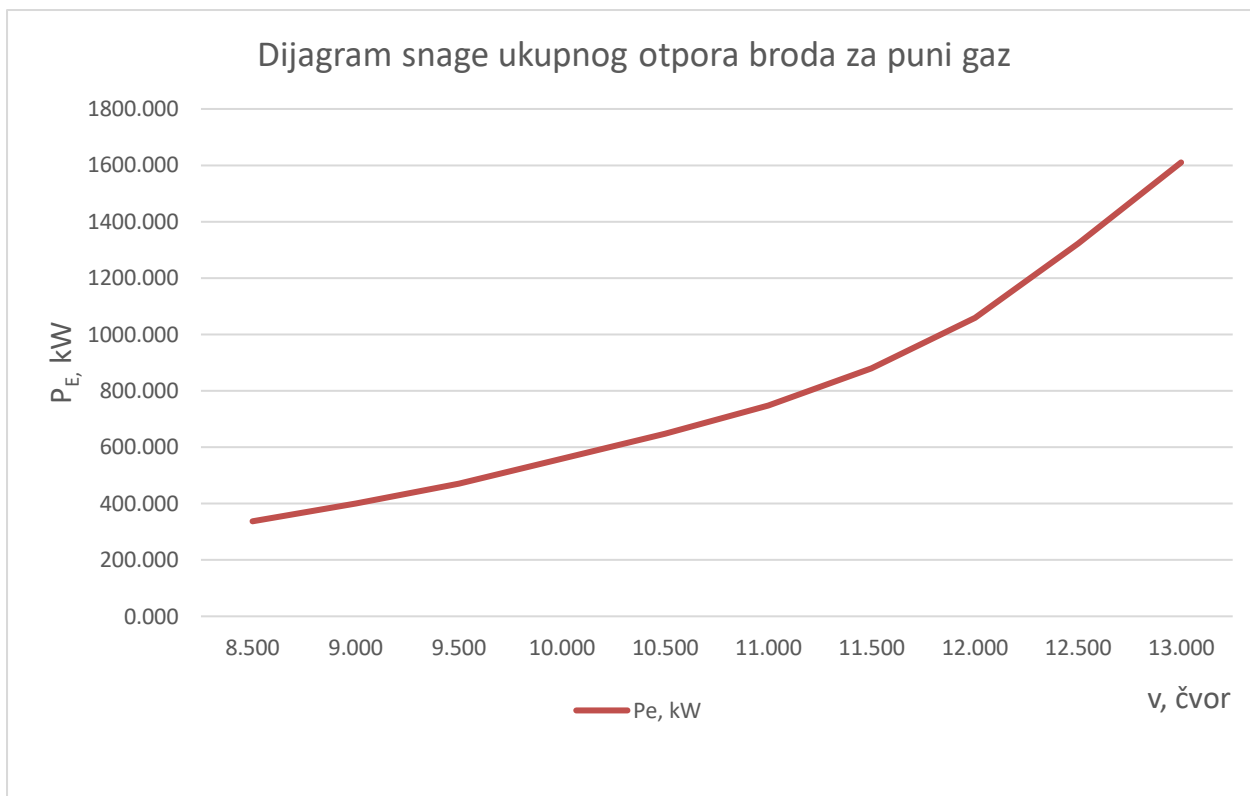
$v$ , knot	8,500	9,000	9,500	10,000	10,500	11,000	11,500	12,000	12,500	13,000
$v$ , m/s	4,373	4,630	4,887	5,144	5,402	5,659	5,916	6,173	6,431	6,688
$F_R$	0,129	0,137	0,144	0,152	0,159	0,167	0,175	0,182	0,190	0,197
$R_e$	430540032,5	455865893,6	481191754,677	506517615,774	531843575,330	557169436,427	582495297,523	607821158,620	633147118,176	658472979,273
$C_F * 10^3$	1,704	1,691	1,680	1,668	1,658	1,648	1,639	1,630	1,621	1,613
$R_F$ , kN	48,326	53,776	59,497	65,487	71,745	78,270	85,059	92,113	99,428	107,005
$C_R * 10^3$	0,700	0,740	0,790	0,880	1,040	1,100	1,190	1,300	1,440	1,590
$R_R$ , kN	19,851	23,526	27,984	34,540	45,004	52,242	61,771	73,476	88,312	105,468
$C_T * 10^3$	2,404	2,431	2,470	2,548	2,698	2,748	2,829	2,930	3,061	3,203
$R_T$ , kN	68,177	77,302	87,481	100,027	116,749	130,511	146,830	165,588	187,741	212,473
$P_E$ , kW	298,123	357,910	427,538	514,583	630,640	738,550	868,662	1022,233	1207,276	1420,975
<b>K</b>	1,076	1,139	1,203	1,266	1,329	1,393	1,456	1,519	1,582	1,646
<b>C</b>	0,618	0,625	0,634	0,655	0,693	0,706	0,727	0,753	0,786	0,823



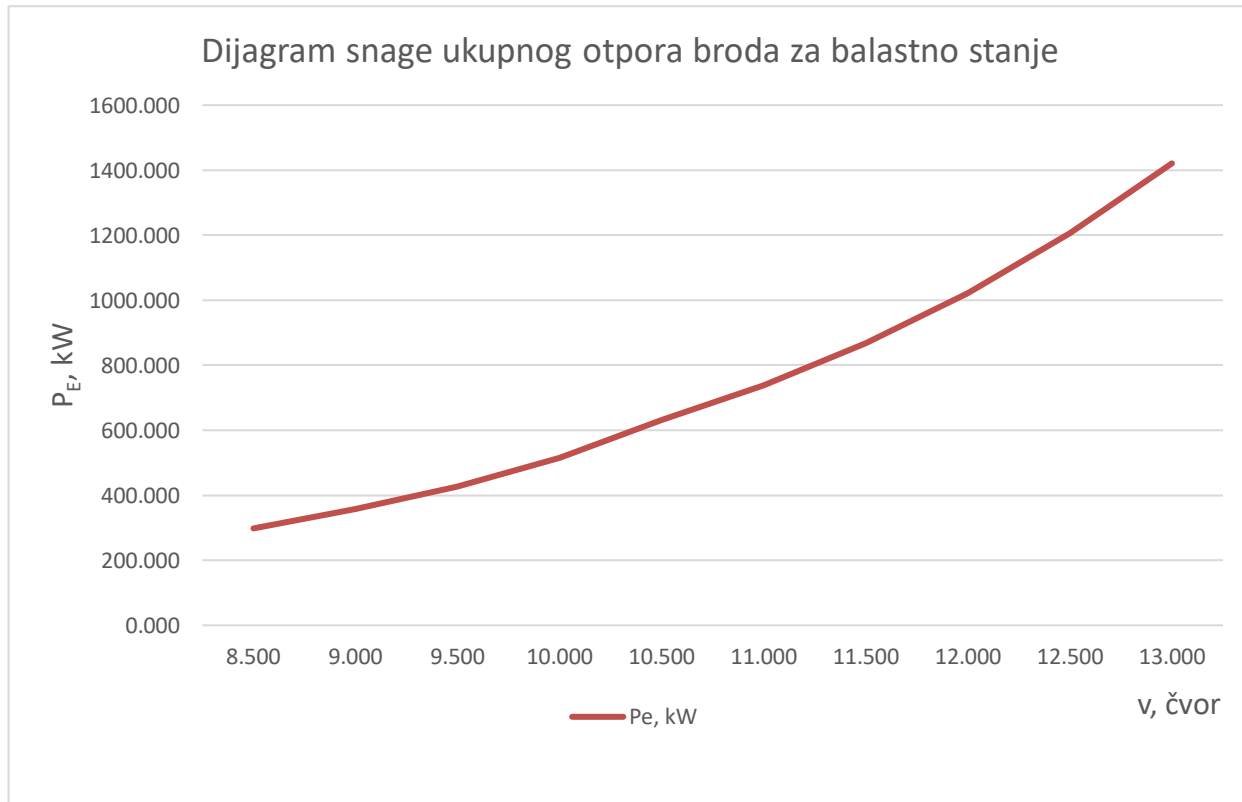
Slika 3.3. Dijagram ukupnog otpora broda za puni gaz



Slika 3.4. Dijagram ukupnog otpora broda za balastno stanje



Slika 3.5. Dijagram snage ukupnog otpora broda za puni gaz



Slika 3.6. Dijagram snage ukupnog otpora broda za balastno stanje



### 3.3. Proračun otpora prema metodi Holtrop-Mennen [5]

Holtropova i Mennenova metoda je vjerojatno najpopularnija metoda za procjenu otpora i snage brodova deplasmentskog tipa. Temelji se na regresijskoj analizi širokog spektra testova modela i podataka iz ispitivanja što mu daje široku primjenjivost. Holtropova metoda izračunava ukupni otpor koji se rastavlja na nekoliko komponenti: otpor trenja, otpor valova, korelacijski otpor modela broda i otpor zraka.

Nakon što se izradio proračun otpora broda za puni gaz (tablica 3.2.) i proračun otpora za brod u balasnom stanju (tablica 3.3.) primjenom MARAD sustavnog niza modela brodova, izrađen je i proračun otpora prema metodi Holtrop-Mennen za puni gaz (slika 3.7.) i za balasno stanje (slika 3.10.). Također, napravljen je i dijagram otpora broda prema metodi Holtrop-Mennen za puni gaz (slika 3.8.) i za brod u balasnom stanju (slika 3.11.). Dijagram snage otpora broda za puni gaz nalazi se na slici 3.9. i dijagram snage otpora broda za balasno stanje nalazi se na slici 3.12. U završnom radu proračuni otpora (slika 3.7. i 3.10.), dijagrami otpora (slika 3.8. i 3.11.) i dijagrami snage otpora broda (slika 3.9. i 3.12.) primjenom metode Holtrop-Mennen izradio se u programu NavCad [6].

NavCad inženjerima brodogradnje pruža potrebne alate za optimizirani odabir odgovarajućih komponenti propulzijskog sustava. NavCad je vrhunski alat za simulaciju hidrodinamičkih i propulzijskih sustava koji pruža moćne systemske inženjerske izračune za performanse brodova. NavCad sadrži opsežnu biblioteku metoda predviđanja za trupove, propulzore, što ga čini najučinkovitijom i najopsežnijom platformom za analizu od projektiranja u ranoj fazi do probne evaluacije nakon isporuke broda. Koristi se za bilo koju vrstu jednotrupnih ili katamaranskih vozila, od plovila velikog deplasmana do brzih glisera i podmornica, a podržava različite opcije pogona i propulzora.

Inženjeri brodogradnje cijene NavCadovu kombinaciju učinkovitosti i točnih rezultata, što dovodi do boljih i uspješnijih poslovnih i projektantskih odluka u ranoj fazi projekta i tijekom životnog vijeka broda. Inženjeri, projektanti i brodogradilišta koriste NavCad za procjenu projekta i predviđanje otpora i pogona za plovila od brzih obalnih patrolnih brodova do najvećih borbenih i pomoćnih brodova. NavCad pruža mogućnost procjene plovila koja imaju poteškoća u postizanju očekivanih performansi putem svoje sposobnosti provođenja forenzičkih analiza radi boljeg i kvalitetnijeg razumijevanja problema i predloženih rješenja.

## Resistance

4 srp 2022 02:29  
HydroComp NavCad 2014

Project ID Otpor  
Description Otpor prema metodi Holtrop-Mennen  
File name Puni gaz.hcnc

### Analysis parameters

Vessel drag		ITTC-78 (CT)	Added drag	
Technique:	[Calc]	Prediction	Appendage:	[Off]
Prediction:		Holtrop	Wind:	[Off]
Reference ship:			Seas:	[Off]
Model LWL:			Shallow/channel:	[Off]
Expansion:		Standard	Towed:	[Off]
Friction line:		ITTC-57	Margin:	[Off]
Hull form factor:	[On]	1,000	Water properties	
Speed corr:	[On]		Water type:	Salt
Spray drag corr:	[Off]		Density:	1026,00 kg/m3
Corr allowance:		ITTC-78 (v2008)	Viscosity:	1,18920e-6 m2/s
Roughness [mm]:	[Off]			

### Prediction method check [Holtrop]

Parameters	FN [design]	CP	LWL/BWL	BWL/T	Lambda
Value	0,19	0,86	6,68	3,59	1,04
Range	0,06-0,26	0,55-0,85	3,90-14,90	2,10-4,00	0,01-1,07

### Prediction results

SPEED <input type="checkbox"/> [kt]	SPEED COEFS		ITTC-78 COEFS						
	FN	FV	RN	CF	[CV/CF]	CR	dCF	CA	CT
8,50	0,126	0,301	4,55e8	0,001692	1,000	0,001191	0,000000	0,000508	0,003391
9,00	0,133	0,318	4,81e8	0,001680	1,000	0,001238	0,000000	0,000503	0,003421
9,50	0,140	0,336	5,08e8	0,001668	1,000	0,001309	0,000000	0,000499	0,003476
10,00	0,148	0,354	5,35e8	0,001657	1,000	0,001407	0,000000	0,000495	0,003559
10,50	0,155	0,372	5,61e8	0,001646	1,000	0,001537	0,000000	0,000491	0,003674
11,00	0,163	0,389	5,88e8	0,001637	1,000	0,001700	0,000000	0,000487	0,003824
11,50	0,170	0,407	6,15e8	0,001627	1,000	0,001900	0,000000	0,000484	0,004011
12,00	0,177	0,425	6,42e8	0,001618	1,000	0,002138	0,000000	0,000480	0,004236
12,50	0,185	0,442	6,68e8	0,001610	1,000	0,002415	0,000000	0,000476	0,004501
+ 13,00 +	0,192	0,460	6,95e8	0,001602	1,000	0,002732	0,000000	0,000472	0,004807
RESISTANCE									
SPEED <input type="checkbox"/> [kt]	RBARE <input type="checkbox"/> [kN]	RAPP <input type="checkbox"/> [kN]	RWIND <input type="checkbox"/> [kN]	RSEAS <input type="checkbox"/> [kN]	RCHAN <input type="checkbox"/> [kN]	RTOWED <input type="checkbox"/> [kN]	RMARGIN <input type="checkbox"/> [kN]	RTOTAL <input type="checkbox"/> [kN]	
8,50	120,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	120,23	
9,00	136,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	136,01	
9,50	153,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	153,98	
10,00	174,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	174,69	
10,50	198,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	198,82	
11,00	227,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	227,08	
11,50	260,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	260,31	
12,00	299,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	299,37	
12,50	345,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	345,17	
+ 13,00 +	398,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	398,70	
EFFECTIVE POWER									
SPEED <input type="checkbox"/> [kt]	PEBARE <input type="checkbox"/> [kW]	PETOTAL <input type="checkbox"/> [kW]	CTLR	CTLT	RBARE/W				
8,50	525,8	525,8	0,02658	0,07568	0,00119				
9,00	629,7	629,7	0,02764	0,07636	0,00135				
9,50	752,5	752,5	0,02922	0,07759	0,00153				
10,00	898,7	898,7	0,03141	0,07944	0,00173				
10,50	1073,9	1073,9	0,03429	0,08201	0,00197				
11,00	1285,0	1285,0	0,03794	0,08535	0,00225				
11,50	1540,0	1540,0	0,04240	0,08951	0,00258				
12,00	1848,1	1848,1	0,04771	0,09454	0,00297				
12,50	2219,6	2219,6	0,05390	0,10046	0,00343				
+ 13,00 +	2666,4	2666,4	0,06099	0,10729	0,00396				

Report ID20220704-1429

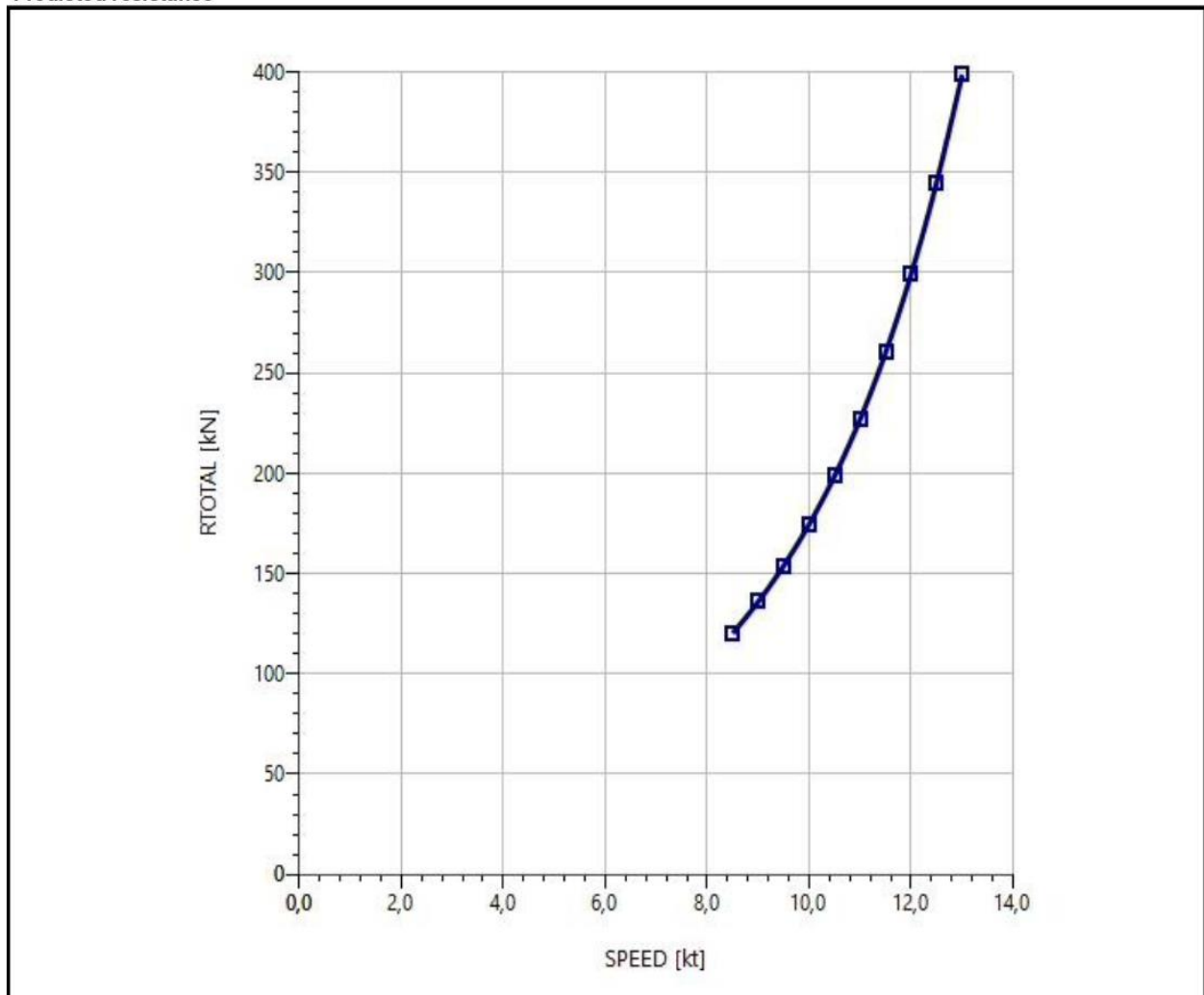
HydroComp NavCad 2014 14.03.0030.S1158.377

Slika 3.7. Rezultati proračuna ukupnog otpora broda prema metodi Holtrop-Mennen za puni gaz

**Analysis parameters**

<b>Vessel drag</b>		<b>ITTC-78 (CT)</b>		<b>Added drag</b>	
Technique:	[Calc] Prediction			Appendage:	[Off]
Prediction:	Holtrop			Wind:	[Off]
Reference ship:				Seas:	[Off]
Model LWL:				Shallow/channel:	[Off]
Expansion:	Standard			Towed:	[Off]
Friction line:	ITTC-57			Margin:	[Off]
Hull form factor:	[On] 1,000			<b>Water properties</b>	
Speed corr:	[On]			Water type:	Salt
Spray drag corr:	[Off]			Density:	1026,00 kg/m3
Corr allowance:	ITTC-78 (v2008)			Viscosity:	1,18920e-6 m2/s
Roughness [mm]:	[Off]				

**Predicted resistance**



Slika 3.8. Dijagram ukupnog otpora broda prema metodi Holtrop-Mennen za puni gaz

## Resistance

8 srp 2022 04:22

HydroComp NavCad 2014

Project ID Snaga otpora

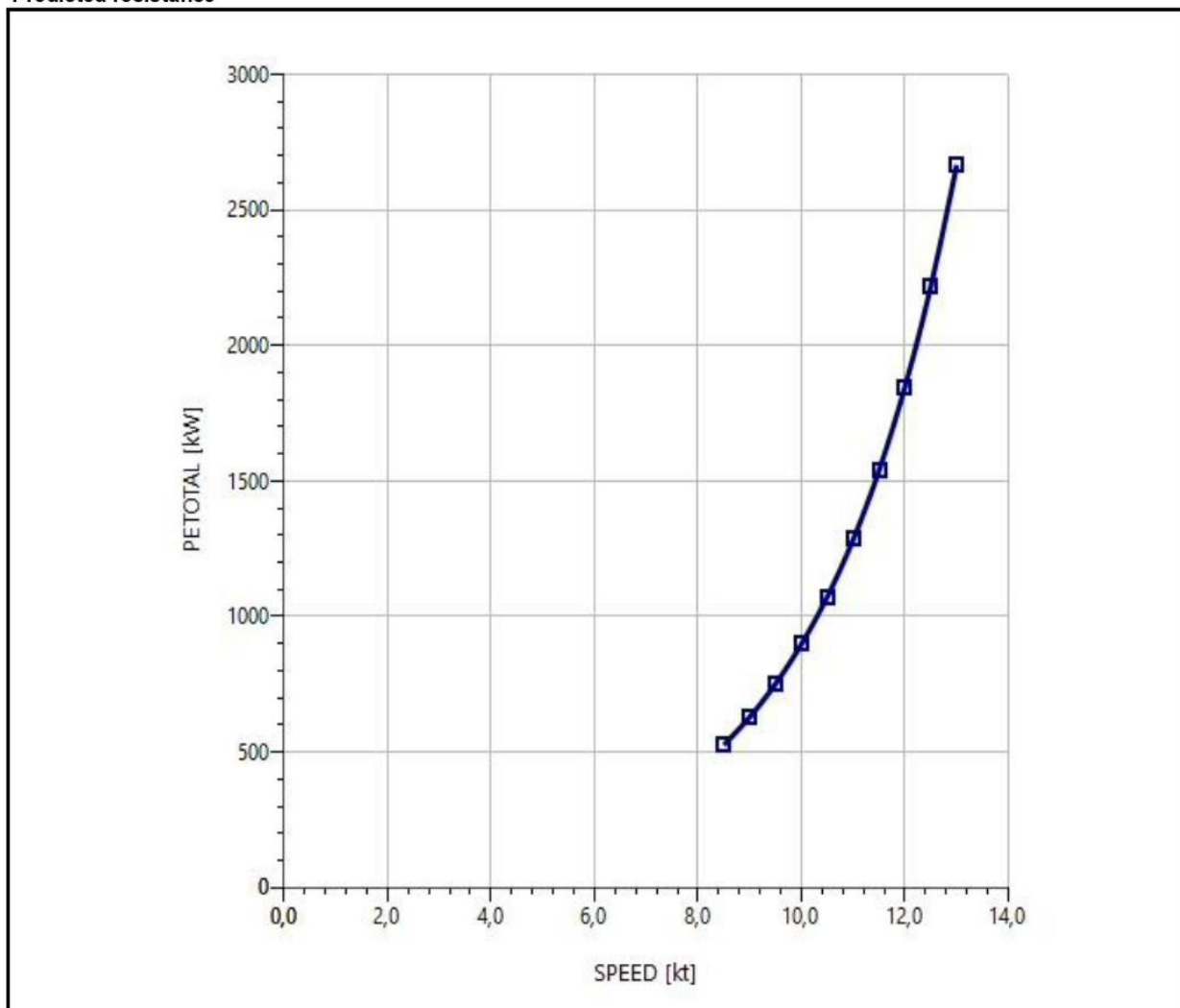
Description Snaga otpora prema metodi Holtrop-Mennen

File name Puni gaz (2).hcnc

### Analysis parameters

Vessel drag		ITTC-78 (CT)		Added drag	
Technique:	[Calc]	Prediction		Appendage:	[Off]
Prediction:		Holtrop		Wind:	[Off]
Reference ship:				Seas:	[Off]
Model LWL:				Shallow/channel:	[Off]
Expansion:		Standard		Towed:	[Off]
Friction line:		ITTC-57		Margin:	[Off]
Hull form factor:	[On]	1,000		<b>Water properties</b>	
Speed corr:	[On]			Water type:	Salt
Spray drag corr:	[Off]			Density:	1026,00 kg/m3
Corr allowance:		ITTC-78 (v2008)		Viscosity:	1,18920e-6 m2/s
Roughness [mm]:	[Off]				

### Predicted resistance



Report ID20220708-1622

HydroComp NavCad 2014 14.03.0030.S1158.377

Slika 3.9. Dijagram snage ukupnog otpora broda prema metodi Holtrop-Mennen za puni gaz.

## Resistance

4 srp 2022 02:26  
HydroComp NavCad 2014

Project ID **Otpor**  
Description **Otpor prema metodi Holtrop-Mennen**  
File name **Balastno stanje.hcnc**

### Analysis parameters

Vessel drag		ITTC-78 (CT)	Added drag	
Technique:	[Calc]	Prediction	Appendage:	[Off]
Prediction:		Holtrop	Wind:	[Off]
Reference ship:			Seas:	[Off]
Model LWL:			Shallow/channel:	[Off]
Expansion:		Standard	Towed:	[Off]
Friction line:		ITTC-57	Margin:	[Off]
Hull form factor:	[On]	1,000	<b>Water properties</b>	
Speed corr:	[On]		Water type:	Salt
Spray drag corr:	[Off]		Density:	1026,00 kg/m3
Corr allowance:		ITTC-78 (v2008)	Viscosity:	1,18920e-6 m2/s
Roughness [mm]:	[Off]			

### Prediction method check [Holtrop]

Parameters	FN [design]	CP	LWL/BWL	BWL/T	Lambda
Value	0,19	0,86	6,68	3,59	1,04
Range	0,06-0,26	0,55-0,85	3,90-14,90	2,10-4,00	0,01-1,07

### Prediction results

SPEED <input type="checkbox"/> [kt]	SPEED COEFS		ITTC-78 COEFS						
	FN	FV	RN	CF	[CV/CF]	CR	dCF	CA	CT
8,50	0,126	0,301	4,55e8	0,001692	1,000	0,001212	0,000000	0,000508	0,003412
9,00	0,133	0,318	4,81e8	0,001680	1,000	0,001272	0,000000	0,000503	0,003455
9,50	0,140	0,336	5,08e8	0,001668	1,000	0,001360	0,000000	0,000499	0,003528
10,00	0,148	0,354	5,35e8	0,001657	1,000	0,001482	0,000000	0,000495	0,003634
10,50	0,155	0,372	5,61e8	0,001646	1,000	0,001641	0,000000	0,000491	0,003779
11,00	0,163	0,389	5,88e8	0,001637	1,000	0,001842	0,000000	0,000487	0,003966
11,50	0,170	0,407	6,15e8	0,001627	1,000	0,002086	0,000000	0,000484	0,004197
12,00	0,177	0,425	6,42e8	0,001618	1,000	0,002378	0,000000	0,000480	0,004476
12,50	0,185	0,442	6,68e8	0,001610	1,000	0,002716	0,000000	0,000476	0,004803
+ 13,00 +	0,192	0,460	6,95e8	0,001602	1,000	0,003104	0,000000	0,000472	0,005179
RESISTANCE									
SPEED <input type="checkbox"/> [kt]	RBARE <input type="checkbox"/> [kN]	RAPP <input type="checkbox"/> [kN]	RWIND <input type="checkbox"/> [kN]	RSEAS <input type="checkbox"/> [kN]	RCHAN <input type="checkbox"/> [kN]	RTOWED <input type="checkbox"/> [kN]	RMARGIN <input type="checkbox"/> [kN]	RTOTAL <input type="checkbox"/> [kN]	
8,50	99,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,47	
9,00	112,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	112,93	
9,50	128,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	128,47	
10,00	146,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	146,65	
10,50	168,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	168,12	
11,00	193,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	193,64	
11,50	224,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	224,00	
12,00	260,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	260,09	
12,50	302,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	302,82	
+ 13,00 +	353,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	353,17	
EFFECTIVE POWER									
SPEED <input type="checkbox"/> [kt]	PEBARE <input type="checkbox"/> [kW]	PETOTAL <input type="checkbox"/> [kW]	CTLR	CTLT	RBARE/W				
8,50	435,0	435,0	0,02224	0,06261	0,00099				
9,00	522,9	522,9	0,02334	0,06340	0,00112				
9,50	627,9	627,9	0,02496	0,06473	0,00128				
10,00	754,4	754,4	0,02719	0,06669	0,00146				
10,50	908,1	908,1	0,03012	0,06935	0,00167				
11,00	1095,8	1095,8	0,03380	0,07277	0,00192				
11,50	1325,2	1325,2	0,03829	0,07703	0,00222				
12,00	1605,7	1605,7	0,04363	0,08214	0,00258				
12,50	1947,3	1947,3	0,04985	0,08813	0,00301				
+ 13,00 +	2361,9	2361,9	0,05696	0,09503	0,00351				

Report ID20220704-1426

HydroComp NavCad 2014 14.03.0030.S1158.377

Slika 3.10. Rezultati proračuna ukupnog otpora broda prema metodi Holtrop-Mennen za balastno stanje



## Resistance

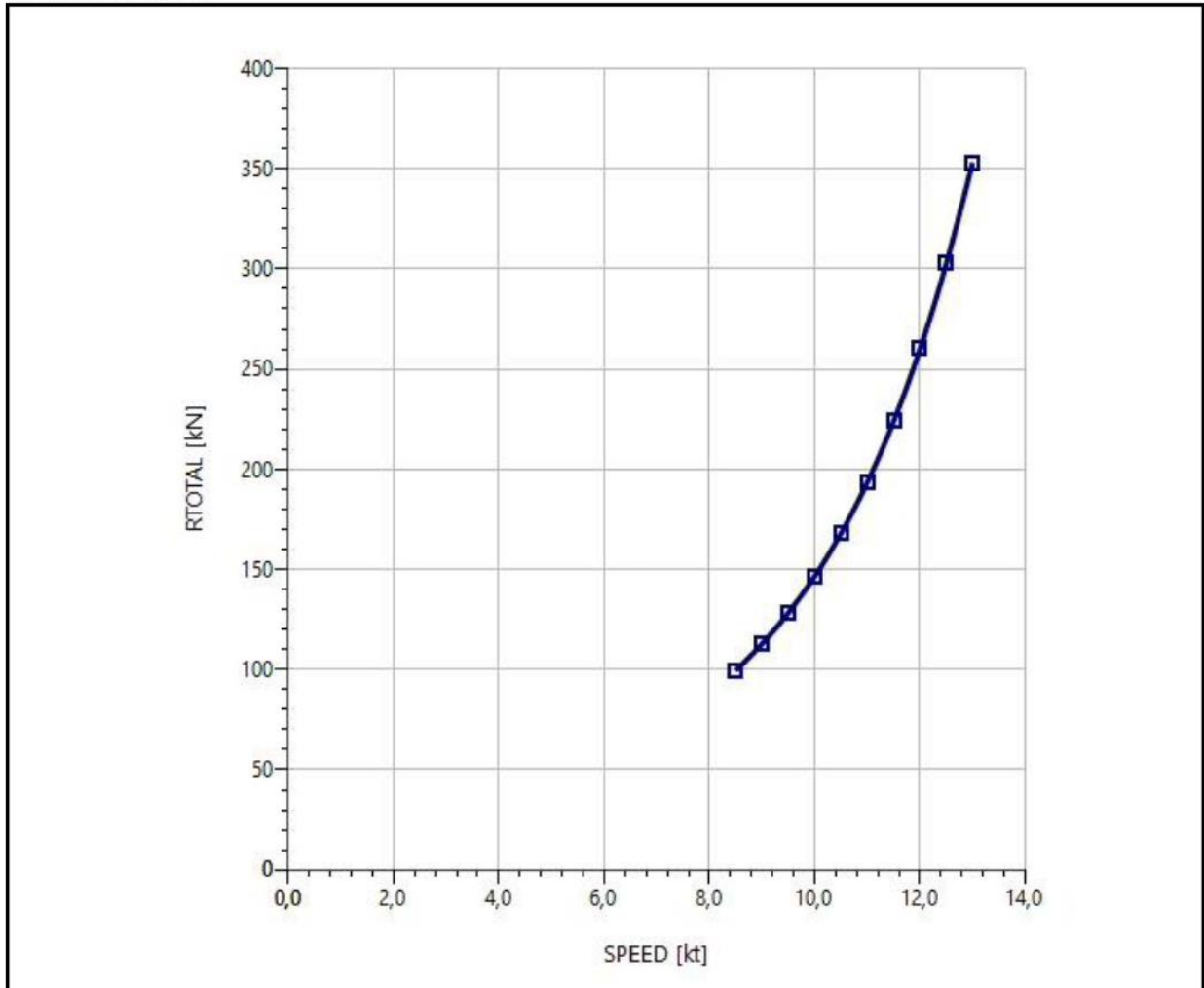
4 srp 2022 02:28  
HydroComp NavCad 2014

Project ID **Otpor**  
Description **Otpor prema metodi Holtrop-Mennen**  
File name **Balastno stanje.hcnc**

### Analysis parameters

Vessel drag		ITTC-78 (CT)		Added drag	
Technique:	[Calc]	Prediction		Appendage:	[Off]
Prediction:		Holtrop		Wind:	[Off]
Reference ship:				Seas:	[Off]
Model LWL:				Shallow/channel:	[Off]
Expansion:		Standard		Towed:	[Off]
Friction line:		ITTC-57		Margin:	[Off]
Hull form factor:	[On]	1,000		<b>Water properties</b>	
Speed corr:	[On]			Water type:	Salt
Spray drag corr:	[Off]			Density:	1026,00 kg/m3
Corr allowance:		ITTC-78 (v2008)		Viscosity:	1,18920e-6 m2/s
Roughness [mm]:	[Off]				

### Predicted resistance



Report ID20220704-1428

HydroComp NavCad 2014.14.03.0030.S1158.377

Slika 3.11. Dijagram ukupnog otpora broda prema metodi Holtrop-Mennen za balastno stanje

## Resistance

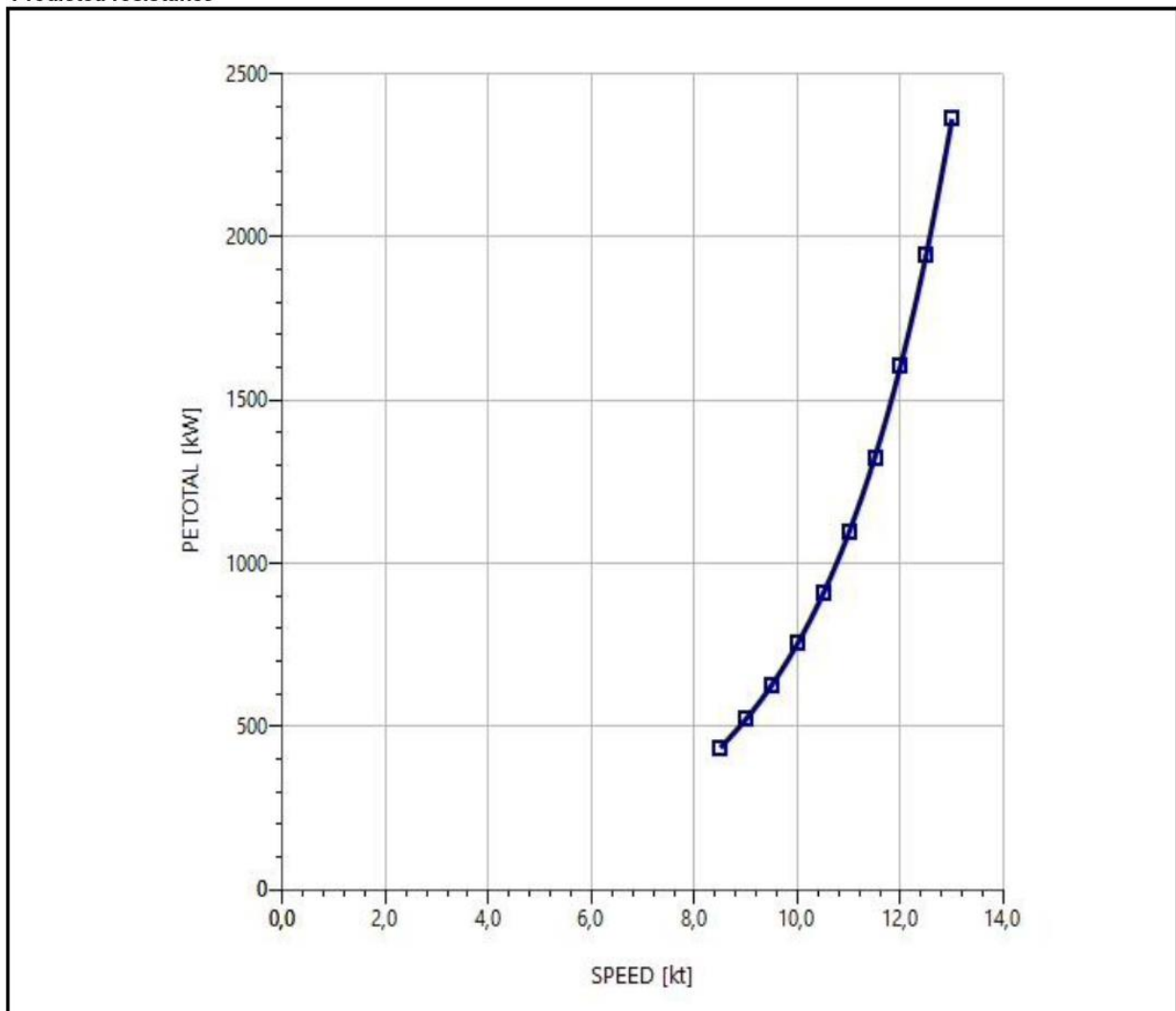
8 srp 2022 04:25  
HydroComp NavCad 2014

Project ID **Snaga otpora**  
Description **Snaga otpora prema metodi Holtrop-Mennen**  
File name **Balastno stanje (2).hcn**

### Analysis parameters

Vessel drag		ITTC-78 (CT)		Added drag	
Technique:	[Calc]	Prediction		Appendage:	[Off]
Prediction:		Holtrop		Wind:	[Off]
Reference ship:				Seas:	[Off]
Model LWL:				Shallow/channel:	[Off]
Expansion:		Standard		Towed:	[Off]
Friction line:		ITTC-57		Margin:	[Off]
Hull form factor:	[On]	1,000		<b>Water properties</b>	
Speed corr:	[On]			Water type:	Salt
Spray drag corr:	[Off]			Density:	1026,00 kg/m3
Corr allowance:		ITTC-78 (v2008)		Viscosity:	1,18920e-6 m2/s
Roughness [mm]:	[Off]				

### Predicted resistance



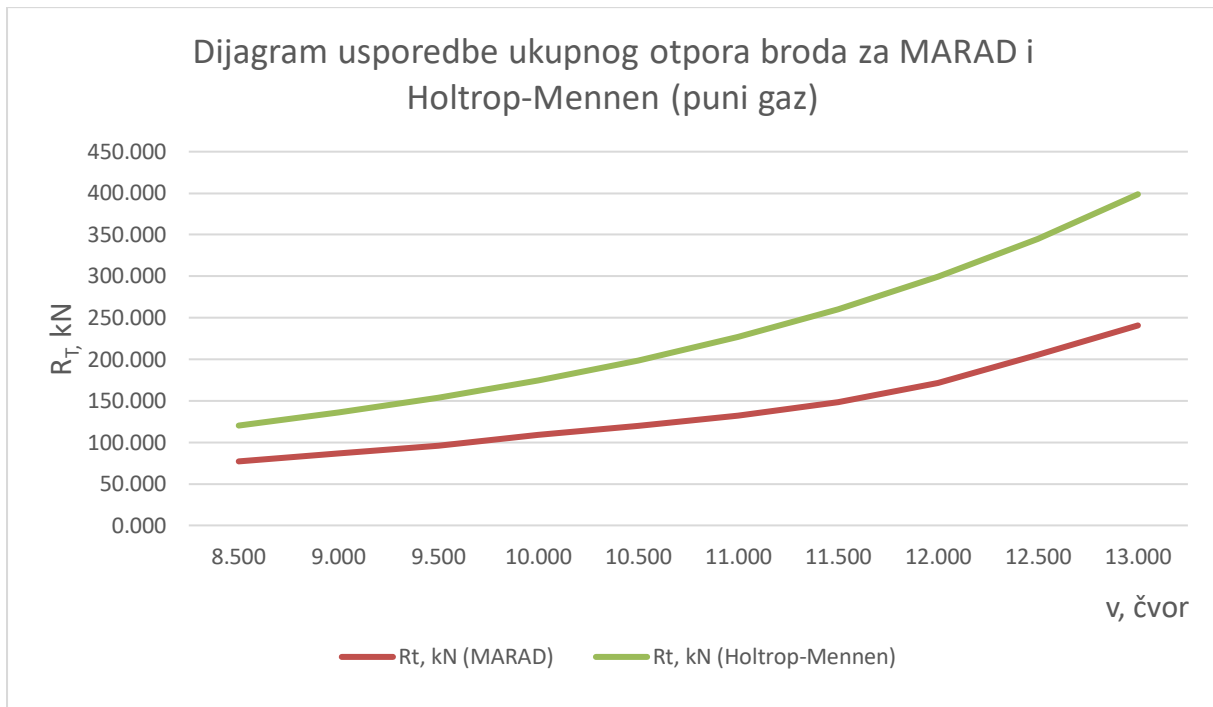
Report ID20220708-1625

HydroComp NavCad 2014 14.03.0030.S1158.377

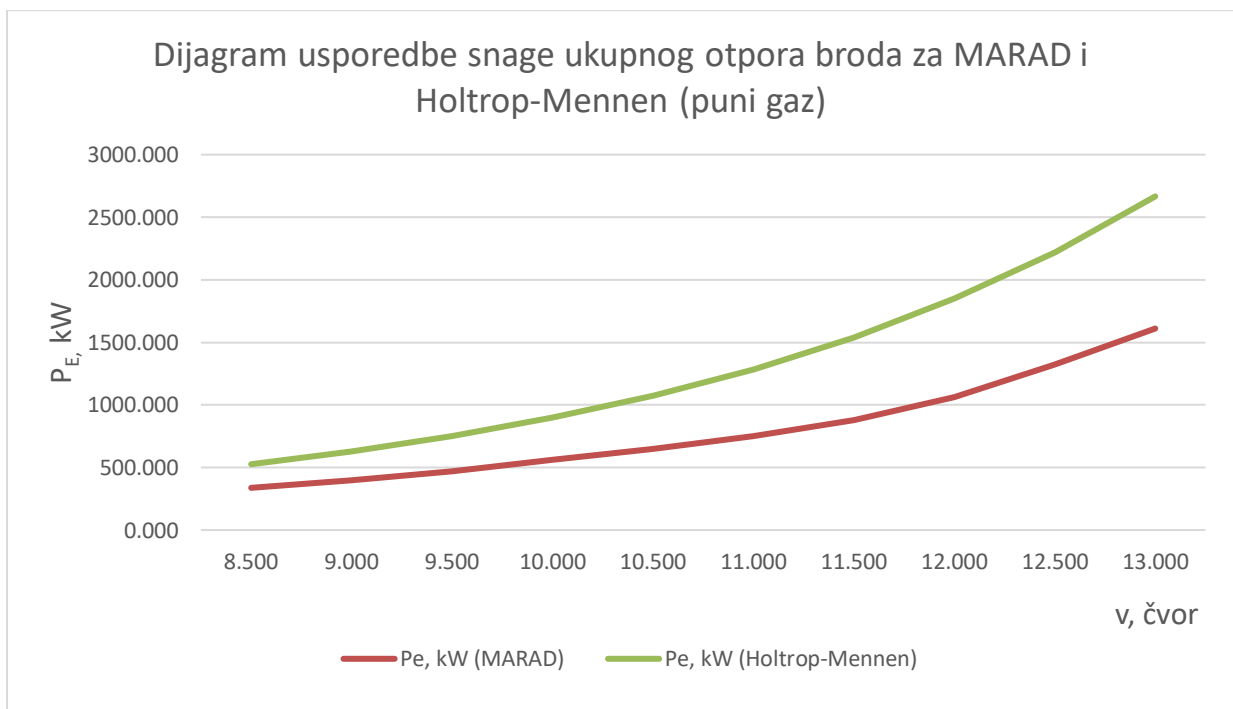
Slika 3.12. Dijagram snage ukupnog otpora broda prema metodi Holtrop-Mennen za balastno stanje



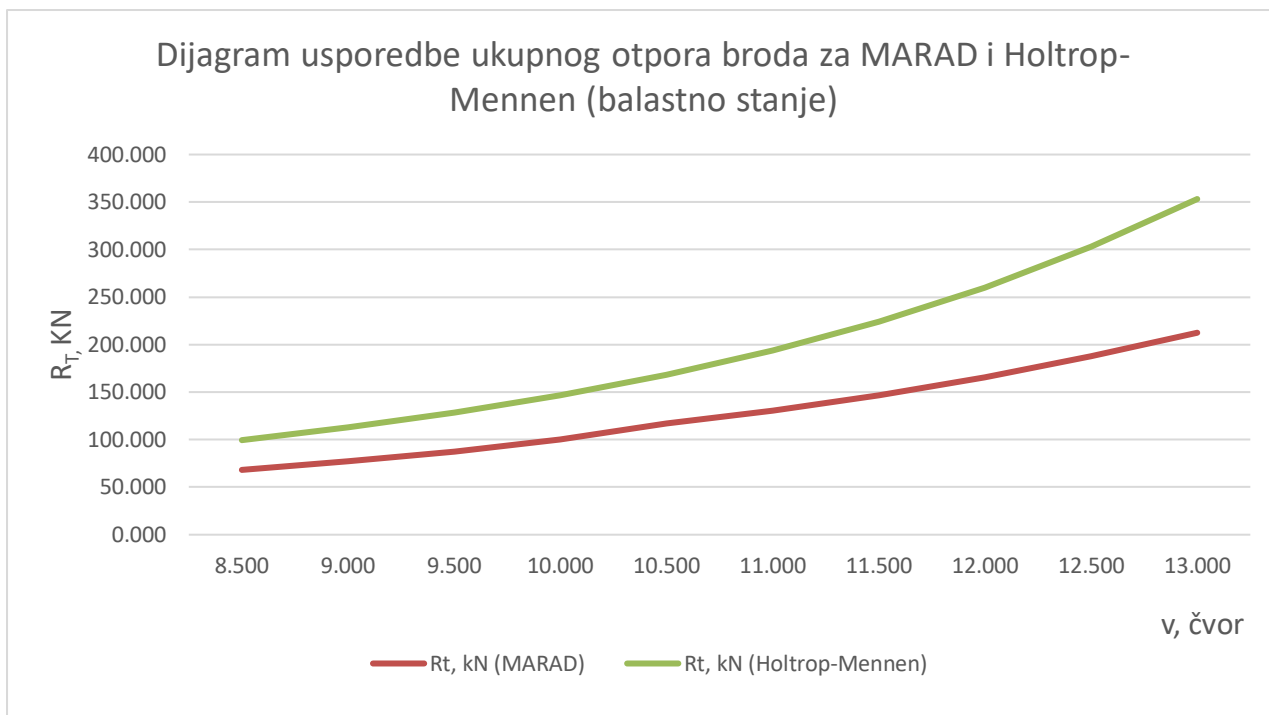
### 3.4. Usporedba dobivenih rezultata za MARAD i Holtrop-Mennen



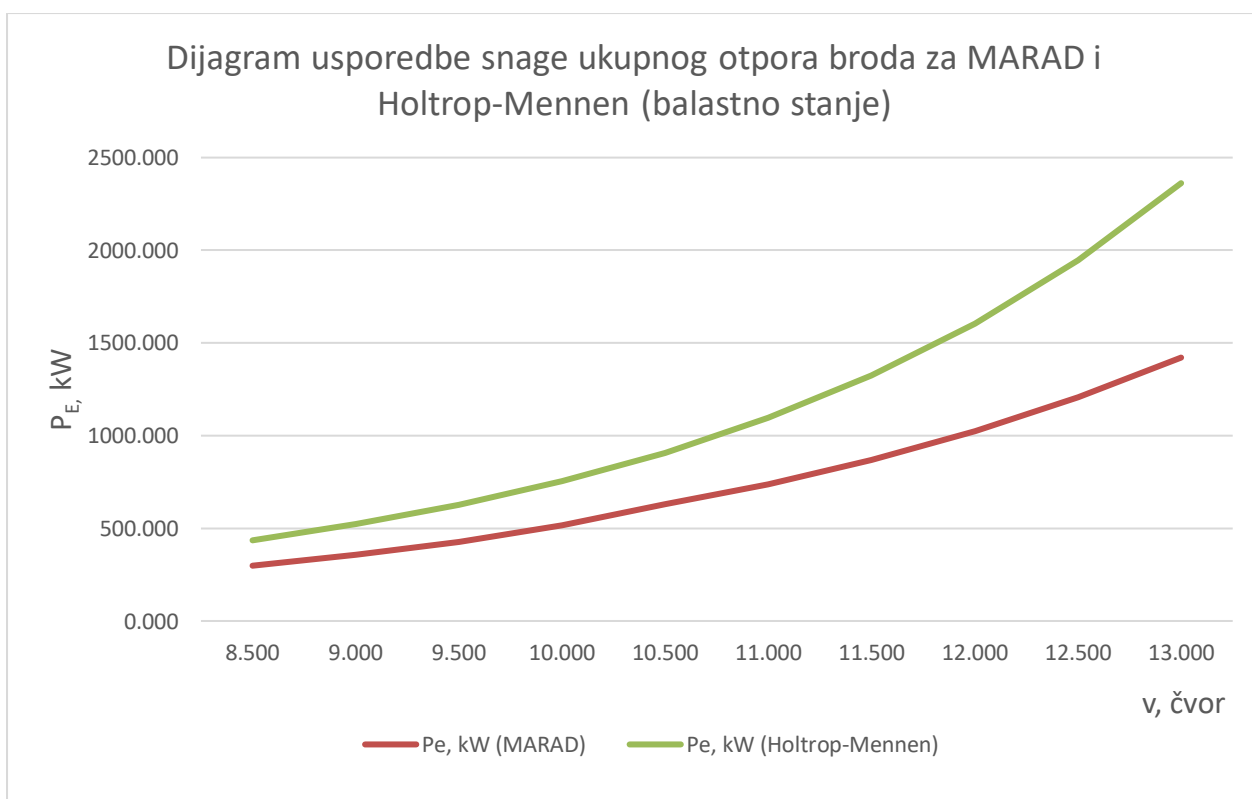
Slika 3.13. Dijagram usporedbe ukupnog otpora broda za MARAD i Holtrop-Mennen (puni gaz)



Slika 3.14. Dijagram usporedbe snage ukupnog otpora broda za MARAD i Holtrop-Mennen (puni gaz)



Slika 3.15. Dijagram usporedbe ukupnog otpora broda za MARAD i Holtrop-Mennen (balastno stanje)



Slika 3.16. Dijagram usporedbe snage ukupnog otpora broda za MARAD i Holtrop-Mennen (balastno stanje)

Tablica 3.4. Usporedba dobivenih rezultata ukupnog otpora broda za puni gaz

v, knot	8,500	9,000	9,500	10,000	10,500	11,000	11,500	12,000	12,500	13,000
$R_T$ , kN (MARAD)	77,087	86,317	96,313	108,870	120,002	132,302	148,536	171,703	205,595	240,776
$R_T$ , kN (Holtrop-Mennen)	120,230	136,010	153,980	174,690	198,820	227,080	260,310	299,370	345,170	398,700

Tablica 3.5. Usporedba dobivenih rezultata snage ukupnog otpora broda za puni gaz

v, knot	8,500	9,000	9,500	10,000	10,500	11,000	11,500	12,000	12,500	13,000
$P_E$ , kW (MARAD)	337,086	399,646	470,701	560,075	648,211	748,681	878,756	1059,980	1322,093	1610,259
$P_E$ , kW (Holtrop-Mennen)	525,800	629,700	752,500	898,700	1073,900	1285,000	1540,000	1848,100	2219,600	2666,400

Tablica 3.6. Usporedba dobivenih rezultata ukupnog otpora broda za balastno stanje

v, knot	8,500	9,000	9,500	10,000	10,500	11,000	11,500	12,000	12,500	13,000
$R_T$ , kN (MARAD)	68,177	77,302	87,481	100,027	116,749	130,511	146,830	165,588	187,741	212,473
$R_T$ , kN (Holtrop-Mennen)	99,470	112,930	128,470	146,650	168,120	193,640	224,000	260,090	302,820	353,170

Tablica 3.7. Usporedba dobivenih rezultata snage ukupnog otpora broda za balastno stanje

v, knot	8,500	9,000	9,500	10,000	10,500	11,000	11,500	12,000	12,500	13,000
$P_E$ , kW (MARAD)	298,123	357,910	427,538	514,583	630,640	738,550	868,662	1022,233	1207,276	1420,975
$P_E$ , kW (Holtrop-Mennen)	435,000	522,900	627,900	754,400	908,100	1095,800	1325,200	1605,700	1947,300	2361,900

Dobiveni su rezultati proračuna ukupnog otpora broda za puni gaz (tablica 3.2.) i proračun ukupnog otpora broda za balastno stanje (tablica 3.3.) te napravljeni dijagrami za otpor i snagu ukupnog otpora broda koji je potpuno nakrcan (slika 3.3. i 3.5.), i dijagrami za ukupni otpor i snagu ukupnog otpora broda za balastno stanje (slika 3.4. i 3.6.) primjenom MARAD sustavnog niza modela brodova.

Također je i primjenom Holtrop-Mennen metode dobiven proračun ukupnog otpora za puni gaz (slika 3.7.) i proračun ukupnog otpora broda za balastno stanje (slika 3.10.). Dijagrami ukupnog otpora broda za puni gaz (slika 3.8.) i za balastno stanje (slika 3.11) te dijagrami snage ukupnog otpora broda za balastno stanje (slika 3.12) i za puni gaz (slika 3.9.).

Nakon dobivenih rezultata proračuna otpora broda za MARAD i metodu Holtrop-Mennen, u radu je bilo potrebno napraviti usporedbu dobivenih rezultata iz MARAD-a sa rezultatima iz metode Holtrop-Mennen. Pomoću tablice 3.4. u kojoj su prikazani brzina broda, otpor broda iz MARAD-a i otpor broda iz metode Holtrop-Mennen dobiven je dijagram (slika 3.13.) usporedbe otpora broda za MARAD i Holtrop-Mennen za puni gaz broda. Također dobiven je i dijagram (3.14.) usporedbe snage ukupnog otpora broda za MARAD i Holtrop-Mennen metodu za puni gaz pomoću tablice 3.5. Analiziran je i dijagram (slika 3.15.) usporedbe otpora broda za metode MARAD i Holtrop-Mennen za balastno stanje broda pomoću tablice 3.6. Nadalje, pomoću tablice 3.7. napravljen je dijagram (slika 3.16.) koji prikazuje usporedbu snage ukupnog otpora broda za MARAD i Holtrop-Mennen u balastnom stanju. Na slikama 3.13.-3.16. krivulje ukupnog otpora broda i snage ukupnog otpora broda dobivene Holtrop-Mennen metodom za puni gaz i balastno stanje broda imaju veće vrijednosti od krivulja dobivene MARAD sustavnim nizom modela brodova. Isto tako, krivulje dobivene Holtrop-Mennen metodom su strmije i imaju veći nagib u odnosu na krivulje dobivene primjenom MARAD-a. U tablicama 3.4.-3.7. dobivene vrijednosti otpora broda i snage otpora broda za Holtrop-Mennen metodu su veće od dobivenih vrijednosti korištenjem MARAD sustavnog niza modela brodova. Također, otpor i snaga otpora za puni gaz (tablica 3.4. i 3.5.) su veći od otpora i snage otpora za balastno stanje broda (tablica 3.6. i 3.7.). Uz to, krivulje otpora i snage otpora za potpuno nakrcan brod (slika 3.13. i 3.14.) imaju veće vrijednosti od krivulja za otpor i snagu otpora za brod u balastnom stanju (slika 3.15. i 3.16.).

## 4. ZAKLJUČAK

U svrhu procjene otpora tankera za prijevoz naftnih derivata nosivosti 8500 tona primjenom MARAD sustavnog niza modela brodova definirana je forma broda H i izrađen nacrt linija broda. Forma broda H definirana je pomoću glavnih dimenzija broda. Nacrt linija se sastoji od rebara, uzdužnica i vodnih linija.

Nadalje, proveden je i numerički proračun za potpuno nakrcan brod i brod u balastnom stanju. Rezultati proračuna primjenom MARAD sustavnog niza modela brodova pokazuju da je otpor broda za puni gaz veći nego otpor broda u balastnom stanju. Isto tako primjenom MARAD sustavnog niza modela brodova pokazuje da je snaga ukupnog otpora broda veća za brod punog gaza, dok brod u balastnom stanju ima manju snagu otpora.

U dijagramu otpora broda, krivulja za puni gaz je strmija u odnosu na krivulju u balastnom stanju. Dijagram snage otpora broda pokazuje da krivulja za puni gaz je strmija, dok krivulja za balastno stanje je manje strmija slično kao i kod dijagrama za otpor broda.

Nadalje, rješavanju problema vezanih za numerički proračun otpora prema metodi Holtrop-Mennen, ukupni otpor broda za puni gaz je veći nego ukupni otpor za balastno stanje, također krivulja otpora u dijagramu za balastno stanje je manje strmija od krivulje otpora za puni gaz.

Iz cjelokupnog razmatranja nakon usporedbe rezultata numeričkog proračuna procjene otpora tankera primjenom MARAD sustavnog niza modela brodova i Holtrop-Mennen metodom proizlazi činjenica da su rezultati numeričkog proračuna procjene otpora tankera zadovoljavajući. Razlike u otporima broda nisu velike, ali su prihvatljive analizom podataka iz tablica 3.4.-3.7.

## LITERATURA

- [1] Roseman D. P.: “The MARAD systematic series of full-form ship models”, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Jersey City, 1987.
- [2] Cookson P.: “Sea Boats”, s interneta, <https://www.seaboats.net/4units-of-8500t-dwt-chemical-and-product-oil-tanker-1307026>, Kina, 2018.
- [3] Dejhalla R.: “Hidrodinamika plovnih objekata I”, predavanja, Tehnički fakultet, Sveučilište u Rijeci, Rijeka, 2021.
- [4] Turk A., Legović D.: “Brodске forme”, predavanja, Tehnički fakultet, Sveučilište u Rijeci, Rijeka, 2017.
- [5] Birk. L.: “Holtrop and Mennen's Method”, s interneta, [onlinelibrary.wiley.com](https://onlinelibrary.wiley.com), Njemačka, 2019.
- [6] Aaron J.: “HydroComp, Inc.”, s interneta, <https://www.hydrocompinc.com/>, Durham, 2022

## I. Popis oznaka

B	širina broda, m
C	koeficijent za otpor
$C_B$	koeficijent punoće istisnine broda
$C_F$	koeficijent trenja broda
$C_R$	koeficijent preostalog otpora broda
$C_T$	koeficijent ukupnog otpora broda
$F_R$	Froudeov broj
g	ubrzanje sile teže, $m/s^2$
K	koeficijent za brzinu
L	duljina broda, m
$L_E$	duljina pramčanog zaoštrenja, m
$L_M$	duljina paralelnog srednjaka, m
$L_R$	duljina krmenog zaoštrenja, m
$P_E$	efektivna snaga broda, kW
$R_e$	Reynoldsov broj
$R_F$	otpor trenja broda, kN
$R_R$	preostali otpor broda, kN
$R_T$	ukupni otpor broda, kN
S	oplakivana površina broda, $m^2$
T	gaz broda, m
$T_K$	gaz na krmenoj okomici, m
$T_P$	gaz na pramčanoj okomici, m
$T_S$	srednji gaz, m
v	brzina broda, m/s



$\nabla$  volumen istisnine broda, m<sup>3</sup>

### Grčka slova

$\rho$  gustoća morske vode, kg/m<sup>3</sup>

$\nu$  kinematički viskozitet, m<sup>2</sup>/s

### Indeksi

E pramčano zaoštrenje

E efektivna

F trenje

M paralelni srednjak

R krmeno zaoštrenje

R preostali

T ukupni

## II. Popis slika

Slika 2.1. <i>Tanker koji je poslužio kao predložak</i> .....	4
Slika 2.2. <i>Koordinatne osi broda</i> .....	8
Slika 2.3. <i>Linije brodske forme</i> .....	12
Slika 2.4. <i>Primjer mjerenje poluširina s predložka</i> .....	13
Slika 2.5. <i>Primjer nacrt krmernih rebara</i> .....	14
Slika 2.6. <i>Primjer predložka pramčanih rebara iz MARAD-a</i> .....	15
Slika 2.7. <i>Primjer predložka krmernih rebara iz MARAD-a</i> .....	15
Slika 2.8. <i>Primjer predložka pramčane statve iz MARAD-a</i> .....	16
Slika 2.9. <i>Primjer predložka krmene statve iz MARAD-a</i> .....	16
Slika 2.10. <i>Primjer crtanja vodnih linija (skica)</i> .....	17
Slika 2.11. <i>Crtanje uzdužnica (skica)</i> .....	18
Slika 2.12. <i>Nacrt linija broda</i> .....	19
Slika 3.1. <i>Dijagram za puni gaz</i> .....	25
Slika 3.2. <i>Dijagram za brod u balastu</i> .....	26
Slika 3.3. <i>Dijagram ukupnog otpora broda za puni gaz</i> .....	32
Slika 3.4. <i>Dijagram ukupnog otpora broda za balastno stanje</i> .....	32
Slika 3.5. <i>Dijagram snage ukupnog otpora broda za puni gaz</i> .....	33
Slika 3.6. <i>Dijagram snage ukupnog otpora broda za balastno stanje</i> .....	33
Slika 3.7. <i>Rezultati proračuna ukupnog otpora broda prema metodi Holtrop-Mennen za puni gaz</i> .....	35
Slika 3.8. <i>Dijagram ukupnog otpora broda prema metodi Holtrop-Mennen za puni gaz</i> .....	36
Slika 3.9. <i>Dijagram snage ukupnog otpora broda prema metodi Holtrop-Mennen za puni gaz</i> .....	37

Slika 3.10. <i>Rezultati proračuna ukupnog otpora broda prema metodi Holtrop-Mennen za balastno stanje</i> .....	38
Slika 3.11. <i>Dijagram ukupnog otpora broda prema metodi Holtrop-Mennen za balastno stanje</i> .....	39
Slika 3.12. <i>Dijagram snage ukupnog otpora broda prema metodi Holtrop-Mennen za balastno stanje</i> .....	40
Slika 3.13. <i>Dijagram usporedbe ukupnog otpora broda za MARAD i Holtrop-Mennen (puni gaz)</i> .....	41
Slika 3.14. <i>Dijagram usporedbe snage ukupnog otpora broda za MARAD i Holtrop-Mennen (puni gaz)</i> .....	41
Slika 3.15. <i>Dijagram usporedbe ukupnog otpora broda za MARAD i Holtrop-Mennen (balastno stanje)</i> .....	42
Slika 3.16. <i>Dijagram usporedbe snage ukupnog otpora broda za MARAD i Holtrop-Mennen (balastno stanje)</i> .....	42

### III. Popis tablica

Tablica 2.1. <i>Tablični prikaz parametara za formu broda</i> .....	2
Tablica 2.2. <i>Bezdimenzijski koeficijenti forme za pramčano zaoštrenje</i> .....	5
Tablica 2.3. <i>Tablica dobivenih koeficijenata za pramčano zaoštrenje</i> .....	6
Tablica 2.4. <i>Preuzete vrijednosti iz tablice za <math>L_E/L</math>, <math>L_M/L</math>, <math>L_R/L</math></i> .....	7
Tablica 2.5. <i>Bezdimenzijski koeficijenti forme za krmeno zaoštrenje</i> .....	9
Tablica 2.6. <i>Bezdimenzijski koeficijenti forme za krmeno zaoštrenje</i> .....	9
Tablica 2.7. <i>Tablica dobivenih koeficijenata za krmeno zaoštrenje</i> .....	10
Tablica 2.8. <i>Tablica dobivenih koeficijenata za krmeno zaoštrenje</i> .....	11
Tablica 2.9. <i>Tablica dobivenih mjera</i> .....	14
Tablica 3.1. <i>Dobivena oplakivana površina</i> .....	23
Tablica 3.2. <i>Proračun ukupnog otpora za puni gaz</i> .....	30
Tablica 3.3. <i>Proračun ukupnog otpora broda u balastu</i> .....	31
Tablica 3.4. <i>Usporedba dobivenih rezultata ukupnog otpora broda za puni gaz</i> .....	43
Tablica 3.5. <i>Usporedba dobivenih rezultata snage ukupnog otpora broda za puni gaz</i> .....	43
Tablica 3.6. <i>Usporedba dobivenih rezultata ukupnog otpora broda za balastno stanje</i> .....	43
Tablica 3.7. <i>Usporedba dobivenih rezultata snage ukupnog otpora broda za balastno stanje</i> .....	43

## IV. Sažetak i ključne riječi

Zadatak ovog rada obuhvaća procjenu otpora tankera za prijevoz naftnih derivata nosivosti 8500 tona. U radu su odabrane glavne dimenzije broda za prijevoz naftnih derivata nosivosti od 8500 tona primjenom MARAD sustavnog niza modela brodova. Zatim je definirana forma broda H koja je odabrana iz MARAD-a. Nadalje, u nastavku izrađen je nacrt linija broda u programu Auto Cadu. Nacrt linija broda se izradio pomoću navedenih bezdimenzijskih koeficijenta forme u tablicama iz MARAD-a, koji su kasnije usklađeni sa pravim dimenzijama broda za pramčano zaoštrenje i za krmeno zaoštrenje broda. U završnom radu pretpostavljen je koeficijent punoće istisnine koji iznosi  $C_B = 0,85$ . Nakon izrade nacrt linija broda i definirane forme broda, napravljen je proračun otpora za odabrano područje brzina za potpuno nakrcan brod i za brod u balastnom stanju. Rezultati proračuna otpora broda prikazani su tablično i grafički. U završnom poglavlju prikazani su rezultati proračuna otpora prema metodi Holtrop-Mennen koji su dobiveni računalnim programom NavCad. NavCad se koristi za procjenu projekta i predviđanje otpora i pogona za plovila od brzih obalnih patrolnih brodova do najvećih borbenih i pomoćnih plovila. Rezultati dobiveni numeričkim proračunom procjene otpora tankera uspoređeni su sa rezultatima proračuna procjene otpora tankera prema metodi Holtrop-Mennen. Nakon usporedbe rezultata dolazi se do zaključka da su rezultati numeričkog proračuna procjene otpora tankera zadovoljavajući u odnosu na rezultate proračuna procjene otpora tankera prema metodi Holtrop-Mennen.

Ključne riječi: Tanker, MARAD sustavni niz, otpor broda

## V. Abstract and keywords

The task of this paper includes the assessment of the resistance of a tanker for the transportation of petroleum products with a carrying capacity of 8,500 tons. In the paper, the main dimensions of the ship for the transportation of petroleum products with a carrying capacity of 8,500 tons were selected using the MARAD systematic series of ship models. Then the ship form H was defined, which was selected from MARAD. Furthermore, below is a sketch of the ship's line in the Auto Cadu program. The outline of the ship's lines was created using the specified dimensionless shape coefficients in the tables from MARAD, which were later adjusted to the true dimensions of the ship for the bow and stern of the ship. In the final paper, the coefficient of fullness of truth was assumed, which is  $C_B=0.85$ . After drafting the line of the ship and the defined form of the ship, a resistance calculation was made for the selected speed range for a fully loaded ship and a ship in ballast condition. The results of the calculation of the ship's resistance are presented in tabular and graphical form. The final chapter presents the results of the resistance calculation according to the Holtrop-Mennen method, which were obtained using the NavCad computer program. NavCad is used to assess design and predict drag and propulsion for vessels from fast coastal patrol boats to the largest combat and support vessels. The results obtained by the numerical calculation of the resistance of the tanker were compared with the results of the calculation of the resistance of the tanker according to the Holtrop-Mennen method. After comparing the results, the conclusion is reached that the results of the numerical calculation of tanker resistance estimation are satisfactory compared to the results of the calculation of tanker resistance estimation according to the Holtrop-Mennen method.

Key words: Tanker, The MARAD systematic series of full-form ship models, ship's resistance