

# Primjena metode Holtrop-Mennen na seriju "Jelsa"

---

**Pensa, Marina**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2008**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:119158>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-10-10**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu  
**Fakultet strojarstva i brodogradnje**

## **ZAVRŠNI RAD**

Marina Pensa

Zagreb, 2008.

Sveučilište u Zagrebu  
**Fakultet strojarstva i brodogradnje**

## **ZAVRŠNI RAD**

Voditelj rada:  
Doc. dr. sc. Nastia Degiuli

Marina Pensa

Zagreb, 2008.



Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	04-07-2008 Prilog
Klasa:	002-04/08-6/5
Ur.broj:	15-1703-08-182

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Marina Pensa**

Mat. br.: 0023027033

Naslov: **Primjena metode Holtrop-Mennen na seriju "Jelsa"**

Opis zadatka:

U okviru rada potrebno je:

- na temelju rezultata modelskih ispitivanja serije punih brodova velike širine i malog gaza, serija "Jelsa" [1], provedenih u Brodarskom institutu u Zagrebu odrediti empirijski izraz za faktor forme za brod sa značajkama unutar raspona značajki serije,
- izraditi program za izračun komponenata otpora i propulzivnih značajki prema metodi Holtrop-Mennen,
- primjenom metode Holtrop-Mennen izračunati komponente otpora i propulzivne značajke za seriju brodova "Jelsa",
- usporediti faktore forme dobivene iz rezultata modelskih ispitivanja metodom Prohaske [2] i metodom Holtrop-Mennen,
- usporediti rezultate dobivene mjerenjima i metodom Holtrop-Mennen,
- komentirati dobivene rezultate te po potrebi za svako značajnije odstupanje dati dodatno objašnjenje,
- zaključno konstatirati primjenjivost metode Holtrop-Mennen na danu seriju brodova s obzirom na značajke serije.

Prilog:

- [1] Istraživanje optimalnih formi širokih brodova malog gaza, Interni izvještaj, Brodarski institut, Zagreb, 1990.
- [2] Hadžić, N., Određivanje faktora forme serije punih brodova velike širine i malog gaza, Završni projekt, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2007, p. 123.

Zadatak zadan:

25. listopada 2007.

Zadatak zadao:

*Nastia Degiuli*  
Doc. dr. sc. Nastia Degiuli

Referada za diplomske i završne ispite

Krajnji rok predaje rada:

listopad 2008.

*Rajko Grubišić*  
Prof. dr. sc. Rajko Grubišić

Obrazac PDS/D6 - 3

## **IZJAVA**

Izjavljujem pod punom odgovornošću da sam završni rad radila samostalno , koristeći se navedenom literaturom i znanjem stečenim tijekom studija.

Posebno se zahvaljujem mentorici Doc.dr.sc. Nastiji Degiuli i mr.sc. Marti Pedišić Buča na pruženoj pomoći tijekom izrade ovog završnog projekta.

---

Marina Pensa

## SADRŽAJ

1. SERIJA "JELSA" .....	1
1.1. OSNOVNA FORMA I GEOMETRIJA SERIJE .....	1
1.2. PRIKAZ SERIJE "JELSA" ZA PUNO OPTEREĆENJE.....	4
1.3. RAZVOJ SERIJE.....	6
1.4. MODELSKA ISPITIVANJA.....	6
1.5. MODELI I POKUSI.....	7
2. FAKTOR FORME .....	8
2.1. PROHASKINA METODA ODREĐIVANJA FAKTORA FORME .....	8
3. METODA HOLTROP-MENNEN .....	11
3.1. ODREĐIVANJE OTPORA .....	11
3.1.1. FAKTOR FORME .....	12
3.1.2. OTPOR PRIVJESAKA.....	13
3.1.3. OTPOR TRENJA.....	13
3.1.4. OTPOR VALOVA.....	14
3.1.5. DODATNI OTPOR TLAKA PRAMCA S BULBOM BLIZU POVRŠINE VODE ....	16
3.1.6. DODATNI OTPOR TLAKA URONJENE ZRCALNE KRME .....	16
3.1.7. KORELACIJSKI OTPOR MODEL-BROD.....	17
3.2. ODREĐIVANJE PROPULZIJSKIH ZNAČAJKI.....	18
3.2.1. EFEKTIVNO SUSTRUJANJE.....	18
3.2.2. KOEFICIJENT UPIJANJA (KOEFICIJENT SMANJENOG PORIVA).....	19
3.2.3. KOEFICIJENT PRIJELAZA.....	19
4. VRIJEDNOSTI MODELSKIH ISPITIVANJA SERIJE "JELSA" .....	20
5. VRIJEDNOSTI IZRAČUNATE METODOM HOLTROP-MENNEN .....	24
6. USPOREDBE REZULTATA STATISTIČKE METODE HOLTROP-MENNEN I MODELSKOG ISPITIVANJA SERIJE "JELSA" .....	37
6.1. FAKTOR FORME .....	37
6.2. UKUPNI OTPOR I EFEKTIVNA SNAGA .....	40
6.3. KOFICIJENT UPIJANJA .....	43
6.4. EFEKTIVNO SUSTRUJANJE.....	46
6.5. PORIV .....	49
6.6. KOEFICIJENT PRIJELAZA .....	52
7. ANALIZA REZULTATA DOBIVENIH USPOREDBOM METODE HOLTROP-MENNEN I MODELSKOG ISPITIVANJA SERIJE "JELSA" .....	55
7.1. OGRANIČENJA METODE HOLTROP-MENNEN .....	57
8. ZAKLJUČAK .....	58
9. LITERATURA.....	59
PRILOG I	
PRILOG II	

## POPIS TABLICA

Tablica 1.1	Glavne značake i dimenzije modela, puno opterećenje .....	5
Tablica 1.2	Glavne značajke i dimenzije hipotetičkih brodova, puno opterećenje .....	5
Tablica 1.3	Rasponi Froudeovih i Reynoldsovih brojeva za pojedine hipotetičke brodove serije "Jelsa" .....	5
Tablica 2.1	Faktor forme $k$ .....	9
Tablica 3.1	Vrijednosti koeficijenta forme krme .....	12
Tablica 3.2	Faktor privjesaka $(1+k_2)$ .....	12
Tablica 4.1	Vrijednosti faktora forme .....	20
Tablica 4.2	Vrijednosti ukupnog otpora .....	21
Tablica 4.3	Vrijednosti efektivne snage .....	21
Tablica 4.4	Vrijednosti koeficijenta upijanja .....	22
Tablica 4.5	Vrijednosti sustrujanja .....	22
Tablica 4.6	Vrijednosti poriva .....	23
Tablica 4.7	Vrijednosti koeficijenta prijelaza .....	23
Tablica 5.1	Oplakana površina trupa .....	25
Tablica 5.2	Koeficijent otpora trenja .....	25
Tablica 5.3	Vrijednosti otpora trenja .....	26
Tablica 5.4	Iznos koeficijenta $c_{14}$ .....	26
Tablica 5.5	Vrijednosti izraza $Lr$ .....	26
Tablica 5.6	Faktor forme golog trupa .....	26
Tablica 5.7	Iznos faktora zbog utjecaja privjesaka .....	27
Tablica 5.8	Iznosi oplakanih površina privjesaka za određeni model .....	27
Tablica 5.9	Vrijednosti faktora forme .....	27
Tablica 5.10	Vrijednosti otpora privjesaka .....	27
Tablica 5.11	Vrijednosti koeficijenata .....	28
Tablica 5.12	Vrijednosti koeficijenta $m_4$ u ovisnosti o brzini .....	29
Tablica 5.13	Iznosi otpora valova .....	29
Tablica 5.14	Vrijednosti koeficijenta koji je mjera izrona pramca $P_B$ .....	30
Tablica 5.15	Vrijednosti izraza $i$ .....	30
Tablica 5.16	Vrijednosti Froudeovog broja koji se temelji na uronu .....	30
Tablica 5.17	Vrijednosti dodatnog otpora tlaka pramca s bulbom blizu površine .....	31
Tablica 5.18	Vrijednosti koeficijenata $c_2$ i $c_4$ i korelacijskog koeficijenta $C_A$ .....	31
Tablica 5.19	Vrijednosti korelacijskog otpora model - brod .....	32
Tablica 5.20	Vrijednosti ukupnog otpora .....	33
Tablica 5.21	Vrijednosti efektivne snage .....	33
Tablica 5.22	Vrijednosti koeficijenata upijanja .....	34
Tablica 5.23	Vrijednosti poriva .....	34
Tablica 5.24	Iznosi koeficijenata .....	34
Tablica 5.25	Vrijednosti koeficijenta viskoznog otpora .....	35
Tablica 5.26	Vrijednosti efektivnog sustrujanja .....	36
Tablica 5.27	Omjer površina razvijene površine vijka i površine diska vijka .....	36
Tablica 5.28	Vrijednosti prizmatičkog koeficijenta stražnjeg dijela broda .....	36
Tablica 5.29	Vrijednosti koeficijenta prijelaza $\eta_R$ .....	36
Tablica 6.1	Relativno odstupanje faktora forme $(1+k)$ .....	37
Tablica 6.2	Relativno odstupanje dano u postotku (%) za ukupni otpor $R_T$ i efektivnu snagu $P_E$ .....	40
Tablica 6.3	Relativno odstupanje dano u postotku (%) za koeficijente upijanja .....	43
Tablica 6.4	Relativno odstupanje dano u postotku (%) za efektivno sustrujanje .....	46

Tablica 6.5 Relativno odstupanje dano u postotku (%) za poriv .....	49
Tablica 6.6 Relativno odstupanje dano u postotku (%) za koeficijent prijelaza .....	52
Tablica 7.1 Odstupanje dano u postotku (%) za efektivno sustrujanje $w$ .....	56



## POPIS SLIKA

Slika 1.1 Nacrt rebara, pramčana i krmena kontura osnovne forme M-938 .....	1
Slika 1.2 VHC - bulb forma pramca .....	2
Slika 1.3 Forma krme s bulbom .....	2
Slika 1.4 Geometrija svih modela serije "Jelsa" .....	3
Slika 1.5 Shema serije "Jelsa" za puno opterećenje .....	4
Slika 2.1. Određivanje faktora forme prema Prohaski .....	9
Slika 2.2. Konkavna krivulja za brodove punijih formi .....	9
Slika 2.3 Prostorna ploha razdiobe faktora forme $k$ .....	10
Slika 6.1 Usporedba prosječnih razlika metode Holtrop-Mennen i modelskog ispitivanja serije "Jelsa" za faktor forme $(1+k)$ .....	38
Slika 6.2 3-D prikaz prosječnog odstupanja (%) koeficijenata forme $(1+k)$ .....	39
Slika 6.3 Usporedba prosječnih razlika metode Holtrop-Mennen i modelskog ispitivanja serije "Jelsa" za ukupni otpor $R_T$ i efektivnu snagu $P_E$ .....	41
Slika 6.4 3-D prikaz prosječnog odstupanja (%) za $R_T$ i $P_E$ .....	42
Slika 6.5 Usporedba prosječnih razlika metode Holtrop-Mennen i modelskog ispitivanja serije "Jelsa" za koeficijente upijanja $t$ .....	44
Slika 6.6 3-D prikaz prosječnog odstupanja (%) koeficijenata upijanja $t$ .....	45
Slika 6.7 Usporedba prosječnih razlika metode Holtrop-Mennen i modelskog ispitivanja serije "Jelsa" za efektivno sustrujanje $w$ .....	47
Slika 6.8 3-D prikaz prosječnog odstupanja (%) efektivnog sustrujanja $w$ .....	48
Slika 6.9 Usporedba prosječnih razlika metode Holtrop-Mennen i modelskog ispitivanja serije "Jelsa" za poriv $T$ .....	50
Slika 6.10 3-D prikaz prosječnog odstupanja (%) poriva $T$ .....	51
Slika 6.11 Usporedba prosječnih razlika metode Holtrop-Mennen i modelskog ispitivanja serije "Jelsa" za koeficijent prijelaza $\eta_R$ .....	53
Slika 6.12 3-D prikaz prosječnog odstupanja (%) koeficijenata prijelaza $\eta_R$ .....	54

## POPIS OZNAKA

Veličina :	Opis:	Jedinica:
$L_{PP}$	duljina broda između okomica	m
$L_{WL}$	duljina broda na vodnoj liniji	m
$B$	širina broda	m
$T_A$	gaz broda na krmenoj okomici	m
$T_F$	gaz broda na pramčanoj okomici	m
$T$	srednji gaz broda	m
$S$	oplakana površina golog trupa broda	m <sup>2</sup>
$S_{APP}$	oplakana površina privjesaka	m <sup>2</sup>
$V$	volumen istisnine broda	m <sup>3</sup>
$A_{BT}$	površina poprečnog presjeka bulba	m <sup>2</sup>
$A_T$	površina poprečnog presjeka zrcalne krme	m <sup>2</sup>
$h_B$	pozicija težišta površine $A_{BT}$	m
$v$	brzina broda	m/s
$\rho$	gustoća vode	kg/m <sup>3</sup>
$\mu$	dinamički koeficijent viskoznosti	kg/ms
$\nu$	kinematički koeficijent viskoznosti	m <sup>2</sup> /s
$g$	ubrzanje sile teže	m/s <sup>2</sup>
$R_T$	ukupni otpor broda	N
$P_E$	efektivna snaga ili snaga otpora tegljenja	kW
$R_F$	otpor trenja	N
$R_{APP}$	otpor privjesaka	N
$R_W$	otpor stvaranja valova i lomljenja valova	N
$R_B$	dodatni otpor tlaka pramca s bulbom blizu površine	N
$R_{TR}$	dodatni otpor tlaka uronjene zrcalne krme	N
$R_A$	korelacijski otpor model-brod	N

## Koeficijenti:

$L_{WL} / B_{WL}$	omjer duljina - širina
$B_{WL} / T$	omjer širina - gaz
$C_{BWL}$	koeficijent punoće temeljen na vodnoj liniji
$C_B$	koeficijent punoće
$C_M$	koeficijent glavnog rebra
$C_P$	prizmatični koeficijent
$C_W$	koeficijent vodne linije
lcb	uzdužni položaj težišta istisnine od sredine broda izražen kao postotak od % $L_{PP}$
$Fn$	Froudeov broj
$Rn$	Reynoldsov broj
$k$	faktor forme
$C_T$	koeficijent ukupnog otpora
$C_F$	koeficijent otpora trenja
$C_R$	koeficijent preostalog otpora
$\Delta C_T$	koeficijent ukupnog relacijskog dodatka
$C_V$	koeficijent viskoznog otpora
$C_{F0}$	koeficijent otpora trenja ekvivalentne ravne ploče
$C_W$	koeficijent otpora valova
$w$	efektivno sustrujanje
$t$	koeficijent upijanja
$\eta_R$	koeficijent prijelaza

## SAŽETAK

U radu je primjenjena statistička metoda Holtrop-Mennen na hipotetičke brodove serije "Jelsa" koja je nastala u Brodarskom institutu u Zagrebu zbog potrebe procjene otpora brodova punih formi s velikim omjerom širine i gaza.

Opisana je osnovna forma i geometrija serije "Jelsa" te su dane glavne značajke i dimenzije modela za puno opterećenje i način preračunavanja tih vrijednosti na hipotetičke brodove.

Koristeći vrijednosti faktora forme  $k$  određenih metodom Prohaske na temelju rezultata modelskih ispitivanja serije "Jelsa", nacrtana je ploha koja može u pretprojektnoj fazi poslužiti za određivanje faktora forme  $k$  za bilo koji brod kojem su značajke unutar raspona značajki serije "Jelsa".

Također je opisana metoda Holtrop-Mennen i dani su izrazi za izračunavanje komponentenata otpora i propulzivnih značajki koji će se primjeniti na hipotetičke brodove serije "Jelsa".

Dane su vrijednosti modelskih ispitivanja serije "Jelsa" i vrijednosti izračunate metodom Holtrop-Mennen, te su analizirani rezultati dobivenih usporedbi.

Konstatirana je primjenjivost metode Holtrop-Mennen na danu seriju brodova s obzirom na značajke serije.

Izvršena je kontrola metode zbog velikih vrijednosti odstupanja metode Holtrop-Mennen i modelskih ispitivanja serije "Jelsa" za vrijednosti sustrujanja.

## UVOD

Seriya "Jelsa" razvijena je u Brodarskom institutu u Zagrebu u okviru projekta "Istraživanje optimalnih formi širokih brodova malog gaza".

Razvoj brodova takvih karakteristika potaknuli su zahtjevi od kojih je jedan za povećanjem ekonomičnosti brodova, kojim se traži prijevoz najveće moguće količine tereta uz najmanju potrošnju goriva. Drugi zahtjev je za ograničenjem glavnih dimenzija koji je proizašao iz ograničenja dubina luka i plovnih puteva, te duljinama teretnih obala.

U ranoj fazi projektiranja broda važno je odrediti snagu otpora zbog procjene potrebne snage pogonskih strojeva za određenu masu istisnine i brzinu broda.

Razvijene su razne metode određivanja otpora, te od svih mogućih načina prognoziranja, najpouzdanije rezultate daje ispitivanje modela zbog čega je i razvijena sistemska serija "Jelsa".

Međutim, ograničenost vremena izrade pretprojekta uvjetuje proračun otpora broda i potrebne snage približnim metodama koje su zasnovane na dugogodišnjim analizama rezultata modelskih ispitivanja i pokusnih plovidbi.

U radu će se usporediti slaganje rezultata statističke metode Holtrop-Mennen koja je približna metoda i rezultate modelskog ispitivanja serije "Jelsa".

Za statističke metode je karakteristično sakupljanje podataka otpora i propulzije za grupu brodova. Ti podaci se statistički obrade i služe za prognozu pomoću regresijskih formula ili pomoću dijagrama.

Rezultati standardnih serijskih ispitivanja prikazani su u obliku serijskih dijagrama dobivenih ispitivanjem modela sa sustavnim mijenjanjem značajki broda. Postoje male serije kod kojih se variraju samo jedna ili dvije značajke. Tu spada i serija "Jelsa" kod koje se mijenjaju omjeri  $L_{WL} / B_{WL}$  i  $B_{WL} / T$ .

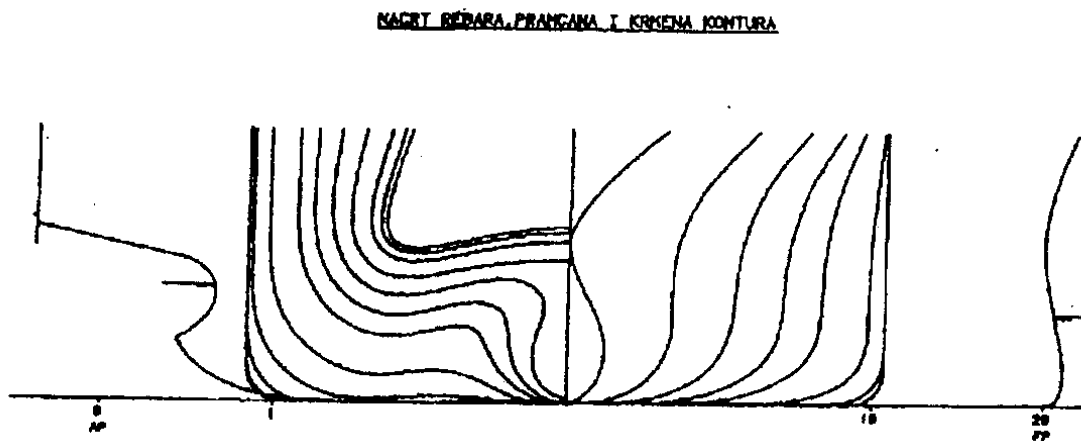
U prilogu I izvršena je kontrola metode zbog velikih vrijednosti odstupanja metode Holtrop-Mennen i modelskih ispitivanja serije "Jelsa" za vrijednosti sustrujanja. Rezultati su komentirani u sedmom poglavlju u analizi usporedbe za sustrujanje.

U prilogu II dani su dijagrami razlika analiziranih vrijednosti u ovisnosti o brzini.

## 1. SERIJA "JELSA"

### 1.1. OSNOVNA FORMA I GEOMETRIJA SERIJE

Sistemska serija "Jelsa" je nastala zbog potrebe procjene otpora brodova punih formi s velikim omjerom širine i gaza, budući da približne metode određivanja otpora za takve parametre forme ne daju zadovoljavajuće rezultate. Sastoji se od trinaest modela i jednog kontrolnog modela. Osnovna forma je model M-938, formiran neznatnom promjenom glavnih dimenzija iz broda tipa Argosy, koji je projektiran u brodogradilištu "3.maj" u Rijeci.



Slika 1.1 Nacrt rebara, pramčana i krmena kontura osnovne forme M-938

Ranija ispitivanja modela brodova punih formi tipa Argosy pokazala su da je kombinacija VHC-bulb pramca i leptir krme s bulbom najbolje rješenje oblika trupa za brodove ovih karakteristika, te je isti oblik pramca i krme usvojen za sve modele serije "Jelsa".

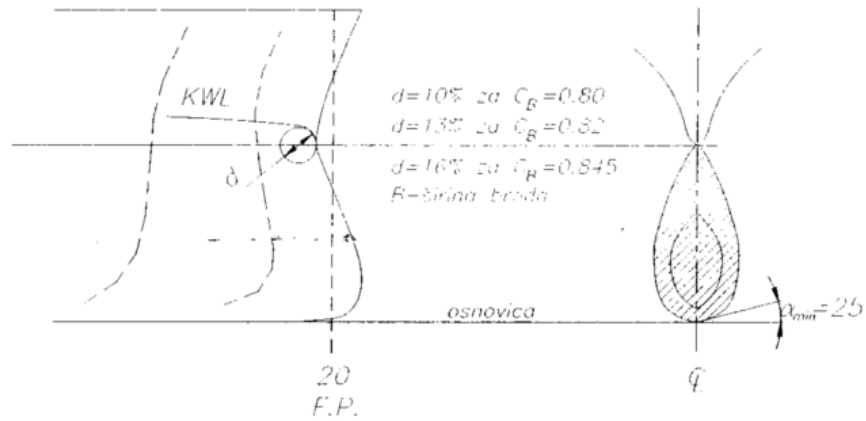
VHC-bulb pramac ( V- vertikalni, H-horizontalni, C-cilindar), koji je razvijen u Brodarskom institutu u Zagrebu, povoljan je za brodove punijih vodnih linija radi ublažavanja prijelaza između pramčanog zaoštrenja i pramčanog ramena. Takav pramac smanjuje visinu pramčanog vala, te time smanjuje potrebnu snagu za svladavanje otpora valova.

"Leptir forma" krme s krmnim bulbom je također razvijena u Brodarskom institutu u Zagrebu za brodove s velikim omjerom širine i gaza (ograničenim gazom).

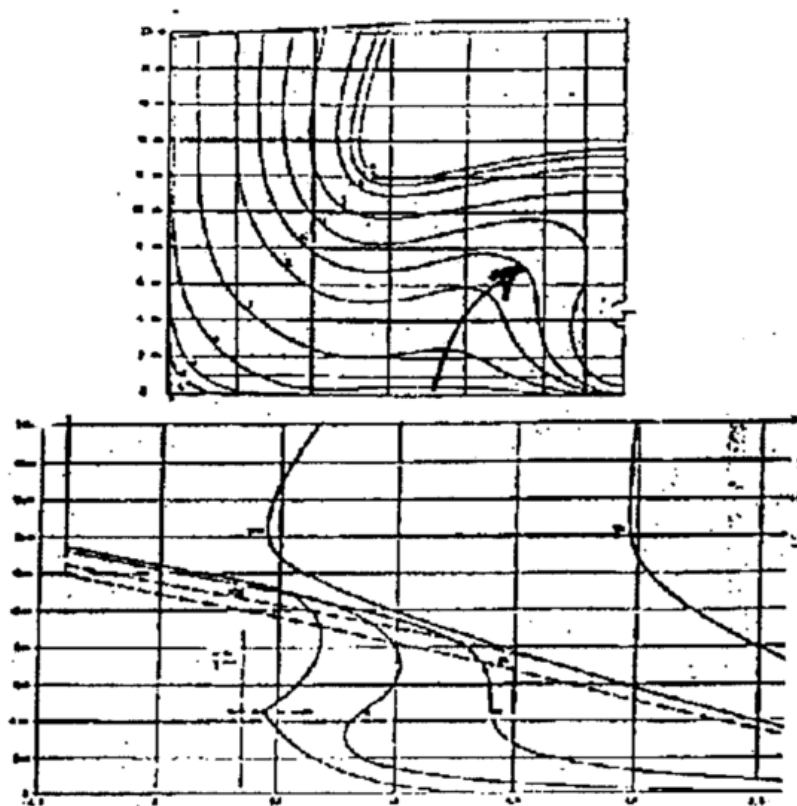
Ta forma krme je izgladena po uzdužnicama, jer se strujanje oko forme odvija približno po tim krivuljama. Zakrivljenost strujnica se na taj način smanjuje, te ovakva forma krme rezultira ravnomjernijim rasporedom sustrujanja (kružni oblik krivulja jednakog sustrujanja) i većom brzinom strujanja vode u gornjem dijelu diska vijka.

Srednje nominalno sustrujanje preko diska vijka je znatno manje nego što je to kod klasičnih formi, no ova forma krme omogućava smještaj vijka većeg promjera s većim stupnjem iskoristivosti.

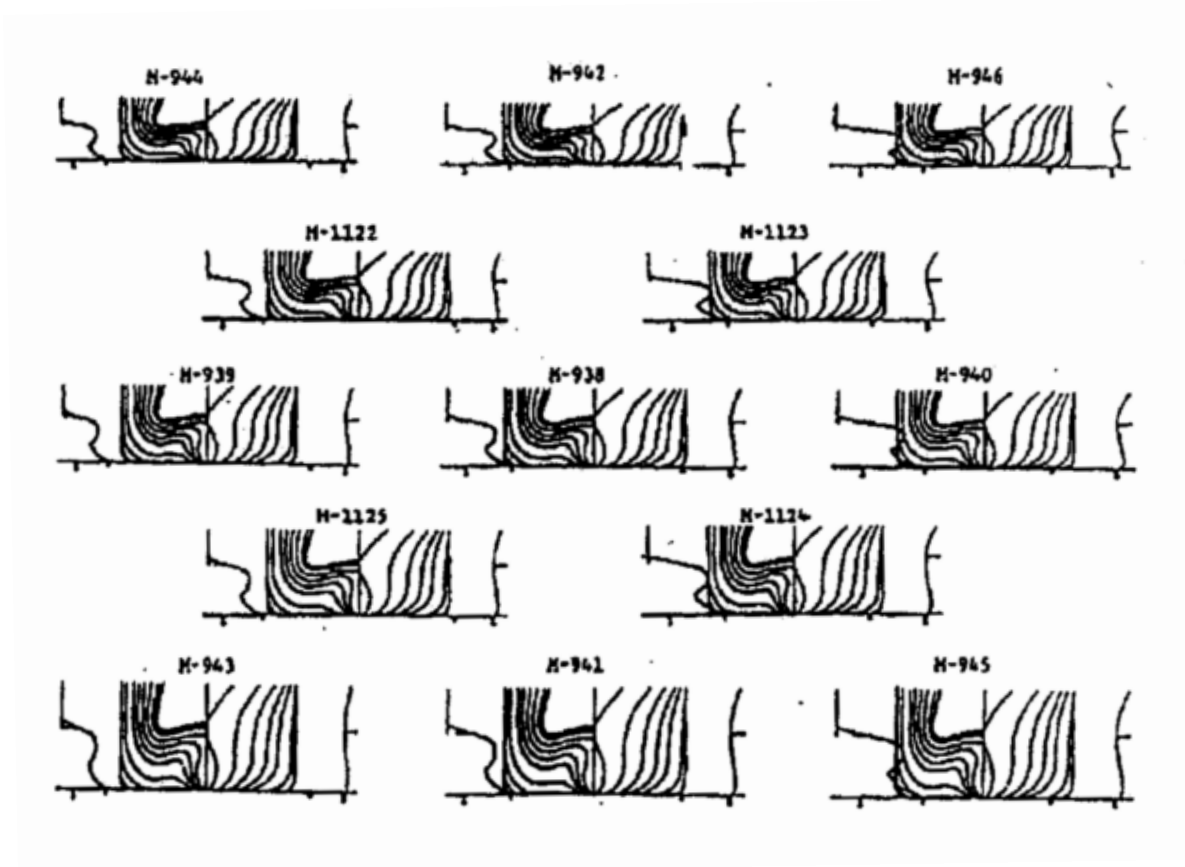
Krmeno zaoštrenje na bokovima je izvedeno najblaže moguće što smanjuje komponentu viskoznog otpora tlaka. "Leptir forma" krme podnosi veću istisninu i omogućava oštrij pramac, što rezultira pomakom težišta istisnine prema krmi.



Slika 1.2 VHC - bulb forma pramca



Slika 1.3 Forma krme s bulbom



Slika 1.4 Geometrija svih modela serije "Jelsa"



## 1.2. PRIKAZ SERIJE "JELSA" ZA PUNO OPTEREĆENJE

Modeli serije imaju različite omjere  $L_{WL} / B_{WL}$  i  $B_{WL} / T$ , te konstantni koeficijent punoće i istisninu.

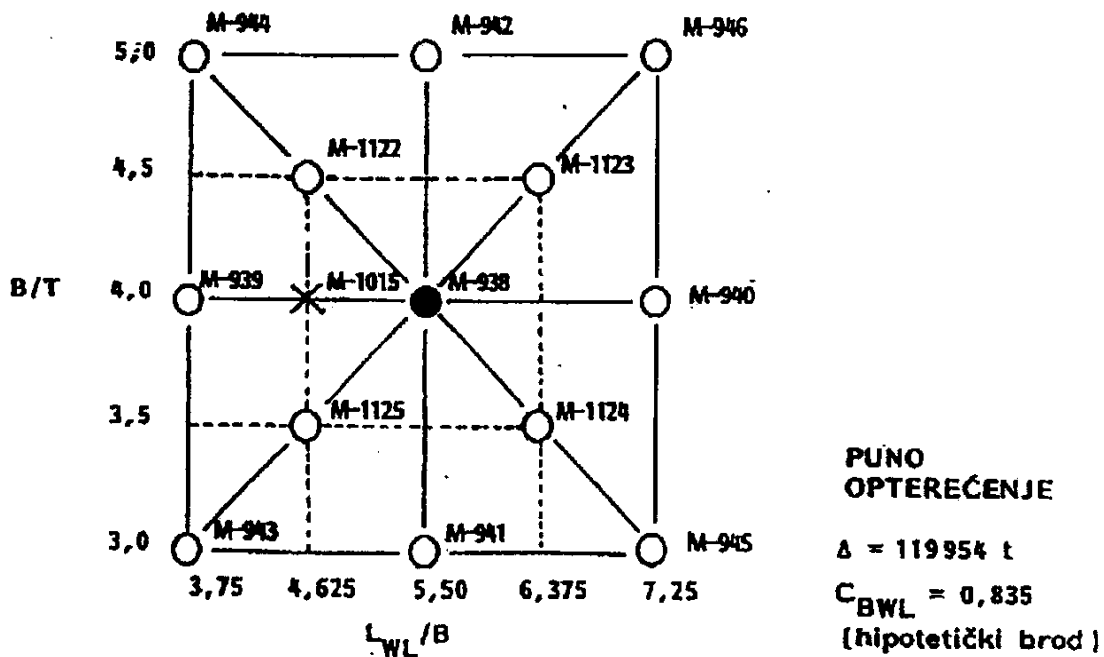
$$\begin{aligned} \frac{L_{WL}}{B_{WL}} &= 3,75-7,25 \\ \frac{B_{WL}}{T} &= 3,0-5,0 \\ C_{BWL} &= 0,835 \end{aligned} \quad (1.1)$$

Shema serije "Jelsa" za puno opterećenje dana je na slici 1.5.

Glavne dimenzije i značajke svih modela za puno opterećenje dane su u tablici 1.1

Glavne dimenzije i značajke svih hipotetičkih brodova za puno opterećenje dane su u tablici 1.2

Rasponi Froudeovih i Reynoldsovih brojeva za pojedine hipotetičke brodove serije "Jelsa" dani su u tablici 1.3



Legenda: ● - osnovni model  
○ - modeli  
× - kontrolni model

Slika 1.5 Shema serije "Jelsa" za puno opterećenje

Tablica 1.1 Glavne značake i dimenzije modela, puno opterećenje

	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
$L_{WL}$ [m]	5,751	4,455	6,913	5,224	6,194	4,047	4,798	6,280	7,446	5,124	5,334	6,606	6,075	4,905
$B$ [m]	1,046	1,188	0,954	0,950	1,126	1,079	1,280	0,866	1,027	1,108	1,153	1,036	0,953	1,060
$T$ [m]	0,261	0,297	0,238	0,317	0,225	0,360	0,256	0,289	0,205	0,277	0,256	0,230	0,272	0,303
$T_A$ [m]	0,261	0,297	0,238	0,317	0,225	0,360	0,256	0,289	0,205	0,277	0,256	0,230	0,272	0,303
$T_F$ [m]	0,261	0,297	0,238	0,317	0,225	0,360	0,256	0,289	0,205	0,277	0,256	0,230	0,272	0,303
$V$ [m <sup>3</sup> ]	1,283	1,283	1,283	1,283	1,283	1,283	1,283	1,283	1,283	1,283	1,283	1,283	1,283	1,283
$C_B$	0,832	0,832	0,832	0,832	0,832	0,832	0,832	0,832	0,832	0,832	0,832	0,832	0,832	0,832
$C_M$	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995
$C_P$	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836
$C_W$	0,898	0,898	0,898	0,898	0,898	0,898	0,898	0,898	0,898	0,898	0,898	0,898	0,898	0,898
lcb [% $L_{PP}$ ]	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862
$L_{WL} / B_{WL}$	5,50	3,75	7,25	5,50	5,50	3,75	3,75	7,25	7,25	4,625	4,625	6,375	6,375	4,625
$B_{WL} / T$	4,00	4,00	4,00	3,00	5,00	3,00	5,00	3,00	5,00	4,00	4,50	4,50	3,50	3,50

Tablica 1.2 Glavne značajke i dimenzije hipotetičkih brodova, puno opterećenje

	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
$L_{WL}$ [m]	258,78	200,47	311,08	235,10	278,75	182,12	215,94	282,62	335,09	230,57	240,02	297,28	273,39	220,73
$B$ [m]	47,06	53,46	42,92	42,71	50,69	48,57	57,59	38,99	46,23	49,85	51,88	46,63	42,88	47,72
$T$ [m]	11,76	13,36	10,73	14,25	10,14	16,19	11,52	13,00	9,24	12,47	11,53	10,36	12,25	13,63
$T_A$ [m]	11,76	13,36	10,73	14,25	10,14	16,19	11,52	13,00	9,24	12,47	11,53	10,36	12,25	13,63
$T_F$ [m]	11,76	13,36	10,73	14,25	10,14	16,19	11,52	13,00	9,24	12,47	11,53	10,36	12,25	13,63
$V$ [m <sup>3</sup> ]	116919	116919	116904	116911	116924	116902	116884	116880	116860	116994	117246	117359	117192	117248
$C_B$	0,832	0,832	0,832	0,832	0,832	0,832	0,832	0,832	0,832	0,832	0,832	0,832	0,832	0,832
$C_M$	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995
$C_P$	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836
$C_W$	0,898	0,898	0,898	0,898	0,898	0,898	0,898	0,898	0,898	0,898	0,898	0,898	0,898	0,898
lcb [% $L_{PP}$ ]	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862
$L_{WL} / B_{WL}$	5,50	3,75	7,25	5,50	5,50	3,75	3,75	7,25	7,25	4,625	4,625	6,375	6,375	4,625
$B_{WL} / T$	4,00	4,00	4,00	3,00	5,00	3,00	5,00	3,00	5,00	4,00	4,50	4,50	3,50	3,50
$A_{BT}$ [m <sup>2</sup> ]	35,310	49,239	32,021	43,698	35,740	53,473	44,957	35,671	28,777	43,629	40,680	33,044	35,950	45,535
$h_B$ [m]	4,704	5,326	4,276	5,766	4,259	6,479	4,657	5,228	3,784	5,162	4,858	4,367	4,986	5,531
$A_T$ [m <sup>2</sup> ]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$S_{APP}$ [m <sup>2</sup> ]	125,0	141,0	116,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	178,0	178,0	182,0	178,0

Tablica 1.3 Rasponi Froudeovih i Reynoldsovih brojeva za pojedine hipotetičke brodove serije "Jelsa"

	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
$Fn$	0,12-0,18	0,14-0,21	0,11-0,17	0,13-0,19	0,12-0,18	0,15-0,22	0,13-0,20	0,12-0,18	0,11-0,16	0,13-0,19	0,13-0,19	0,11-0,17	0,12-0,18	0,13-0,20
$Rn \times 10^{-9}$	(1,34-2,02)	(1,04-1,56)	(1,62-2,42)	(1,22-1,83)	(1,45-2,17)	(0,95-1,42)	(1,12-1,68)	(1,47-2,20)	(1,74-2,61)	(1,20-1,80)	(1,25-1,87)	(1,54-2,32)	(1,42-2,13)	(1,15-1,72)

### 1.3. RAZVOJ SERIJE

Serijska "Jelsa" nastala je iz osnovne forme M-938 razvojem trinaest modela s jednakim koeficijentom punoće forme i jednakom istisninom za isto opterećenje. Razvoj serije se tako temelji na slijedeće tri jednadžbe:

$$\begin{aligned}\nabla &= C_{BWL} \cdot L_{WL} \cdot B_{WL} \cdot T = \text{const} \\ L_{WL} / B_{WL} &= \text{const} \\ B_{WL} / T &= \text{const}\end{aligned}\tag{1.2}$$

### 1.4. MODELSKA ISPITIVANJA

Modelska ispitivanja u Brodarskom institutu provedena se prema vlastitim standardima koji su u skladu s preporukama međunarodne organizacije ITTC (International Towing Tank Conference).

Prenošenje rezultata otpora s modela na hipotetičke brodove ( $\nabla = 119954 \text{ t}$ ) napravljeno je pomoću korelacijske linije ITTC-1957 s ukupnim koeficijentom korelacije  $\Delta C_T$ .

Prema standardnoj metodi Brodarskog instituta prenošenje rezultata s modela na brod provedeno je uz pretpostavku da je preostali koeficijent otpora isti za brod i model pri istom Froudeovom broju.

Ukupni koeficijent otpora broda dobiven je na slijedeći način:

$$C_{Tm} = C_R + C_{Fm} \quad \text{- koeficijent ukupnog otpora modela}\tag{1.3}$$

$$C_R = C_{Tm} - C_{Fm} \quad \text{- koeficijent preostalog modela (broda)}\tag{1.4}$$

$$C_T = C_R + C_F + \Delta C_T \quad \text{-koeficijent ukupnog otpora broda}\tag{1.5}$$

ukupni otpora broda određen je prema izrazu:

$$R_T = C_T \frac{1}{2} \rho v^2 S,\tag{1.6}$$

a snaga tegljenja broda prema:

$$P_E = R_T \cdot v / 1000\tag{1.7}$$

gdje je:

- $C_{Tm}$  - koeficijent ukupnog otpora modela
- $C_{Fm}$  - koeficijent otpora trenja modela
- $C_R$  - koeficijent preostalog otpora modela i broda
- $C_T$  - koeficijent ukupnog otpora broda

- $C_F$  - koeficijent otpora trenja broda  
 $\Delta C_T$  - koeficijent ukupnog korelacijskog dodatka  
 $R_T$  - ukupni otpor broda, [N]  
 $P_E$  - efektivna snaga ili snaga otpora tegljenja, [kW]  
 $\rho$  - gustoća morske vode, [kg/m<sup>3</sup>]  
 $v$  - brzina broda, [m/s]  
 $S$  - oplakana površina broda, [m<sup>2</sup>].

## 1.5. MODELI I POKUSI

Modeli za ispitivanje su izrađeni od parafina u mjerilu 1:45. Na 19. teoretskom rebru, u svrhu stimuliranja turbulencije, postavljena je žica promjera 1 mm. Površine modela su tehnički glatke.

**Na modelima su izvršeni slijedeći pokusi:**

### **-pokus otpora:**

U pokusu otpora dobiva se ovisnost sile otpora (tegljenja) o brzini broda.

### **-pokus slobodne vožnje vijka:**

Pokusom slobodne vožnje vijka određuju se hidrodinamičke značajke vijka, a rezultati pokusa koriste se za proračun komponenata propulzije.

### **-pokus vlastitog pogona:**

Za provedbu analize rezultata vlastitog pogona potrebni su i rezultati pokusa otpora i pokusa slobodne vožnje vijka.

Svrha ovog pokusa je dobivanje prognoznog dijagrama u kojem se za zadano stanje opterećenja broda definira ovisnost snage motora i okretaja vijka o brzini broda.

Na temelju ovog pokusa definiraju se i komponente propulzije koje služe za procjenu propulzijskih značajki broda, odnosno interakcije brod-vijak.

### **-mjerjenje polja sustrujanja i**

### **-pokus strujnica bojom.**

Vučna sila, sila otpora, bila je u pravcu osi osovine vijka, a hvatište približno u težištu istisnine. Tijekom ispitivanja model je imao sve stupnjeve slobode gibanja osim skretanja s pravca u horizontalnoj ravnini.

## 2. FAKTOR FORME

U završnom radu Nevena Hadžića "Određivanje faktora forme serije punih brodova velike širine i malog gaza" vrijednosti faktora forme  $k$  određene su metodom Prohaske na temelju rezultata modelskih ispitivanja serije "Jelsa" provedenih u Brodarskom institutu u Zagrebu u okviru projekta "Istraživanje optimalnih formi širokih brodova malog gaza".

### 2.1. PROHASKINA METODA ODREĐIVANJA FAKTORA FORME

Prohaska definira trodimenzijski faktor forme prema izrazu:

$$k = \frac{C_V - C_{F0}}{C_{F0}} = \frac{C_V}{C_{F0}} - 1 \quad (2.1)$$

gdje je:

$C_V$  - koeficijent viskoznog otpora

$C_{F0}$  - koeficijent otpora trenja ekvivalentne ravne ploče

Za slučaj kada ne postoji odvajanje strujanja vrijedi slijedeći izraz za koeficijent ukupnog otpora:

$$C_T = C_W + (1+k) \cdot C_{F0} \quad (2.2)$$

gdje je koeficijent otpora valova  $C_W$  određen izrazom:

$$C_W = a \cdot Fn^n \quad (2.3)$$

Potencija  $n$  se mijenja ovisno o koeficijentu punoće  $C_B$  između 4 i 6.

Izraz za koeficijent ukupnog otpora podijeljen s koeficijentom otpora trenja ekvivalentne ravne ploče dovodi do slijedećeg izraza koji predstavlja jednadžbu pravca:

$$\frac{C_T}{C_{F0}} = (1+k) + a \cdot \frac{Fn^n}{C_{F0}} \quad (2.4)$$

U gornjem izrazu član  $a$  predstavlja koeficijent nagiba pravca, a  $(1+k)$  odsječak na osi ordinate.

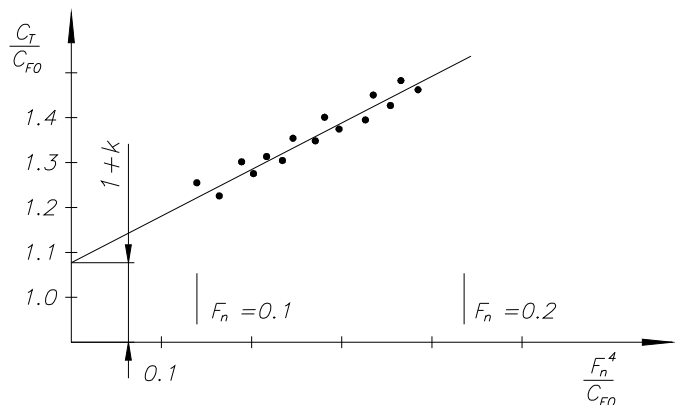
Pomoću gornjeg izraza možemo lako odrediti faktor forme  $k$ .

Za crtanje takvog pravca potrebno je izmjeriti desetak točaka u području Froudeovih brojeva  $Fn = 0,1 \div 0,2(0,22)$ , jer se u tom području otpor valova može aproksimirati gore navedenim izrazom, a mjerenje pri Froudeovim brojevima nižim od 0,1 nije pouzdano zbog grešaka mjernih instrumenata.

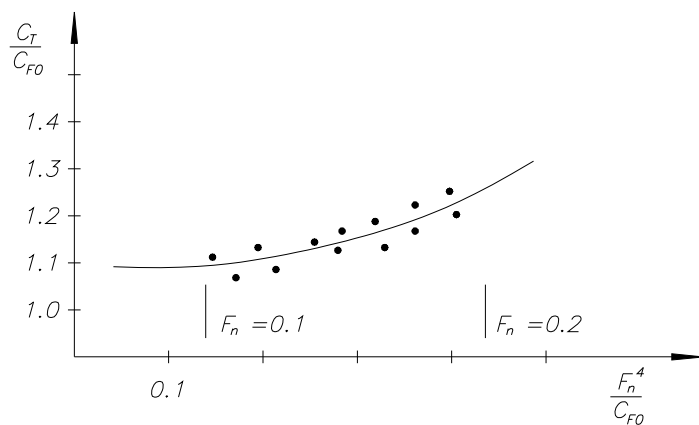
Za izračun koeficijenta otpora trenja koristit će se korelacijska linija model-brod ITTC–1957.

$$C_F = \frac{0,075}{(\log Rn - 2)^2} \quad (2.5)$$

Kod punijih formi brodova jednadžba pravca prelazi u jednadžbu konkavne krivulje što upućuje da postoji ovisnost faktora forme i koeficijenta nagiba pravca o brzini.



Slika 2.1. Određivanje faktora forme prema Prohaski



Slika 2.2. Konkavna krivulja za brodove punijih formi

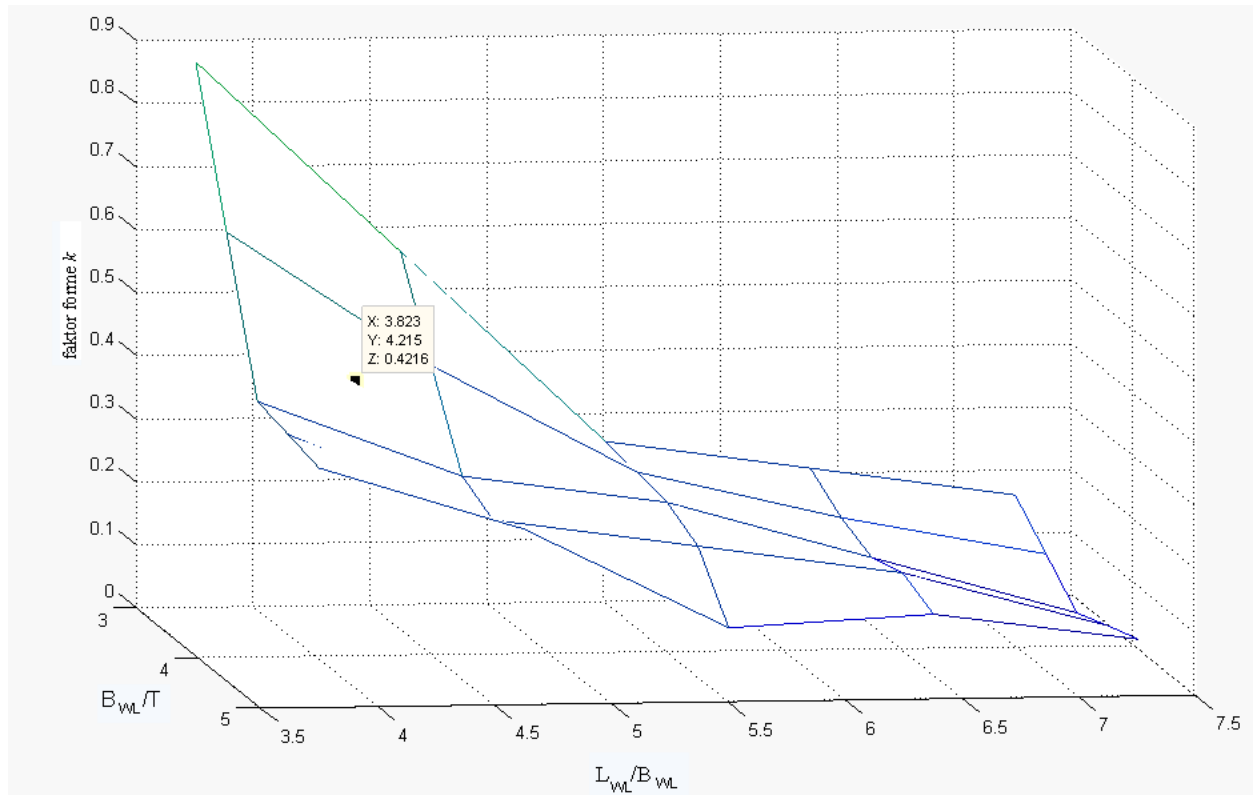
Tablica 2.1. Faktor forme  $k$

Puno opterećenje				
	$Fn^4$	$Fn^5$	$Fn^6$	srednja vrijednost $k$
Model	faktor forme $k$			
<b>M-938</b>	0,232	0,238	0,241	0,237
<b>M-939</b>	0,379	0,409	0,429	0,406
<b>M-940</b>	0,032	0,055	0,071	0,053
<b>M-941</b>	0,241	0,256	0,267	0,255
<b>M-942</b>	0,166	0,178	0,187	0,177
<b>M-943</b>	0,833	0,868	0,893	0,865
<b>M-944</b>	0,358	0,381	0,397	0,379
<b>M-945</b>	0,154	0,162	0,166	0,161
<b>M-946</b>	0,074	0,092	0,103	0,090
<b>M-1015</b>	0,270	0,285	0,295	0,283
<b>M-1122</b>	0,239	0,255	0,266	0,253
<b>M-1123</b>	0,146	0,161	0,172	0,160
<b>M-1124</b>	0,161	0,170	0,177	0,169
<b>M-1125</b>	0,417	0,419	0,421	0,419

Na temelju ovih rezultata nacrtana je ploha koja može u pretprojektnoj fazi poslužiti za određivanje faktora forme  $k$  za bilo koji brod kojem su značajke unutar raspona značajki serije "Jelsa".

Za generiranje plohe koristimo srednju vrijednost faktora forme  $k$ .

Na slici 2.3 prikazana je ploha razvijena u programu Matlab koja prikazuje iznose svih faktora forme  $k$  u rasponu značajki serije "Jelsa".



Slika 2.3 Prostorna ploha razdiobe faktora forme  $k$

### 3. METODA HOLTROP-MENNEN

Holtrop-Mennenova metoda je statistička metoda. Razvijena je preko regresijske analize nasumično odabranih modelskih ispitivanja i sveobuhvatnih podataka dostupnih na "Netherlands Ship Model Basin-u".

Budući da se pokazala nedostatnom za nekonvencionalne kombinacije glavnih parametara koji se koriste, napravljena je prilagodba. Ta prilagodba je rezultirala setom predviđajućih formula sa širim rasponom primjene. Međutim, treba primjetiti kako dane izmjene imaju pokusni karakter budući da su prilagodbe temeljene na malom broju ispitivanja.

#### 3.1. ODREĐIVANJE OTPORA

Generalno je ukupni otpor broda podijeljen na komponente različitog podrijetla.

U podjeli ukupnog otpora slijedeće komponente su uzete u obzir:

- otpor ekvivalentne ravne ploče,
- otpor forme trupa broda,
- viskozni otpor privjesaka,
- otpor stvaranja valova i otpor lomljenja valova,
- otpor (nepotpuno) uronjenog pramca s bulbom,
- otpor uronjene zrcalne krme,
- korelacijsko odstupanje model – brod.

U ovoj statističkoj studiji svaka komponenta je izražena kao funkcija brzine i parametara forme trupa. Numeričke konstante u regresijskim formulama su dobivene iz nasumično odabranih podataka modelskih ispitivanja.

Ukupni otpor broda je podijeljen na

$$R_{total} = R_F(1 + k_1) + R_{APP} + R_W + R_B + R_{TR} + R_A \quad (3.1)$$

gdje je:

- $R_F$  - otpor trenja koji se računa prema korelacijskoj liniji ITTC-1957,
- $(1 + k_1)$  - faktor forme koji opisuje viskozni otpor golog trupa broda u odnosu na otpor trenja,
- $R_{APP}$  - otpor privjesaka,
- $R_W$  - otpor stvaranja valova i lomljenja valova,
- $R_B$  - dodatni otpor tlaka pramca s bulbom blizu površine,
- $R_{TR}$  -dodatni otpor tlaka uronjene zrcalne krme,
- $R_A$  - korelacijski otpor model-brod,



### 3.1.1. FAKTOR FORME

Formula za faktor forme golog trupa glasi:

$$(1+k_1) = 0,93 + 0,487118c_{14}(B/T)^{1,06806}(T/L)^{0,46106}(L/L_R)^{0,121563}(L^3/\nabla)^{0,36486}(1-C_p)^{-0,604247} \quad (3.2)$$

U formuli (3.2)  $B$  i  $T$  su teoretska širina i gaz,  $L$  je duljina vodne linije,  $\nabla$  je teoretski volumen istisnine i  $C_p$  je prizmatički koeficijent temeljen na duljini vodne linije.

$L_R$  je definiran sa:

$$L_R = L(1 - C_p + 0,06C_p lcb / (4C_p - 1)) \quad (3.3)$$

gdje je  $lcb$  uzdužni položaj težišta istisnine od sredine broda izražen kao postotak od  $L_{pp}$ .

Koeficijent  $c_{14}$  uzima u obzir oblik krme

$$c_{14} = 1 + 0,0011C_{stern} \quad (3.4)$$

i ovisi o koeficijentu forme krme  $C_{stern}$  za kojeg su dani približni izrazi u tablici 3.1.

Tablica 3.1 Vrijednosti koeficijenta forme krme

oblik krme broda	$C_{stern}$
V-oblik	-10
klasičan oblik	0
U-oblik	10

Faktor zbog utjecaja otpora privjesaka  $(1+k_2)$  se određuje prema tablici 3.2.

Tablica 3.2 Faktor privjesaka  $(1+k_2)$

konfiguracija privjesaka	$(1+k_2)$
kormilo - 1V	<b>1,1-1,5</b>
kormilo - 2V	<b>2,2</b>
kormila + osovinski skrokovi, 2V	<b>2,7</b>
kormila + nogavice osovinskog voda, 2V	<b>2,4</b>
peraje za stabiliziranje	<b>2,8</b>
ljuljne kobilice	<b>1,4</b>
tunel	<b>2,7</b>

Formula za faktor forme  $(1+k)$  tada glasi:

$$1+k = (1+k_1) + [(1+k_2) - (1+k_1)] \cdot \frac{S_{APP}}{S_{tot}} \quad (3.5)$$

gdje je:

$S_{APP}$  oplakana površina privjesaka

$S_{tot}$  oplakana površina trupa uključujući oplakanu površinu privjesaka.

### 3.1.2. OTPOR PRIVJESAKA

Otpor privjesaka se može izračunati prema formuli:

$$R_{APP} = 0,5\rho v^2 S_{APP} (1 + k_2) C_F \quad (3.6)$$

gdje je:

- $\rho$  -gustoća vode,
- $v$  -brzina broda,
- $S_{APP}$  -oplakana površina privjesaka,
- $(1 + k_2)$  - faktor zbog utjecaja otpora privjesaka,
- $C_F$  -koeficijent otpora trenja broda prema korelacijskoj liniji ITTC-1957.

### 3.1.3. OTPOR TRENJA

Otpor trenja dan je izrazom :

$$R_F = 0,5\rho v^2 S C_F \quad (3.7)$$

gdje je  $C_F$  je koeficijent otpora trenja određen prema korelacijskoj liniji ITTC-1957:

$$C_F = \frac{0,075}{(\log Rn - 2)^2} \quad (3.8)$$

pri čemu je Reynoldsov broj  $Rn$  temeljen na duljini vodne linije  $L_{WL}$  :

$$Rn = \frac{vL_{WL}}{1,1883 \cdot 10^{-7}} \quad (3.9)$$

Oplakana površina trupa se može dobro aproksimirati:

$$S = L(2T + B)\sqrt{C_M} (0,453 + 0,4425C_B - 0,2862C_M - 0,003467B/T + 0,3696C_{WP}) + 2,38A_{BT} / C_B \quad (3.10)$$

gdje je:

- $C_M$  -koeficijent glavnog rebra,
- $L$  -duljina vodne linije,
- $T$  -srednji teoretski gaz,
- $B$  -širina broda,
- $C_B$  -koeficijent punoće,
- $C_{WP}$  -koeficijent punoće vodne linije,
- $A_{BT}$  površina poprečnog presjeka bulba.

### 3.1.4. OTPOR VALOVA

Izrazi za otpor valova su ovisni o Froudeovom broju, i izvedeni su za raspon brzina  $Fn > 0,55$ ,  $Fn < 0,4$  i  $0,4 < Fn < 0,55$ , a Froudeov broj je temeljen na duljini vodne linije i glasi:

$$Fn = \frac{v}{\sqrt{g \cdot L}} \quad (3.11)$$

Za  $Fn < 0,4$  vrijedi izraz za otpor valova:

$$R_{W-A} = c_1 c_2 c_5 \nabla \rho g \exp \left[ m_1 Fn^d + m_4 \cos(\lambda Fn^{-2}) \right] \quad (3.12)$$

Za  $Fn > 0,55$  vrijedi:

$$R_{W-B} = c_{17} c_2 c_5 \nabla \rho g \exp \left[ m_3 Fn^d + m_4 \cos(\lambda Fn^{-2}) \right] \quad (3.13)$$

Za  $0,4 < Fn < 0,55$  vrijedi:

$$R_W = R_{W-A_{0,4}} + (10Fn - 4)(R_{W-B_{0,55}} - R_{W-A_{0,4}}) / 1,5 \quad (3.14)$$

gdje je  $R_{W-A_{0,4}}$  prognozirani otpor valova za  $Fn = 0,40$  i  $R_{W-B_{0,55}}$  je otpor valova za  $Fn = 0,55$  koji se računaju prema odgovarajućim formulama.

Koeficijenti u slijedećim izrazima su funkcije forme broda.

Koeficijent  $\lambda$  se može odrediti iz:

$$\begin{aligned} \lambda &= 1,446C_p - 0,03L/B \quad \text{kada je } L/B < 12 \\ \lambda &= 1,446C_p - 0,36 \quad \text{kada je } L/B > 12 \end{aligned} \quad (3.15)$$

Koristeći regresijsku analizu sa eksponentom

$$d = -0.9$$

dobiveni su slijedeći izrazi za koeficijente:

$$c_{17} = 6919,3C_M^{-1,3346} (\nabla / L^3)^{2,00977} (L/B - 2)^{1,40692} \quad (3.16)$$

$$m_1 = 0,0140407L/T - 1,75254\nabla^{1/3} / L - 4,79323B/L - c_{16} \quad (3.17)$$

gdje se  $c_{16}$  računa prema:

$$c_{16} = 8,07981C_p - 13,8673C_p^2 + 6,984388C_p^3 \quad \text{kada je } C_p < 0,8 \quad (3.18)$$

$$c_{16} = 1,73014 - 0,7067C_p \quad \text{kada je } C_p > 0,8$$

$$m_3 = -7,2035(B/L)^{0,326869} (T/B)^{0,605375} \quad (3.19)$$

Koeficijent koji se računa za smanjenje otpora valova zbog utjecaja pramca s bulbom je definiran kao:

$$c_3 = 0,56A_{BT}^{1,5} / \{BT(0,31\sqrt{A_{BT}} + T_F - h_B)\} \quad (3.20)$$

gdje je  $h_B$  pozicija težišta površine poprečnog presjeka pramca s bulbom  $A_{BT}$  poviše linije kobilice, a  $T_F$  je gaz broda na pramcu.

$$c_2 = \exp(-1,89\sqrt{c_3}) \quad (3.21)$$

$$c_5 = 1 - 0,8A_T / (BTC_M) \quad (3.22)$$

Koeficijent  $c_7$  se određuje po sljedećim izrazima ovisno o omjeru  $B/L$ :

$$c_7 = 0,5 - 0,0625(L/B) \quad \text{kada je } B/L > 0,25$$

$$c_7 = 0,229577(B/L)^{0,333333} \quad \text{kada je } B/L < 0,11 \quad (3.23)$$

$$c_7 = B/L \quad \text{kada je } 0,11 < B/L < 0,25$$

Polovica ulaznog kuta (kut pramčanog zaoštrenja)  $i_E$  je kut (izražen u stupnjevima) između vodne linije na pramcu i središnje ravnine broda pri čemu se zanemaruje lokalni oblik pramčane statve. Može se odrediti prema sljedećoj formuli:

$$i_E(^\circ) = 125,67B/L - 162,25C_p^2 + 234,32C_p^3 + 0,155087(lcb + 6,8(T_A - T_F)/T)^3 \quad (3.24)$$

$$c_1 = 2223105c_7^{3,78613} (T/B)^{1,07961} (90 - i_E)^{-1,37565} \quad (3.25)$$

Koeficijent  $c_{15}$  se određuje ovisno o omjeru  $L^3/\nabla$ :

$$c_{15} = -1,69385 \quad \text{kada je } L^3/\nabla < 512$$

$$c_{15} = -1,69385 + (L/\nabla^{1/3} - 8)/2,36 \quad \text{kada je } 512 < L^3/\nabla < 1726,91 \quad (3.26)$$

$$c_{15} = 0 \quad \text{kada je } L^3/\nabla > 1726,91.$$

$$m_4 = c_{15}0,4 \exp(-0,034Fn^{-3,29}) \quad (3.27)$$

### 3.1.5. DODATNI OTPOR TLAKA PRAMCA S BULBOM BLIZU POVRŠINE VODE

Dodatni otpor zbog pramčanog bulba blizu površine vode se određuje prema izrazu:

$$R_B = 0,11 \exp(-3P_B^{-2}) Fni^3 A_{BT}^{1,5} \rho g / (1 + Fni^2) \quad (3.27)$$

gdje je  $P_B$  koeficijent koji je mjera izrona pramca i dan je izrazom:

$$P_B = 0,56 \sqrt{A_{BT}} / T_F - 1,5 h_B \quad (3.28)$$

a  $Fni$  je Froudeov broj temeljen na uronu i računa se preko izraza:

$$Fni = v / \sqrt{gi + 0,15v^2} \quad (3.29)$$

gdje je:

$$i = T_F - h_B - 0,25 \sqrt{A_{BT}} \quad (3.30)$$

### 3.1.6. DODATNI OTPOR TLAKA URONJENE ZRCALNE KRME

Dodatan otpor tlaka zbog uronjene zrcalne krme može se računati preko izraza:

$$R_{TR} = 0,5 \rho v^2 A_T c_6 \quad (3.31)$$

Koeficijent  $c_6$  se određuje ovisno o Froudeovom broju koji se temelji na uronju zrcalne krme  $F_{nT}$ :

$$\begin{aligned} c_6 &= 0,2(1 - 0,2F_{nT}) \quad \text{kada je } F_{nT} < 5 \\ \text{ili} & \\ c_6 &= 0 \quad \text{kada je } F_{nT} > 5. \end{aligned} \quad (3.32)$$

Froudeov broj koji se temelji na uronjenosti zrcalne krme:

$$F_{nT} = v / \sqrt{2gA_T / (B + BC_{wp})} \quad \text{ako je } A_T > 0 \quad (3.33)$$

inače:

$$F_{nT} = 0 \quad (3.34)$$

gdje je:

$C_{wp}$  -koeficijent punoće vodne linije

$A_T$  -površina poprečnog presjeka zrcalne krme.

### 3.1.7. KORELACIJSKI OTPOR MODEL-BROD

Izraz za korelacijski otpor model-brod trebao bi primarno opisati efekte hrapavosti trupa i otpor mirnog zraka:

$$R_A = 0,5\rho v^2 SC_A \quad (3.35)$$

Iz analize rezultata ispitivanja brzina, koji su bili korigirani za idealne uvjete ispitivanja, određena je slijedeća formula za koeficijent  $C_A$ :

$$C_A = 0,006(L+100)^{-0,16} - 0,00205 + 0,003\sqrt{L/7,5}C_B^4 c_2(0,04 - c_4) \quad (3.36)$$

gdje je:

$$\begin{aligned} c_4 &= T_F / L && \text{kada je } T_F / L \leq 0,04 \\ \text{ili} &&& \\ c_4 &= 0,04 && \text{kada je } T_F / L > 0,04. \end{aligned} \quad (3.37)$$

### 3.2. ODREĐIVANJE PROPULZIJSKIH ZNAČAJKI

Statističke formule za određivanje efektivnog sustrujanja  $w$ , koeficijenta upijanja  $t$  i koeficijenta prijelaza  $\eta_R$  glase:

#### 3.2.1. EFEKTIVNO SUSTRUJANJE

$$w = c_9 c_{20} C_V \frac{L}{T_A} \left[ 0,050776 + 0,93405 c_{11} \frac{C_V}{(1 - C_{p1})} \right] + 0,27915 c_{20} \sqrt{\frac{B}{L(1 - C_{p1})}} + c_{19} c_{20} \quad (3.38)$$

Koeficijent  $c_9$  ovisi o koeficijentu  $c_8$  koji se definira kao:

$$\begin{aligned} c_8 &= BS / (LDT_A) && \text{kada je } B/T_A < 5 \\ c_8 &= S(7B/T_A - 25) / [LD(B/T_A - 3)] && \text{kada je } B/T_A > 5 \end{aligned} \quad (3.39)$$

Te je tada koeficijent  $c_9$  jednak:

$$\begin{aligned} c_9 &= c_8 && \text{kada je } c_8 < 28 \\ \text{ili} &&& \\ c_9 &= 32 - 16 / (c_8 - 24) && \text{kada je } c_8 > 28 \end{aligned} \quad (3.40)$$

Koeficijent  $c_{11}$  se određuje ovisno o omjeru gaza na krmi i promjera propelera:

$$\begin{aligned} c_{11} &= T_A / D && \text{kada je } T_A / D < 2 \\ \text{ili} &&& \\ c_{11} &= 0,0833333(T_A / D)^3 + 1,33333 && \text{kada je } T_A / D > 2 \end{aligned} \quad (3.41)$$

$$\begin{aligned} c_{19} &= 0,12997 / (0,95 - C_B) - 0,11056 / (0,95 - C_p) && \text{kada je } C_p < 0,7 \\ \text{ili} &&& \\ c_{19} &= 0,18567 / (1,3571 - C_M) - 0,71276 + 0,38648 C_p && \text{kada je } C_p > 0,7 \end{aligned} \quad (3.42)$$

$$c_{20} = 1 + 0,015 C_{stern} \quad (3.43)$$

$$C_{p1} = 1,45 C_p - 0,315 - 0,0225 lcb \quad (3.44)$$

Koeficijent viskoznog otpora  $C_V$ :

$$C_V = (1 + k) C_F + C_A \quad (3.45)$$

### 3.2.2. KOEFICIJENT UPIJANJA (KOEFICIJENT SMANJENOG PORIVA)

$$t = 0,25014(B/L)^{0,28956} (\sqrt{BT}/D)^{0,2624} / (1 - C_p + 0,0225lcb)^{0,01762} + 0,0015C_{stern} \quad (3.46)$$

gdje je:

$C_p$  -prizmatički koeficijent.

### 3.2.3. KOEFICIJENT PRIJELAZA

$$\eta_R = 0,9922 - 0,05908A_E / A_0 + 0,07424C_{PA} \quad (3.47)$$

$$C_{PA} = C_p - 0.0225lcb \quad (3.48)$$

gdje je:

$C_{PA}$  -prizmatički koeficijent stražnjeg dijela broda

$A_E / A_0$  -omjer razvijene površine vijka i površine diska vijka.



#### 4. VRIJEDNOSTI MODELSKIH ISPITIVANJA SERIJE "JELSA"

Vrijednosti faktora forme  $(1+k)$  dane su u tablici 4.1.

Vrijednosti ukupnog otpora  $R_T$  [kN] dane su u tablici 4.2.

Vrijednosti efektivne snage  $P_E$  [kW] dane su u tablici 4.3.

Vrijednosti koeficijenta upijanja  $t$  dane su u tablici 4.4.

Vrijednosti sustrujanja  $w$  dane su u tablici 4.5.

Vrijednosti poriva  $T$  [kN] dane su u tablici 4.6.

Vrijednosti koeficijenta prijelaza  $\eta_R$  dane su u tablici 4.7.

Tablica 4.1 Vrijednosti faktora forme

(1+k)													
M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
1,24	1,41	1,05	1,25	1,18	1,86	1,38	1,16	1,09	1,28	1,25	1,16	1,17	1,42

Tablica 4.2 Vrijednosti ukupnog otpora

$R_T$ [kN]														
v[čv]	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
12,0	684,3	868,6	517,9	748,8	670,4	1268,4	874,5	586,5	616,3	764,8	746,8	867,3	663,7	809,3
12,5	740,4	953,2	563,5	811,0	729,0	1376,9	954,5	641,3	668,5	821,6	814,7	927,3	724,3	880,6
13,0	799,5	1045,1	613,1	874,2	791,9	1485,7	1038,6	697,5	725,2	878,6	886,6	997,6	785,7	956,3
13,5	861,9	1145,6	668,0	937,5	859,3	1597,8	1126,8	751,4	787,0	937,6	962,9	1078,0	846,0	1025,6
14,0	928,3	1256,5	729,0	1003,2	931,7	1726,8	1223,0	806,0	855,5	1006,7	1044,0	1168,2	907,0	1097,9
14,5	999,3	1379,4	797,5	1072,1	1009,6	1890,4	1330,7	862,8	932,1	1099,6	1130,5	1268,2	968,8	1179,6
15,0	1075,1	1515,4	874,0	1148,1	1093,1	2080,2	1451,3	923,9	1017,8	1201,9	1223,3	1377,6	1034,6	1269,6
15,5	1156,1	1665,9	959,5	1234,1	1182,5	2290,8	1587,6	993,2	1113,9	1299,7	1323,2	1496,4	1106,6	1372,6
16,0	1242,0	1832,0	1053,6	1334,2	1277,7	2529,9	1739,6	1067,8	1220,4	1405,3	1430,6	1624,4	1187,4	1477,4
16,5	1332,5	-	1156,2	1452,8	1378,7	2795,1	1908,5	1146,8	1337,4	1523,2	1546,6	1761,2	1280,4	1569,2
17,0	1427,4	-	1266,7	1591,7	1485,2	3111,1	2093,2	1229,1	1465,0	1663,5	1670,8	1906,8	1385,6	1663,5
17,5	-	-	1384,6	-	1597,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18,0	-	-	1509,1	-	1714,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tablica 4.3 Vrijednosti efektivne snage

$P_E$ [kW]														
v[čv]	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
12,0	4224	5361	3197	4622	4138	7829	5398	3621	3804	4721	4610	4316	4097	4996
12,5	4761	6130	3624	5215	4688	8851	6137	4125	4298	5282	5238	4791	4658	5665
13,0	5346	6988	4100	5846	5295	9935	6945	4665	4849	5875	5929	5336	5254	6395
13,5	5985	7955	4628	6510	5967	11091	7824	6217	5465	6508	6686	5983	5874	7120
14,0	6685	9049	5250	7225	6710	12436	8807	5705	6161	7250	7519	6742	6532	7907
14,5	7451	10288	5948	7995	7530	14101	9924	6434	6952	8205	8432	7642	7225	8798
15,0	8295	11693	6744	8858	8434	16051	11198	7129	7853	9274	9439	8661	7983	9797
15,5	9218	13283	7650	9838	9429	18264	12658	7919	8881	10361	10550	9794	8822	10947
16,0	10222	15078	8671	10981	10516	20822	14318	8789	10044	11566	11775	11016	9773	12159
16,5	11309	-	9814	12330	11702	23716	16199	9733	11351	12925	13127	12299	10867	13316
17,0	12482	-	11078	13919	12988	27206	18305	10748	12812	14547	14611	13647	12117	14547
17,5	-	-	12464	-	14378	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18,0	-	-	13973	-	15875	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tablica 4.4 Vrijednosti koeficijenta upijanja

<i>t</i>														
v[čv]	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
12,0	0,2090	0,4233	0,2893	0,2466	0,2239	0,2603	0,240	0,1988	0,2351	0,2195	0,2524	0,1938	0,1492	0,2167
12,5	0,2058	0,4131	0,2719	0,2485	0,2187	0,2609	0,236	0,1844	0,2279	0,2403	0,2475	0,1963	0,1530	0,2247
13,0	0,2047	0,4054	0,2627	0,2521	0,2138	0,2718	0,236	0,1772	0,2229	0,2555	0,2436	0,2001	0,1644	0,2284
13,5	0,2051	0,3993	0,2589	0,2580	0,2092	0,2873	0,239	0,1803	0,2195	0,2667	0,2408	0,2007	0,1815	0,2376
14,0	0,2065	0,3941	0,2578	0,2643	0,2055	0,2987	0,242	0,1883	0,2169	0,2704	0,2390	0,1986	0,1998	0,2455
14,5	0,2083	0,3890	0,2572	0,2705	0,2026	0,2989	0,243	0,1990	0,2146	0,2606	0,2380	0,1922	0,2175	0,2500
15,0	0,2105	0,3841	0,2561	0,2744	0,2010	0,2919	0,242	0,2096	0,2124	0,2506	0,2375	0,1852	0,2311	0,2539
15,5	0,2130	0,3793	0,2533	0,2749	0,2008	0,2799	0,240	0,2172	0,2099	0,2501	0,2373	0,1792	0,2389	0,2569
16,0	0,2162	0,3746	0,2491	0,2708	0,2024	0,2603	0,236	0,2244	0,2079	0,2519	0,2374	0,1760	0,2395	0,2667
16,5	0,2202	-	0,2434	0,2608	0,2059	0,2340	0,231	0,2318	0,2067	0,2546	0,2377	0,1773	0,2312	0,2906
17,0	0,2252	-	0,2367	0,2458	0,2114	0,1941	0,228	0,2401	0,2065	0,2547	0,2386	0,1815	0,2148	0,3207
17,5	-	-	0,2292	-	0,2189	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18,0	-	-	0,2211	-	0,2283	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tablica 4.5 Vrijednosti sustrujanja

<i>w</i>														
v[čv]	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
12,0	0,3425	0,3257	0,2927	0,3536	0,3234	0,3791	0,4643	0,3434	0,2995	0,3975	0,4119	0,3424	0,3363	0,4883
12,5	0,3400	0,3232	0,2919	0,3630	0,3177	0,3738	0,4534	0,3442	0,2934	0,3915	0,4176	0,3377	0,3377	0,4763
13,0	0,3377	0,3208	0,2902	0,3672	0,3136	0,3631	0,4494	0,3436	0,2895	0,3881	0,4183	0,3344	0,3382	0,4705
13,5	0,3355	0,3184	0,2878	0,3679	0,3106	0,3496	0,4383	0,3420	0,2871	0,3864	0,4156	0,3320	0,3378	0,4682
14,0	0,3336	0,3160	0,2848	0,3663	0,3083	0,3352	0,4334	0,3397	0,2854	0,3859	0,4109	0,3303	0,3366	0,4671
14,5	0,3319	0,3127	0,2818	0,3633	0,3064	0,3212	0,4297	0,3371	0,2840	0,3859	0,4055	0,3290	0,3348	0,4651
15,0	0,3305	0,3087	0,2785	0,3597	0,3046	0,3087	0,4272	0,3341	0,2821	0,3860	0,4002	0,3279	0,3323	0,4604
15,5	0,3294	0,3037	0,2755	0,3562	0,3028	0,2984	0,4256	0,3311	0,2792	0,3859	0,3957	0,3269	0,3293	0,4514
16,0	0,3285	0,2972	0,2724	0,3533	0,3009	0,2908	0,4248	0,3281	0,2747	0,3854	0,3925	0,3258	0,3257	0,4367
16,5	0,3278	-	0,2695	0,3512	0,2987	0,2862	0,4246	0,3252	0,2681	0,3843	0,3909	0,3246	0,3217	0,4150
17,0	0,3272	-	0,2666	0,3504	0,2961	0,2849	0,4249	0,3225	0,2589	0,3824	0,3912	0,3232	0,3172	0,3855
17,5	-	-	0,2637	-	0,2931	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18,0	-	-	0,2611	-	0,2895	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tablica 4.6 Vrijednosti poriva

$T$ [kN]														
v[čv]	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
12,0	865,2	1506,1	728,8	993,8	863,7	1714,8	1150,0	732,1	805,7	979,9	998,9	867,3	780,1	1033,0
12,5	932,3	1624,1	773,9	1079,2	933,2	1862,9	1249,9	786,3	865,9	1081,5	1082,6	927,3	855,2	1135,9
13,0	1005,2	1757,5	831,6	1168,9	1007,1	2040,2	1359,9	847,8	933,1	1180,1	1172,1	997,6	940,2	1239,4
13,5	1084,3	1907,1	901,3	1263,5	1086,6	2241,8	1480,6	916,7	1008,3	1278,5	1268,3	1078,1	1033,6	1345,1
14,0	1169,8	2073,6	982,3	1363,6	1172,6	2462,3	1612,8	993,1	1092,5	1379,9	1371,9	1168,2	1133,4	1455,2
14,5	1262,2	2257,6	1073,7	1469,6	1266,1	2696,2	1757,3	1077,1	1186,8	1487,3	1483,6	1268,2	1238,0	1572,8
15,0	1361,8	2460,5	1174,9	1582,2	1368,1	2937,9	1915,3	1169,0	1292,3	1603,9	1604,3	1377,6	1345,5	1701,8
15,5	1469,0	2684,0	1284,9	1702,0	1479,7	3181,3	2087,9	1268,8	1409,9	1733,2	1734,9	1496,4	1453,9	1847,0
16,0	1584,5	2929,4	1402,9	1829,5	1602,0	3420,4	2276,7	1376,7	1540,8	1878,6	1876,1	1624,4	1561,3	2014,7
16,5	1708,8	-	1528,1	1965,5	1736,1	3649,0	2483,4	1492,9	1685,9	2043,6	2028,9	1761,2	1665,6	2212,2
17,0	1842,4	-	1659,6	2110,5	1883,3	3860,4	2710,0	1617,4	1846,3	2231,9	2194,2	1906,8	1764,6	2448,7
17,5	-	-	1796,4	-	2044,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18,0	-	-	1937,5	-	2221,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tablica 4.7 Vrijednosti koeficijenta prijelaza

$\eta_R$														
v[čv]	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
12,0	0,9825	0,9550	0,9426	1,0700	0,9697	0,9861	0,9301	0,9102	0,8938	0,9924	0,9689	0,9263	0,9304	0,9750
12,5	0,9893	0,9939	0,9432	1,0570	0,9737	1,0021	0,9395	0,9251	0,8972	1,0020	0,9737	0,9414	0,9310	0,9892
13,0	0,9931	0,9959	0,9460	1,0519	0,9772	1,0063	0,9481	0,9375	0,9019	1,0078	0,9799	0,9513	0,9334	0,9973
13,5	0,9949	0,9994	0,9502	1,0518	0,9803	1,0023	0,9559	0,9477	0,9074	1,0108	0,9867	0,9572	0,9370	1,0012
14,0	0,9953	1,0033	0,9553	1,0545	0,9830	0,9935	0,9628	0,9556	0,9135	1,0019	0,9934	0,9604	0,9415	1,0027
14,5	0,9951	1,0076	0,9607	1,0585	0,9854	0,9823	0,9686	0,9616	0,9200	1,0118	0,9995	0,9621	0,9466	1,0032
15,0	0,9946	1,0112	0,9660	1,0624	0,9877	0,9705	0,9734	0,9659	0,9263	1,0111	1,0046	0,9633	0,9522	1,0040
15,5	0,9942	1,0141	0,9708	1,0652	0,9898	0,9592	0,9770	0,9689	0,9321	1,0101	1,0083	0,9646	0,9581	1,0061
16,0	0,9942	1,0165	0,9751	1,0662	0,9918	0,9491	0,9800	0,9706	0,9370	1,0092	1,0105	0,9668	0,9643	1,0106
16,5	0,9947	-	0,9783	1,0646	0,9937	0,9406	0,9807	0,9714	0,9403	1,0086	1,0111	0,9701	0,9709	1,0181
17,0	0,9960	-	0,9805	1,0603	0,9954	0,9338	0,9807	0,9715	0,9418	1,0086	1,0099	0,9749	0,9777	1,0292
17,5	-	-	0,9817	-	0,9971	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18,0	-	-	0,9815	-	0,9987	-	-	-	-	-	-	-	-	-

## 5. VRIJEDNOSTI IZRAČUNATE METODOM HOLTROP-MENNEN

Vrijednosti oplakane površine  $S$  [m<sup>2</sup>] dane su u tablici 5.1.

Vrijednosti koeficijenta otpora trenja  $C_F$  dane su u tablici 5.2.

Vrijednosti otpora trenja  $R_F$  [kN] dane su u tablici 5.3.

Iznos koeficijenta  $c_{14}$  dana je u tablici 5.4.

Vrijednosti izraza  $Lr$  dane su u tablici 5.5.

Vrijednosti faktora forme golog trupa  $(1 + k_1)$  dane su u tablici 5.6.

Iznos faktora privjesaka  $(1 + k_2)$  dana je u tablici 5.7.

Iznosi oplakanih površina privjesaka  $S_{APP}$  dane su u tablici 5.8.

Vrijednosti faktora forme  $(1 + k)$  dane su u tablici 5.9.

Vrijednosti otpora privjesaka  $R_{APP}$  [kN] dane su u tablici 5.10.

Vrijednosti koeficijenata  $i_E, c_1, c_2, c_3, c_5, c_7, c_{15}, c_{16}, c_{17}, m_1, m_3$  i  $\lambda$  dane su u tablici 5.11.

Vrijednosti koeficijenta  $m_4$  dane su u tablici 5.12.

Iznosi otpora valova  $R_W$  [kN] dane su u tablici 5.13.

Vrijednosti Froudeovog broja koji se temelji na uronu zrcalne krme  $F_{NT}$  jednaki su nuli za sve modele serije "Jelsa".

Vrijednosti koeficijenta  $c_{16}$  jednaki su 0,2 za sve modele serije "Jelsa".

Vrijednosti dodatnog otpora tlaka uronjene zrcalne krme  $R_{TR}$  [kN] jednaki su nuli za sve modele serije "Jelsa".

Vrijednosti koeficijenta koji je mjera izrona pramca  $P_B$  dane su u tablici 5.14.

Vrijednosti izraza  $i$  dane su u tablici 5.15.

Vrijednosti Froudeovog broja koji se temelji na uronu  $F_{ni}$  dane su u tablici 5.16.

Vrijednosti dodatnog otpora tlaka pramca s bulbom blizu površine  $R_B$  [kN] dane su u tablici 5.17.

Vrijednosti koeficijenata  $c_2$  i  $c_4$  i korelacijskog koeficijenta  $C_A$  dane su u tablici 5.18.

Vrijednosti korelacijskog otpora model - brod  $R_A$  [kN] dane su u tablici 5.19.

Vrijednosti ukupnog otpora  $R_T$  [kN] dane su u tablici 5.20.

Vrijednosti efektivne snage  $P_E$  [kW] dane su u tablici 5.21.

Vrijednosti koeficijenata upijanja  $t$  dane su u tablici 5.22.

Vrijednosti poriva  $T$  [kN] dobivenog preko izraza  $T = R_T / (t - 1)$  dane su u tablici 5.23.

Vrijednosti koeficijenata  $c_8, c_9, c_{20}, c_{11}, C_{p1}, c_{19}$  dane su u tablici 5.24.

Vrijednosti koeficijenata viskoznog otpora  $C_V$  dane su u tablici 5.25.

Vrijednosti efektivnog sustrujanja  $w$  dane su u tablici 5.26.

Iznosi omjera razvijene površine vijka i površine diska vijka  $A_E / A_0$  dane su u tablici 5.27.

Vrijednosti prizmatičkog koeficijenta stražnjeg dijela broda  $C_{PA}$  dane su u tablici 5.28.

Vrijednosti koeficijenta prijelaza  $\eta_R$  dane su u tablici 5.29.

Tablica 5.1 Oplakana površina trupa

	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
$S$ (m <sup>2</sup> )	15667,73	13840,21	17160,59	14450,41	16894,48	12768,86	14907,73	15819,88	18488,00	14821,89	15415,40	17124,19	15834,65	14264,48

Tablica 5.2 Koeficijent otpora trenja

$C_F$														
v[m/s]	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
6,173	0,00148	0,00152	0,00144	0,00149	0,00146	0,00154	0,00151	0,00146	0,00143	0,00150	0,00149	0,00145	0,00147	0,00150
6,430	0,00147	0,00152	0,00144	0,00149	0,00146	0,00153	0,00150	0,00145	0,00142	0,00149	0,00148	0,00144	0,00146	0,00150
6,687	0,00146	0,00151	0,00143	0,00148	0,00145	0,00153	0,00149	0,00145	0,00142	0,00148	0,00148	0,00144	0,00145	0,00149
6,944	0,00145	0,00150	0,00142	0,00147	0,00144	0,00152	0,00149	0,00144	0,00141	0,00148	0,00147	0,00143	0,00145	0,00148
7,202	0,00145	0,00149	0,00142	0,00147	0,00144	0,00151	0,00148	0,00143	0,00140	0,00147	0,00146	0,00142	0,00144	0,00148
7,459	0,00144	0,00149	0,00141	0,00146	0,00143	0,00151	0,00147	0,00143	0,00140	0,00146	0,00146	0,00142	0,00143	0,00147
7,716	0,00144	0,00148	0,00141	0,00145	0,00142	0,00150	0,00147	0,00142	0,00139	0,00146	0,00145	0,00141	0,00143	0,00146
7,973	0,00143	0,00148	0,00140	0,00145	0,00142	0,00149	0,00146	0,00142	0,00139	0,00145	0,00144	0,00141	0,00142	0,00146
8,230	0,00143	0,00147	0,00139	0,00144	0,00141	0,00149	0,00146	0,00141	0,00138	0,00145	0,00144	0,00140	0,00142	0,00145
8,488	0,00142	0,00146	0,00139	0,00144	0,00141	0,00148	0,00145	0,00141	0,00138	0,00144	0,00143	0,00140	0,00141	0,00145
8,745	0,00142	0,00146	0,00138	0,00143	0,00140	0,00148	0,00145	0,00140	0,00137	0,00143	0,00143	0,00139	0,00141	0,00144
9,002	0,00141	0,00145	0,00138	0,00143	0,00140	0,00147	0,00144	0,00140	0,00137	0,00143	0,00142	0,00139	0,00140	0,00144
9,259	0,00141	0,00145	0,00138	0,00142	0,00139	0,00147	0,00144	0,00139	0,00136	0,00143	0,00142	0,00138	0,00140	0,00143

Tablica 5.3 Vrijednosti otpora trenja

v[m/s]	$R_f$ [kN]													
	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
6,173	451,96	411,96	484,10	421,76	482,96	384,63	439,68	451,49	516,91	433,64	448,79	485,73	453,73	419,57
6,430	487,98	444,75	522,71	455,36	521,46	415,23	474,69	487,48	558,15	468,18	484,54	524,46	489,90	452,99
6,687	525,29	478,72	562,71	490,16	561,35	446,94	510,96	524,77	600,87	503,96	521,58	564,58	527,37	487,60
6,944	563,89	513,87	604,09	526,17	602,61	479,73	548,48	563,34	645,07	540,97	559,89	606,10	566,13	523,41
7,202	603,77	550,17	646,85	563,37	645,24	513,61	587,24	603,20	690,74	579,22	599,48	648,99	606,18	560,40
7,459	644,93	587,64	690,98	601,76	689,25	548,58	627,25	644,34	737,88	618,69	640,34	693,26	647,52	598,59
7,716	687,37	626,27	736,48	641,34	734,61	584,62	668,49	686,75	786,48	659,38	682,46	738,90	690,13	637,95
7,973	731,07	666,05	783,34	682,10	781,33	621,74	710,97	730,43	836,53	701,28	725,84	785,90	734,02	678,48
8,230	776,04	706,97	831,55	724,04	829,40	659,93	754,66	775,37	888,04	744,40	770,47	834,27	779,18	720,19
8,488	822,27	749,04	881,12	767,16	878,83	699,18	799,59	821,58	940,99	788,72	816,35	883,99	825,60	763,06
8,745	869,75	792,25	932,04	811,44	929,59	739,50	845,73	869,04	995,39	834,25	863,48	935,07	873,29	807,10
9,002	918,49	836,60	984,30	856,89	981,69	780,88	893,08	917,75	1051,21	880,97	911,85	987,49	922,23	852,29
9,259	968,47	882,08	1037,91	903,50	1035,13	823,32	941,65	967,71	1108,48	928,89	961,46	1041,26	972,43	898,65

Tablica 5.4. Iznos koeficijenta  $c_{14}$

$c_{14}$
1

Tablica 5.5 Vrijednosti izraza  $Lr$

	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
$Lr$	52,751	40,865	63,412	47,924	56,822	37,124	44,018	57,611	68,307	47,001	48,927	60,599	55,729	44,995

Tablica 5.6 Faktor forme golog trupa

	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
$(1+k_1)$	1,355	1,507	1,271	1,367	1,346	1,524	1,495	1,281	1,264	1,418	1,412	1,303	1,313	1,424

Tablica 5.7 Iznos faktora zbog utjecaja privjesaka

$(1+k_2)$
2

Tablica 5.8 Iznosi oplakanih površina privjesaka za određeni model

	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
$S_{APP}$	125	141	116	0	0	0	0	0	0	0	178	178	182	178

Tablica 5.9 Vrijednosti faktora forme

	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
$(1+k)$	1,36	1,51	1,28	1,37	1,35	1,52	1,50	1,28	1,26	1,42	1,42	1,31	1,32	1,43

Tablica 5.10 Vrijednosti otpora privjesaka

		$R_{APP}$ [kN]													
v[m/s]	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125	
6,173	7,2	8,4	6,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,4	10,1	10,4	10,5	
6,430	7,8	9,1	7,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,2	10,9	11,3	11,3	
6,687	8,4	9,8	7,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,0	11,7	12,1	12,2	
6,944	9,0	10,5	8,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,9	12,6	13,0	13,1	
7,202	9,6	11,2	8,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,8	13,5	13,9	14,0	
7,459	10,3	12,0	9,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,8	14,4	14,9	14,9	
7,716	11,0	12,8	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,8	15,4	15,9	15,9	
7,973	11,7	13,6	10,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,8	16,3	16,9	16,9	
8,230	12,4	14,4	11,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,8	17,3	17,9	18,0	
8,488	13,1	15,3	11,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,9	18,4	19,0	19,0	
8,745	13,9	16,1	12,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	19,9	19,4	20,1	20,1	
9,002	14,7	17,0	13,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,1	20,5	21,2	21,3	
9,259	15,5	18,0	14,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,2	21,6	22,4	22,4	



Tablica 5.11 Vrijednosti koeficijenata

	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
$i_E$ (°)	47,367	58,026	41,852	47,341	47,366	58,028	58,029	41,850	41,851	51,683	51,677	44,225	44,224	51,682
$c_7$	0,1819	0,2656	0,1380	0,1816	0,1818	0,2656	0,2656	0,1380	0,1380	0,2162	0,2161	0,1569	0,1568	0,2162
$c_1$	4,4876	27,9874	1,3349	6,1003	3,5287	38,2095	22,0171	1,8210	1,0481	10,0177	8,8061	2,0477	2,6855	11,5568
$c_3$	0,0239	0,0265	0,0268	0,0252	0,0301	0,0232	0,0285	0,0245	0,0284	0,0277	0,0281	0,0283	0,0252	0,0260
$c_2$	0,7468	0,7350	0,7337	0,7406	0,7204	0,7496	0,7270	0,7441	0,7271	0,7299	0,7285	0,7276	0,7408	0,7375
$c_5$	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
$c_{16}$	1,1393	1,1393	1,1393	1,1393	1,1393	1,1393	1,1393	1,1393	1,1393	1,1393	1,1393	1,1393	1,1393	1,1393
$m_1$	-2,0332	-2,6344	-1,6691	-2,1429	-1,9324	-2,7302	-2,5513	-1,7986	-1,5471	-2,2878	-2,2405	-1,7769	-1,8915	-2,3368
$\lambda$	1,0439	1,0964	0,9914	1,0437	1,0439	1,0964	1,0964	0,9914	0,9914	1,0701	1,0701	1,0176	1,0176	1,0701
$c_{15}$	-1,6939	-1,6939	-1,6939	-1,6939	-1,6939	-1,6939	-1,6939	-1,6939	-1,6939	-1,6939	-1,6939	-1,6939	-1,6939	-1,6939
$c_{17}$	1,7594	3,0939	1,0256	3,1455	1,1241	5,5164	1,9747	1,8285	0,6547	2,3585	1,8604	1,0521	1,7387	3,0816
$m_3$	-1,7823	-2,0200	-1,6289	-2,1225	-1,5577	-2,4048	-1,7654	-1,9390	-1,4225	-1,8872	-1,7566	-1,5815	-1,8415	-2,0449

Tablica 5.12 Vrijednosti koeficijenta  $m_4$  u ovisnosti o brzini

$m_4$														
v[m/s]	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
6,173	-1,17E-15	-1,35E-10	-7,06E-21	-1,68E-13	-1,41E-17	-3,54E-09	-7,41E-12	-5,84E-18	-1,77E-23	-4,19E-13	-6,14E-14	-1,93E-19	-4,71E-17	-2,93E-12
6,430	-8,40E-14	-2,24E-09	-2,29E-18	-6,44E-12	-1,76E-15	-3,88E-08	-1,77E-10	-8,14E-16	-1,22E-20	-1,43E-11	-2,67E-12	-4,14E-17	-5,06E-15	-7,86E-11
6,687	-3,07E-12	-2,38E-08	-2,98E-16	-1,39E-10	-1,03E-13	-2,92E-07	-2,56E-09	-5,21E-14	-3,00E-18	-2,81E-10	-6,42E-11	-3,80E-15	-2,59E-13	-1,25E-09
6,944	-6,48E-11	-1,77E-07	-1,85E-14	-1,88E-09	-3,22E-12	-1,62E-06	-2,46E-08	-1,77E-12	-3,19E-16	-3,50E-09	-9,51E-10	-1,75E-13	-7,31E-12	-1,31E-08
7,202	-8,73E-10	-9,77E-07	-6,27E-13	-1,74E-08	-6,09E-11	-6,97E-06	-1,70E-07	-3,58E-11	-1,71E-14	-3,01E-08	-9,47E-09	-4,60E-12	-1,26E-10	-9,72E-08
7,459	-8,14E-09	-4,23E-06	-1,29E-11	-1,17E-07	-7,59E-10	-2,44E-05	-8,91E-07	-4,73E-10	-5,18E-13	-1,91E-07	-6,80E-08	-7,60E-11	-1,45E-09	-5,42E-07
7,716	-5,58E-08	-1,50E-05	-1,74E-10	-6,04E-07	-6,68E-09	-7,18E-05	-3,72E-06	-4,38E-09	-9,85E-12	-9,37E-07	-3,73E-07	-8,53E-10	-1,19E-08	-2,38E-06
7,973	-2,96E-07	-4,49E-05	-1,67E-09	-2,51E-06	-4,40E-08	-1,83E-04	-1,28E-05	-3,01E-08	-1,26E-10	-3,72E-06	-1,63E-06	-6,93E-09	-7,41E-08	-8,61E-06
8,230	-1,26E-06	-1,17E-04	-1,19E-08	-8,68E-06	-2,27E-07	-4,13E-04	-3,77E-05	-1,61E-07	-1,17E-09	-1,24E-05	-5,87E-06	-4,30E-08	-3,63E-07	-2,63E-05
8,488	-4,50E-06	-2,69E-04	-6,64E-08	-2,57E-05	-9,55E-07	-8,43E-04	-9,69E-05	-7,01E-07	-8,14E-09	-3,54E-05	-1,80E-05	-2,12E-07	-1,46E-06	-7,00E-05
8,745	-1,37E-05	-5,59E-04	-3,01E-07	-6,65E-05	-3,37E-06	-1,58E-03	-2,22E-04	-2,54E-06	-4,48E-08	-8,90E-05	-4,83E-05	-8,61E-07	-4,94E-06	-1,65E-04
9,002	-3,67E-05	-1,07E-03	-1,14E-06	-1,54E-04	-1,02E-05	-2,74E-03	-4,60E-04	-7,93E-06	-2,02E-07	-2,01E-04	-1,15E-04	-2,96E-06	-1,45E-05	-3,52E-04
9,259	-8,75E-05	-1,89E-03	-3,69E-06	-3,24E-04	-2,73E-05	-4,46E-03	-8,78E-04	-2,17E-05	-7,62E-07	-4,12E-04	-2,48E-04	-8,82E-06	-3,75E-05	-6,88E-04

Tablica 5.13 Iznosi otpora valova

$R_w$ [kN]														
v[m/s]	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
6,173	5,7	4,3	7,1	6,7	5,4	6,8	3,3	6,7	9,1	4,9	4,5	6,5	6,3	5,6
6,430	9,2	7,6	10,9	11,0	8,7	11,8	5,8	10,4	13,8	8,3	7,6	10,2	10,0	9,5
6,687	14,4	12,7	16,3	17,3	13,6	19,7	9,7	15,8	20,2	13,4	12,2	15,4	15,4	15,3
6,944	21,9	20,6	23,7	26,4	20,5	31,8	15,7	23,2	28,9	21,0	19,1	22,8	22,9	24,0
7,202	32,4	32,3	33,6	39,1	30,0	49,8	24,7	33,2	40,3	31,8	28,9	32,7	33,2	36,4
7,459	46,6	49,2	46,5	56,5	43,0	75,6	37,6	46,5	55,0	46,9	42,7	45,9	46,9	53,7
7,716	65,5	73,0	63,0	79,7	60,1	111,7	55,8	63,6	73,6	67,5	61,3	63,0	65,0	77,4
7,973	90,2	105,7	83,8	110,0	82,3	161,2	80,8	85,4	96,8	95,0	86,3	84,9	88,2	109,0
8,230	121,9	149,6	109,6	149,1	110,6	227,7	114,4	112,7	125,2	131,0	118,9	112,3	117,5	150,4
8,488	161,9	207,6	141,1	198,5	146,2	315,3	158,8	146,3	159,5	177,4	160,8	146,2	154,0	203,7
8,745	211,6	283,0	179,2	260,1	190,2	427,8	216,5	187,1	200,6	236,1	213,9	187,5	198,8	271,3
9,002	272,6	378,9	224,6	335,9	243,9	571,8	290,3	236,2	249,1	309,5	280,0	237,3	253,0	355,8
9,259	346,5	498,9	278,1	428,0	308,7	756,1	383,1	294,6	305,7	400,0	361,6	296,6	318,1	459,9

Tablica 5.14 Vrijednosti koeficijenta koji je mjera izrona pramca  $P_B$ 

	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
$P_B$	0,7074	0,7317	0,7341	0,6610	0,8924	0,6328	0,8282	0,6484	0,8427	0,7825	0,8417	0,8451	0,7038	0,7086

Tablica 5.15 Vrijednosti izraza  $i$ 

	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
$i$	5,5705	6,2793	5,0396	6,8312	4,3864	7,8826	5,1863	6,2789	4,1153	5,6568	5,0776	4,5557	5,7651	6,4116

Tablica 5.16 Vrijednosti Froudeovog broja koji se temelji na uronu

$F_{ni}$														
$v$ [m/s]	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
6,173	0,795	0,752	0,831	0,724	0,884	0,677	0,821	0,752	0,909	0,789	0,828	0,869	0,782	0,745
6,430	0,824	0,781	0,862	0,751	0,916	0,704	0,851	0,781	0,942	0,819	0,859	0,901	0,812	0,774
6,687	0,854	0,809	0,892	0,779	0,948	0,729	0,881	0,809	0,975	0,848	0,889	0,933	0,841	0,802
6,944	0,883	0,837	0,922	0,806	0,979	0,755	0,911	0,837	1,006	0,877	0,919	0,964	0,869	0,829
7,202	0,911	0,865	0,952	0,833	1,010	0,781	0,940	0,865	1,038	0,905	0,949	0,994	0,898	0,857
7,459	0,940	0,892	0,981	0,859	1,041	0,806	0,969	0,892	1,069	0,934	0,978	1,024	0,926	0,884
7,716	0,968	0,919	1,010	0,885	1,070	0,831	0,998	0,919	1,099	0,961	1,007	1,054	0,953	0,910
7,973	0,995	0,945	1,038	0,911	1,100	0,855	1,026	0,945	1,129	0,989	1,035	1,083	0,981	0,937
8,230	1,022	0,972	1,066	0,937	1,128	0,880	1,053	0,972	1,158	1,016	1,063	1,111	1,008	0,963
8,488	1,049	0,997	1,094	0,962	1,157	0,904	1,081	0,997	1,186	1,042	1,090	1,139	1,034	0,989
8,745	1,075	1,023	1,120	0,987	1,185	0,928	1,107	1,023	1,215	1,069	1,117	1,167	1,060	1,014
9,002	1,101	1,048	1,147	1,012	1,212	0,952	1,134	1,048	1,242	1,094	1,144	1,194	1,086	1,039
9,259	1,127	1,073	1,173	1,036	1,239	0,975	1,160	1,073	1,269	1,120	1,170	1,221	1,111	1,064

Tablica 5.17 Vrijednosti dodatnog otpora tlaka pramca s bulbom blizu površine

$R_b$ [kN]														
v[m/s]	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
6,173	0,2	0,4	0,3	0,1	2,1	0,1	1,4	0,1	1,0	0,7	1,4	1,2	0,2	0,2
6,430	0,2	0,4	0,3	0,1	2,3	0,1	1,5	0,1	1,1	0,8	1,5	1,3	0,2	0,3
6,687	0,2	0,5	0,3	0,1	2,5	0,1	1,6	0,1	1,2	0,8	1,6	1,4	0,2	0,3
6,944	0,2	0,5	0,3	0,1	2,6	0,1	1,7	0,1	1,3	0,9	1,8	1,5	0,2	0,3
7,202	0,2	0,5	0,3	0,1	2,8	0,1	1,9	0,1	1,3	1,0	1,9	1,6	0,2	0,3
7,459	0,3	0,6	0,4	0,1	3,0	0,1	2,0	0,1	1,4	1,0	2,0	1,7	0,2	0,3
7,716	0,3	0,6	0,4	0,1	3,1	0,1	2,1	0,1	1,5	1,1	2,1	1,7	0,3	0,4
7,973	0,3	0,6	0,4	0,1	3,3	0,1	2,2	0,1	1,6	1,2	2,2	1,8	0,3	0,4
8,230	0,3	0,7	0,4	0,1	3,5	0,1	2,3	0,1	1,7	1,2	2,3	1,9	0,3	0,4
8,488	0,3	0,7	0,5	0,2	3,6	0,1	2,4	0,1	1,7	1,3	2,5	2,0	0,3	0,4
8,745	0,3	0,7	0,5	0,2	3,8	0,1	2,6	0,1	1,8	1,4	2,6	2,1	0,3	0,4
9,002	0,3	0,8	0,5	0,2	3,9	0,1	2,7	0,1	1,9	1,4	2,7	2,2	0,3	0,5
9,259	0,4	0,8	0,5	0,2	4,1	0,1	2,8	0,1	2,0	1,5	2,8	2,3	0,3	0,5

Tablica 5.18 Vrijednosti koeficijenata  $c_2$  i  $c_4$  i korelacijskog koeficijenta  $C_A$ 

	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
$c_2$	0,7468	0,7350	0,7337	0,7406	0,7204	0,7496	0,7270	0,7441	0,7271	0,7299	0,7285	0,7276	0,7408	0,7375
$c_4$	0,0400	0,0400	0,0345	0,0400	0,0364	0,0400	0,0400	0,0400	0,0276	0,0400	0,0400	0,0348	0,0400	0,0400
$C_A$	0,000291	0,000358	0,000279	0,000317	0,000296	0,000383	0,000339	0,000267	0,000307	0,000322	0,000311	0,000289	0,000276	0,000333

Tablica 5.19 Vrijednosti korelacijskog otpora model - brod

$R_d$ [kN]														
v[m/s]	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
6,173	89,1	96,9	93,7	89,4	97,7	95,5	98,8	82,5	110,9	93,2	93,7	96,8	85,4	92,9
6,430	96,6	105,2	101,7	97,0	106,0	103,6	107,2	89,5	120,3	101,1	101,7	105,0	92,7	100,8
6,687	104,5	113,7	110,0	104,9	114,6	112,1	115,9	96,9	130,1	109,4	110,0	113,6	100,2	109,0
6,944	112,7	122,7	118,6	113,2	123,6	120,9	125,0	104,4	140,3	118,0	118,6	122,5	108,1	117,6
7,202	121,2	131,9	127,6	121,7	133,0	130,0	134,4	112,3	150,9	126,9	127,6	131,7	116,3	126,5
7,459	130,1	141,5	136,8	130,6	142,6	139,4	144,2	120,5	161,9	136,1	136,8	141,3	124,7	135,7
7,716	139,2	151,4	146,4	139,7	152,6	149,2	154,3	128,9	173,3	145,6	146,4	151,2	133,5	145,2
7,973	148,6	161,7	156,4	149,2	163,0	159,3	164,8	137,7	185,0	155,5	156,4	161,5	142,5	155,0
8,230	158,4	172,3	166,6	159,0	173,7	169,8	175,6	146,7	197,1	165,7	166,6	172,0	151,8	165,2
8,488	168,4	183,2	177,2	169,0	184,7	180,6	186,7	156,0	209,6	176,2	177,2	183,0	161,5	175,7
8,745	178,8	194,5	188,1	179,4	196,1	191,7	198,2	165,6	222,5	187,1	188,1	194,2	171,4	186,5
9,002	189,4	206,1	199,3	190,2	207,8	203,1	210,1	175,5	235,8	198,2	199,3	205,8	181,6	197,6
9,259	200,4	218,0	210,9	201,2	219,8	214,9	222,2	185,7	249,5	209,7	210,9	217,7	192,2	209,0

Tablica 5.20 Vrijednosti ukupnog otpora

$R_r$ [kN]														
v[m/s]	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
6,173	714,6	730,9	722,9	672,6	755,4	688,3	760,8	667,4	774,2	713,8	743,9	747,6	697,9	706,9
6,430	775,1	792,5	784,3	730,4	819,0	748,1	824,2	724,3	840,5	774,2	806,4	810,9	757,2	767,1
6,687	839,4	858,2	849,4	792,1	886,3	812,8	891,2	784,7	910,8	838,4	872,6	877,9	820,1	831,3
6,944	908,0	928,7	918,6	858,7	957,9	883,7	962,6	849,1	985,6	907,0	943,3	949,2	887,3	900,4
7,202	981,6	1005,2	992,3	930,8	1034,4	962,3	1039,0	918,0	1065,4	981,1	1019,0	1025,3	959,3	975,4
7,459	1061,1	1089,0	1071,2	1009,4	1116,4	1050,8	1121,6	992,1	1150,7	1061,4	1100,8	1106,8	1036,7	1057,2
7,716	1147,4	1181,7	1155,8	1095,9	1204,7	1151,7	1211,7	1072,0	1242,2	1149,3	1189,6	1194,3	1120,4	1147,5
7,973	1241,5	1285,4	1246,7	1191,4	1300,3	1267,8	1310,8	1158,5	1340,4	1246,2	1286,9	1288,7	1211,3	1247,7
8,230	1344,6	1402,5	1344,7	1297,6	1404,2	1403,0	1420,7	1252,3	1446,1	1353,6	1393,9	1390,9	1310,3	1359,7
8,488	1458,0	1535,7	1450,5	1416,0	1517,5	1561,1	1543,5	1354,4	1560,0	1473,5	1512,4	1501,6	1418,4	1485,7
8,745	1583,2	1688,4	1564,9	1548,5	1641,3	1746,2	1681,8	1465,7	1682,7	1607,6	1644,1	1622,0	1536,8	1627,9
9,002	1721,7	1863,7	1688,7	1697,1	1777,1	1964,7	1838,4	1587,0	1815,1	1758,5	1791,1	1752,8	1666,7	1789,1
9,259	1875,0	2065,2	1822,7	1864,0	1926,0	2225,4	2016,0	1719,5	1957,8	1928,5	1955,6	1895,4	1809,3	1971,8

Tablica 5.21 Vrijednosti efektivne snage

$P_e$ [kW]														
v[m/s]	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
6,173	4410,9	4511,8	4462,2	4151,6	4662,6	4248,7	4696,6	4119,7	4778,8	4406,4	4592,1	4614,6	4307,8	4363,3
6,430	4983,8	5096,0	5043,2	4696,2	5266,0	4810,1	5299,6	4657,1	5404,2	4978,0	5185,1	5213,8	4868,6	4932,2
6,687	5613,0	5738,9	5680,2	5297,3	5927,0	5435,2	5959,7	5247,4	6090,6	5606,2	5835,6	5870,9	5484,4	5559,2
6,944	6305,4	6449,4	6379,1	5962,9	6652,2	6136,5	6684,3	5896,5	6844,4	6298,8	6550,4	6591,8	6161,8	6253,0
7,202	7069,4	7239,0	7146,5	6703,0	7449,2	6930,4	7482,6	6611,4	7672,6	7065,2	7338,4	7383,7	6908,2	7024,2
7,459	7914,7	8122,4	7989,9	7529,2	8326,8	7838,1	8366,1	7400,0	8583,1	7917,0	8210,3	8255,1	7732,6	7885,8
7,716	8853,1	9118,0	8918,0	8455,9	9295,6	8886,4	9349,7	8271,7	9584,7	8868,4	9179,1	9215,4	8645,2	8854,0
7,973	9898,4	10248,9	9940,3	9499,6	10367,7	10108,8	10451,3	9236,8	10687,5	9936,3	10260,4	10275,4	9657,8	9948,1
8,230	11066,2	11543,0	11067,6	10679,8	11557,2	11547,4	11693,0	10307,1	11902,1	11141,1	11472,4	11447,5	10784,0	11191,1
8,488	12374,8	13034,6	12311,5	12018,8	12879,8	13250,3	13101,0	11495,7	13240,4	12506,1	12836,7	12745,3	12038,9	12609,9
8,745	13844,6	14765,0	13684,9	13541,7	14353,2	15270,1	14706,9	12816,9	14714,9	14058,6	14377,7	14183,6	13439,4	14235,7
9,002	15498,4	16777,1	15201,6	15277,7	15997,3	17685,9	16548,9	14286,5	16339,4	15830,0	16123,6	15779,1	15004,0	16105,6
9,259	17361,4	19122,1	16876,4	17259,1	17833,6	20605,6	18666,9	15921,5	18128,1	17856,8	18107,2	17549,6	16753,0	18257,3

Tablica 5.22 Vrijednosti koeficijenata upijanja

	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
$t$	0,2051	0,2372	0,1910	0,2078	0,2099	0,2399	0,2346	0,1871	0,1891	0,2189	0,2181	0,1930	0,1951	0,2202

Tablica 5.23 Vrijednosti poriva

$T$ [kN]														
$v$ [m/s]	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
6,173	898,9	958,2	893,5	849,0	956,0	905,6	994,1	821,1	954,7	913,9	951,4	926,4	867,1	906,5
6,430	975,0	1039,0	969,5	922,0	1036,5	984,2	1076,9	891,0	1036,4	991,2	1031,3	1004,8	940,7	983,7
6,687	1055,9	1125,1	1049,9	1000,0	1121,7	1069,4	1164,4	965,4	1123,2	1073,3	1116,0	1087,9	1019,0	1066,1
6,944	1142,2	1217,5	1135,4	1084,0	1212,4	1162,6	1257,7	1044,6	1215,4	1161,3	1206,3	1176,3	1102,4	1154,8
7,202	1234,9	1317,8	1226,6	1175,0	1309,1	1266,1	1357,6	1129,4	1313,8	1256,0	1303,2	1270,5	1191,8	1250,8
7,459	1334,9	1427,6	1324,1	1274,3	1412,9	1382,6	1465,5	1220,5	1419,1	1358,9	1407,8	1371,5	1288,1	1355,9
7,716	1443,4	1549,2	1428,6	1383,4	1524,7	1515,3	1583,2	1318,8	1531,9	1471,5	1521,4	1480,0	1392,1	1471,6
7,973	1561,7	1685,2	1541,0	1504,0	1645,7	1668,1	1712,7	1425,2	1653,0	1595,5	1645,8	1597,0	1505,0	1600,1
8,230	1691,4	1838,6	1662,1	1638,1	1777,2	1845,9	1856,3	1540,7	1783,3	1733,1	1782,7	1723,6	1628,0	1743,8
8,488	1834,1	2013,3	1792,9	1787,6	1920,5	2054,0	2016,8	1666,2	1923,7	1886,5	1934,2	1860,8	1762,3	1905,3
8,745	1991,6	2213,5	1934,3	1954,8	2077,3	2297,4	2197,4	1803,1	2075,1	2058,3	2102,7	2009,9	1909,5	2087,7
9,002	2165,8	2443,3	2087,3	2142,4	2249,1	2584,9	2402,0	1952,4	2238,3	2251,4	2290,7	2172,1	2070,9	2294,4
9,259	2358,8	2707,4	2252,9	2353,1	2437,6	2927,9	2634,1	2115,4	2414,4	2469,1	2501,0	2348,7	2248,0	2528,7

Tablica 5.24 Iznosi koeficijenata

	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
$c_8$	28,50	32,65	29,41	21,77	40,39	24,75	40,60	19,75	36,80	30,23	34,16	30,50	23,85	26,62
$c_9$	28,45	30,15	29,04	21,77	31,02	24,75	31,04	19,75	30,75	29,43	30,43	29,54	23,85	26,62
$c_{20}$	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
$c_{11}$	1,3835	1,5792	1,4303	1,6844	1,3516	1,9047	1,3553	1,5294	1,2317	1,4671	1,3629	1,2188	1,4412	1,6035
$C_{PI}$	0,8553	0,8553	0,8553	0,8553	0,8553	0,8553	0,8553	0,8553	0,8553	0,8553	0,8553	0,8553	0,8553	0,8553
$c_{19}$	0,1231	0,1231	0,1231	0,1231	0,1231	0,1231	0,1231	0,1231	0,1231	0,1231	0,1231	0,1231	0,1231	0,1231

Tablica 5.25 Vrijednosti koeficijenta viskoznog otpora

$C_v$														
v[m/s]	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
6,173	0,002291	0,002654	0,002114	0,002357	0,002265	0,002731	0,002595	0,002137	0,002115	0,002445	0,002415	0,002181	0,002200	0,002477
6,430	0,002281	0,002642	0,002105	0,002347	0,002255	0,002719	0,002584	0,002127	0,002106	0,002434	0,002405	0,002171	0,002191	0,002466
6,687	0,002272	0,002631	0,002096	0,002337	0,002246	0,002707	0,002573	0,002119	0,002097	0,002424	0,002395	0,002162	0,002182	0,002456
6,944	0,002262	0,002621	0,002088	0,002328	0,002237	0,002697	0,002563	0,002110	0,002089	0,002414	0,002385	0,002154	0,002173	0,002446
7,202	0,002254	0,002610	0,002080	0,002319	0,002228	0,002686	0,002553	0,002102	0,002082	0,002405	0,002376	0,002146	0,002165	0,002437
7,459	0,002246	0,002601	0,002073	0,002311	0,002220	0,002676	0,002544	0,002095	0,002074	0,002396	0,002367	0,002138	0,002157	0,002428
7,716	0,002238	0,002592	0,002066	0,002303	0,002213	0,002667	0,002534	0,002087	0,002067	0,002388	0,002359	0,002131	0,002149	0,002419
7,973	0,002230	0,002583	0,002059	0,002295	0,002205	0,002658	0,002526	0,002080	0,002060	0,002380	0,002351	0,002123	0,002142	0,002411
8,230	0,002223	0,002574	0,002052	0,002287	0,002198	0,002649	0,002517	0,002073	0,002054	0,002372	0,002343	0,002117	0,002135	0,002403
8,488	0,002215	0,002566	0,002045	0,002280	0,002191	0,002640	0,002509	0,002067	0,002047	0,002364	0,002335	0,002110	0,002128	0,002395
8,745	0,002209	0,002558	0,002039	0,002273	0,002184	0,002632	0,002501	0,002060	0,002041	0,002357	0,002328	0,002103	0,002122	0,002388
9,002	0,002202	0,002550	0,002033	0,002266	0,002178	0,002624	0,002494	0,002054	0,002035	0,002350	0,002321	0,002097	0,002115	0,002381
9,259	0,002196	0,002543	0,002027	0,002260	0,002171	0,002617	0,002487	0,002048	0,002030	0,002343	0,002314	0,002091	0,002109	0,002374



Tablica 5.26 Vrijednosti efektivnog sustrujanja

							$w$							
$v$ [m/s]	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
6,173	0,5382	0,5955	0,5208	0,5006	0,5723	0,5662	0,6130	0,4616	0,5550	0,5627	0,5744	0,5393	0,4972	0,5459
6,430	0,5376	0,5950	0,5201	0,5002	0,5715	0,5658	0,6124	0,4612	0,5542	0,5621	0,5738	0,5386	0,4967	0,5454
6,687	0,5371	0,5944	0,5195	0,4998	0,5708	0,5654	0,6118	0,4609	0,5534	0,5616	0,5732	0,5380	0,4963	0,5450
6,944	0,5366	0,5939	0,5189	0,4995	0,5701	0,5651	0,6112	0,4606	0,5527	0,5611	0,5727	0,5374	0,4959	0,5446
7,202	0,5361	0,5935	0,5183	0,4992	0,5695	0,5647	0,6107	0,4602	0,5520	0,5606	0,5721	0,5368	0,4955	0,5441
7,459	0,5356	0,5930	0,5177	0,4989	0,5689	0,5644	0,6101	0,4599	0,5513	0,5601	0,5716	0,5362	0,4951	0,5438
7,716	0,5352	0,5926	0,5172	0,4986	0,5683	0,5641	0,6096	0,4596	0,5506	0,5597	0,5711	0,5357	0,4947	0,5434
7,973	0,5347	0,5922	0,5166	0,4983	0,5677	0,5638	0,6092	0,4594	0,5500	0,5593	0,5707	0,5352	0,4943	0,5430
8,230	0,5343	0,5918	0,5161	0,4980	0,5672	0,5635	0,6087	0,4591	0,5494	0,5588	0,5702	0,5347	0,4940	0,5427
8,488	0,5339	0,5914	0,5157	0,4978	0,5666	0,5633	0,6082	0,4588	0,5488	0,5585	0,5698	0,5342	0,4937	0,5423
8,745	0,5335	0,5910	0,5152	0,4975	0,5661	0,5630	0,6078	0,4586	0,5482	0,5581	0,5694	0,5338	0,4934	0,5420
9,002	0,5331	0,5906	0,5148	0,4973	0,5656	0,5627	0,6074	0,4583	0,5477	0,5577	0,5689	0,5333	0,4931	0,5417
9,259	0,5328	0,5903	0,5143	0,4970	0,5652	0,5625	0,6070	0,4581	0,5471	0,5574	0,5686	0,5329	0,4928	0,5414

Tablica 5.27 Omjer površina razvijene površine vijka i površine diska vijka

	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
$A_E / A_0$	0,525	0,565	0,55	0,565	0,55	0,525	0,525	0,525	0,55	0,525	0,525	0,525	0,525	0,525

Tablica 5.28 Vrijednosti prizmatičkog koeficijenta stražnjeg dijela broda

	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
$C_{PA}$	0,7941	0,7941	0,7941	0,7941	0,7941	0,7941	0,7941	0,7941	0,7941	0,7941	0,7941	0,7941	0,7941	0,7941

Tablica 5.29 Vrijednosti koeficijenta prijelaza  $\eta_R$ 

	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
$\eta_R$	1,0201	1,0178	1,0187	1,0178	1,0187	1,0201	1,0201	1,0201	1,0187	1,0201	1,0201	1,0201	1,0201	1,0201

## 6. USPOREDBE REZULTATA STATISTIČKE METODE HOLTROP-MENNEN I MODELSKOG ISPITIVANJA SERIJE "JELSA"

U svrhu određivanja relativnih pogrešaka tj. odstupanja metoda koristi se izraz:

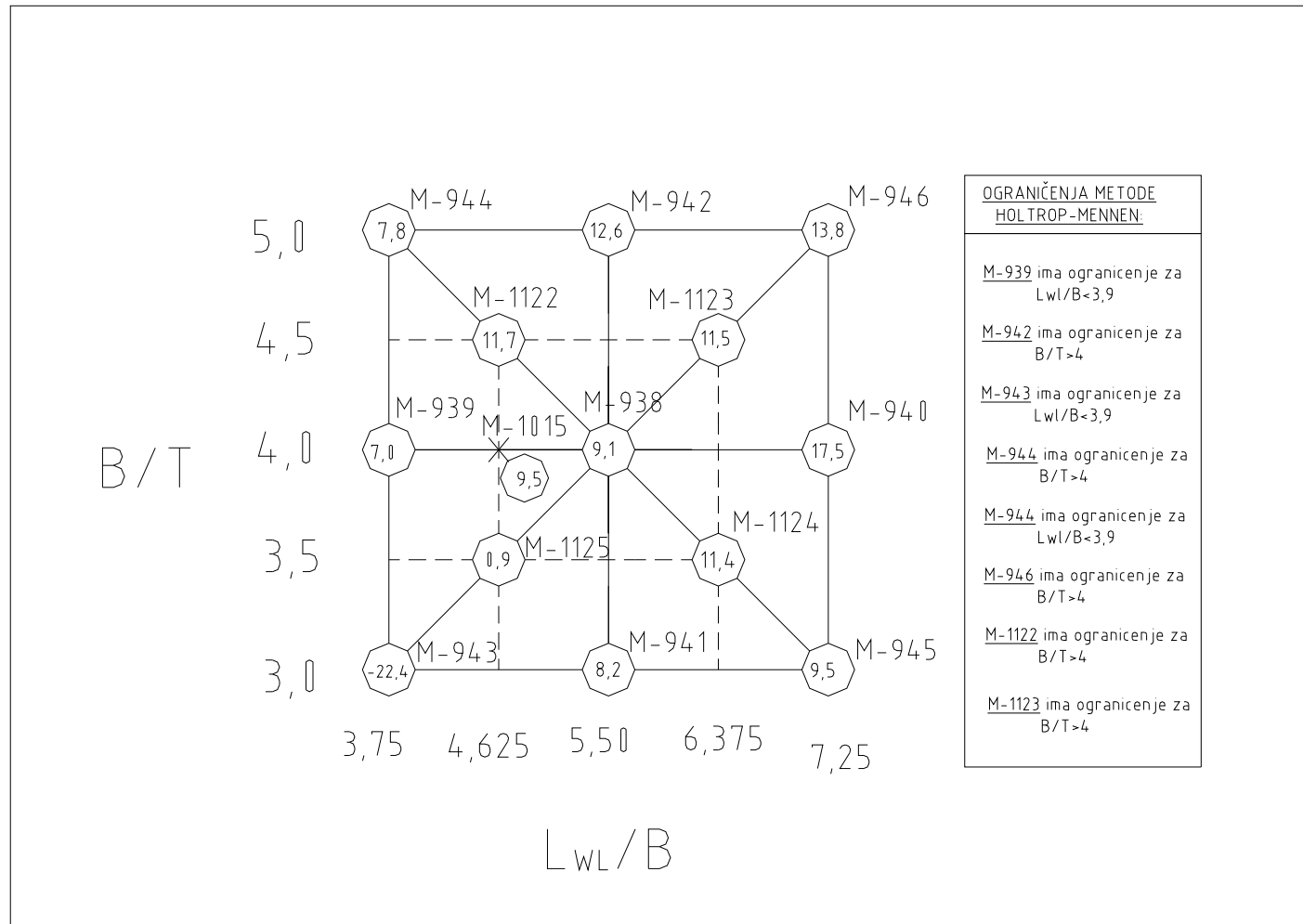
$$\text{relativno odstupanje} = \frac{\text{vrijednosti}_{\text{Holtrop-Mennen}} - \text{vrijednosti}_{\text{Jelsa}}}{\text{vrijednosti}_{\text{Holtrop-Mennen}}} \cdot 100\%$$

Relativna odstupanja vrijednosti dobivenih modelskim ispitivanjima serije "Jelsa" i metode Holtrop-Mennen dane su u slijedećim tablicama i grafovima:

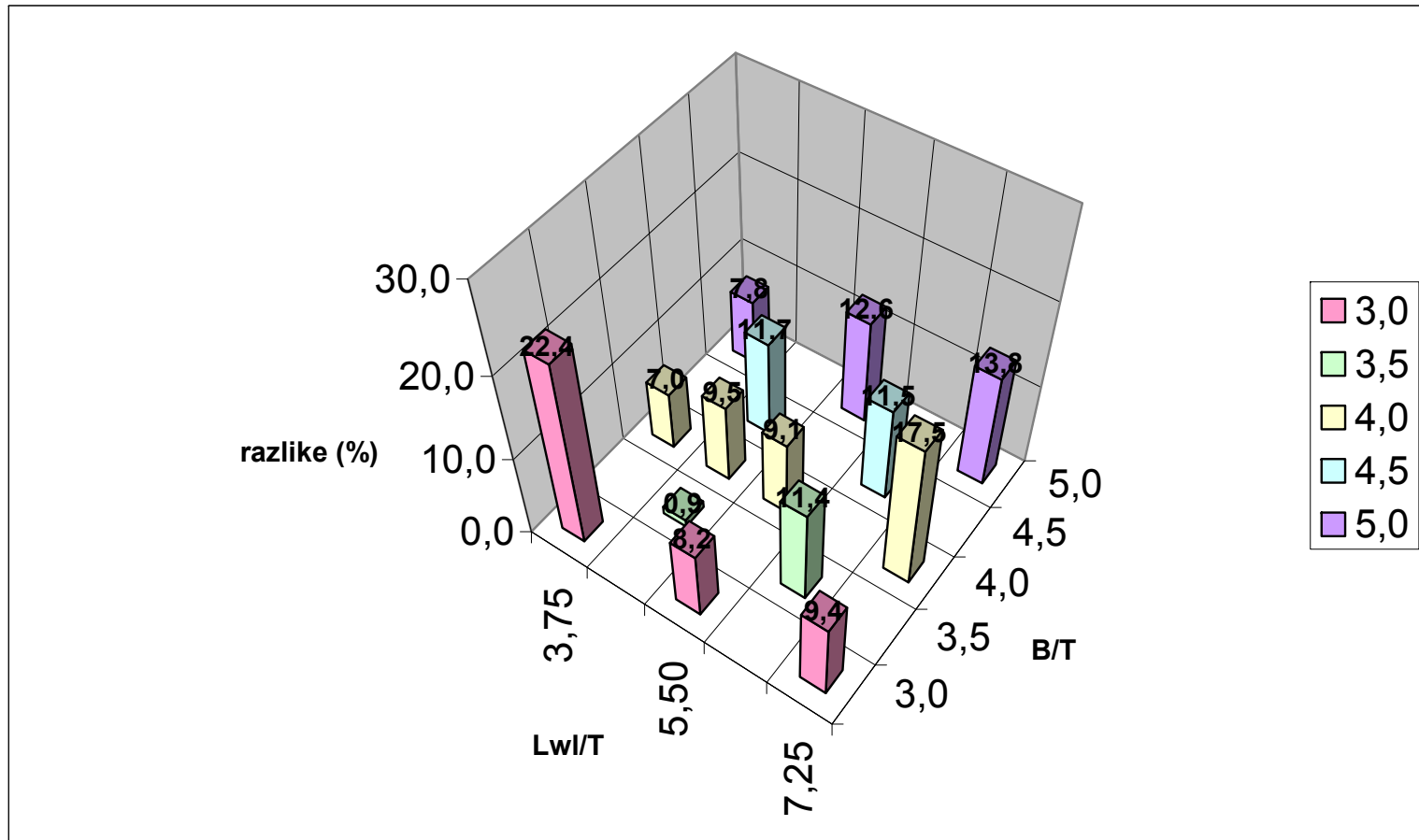
### 6.1. FAKTOR FORME

Tablica 6.1 Relativno odstupanje faktora forme ( $1+k$ )

	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
rel.ods. (%)	9,06	7,04	17,49	8,18	12,56	-22,39	7,79	9,36	13,76	9,51	11,69	11,51	11,44	0,87



Slika 6.1 Usporedba prosječnih razlika metode Holtrop-Mennen i modelskog ispitivanja serije "Jelsa" za faktor forme  $(1+k)$

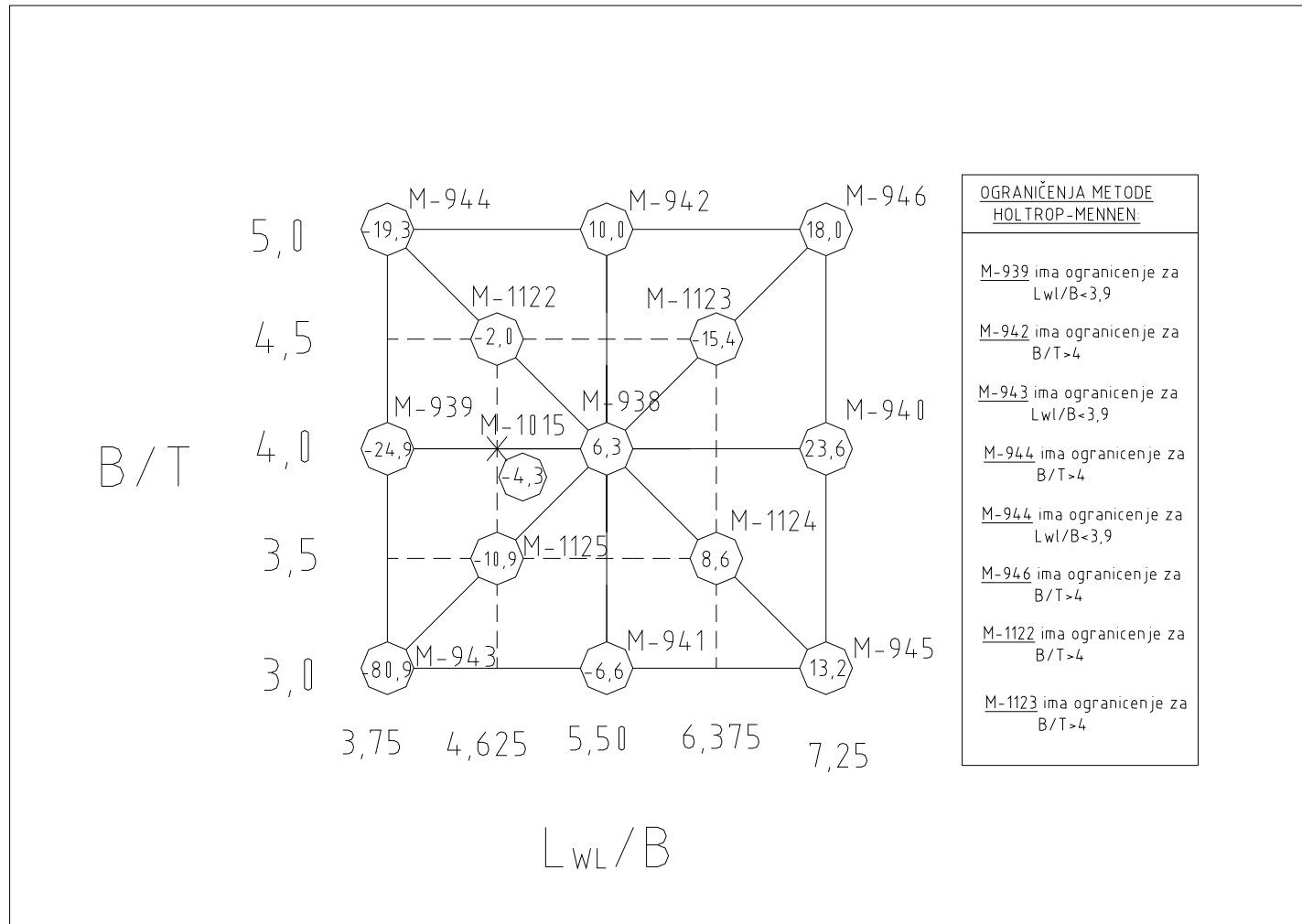


Slika 6.2 3-D prikaz prosječnog odstupanja (%) koeficijenta forme  $(1+k)$

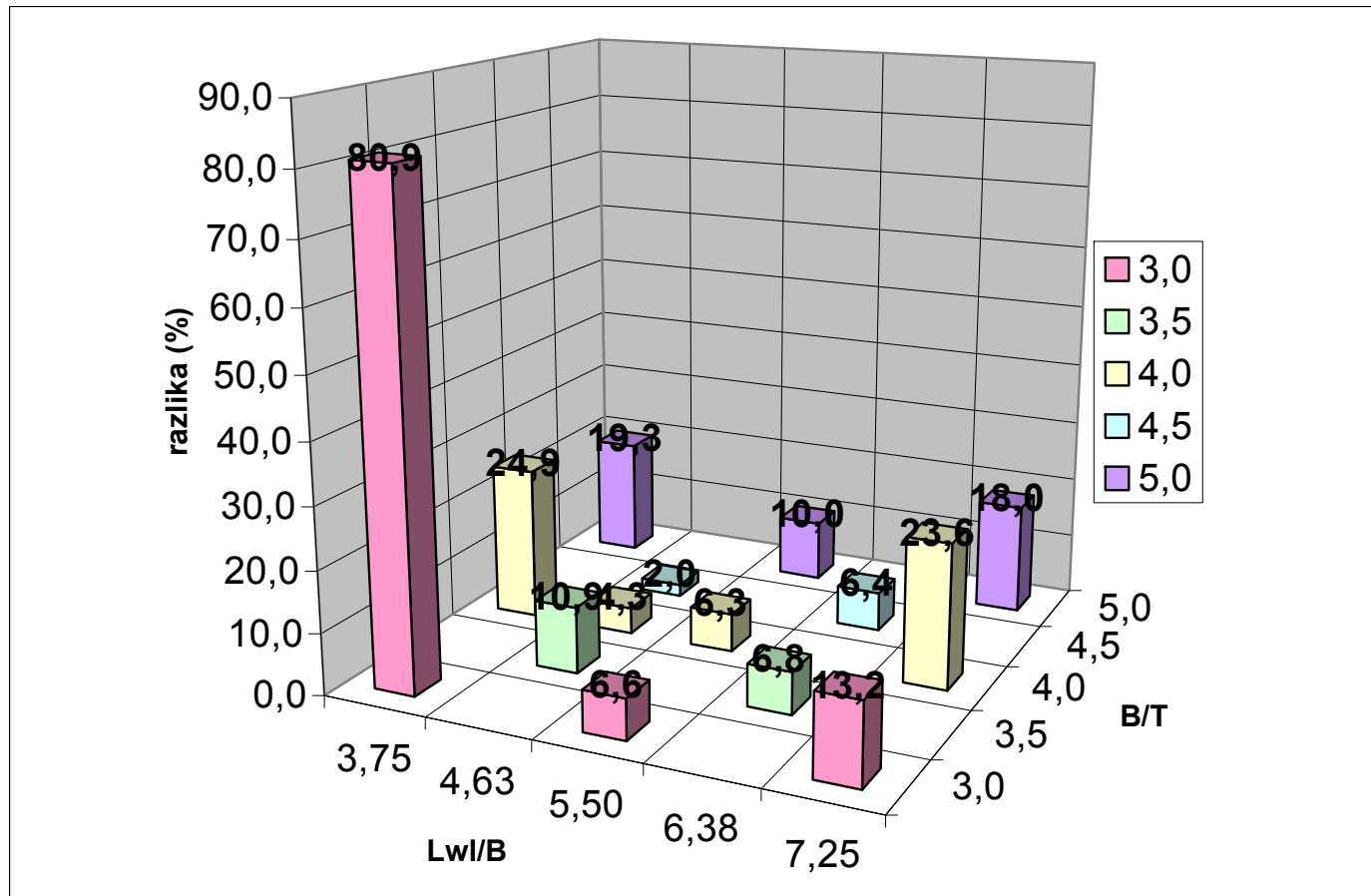
## 6.2. UKUPNI OTPOR I EFEKTIVNA SNAGA

Tablica 6.2 Relativno odstupanje dano u postotku (%) za ukupni otpor  $R_T$  i efektivnu snagu  $P_E$

v[čv]	$R_T$ i $P_E$													
	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
12,0	4,2	-18,8	28,4	-11,3	11,2	-84,3	-14,9	12,1	20,4	-7,1	-0,4	-16,0	4,9	-14,5
12,5	4,5	-20,3	28,2	-11,0	11,0	-84,1	-15,8	11,5	20,5	-6,1	-1,0	-14,4	4,3	-14,8
13,0	4,7	-21,8	27,8	-10,4	10,7	-82,8	-16,5	11,1	20,4	-4,8	-1,6	-13,6	4,2	-15,0
13,5	5,1	-23,4	27,3	-9,2	10,3	-80,8	-17,1	11,5	20,2	-3,4	-2,1	-13,6	4,7	-13,9
14,0	5,4	-25,0	26,5	-7,8	9,9	-79,4	-17,7	12,2	19,7	-2,6	-2,5	-13,9	5,4	-12,6
14,5	5,8	-26,7	25,6	-6,2	9,6	-79,9	-18,6	13,0	19,0	-3,6	-2,7	-14,6	6,6	-11,6
15,0	6,3	-28,2	24,4	-4,8	9,3	-80,6	-19,8	13,8	18,1	-4,6	-2,8	-15,3	7,7	-10,6
15,5	6,9	-29,6	23,0	-3,6	9,1	-80,7	-21,1	14,3	16,9	-4,3	-2,8	-16,1	8,6	-10,0
16,0	7,6	-30,6	21,6	-2,8	9,0	-80,3	-22,4	14,7	15,6	-3,8	-2,6	-16,8	9,4	-8,7
16,5	8,6		20,3	-2,6	9,1	-79,0	-23,6	15,3	14,3	-3,4	-2,3	-17,3	9,7	-5,6
17,0	9,8		19,1	-2,8	9,5	-78,2	-24,5	16,1	12,9	-3,5	-1,6	-17,6	9,8	-2,2
17,5			18,0		10,1									
18,0			17,2		11,0									
srednje vrj.	<b>6,3</b>	<b>-24,9</b>	<b>23,6</b>	<b>-6,6</b>	<b>10,0</b>	<b>-80,9</b>	<b>-19,3</b>	<b>13,2</b>	<b>18,0</b>	<b>-4,3</b>	<b>-2,0</b>	<b>-15,4</b>	<b>6,8</b>	<b>-10,9</b>



Slika 6.3 Usporedba prosječnih razlika metode Holtrop-Mennen i modelskog ispitivanja serije "Jelsa" za ukupni otpor  $R_T$  i efektivnu snagu  $P_E$



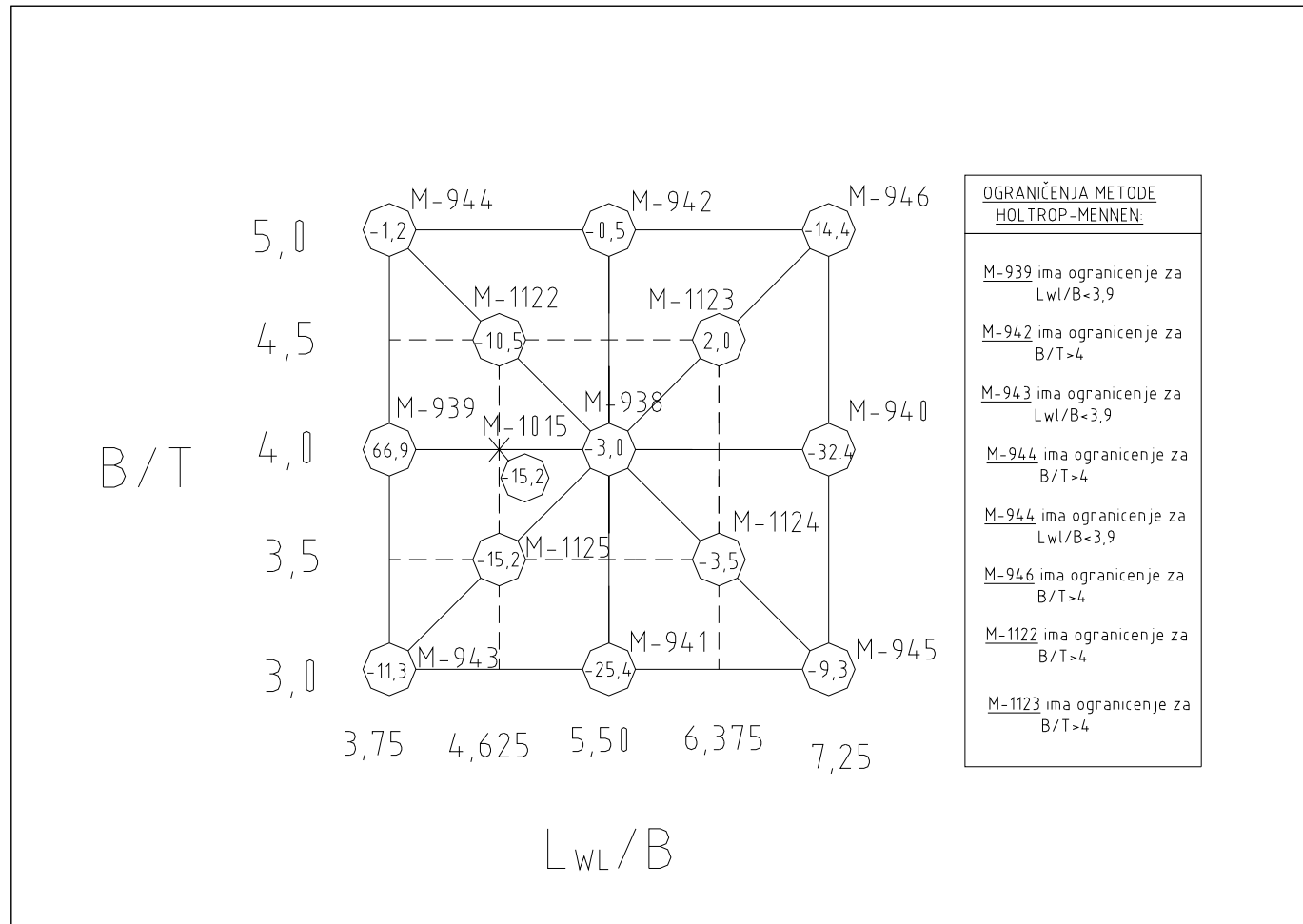
Slika 6.4 3-D prikaz prosječnog odstupanja (%) za  $R_T$  i  $P_E$

### 6.3. KOFICIJENT UPIJANJA

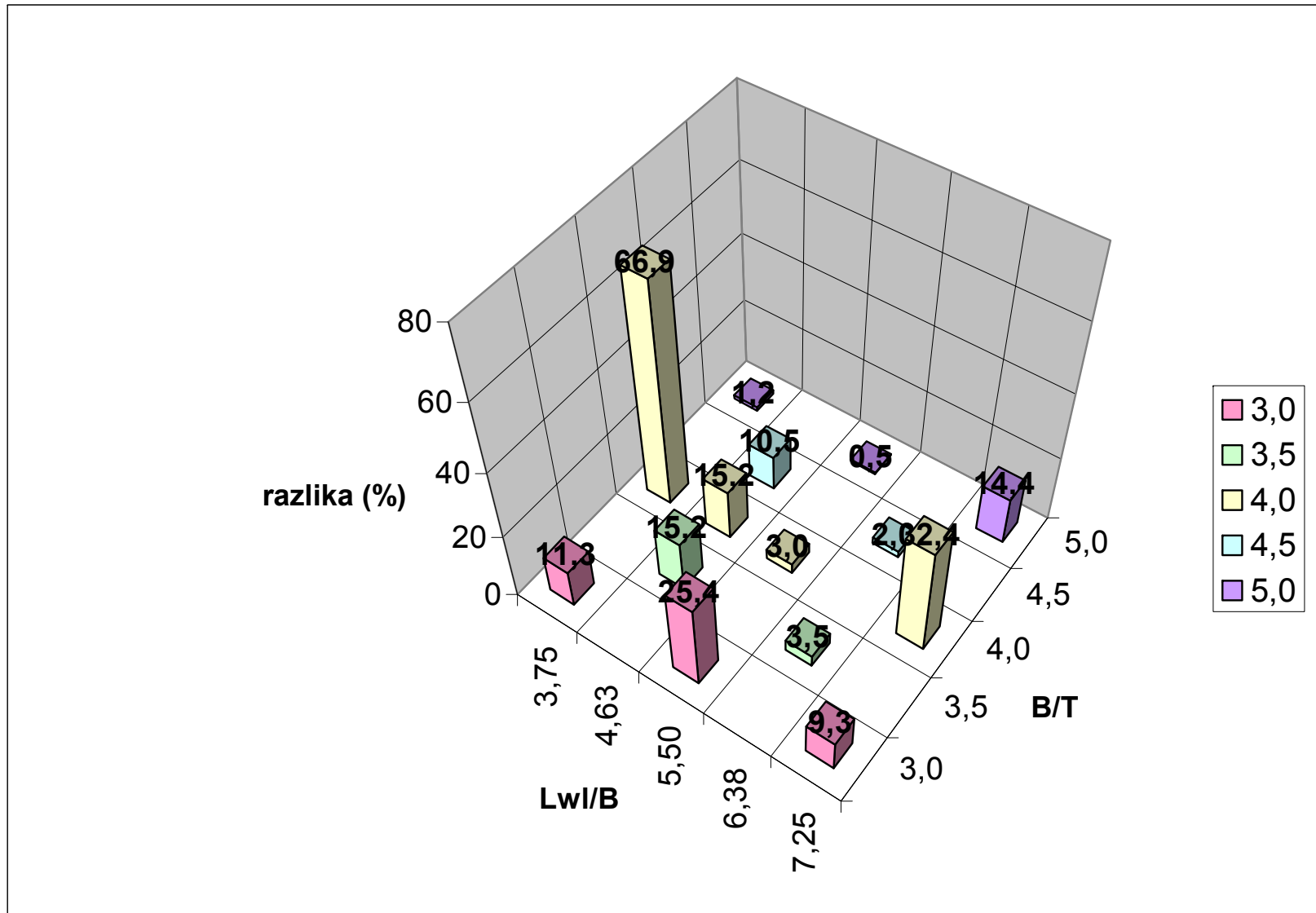
Tablica 6.3 Relativno odstupanje dano u postotku (%) za koeficijente upijanja

v[čv]	t													
	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
12,0	-1,9	-78,4	-51,5	-18,6	-6,7	-8,5	-2,3	-6,2	-24,3	-0,3	-15,7	-0,4	23,5	1,6
12,5	-0,3	-74,1	-42,4	-19,6	-4,2	-8,7	-0,6	1,5	-20,5	-9,8	-13,5	-1,7	21,6	-2,0
13,0	0,2	-70,9	-37,6	-21,3	-1,9	-13,3	-0,6	5,3	-17,9	-16,7	-11,7	-3,7	15,8	-3,7
13,5	0,0	-68,3	-35,6	-24,1	0,3	-19,7	-1,9	3,7	-16,1	-21,8	-10,4	-4,0	7,0	-7,9
14,0	-0,7	-66,1	-35,0	-27,2	2,1	-24,5	-3,1	-0,6	-14,7	-23,5	-9,6	-2,9	-2,4	-11,5
14,5	-1,6	-64,0	-34,7	-30,1	3,5	-24,6	-3,6	-6,3	-13,5	-19,0	-9,1	0,4	-11,5	-13,5
15,0	-2,6	-61,9	-34,1	-32,0	4,2	-21,7	-3,1	-12,0	-12,3	-14,5	-8,9	4,0	-18,4	-15,3
15,5	-3,9	-59,9	-32,6	-32,3	4,3	-16,7	-2,3	-16,1	-11,0	-14,2	-8,8	7,2	-22,4	-16,6
16,0	-5,4	-57,9	-30,4	-30,3	3,6	-8,5	-0,6	-19,9	-9,9	-15,1	-8,9	8,8	-22,7	-21,1
16,5	-7,4	-	-27,5	-25,5	1,9	2,5	1,6	-23,9	-9,3	-16,3	-9,0	8,1	-18,5	-32,0
17,0	-9,8	-	-23,9	-18,3	-0,7	19,1	2,8	-28,3	-9,2	-16,3	-9,4	6,0	-10,1	-45,6
17,5	-	-	-20,0	-	-4,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18,0	-	-	-15,8	-	-8,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
srednje vrij.	<b>-3,0</b>	<b>-66,9</b>	<b>-32,4</b>	<b>-25,4</b>	<b>-0,5</b>	<b>-11,3</b>	<b>-1,2</b>	<b>-9,3</b>	<b>-14,4</b>	<b>-15,2</b>	<b>-10,5</b>	<b>2,0</b>	<b>-3,5</b>	<b>-15,2</b>





Slika 6.5 Usporedba prosječnih razlika metode Holtrop-Mennen i modelskog ispitivanja serije "Jelsa" za koeficijente upijanja  $t$

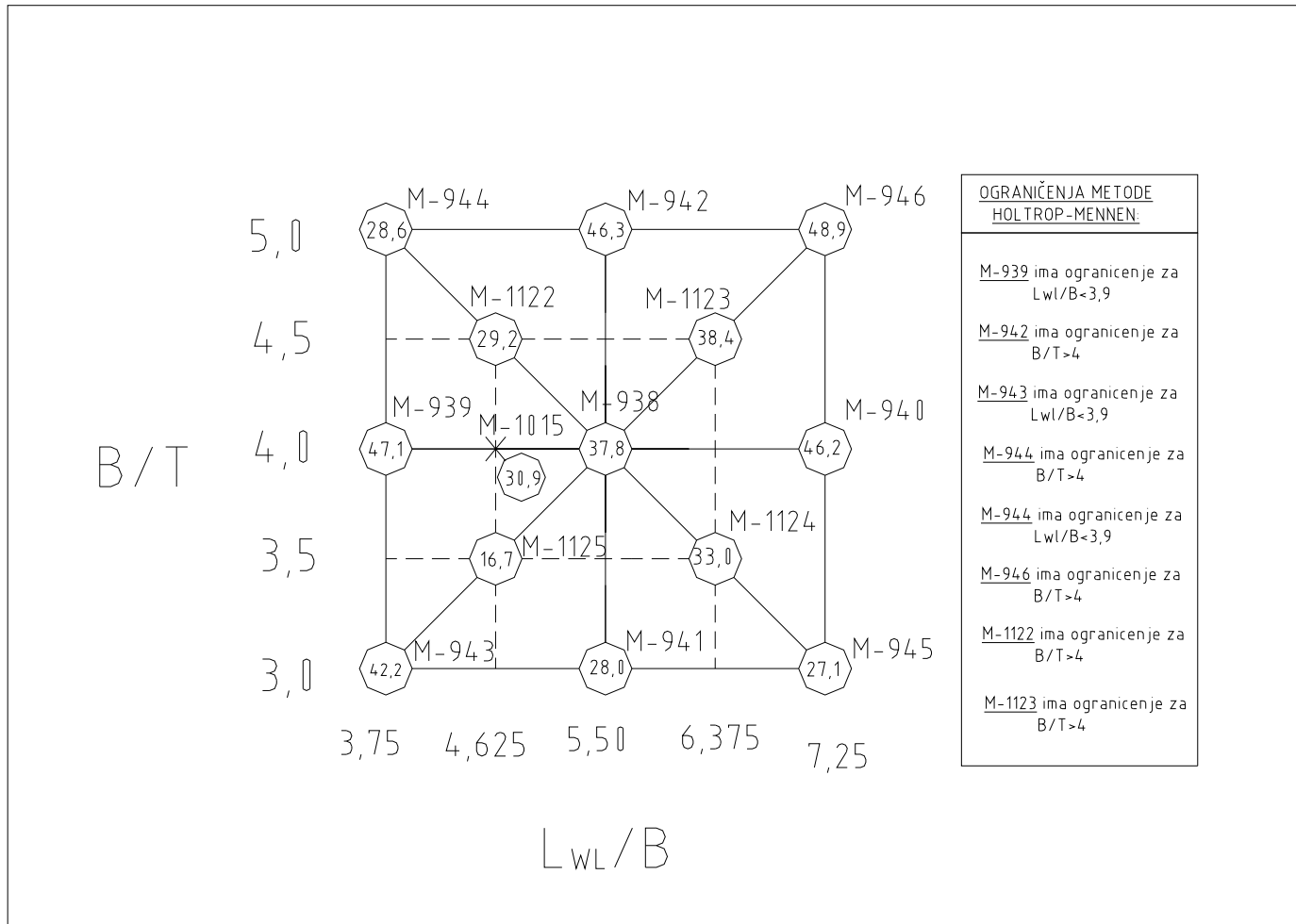


Slika 6.6 3-D prikaz prosječnog odstupanja (%) koeficijenata upijanja  $t$

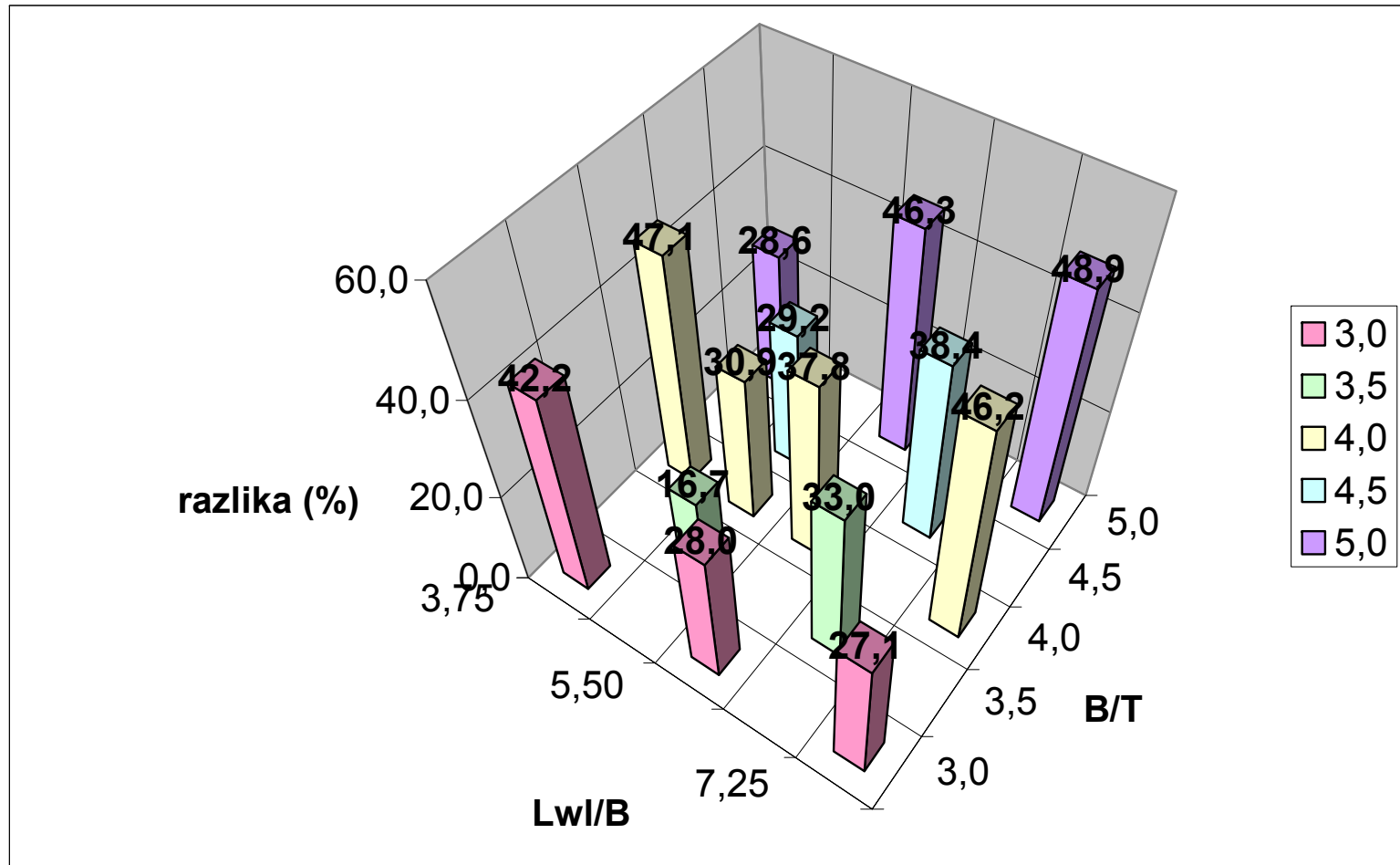
**6.4. EFEKTIVNO SUSTRUJANJE**

Tablica 6.4 Relativno odstupanje dano u postotku (%) za efektivno sustrujanje

v[čv]	w													
	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
12,0	36,36	45,31	43,80	29,36	43,49	33,04	24,26	25,61	46,04	29,36	28,30	36,51	32,36	10,55
12,5	36,76	45,68	43,88	27,43	44,41	33,93	25,97	25,38	47,06	30,35	27,23	37,30	32,01	12,67
13,0	37,12	46,03	44,14	26,54	45,06	35,78	26,55	25,45	47,69	30,89	27,03	37,84	31,85	13,67
13,5	37,47	46,39	44,53	26,35	45,52	38,13	28,30	25,74	48,05	31,13	27,43	38,22	31,88	14,02
14,0	37,77	46,75	45,05	26,62	45,86	40,65	29,04	26,19	48,29	31,16	28,18	38,47	32,06	14,16
14,5	38,03	47,27	45,57	27,18	46,14	43,09	29,57	26,71	48,48	31,11	29,06	38,65	32,37	14,46
15,0	38,24	47,91	46,15	27,85	46,40	45,28	29,93	27,31	48,77	31,03	29,93	38,79	32,83	15,27
15,5	38,40	48,71	46,68	28,52	46,66	47,07	30,13	27,92	49,23	31,00	30,66	38,92	33,39	16,87
16,0	38,52	49,78	47,22	29,06	46,95	48,40	30,21	28,53	50,00	31,04	31,17	39,07	34,07	19,53
16,5	38,60	-	47,74	29,44	47,28	49,19	30,20	29,12	51,15	31,18	31,39	39,24	34,84	23,48
17,0	38,67	-	48,25	29,57	47,70	49,40	30,10	29,67	52,77	31,48	31,29	39,45	35,71	28,88
17,5	-	-	48,77	-	48,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18,0	-	-	49,23	-	48,77	-	-	-	-	-	-	-	-	-
srednje vrij.	<b>37,8</b>	<b>47,1</b>	<b>46,2</b>	<b>28,0</b>	<b>46,3</b>	<b>42,2</b>	<b>28,6</b>	<b>27,1</b>	<b>48,9</b>	<b>30,9</b>	<b>29,2</b>	<b>38,4</b>	<b>33,0</b>	<b>16,7</b>



Slika 6.7 Usporedba prosječnih razlika metode Holtrop-Mennen i modelskog ispitivanja serije "Jelsa" za efektivno sustrujanje  $w$

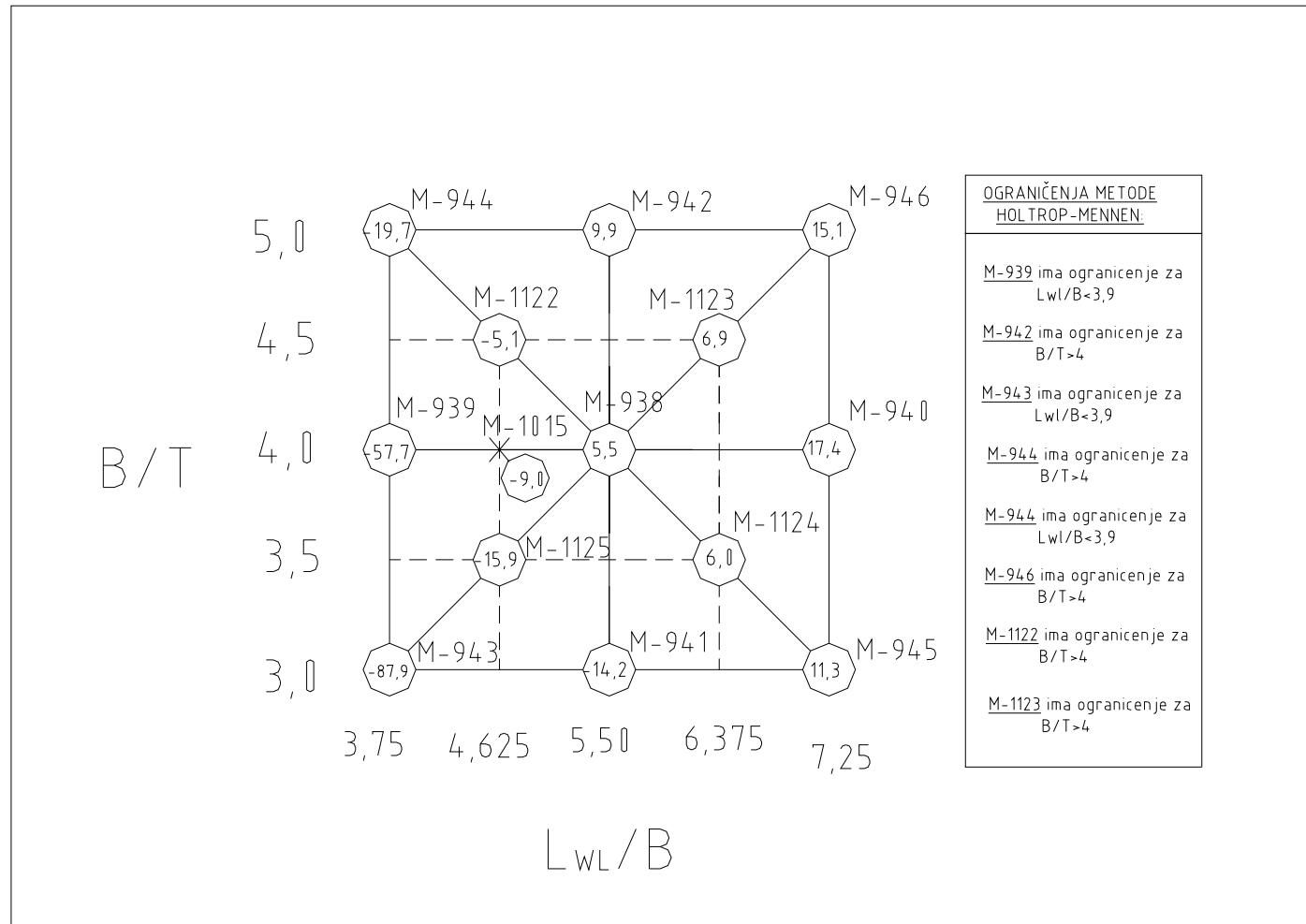


Slika 6.8 3-D prikaz prosječnog odstupanja (%) efektivnog sustrujanja  $w$

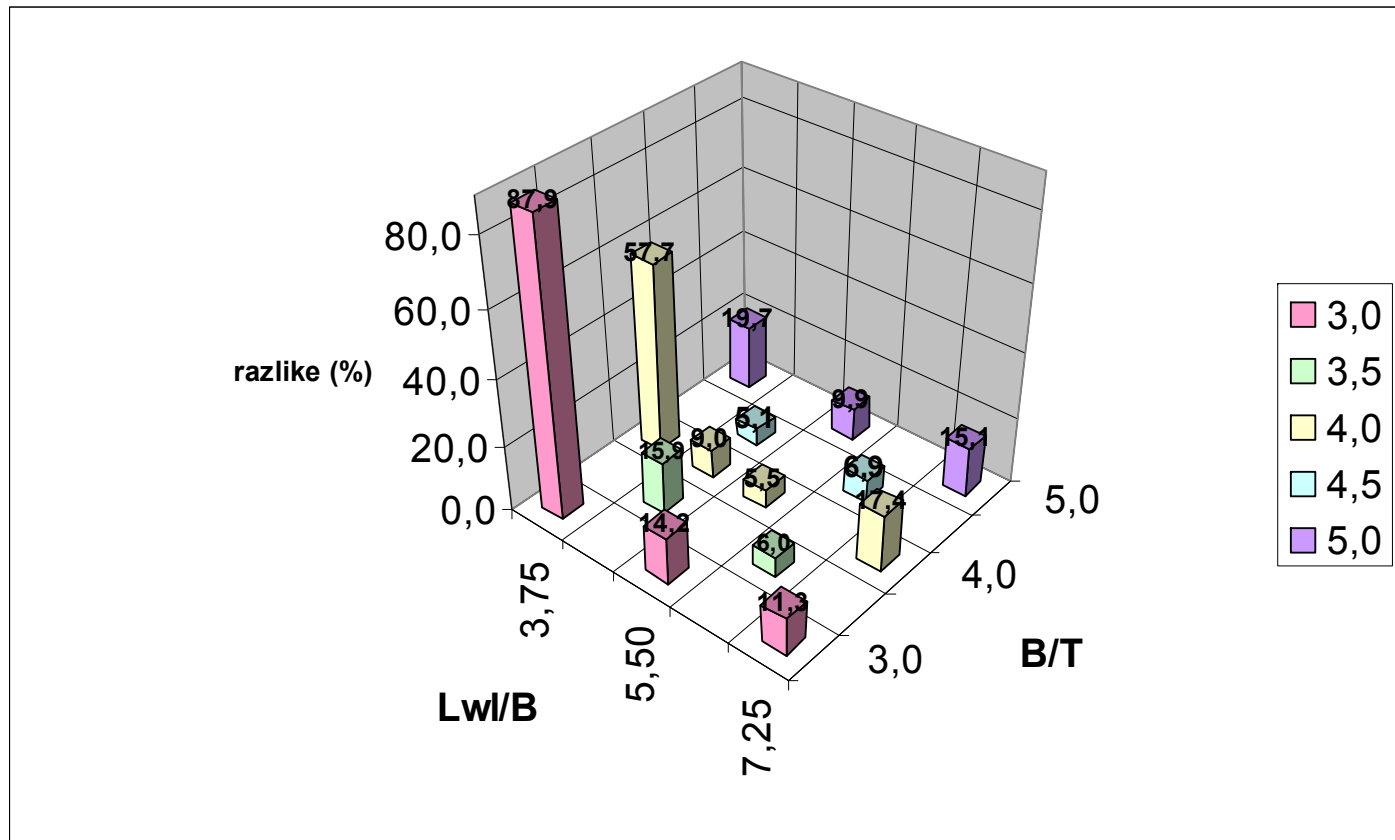
## 6.5. PORIV

Tablica 6.5 Relativno odstupanje dano u postotku (%) za poriv

v[čv]	T													
	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
12,0	3,75	-57,18	18,44	-17,05	9,65	-89,36	-15,68	10,83	15,61	-7,22	-4,99	6,38	10,03	-13,95
12,5	4,38	-56,31	20,17	-17,05	9,97	-89,28	-16,07	11,75	16,45	-9,11	-4,97	7,71	9,09	-15,47
13,0	4,80	-56,21	20,79	-16,89	10,22	-90,79	-16,78	12,18	16,92	-9,95	-5,02	8,30	7,73	-16,25
13,5	5,07	-56,63	20,62	-16,56	10,37	-92,82	-17,73	12,24	17,04	-10,09	-5,14	8,34	6,24	-16,48
14,0	5,27	-57,35	19,92	-16,05	10,43	-94,48	-18,80	12,07	16,85	-9,86	-5,27	8,05	4,90	-16,34
14,5	5,45	-58,14	18,91	-15,33	10,39	-95,01	-19,91	11,75	16,37	-9,45	-5,39	7,53	3,89	-16,00
15,0	5,65	-58,82	17,76	-14,37	10,27	-93,89	-20,97	11,36	15,64	-9,00	-5,45	6,92	3,35	-15,64
15,5	5,94	-59,27	16,62	-13,16	10,09	-90,72	-21,91	10,97	14,71	-8,63	-5,42	6,30	3,39	-15,43
16,0	6,32	-59,32	15,60	-11,69	9,86	-85,30	-22,65	10,64	13,60	-8,40	-5,24	5,75	4,09	-15,54
16,5	6,83	-	14,77	-9,95	9,60	-77,66	-23,14	10,40	12,36	-8,33	-4,89	5,35	5,49	-16,11
17,0	7,49	-	14,20	-7,96	9,34	-68,03	-23,33	10,30	11,03	-8,44	-4,35	5,13	7,59	-17,29
17,5	-	-	13,94	-	9,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18,0	-	-	14,00	-	8,85	-	-	-	-	-	-	-	-	-
srednje vrij.	<b>5,5</b>	<b>-57,7</b>	<b>17,4</b>	<b>-14,2</b>	<b>9,9</b>	<b>-87,9</b>	<b>-19,7</b>	<b>11,3</b>	<b>15,1</b>	<b>-9,0</b>	<b>-5,1</b>	<b>6,9</b>	<b>6,0</b>	<b>-15,9</b>



Slika 6.9 Usporedba prosječnih razlika metode Holtrop-Mennen i modelskog ispitivanja serije "Jelsa" za poriv  $T$



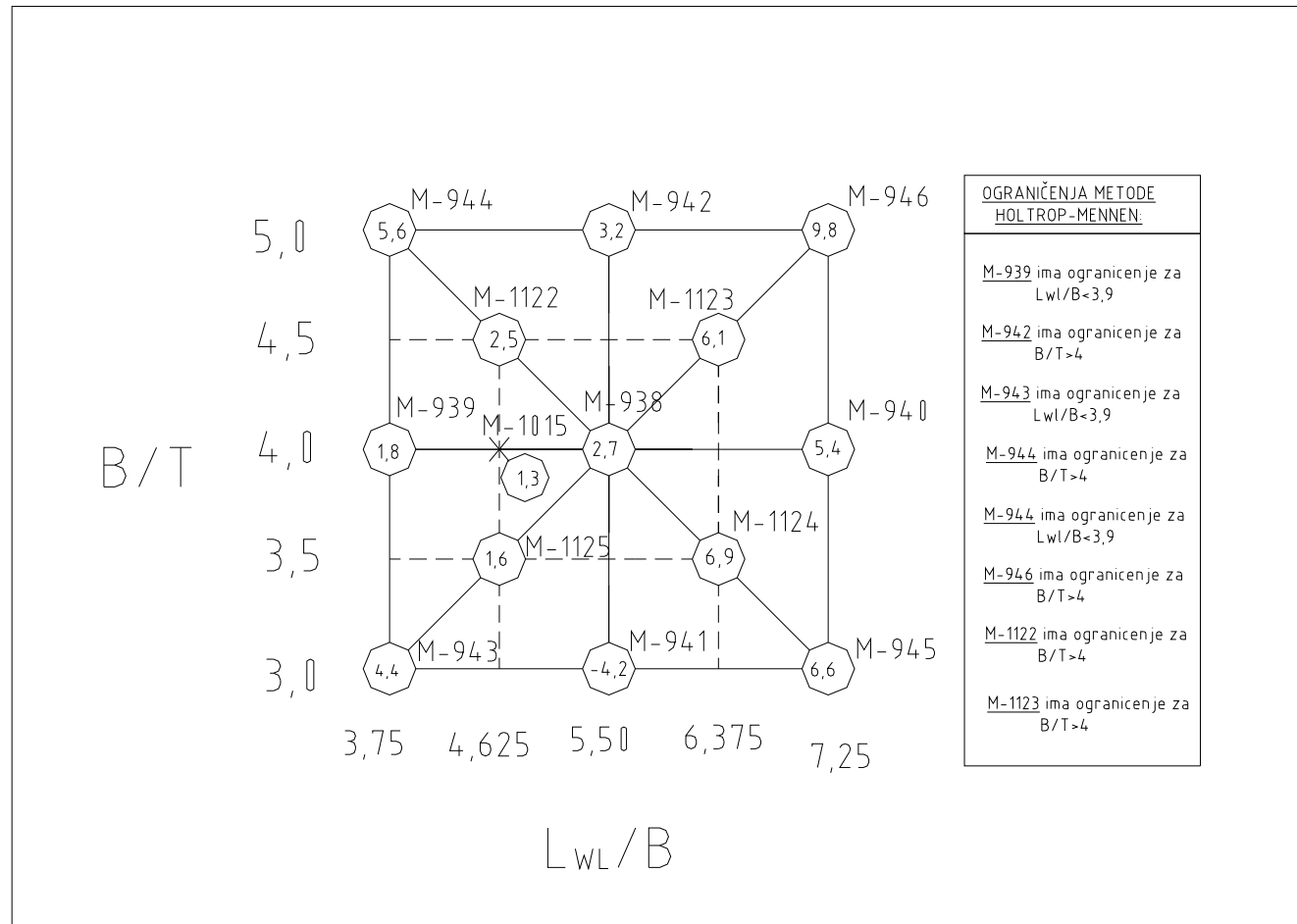
Slika 6.10 3-D prikaz prosječnog odstupanja (%) poriva  $T$



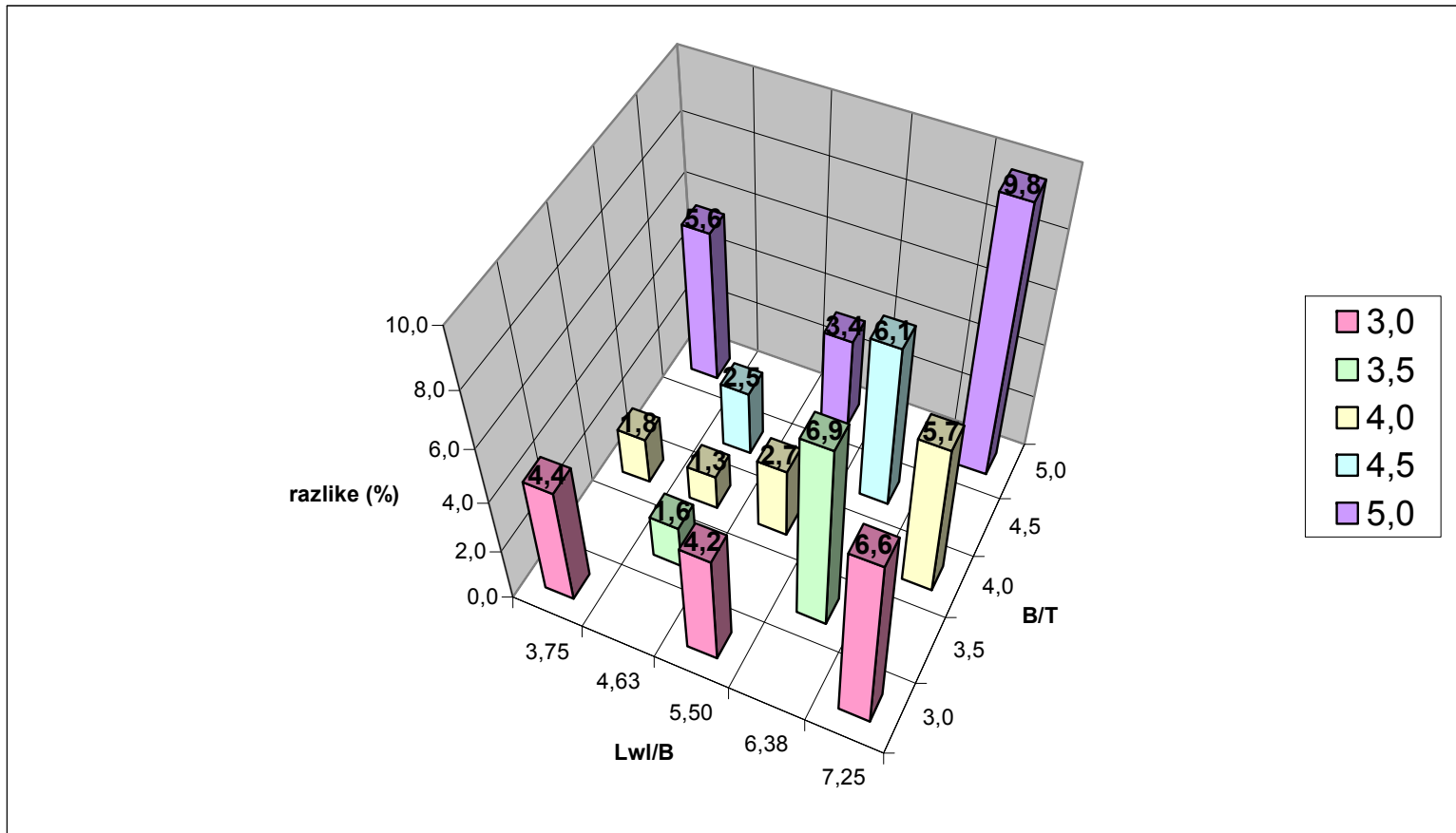
## 6.6. KOEFICIJENT PRIJELAZA

Tablica 6.6 Relativno odstupanje dano u postotku (%) za koeficijent prijelaza

v[čv]	$\eta_R$													
	M-938	M-939	M-940	M-941	M-942	M-943	M-944	M-945	M-946	M-1015	M-1122	M-1123	M-1124	M-1125
12,0	3,7	6,2	7,5	-5,1	4,8	3,3	8,8	10,8	12,3	2,7	5,0	9,2	8,8	4,4
12,5	3,0	2,3	7,4	-3,9	4,4	1,8	7,9	9,3	11,9	1,8	4,6	7,7	8,7	3,0
13,0	2,7	2,1	7,1	-3,4	4,1	1,4	7,1	8,1	11,5	1,2	3,9	6,7	8,5	2,2
13,5	2,5	1,8	6,7	-3,3	3,8	1,7	6,3	7,1	10,9	0,9	3,3	6,2	8,1	1,9
14,0	2,4	1,4	6,2	-3,6	3,5	2,6	5,6	6,3	10,3	1,8	2,6	5,9	7,7	1,7
14,5	2,5	1,0	5,7	-4,0	3,3	3,7	5,1	5,7	9,7	0,8	2,0	5,7	7,2	1,7
15,0	2,5	0,6	5,2	-4,4	3,0	4,9	4,6	5,3	9,1	0,9	1,5	5,6	6,7	1,6
15,5	2,5	0,4	4,7	-4,7	2,8	6,0	4,2	5,0	8,5	1,0	1,2	5,4	6,1	1,4
16,0	2,5	0,1	4,3	-4,8	2,6	7,0	3,9	4,9	8,0	1,1	0,9	5,2	5,5	0,9
16,5	2,5	-	4,0	-4,6	2,5	7,8	3,9	4,8	7,7	1,1	0,9	4,9	4,8	0,2
17,0	2,4	-	3,7	-4,2	2,3	8,5	3,9	4,8	7,5	1,1	1,0	4,4	4,2	-0,9
17,5	-	-	3,6	-	2,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18,0	-	-	3,6	-	2,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
srednje vrij.	2,7	1,8	5,4	-4,2	3,2	4,4	5,6	6,6	9,8	1,3	2,5	6,1	6,9	1,6



Slika 6.11 Usporedba prosječnih razlika metode Holtrop-Mennen i modelskog ispitivanja serije "Jelsa" za koeficijent prijelaza  $\eta_R$



Slika 6.12 3-D prikaz prosječnog odstupanja (%) koeficijenta prijelaza  $\eta_R$

## 7. ANALIZA REZULTATA DOBIVENIH USPOREDBOM METODE HOLTROP-MENNEN I MODELSKOG ISPITIVANJA SERIJE "JELSA"

Usporedbe metoda su napravljene u rasponu Froudeovih brojeva  $F_n = 0.11 \div 0.22$ , te unutar tog raspona prosječna odstupanja vrijednosti za pojedini model su mala i nije primjećena povezanost odstupanja tih vrijednosti s porastom Froudeovog broja.

### ANALIZA USPOREDBE ZA:

#### a) faktor forme ( $I+k$ )

Odstupanja rezultata oko osnovnog modela M-938 su oko 10%. Nesto veća odstupanja javljaju se kod pojedinih modela na granicama serije "Jelsa". Najveće odstupanje je kod modela M-943 (22,4%).

#### b) ukupni otpor $R_T$ i efektivnu snagu $P_E$

Za modele čija su odstupanja rezultata unutar 10%, možemo smatrati odličnim poklapanjem.

Za modele čije je odstupanje rezultata između 10-20%, analiza prema metodi Holtrop-Mannen može poslužiti u preprojektnoj fazi, ali se preporučuje korištenje neke druge metode ako su potrebne veće točnosti rezultata.

Za modele čije je odstupanje rezultata preko 20%, metoda Holtrop-Mannen nije primjenjiva. U tu skupinu spadaju modeli M-939 i M-940 i M-943.

Međutim, treba naglasiti da se veliko odstupanje rezultata (za čak 80-ak %) dobilo za model M-943. Taj model je na granici serije "Jelsa" s omjerima:

$$\frac{L_{WL}}{B} = 3,75$$

$$\frac{B_{WL}}{T} = 3,0$$

Analizom rezultata za ukupni otpor i efektivnu snagu primjećene su manje razlike oko osnovnog modela M-938 koje se prema granicama serije "Jelsa" povećavaju, što je i očekivano.

#### c) koeficijent upijanja $t$

Odstupanja rezultata oko osnovnog modela M-938 su uglavnom manja. Nešto veća odstupanja javljaju se kod pojedinih modela na granicama serije "Jelsa" i to kod modela M-939, M-940 i M-941. Najveće odstupanje je primjećeno kod modela M-939 (70%).

#### d) efektivno sustrujanje $w$

Vrijednosti sustrujanja dobivene metodom Holtrop-Mennen su značajno precijenjene za sve modele serije "Jelsa" i to prosječno za oko 35% .

Mogući razlog manjih vrijednosti sustrujanja serije "Jelsa" jest "Leptir forma" krme s krmenim bulbom koja je razvijena u Brodarskom institutu u Zagrebu posebno za brodove s ograničenim gazom tj. velikim omjerom širine i gaza broda.

Ta forma krme je izglađena po uzdužnicama, jer se strujanje oko forme odvija približno po tim krivuljama. Zakrivljenost strujnica se na taj način smanjuje, te ovakva forma krme rezultira ravnomjernijim rasporedom sustrujanja i većom brzinom strujanja vode u gornjem dijelu diska vijka. Srednje nominalno sustrujanje preko diska vijka je znatno manje nego što je to kod klasičnih formi.

Zbog velikih vrijednosti odstupanja metode Holtrop-Mennen i modelskih ispitivanja serije "Jelsa" za vrijednosti sustrujanja, izvršena je kontrola metode koristeći brodove :

M-1280 Aframax tanker  
M-1263 tanker i  
M-1269 car carrier

U tablici 7.1 prikazane su vrijednosti odstupanja metode Holtrop-Mennen i modelskog ispitivanja za efektivno sustrujanje  $w$  za gore navedene kontrolne brodove.

(Glavne značajke kontrolnih brodova i usporedba ostalih veličina dana je u PRILOGU I)

Tablica 7.1 Odstupanje dano u postotku (%) za efektivno sustrujanje  $w$

	Holtrop-Mannen	modelska isp.	razlike (%)
<b>M-1280</b>	0,4798	0,4212	12,2
<b>M-1263</b>	0,4360	0,4556	-4,5
<b>M-1269</b>	0,2908	0,3068	-5,5

Vrijednosti odstupanja za dane brodove su zadovoljavajuće osim za M-1280 kod kojeg se pojavljuje nešto veće odstupanje.

M-1280 i M-1263 po svojim dimenzijama i značajkama su sličniji nekim hipotetičkim brodovima serije "Jelsa" nego model M-1296, te također imaju veće vrijednosti sustrujanja.

Međutim poklapanja s modelskim ispitivanjima su zadovoljavajuća, što dovodi do zaključka da je optimiziranje forme brodova serije "Jelsa" ("Leptir forma" krme s krmenim bulbom) dovelo do manjih vrijednosti sustrujanja dobivenih modelskim ispitivanjima, te je time uzrokovano veliko odstupanje od rezultata metode Holtrop-Mennen.

#### e) poriv $T$

Budući da poriv  $T$  direktno ovisi o ukupnom otporu  $R_T$  i koeficijentu upijanja  $t$ , vrijednosti odstupanja kod pojedinih modela su slične. Manja odstupanja se javljaju oko osnovnog modela M-938 koje se prema granicama serije "Jelsa" povećavaju.

Najveće odstupanje se javlja kod modela M-943 (oko 90%).

**f) koeficijent prijelaza  $\eta_R$**

Relativna odstupanja kod svih modela su unutar 10% , s time da modeli oko osnovnog M-938 pokazuju manja odstupanja.

Model M-1125 s omjerima  $\frac{L_{WL}}{B} = 4,625$  i  $\frac{B}{T} = 3,5$  je jedini model gdje su za sve uspoređene vrijednosti dobivena zadovoljavajuća odstupanja.

**7.1. OGRANIČENJA METODE HOLTROP-MENNEN**

Modeli koji odstupaju, uglavnom odstupaju po jednom kriteriju od ukupno četiri:

1.  $Fn > 0,65$

2.  $C_p < 0,55$

$C_p > 0,85$

3.  $B_{WL}/T < 2,1$

$B_{WL}/T > 4,0$

4.  $L_{WL}/B < 3,9$

$L_{WL}/B < 14,9$

i to zbog ograničenja primjenjivosti metode Holtrop-Mennen na neke iznose omjera  $\frac{L_{WL}}{B}$  i  $\frac{B_{WL}}{T}$ .

Ipak, metoda je primjenjena i na te modele. Analizom rezultata nije uočena ovisnost točnosti rezultata uspoređenih metoda o ograničenjima metode Holtrop-Mennen.

## 8. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazani su rezultati mjerenja modelskih ispitivanja serije "Jelsa" preračunatih za odgovarajuće hipotetičke brodove.

Serijska "Jelsa" je razvijena u Brodarskom institutu u Zagrebu u okviru projekta "Istraživanje optimalnih formi širokih brodova malog gaza".

Također je izrađen program za izračun otpora broda i propulzijskih značajki hipotetičkih brodova serije "Jelsa" prema statističkoj metodi Holtrop-Mennen. U pretprojektnoj fazi veliki broj projekata koristi upravo ovu metodu za predviđanje hidrodinamičkih značajki broda, te je stoga zanimljivo provjeriti stupanj primjenjivosti ove metode na forme brodova velike širine i malog gaza.

Rezultati dobiveni temeljem modelskih ispitivanja, a preračunati prema metodi ITTC-1957 na hipotetičke brodove i rezultati dobiveni metodom Holtrop-Mennen su uspoređeni.

Analizom usporedbe može se konstatirati da je metoda Holtrop-Mennen primjenjiva za pune brodove velike širine i malog gaza uz zadržku, da ukoliko brod ima omjere  $\frac{L_{WL}}{B}$  i  $\frac{B_{WL}}{T}$  blizu graničnih vrijednosti serije "Jelsa", može se očekivati veće odstupanje.

Pokazalo se da metoda Holtrop-Mennen nije primjenjiva, radi velikog odstupanja u rezultatima metoda za određivanje otpora broda, za model M-943 čiji omjeri iznose  $\frac{L_{WL}}{B} = 3,75$  i  $\frac{B_{WL}}{T} = 3,0$ .

To je model na granici serije "Jelsa"s nekarakterističnim omjerima za brodove tipičnih formi, te je stoga ovo odstupanje očekivano.

## **9. LITERATURA**

- [1] Istraživanje optimalnih formi širokih brodova malog gaza, Interni izvještaj, Brodarski institut, Zagreb, 1990.
- [2] Hadžić, N., Određivanje faktora forme serije punih brodova velike širine i malog gaza, Završni projekt, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2007, p. 123.
- [3] Holtrop, J. and Mennen, G.G.J., 'A statistical power prediction method' , International Shipbuilding Progress, Vol.25, October 1978.
- [4] Holtrop, J. and Mennen, G.G.J., 'An approximate power prediction method' , International Shipbuilding Progress, Vol.29, July 1982.
- [5] Holtrop, J. 'A statistical re-analysis of resistance and propulsion data' , International Shipbuilding Progress



PRILOG I

## KONTROLA METODE HOLTROP-MENNEN

Brodovi koji služe kao kontrola metode Holtrop-Mennen su:

M-1280 Aframax tanker

M-1263 tanker

M-1269 car carrier

Tablica I. 1 Glavne značajke i dimenzije kontrolnih brodova, puno opterećenje

	<b>M-1280</b>	<b>M-1263</b>	<b>M-1269</b>
$L_{WL}$ [m]	246,00	164,47	200,96
$B$ [m]	42,00	26,40	32,26
$T$ [m]	13,5	9,0	9,4
$T_A$ [m]	13,5	9,0	9,4
$T_F$ [m]	13,5	9,0	9,4
$V$ [m <sup>3</sup> ]	110025	30556	38861
$C_B$	0,822	0,800	0,651
$C_M$	0,996	0,994	0,988
$C_P$	0,825	0,805	0,659
$C_W$	0,881	0,871	0,799
$lcb$ [% $L_{pp}$ ]	2,325	1,559	-0,520
$L_{WL} / B_{WL}$	<b>5,86</b>	<b>6,23</b>	<b>6,23</b>
$B_{WL} / T$	<b>3,11</b>	<b>2,93</b>	<b>3,43</b>

Tablica I. 2 Značajke vijaka kontrolnih brodova

	<b>M-1280</b>	<b>M-1263</b>	<b>M-1269</b>
$D$ [m]	6,881	5,15	7,12
$A_E / A_0$	0,525	0,587	0,595

Usporedbe vrijednosti dobivenih modelskim ispitivanjima i metodom Holtrop-Mennen dane su u slijedećim tablicama:

Tablica I. 3 Tablica usporedbe za M-1280 pri brzini  $v=15$  čv (  $Fn =1,571$  )

<b>M-1280</b>	Holtrop-Mannen	modelska isp.	razlike (%)
$R_T$	1065,7	927,6	13,0
$P_E$	8222,8	7157	13,0
$t$	0,2132	0,2089	2,0
$w$	0,4798	0,4212	12,2
$\eta_R$	1,0186	1,0142	0,4

Tablica I. 4 Tablica usporedbe za M-1263 pri brzini  $v= 15$  čv (  $Fn =0,1921$  )

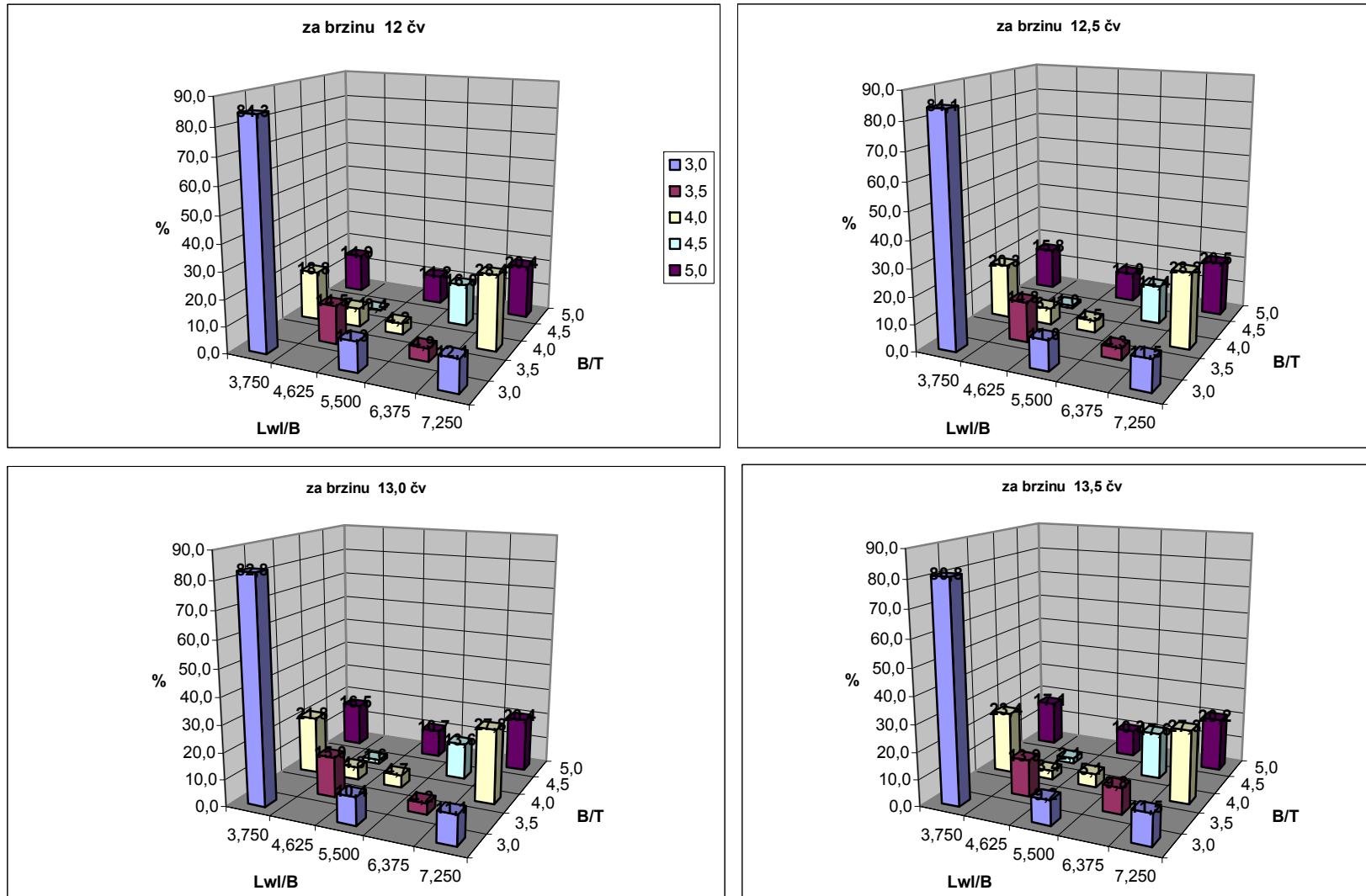
<b>M-1263</b>	Holtrop-Mannen	modelska isp.	razlike (%)
$R_T$	567,1	507	10,6
$P_E$	4375,5	3912	10,6
$t$	0,2015	0,2083	-3,4
$w$	0,4360	0,4556	-4,5
$\eta_R$	1,0146	0,9663	4,8

Tablica I. 5 Tablica usporedbe za M-1269 pri brzini  $v= 15$  čv (  $Fn =0,2443$  )

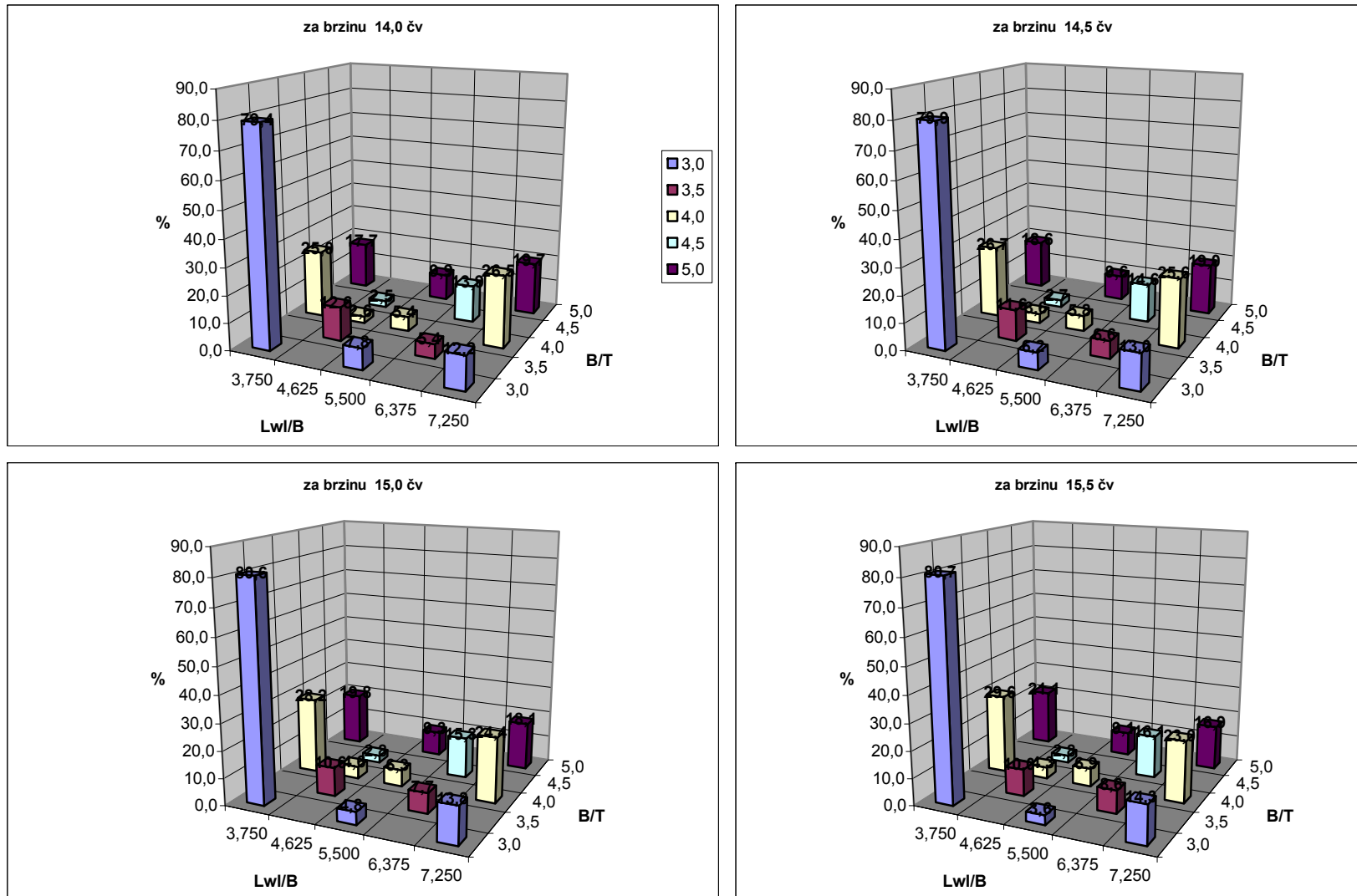
<b>M-1269</b>	Holtrop-Mannen	modelska isp.	razlike (%)
$R_T$	567,1	507	10,59
$P_E$	4375,5	3912	10,59
$t$	0,2015	0,2083	-3,37
$w$	0,4360	0,4556	-4,49
$\eta_R$	1,0146	0,9663	4,77

PRILOG II

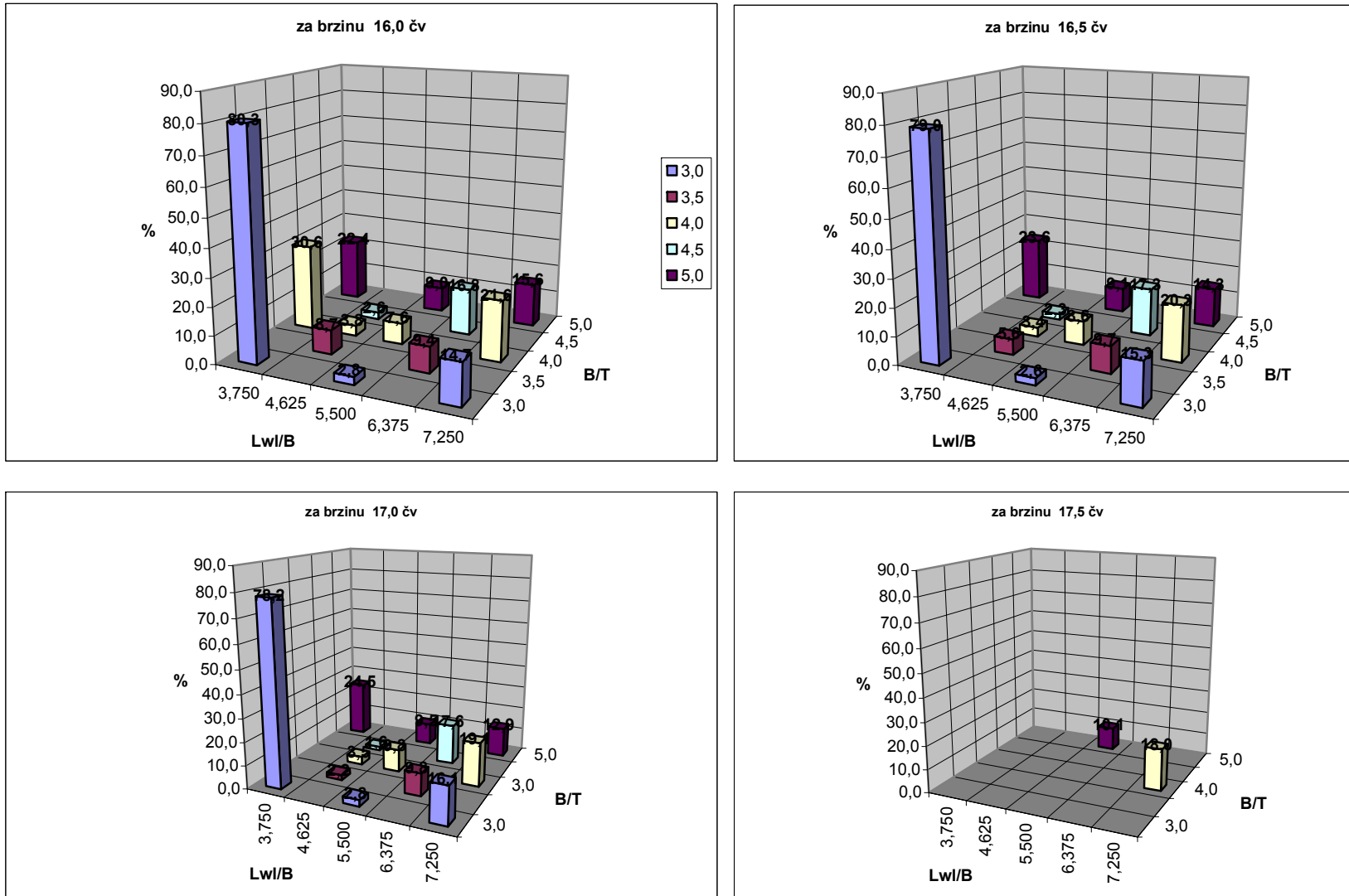
Slika II.1 3-D prikaz odstupanja metoda (%) za ukupni otpor  $R_T$  i efektivnu snagu  $P_E$  za određene brzine v



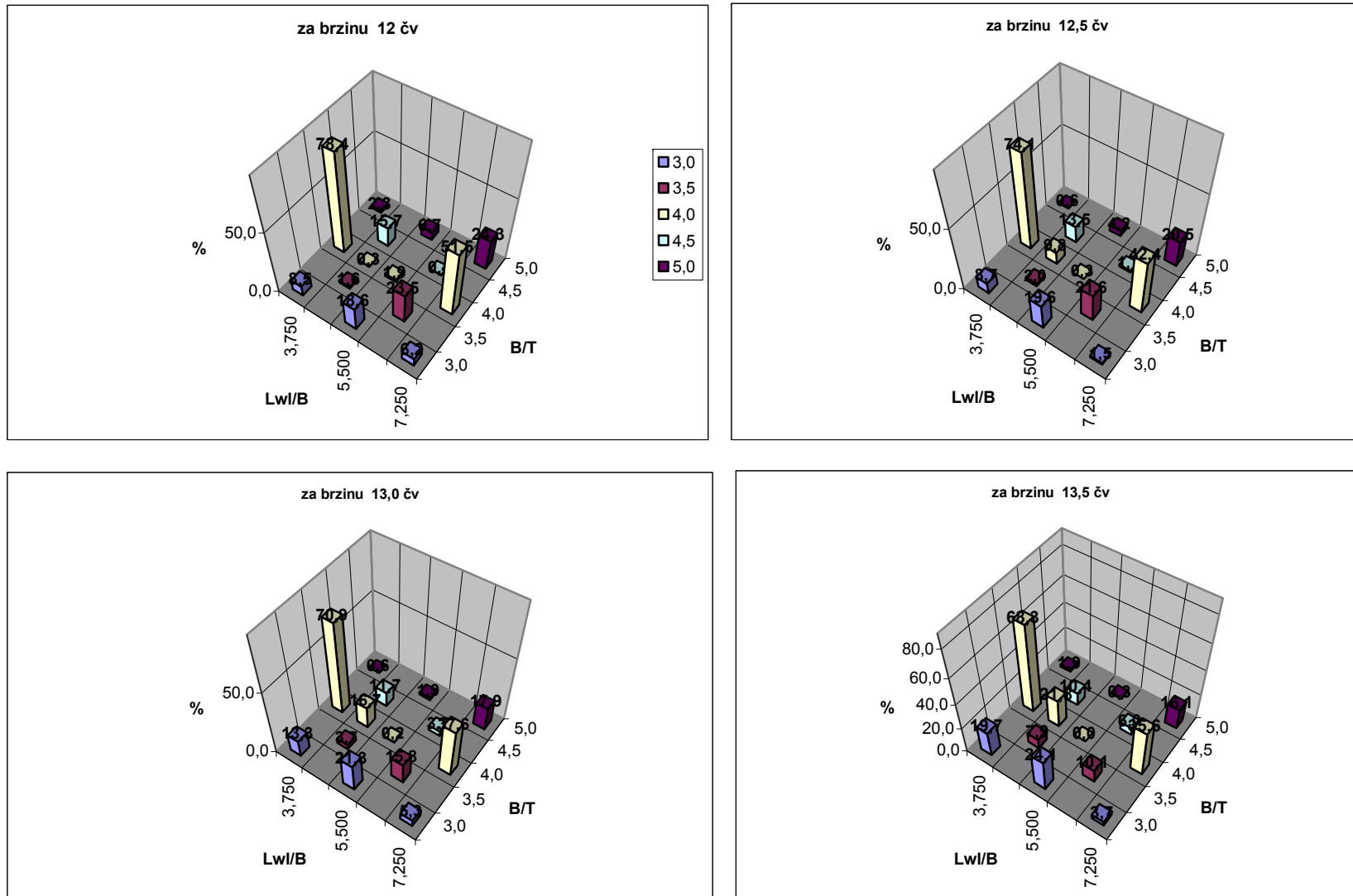
Slika II.2 3-D prikaz odstupanja metoda (%) za ukupni otpor  $R_T$  i efektivnu snagu  $P_E$  za određene brzine v



Slika II.3 3-D prikaz odstupanja metoda (%) za ukupni otpor  $R_T$  i efektivnu snagu  $P_E$  za određene brzine v

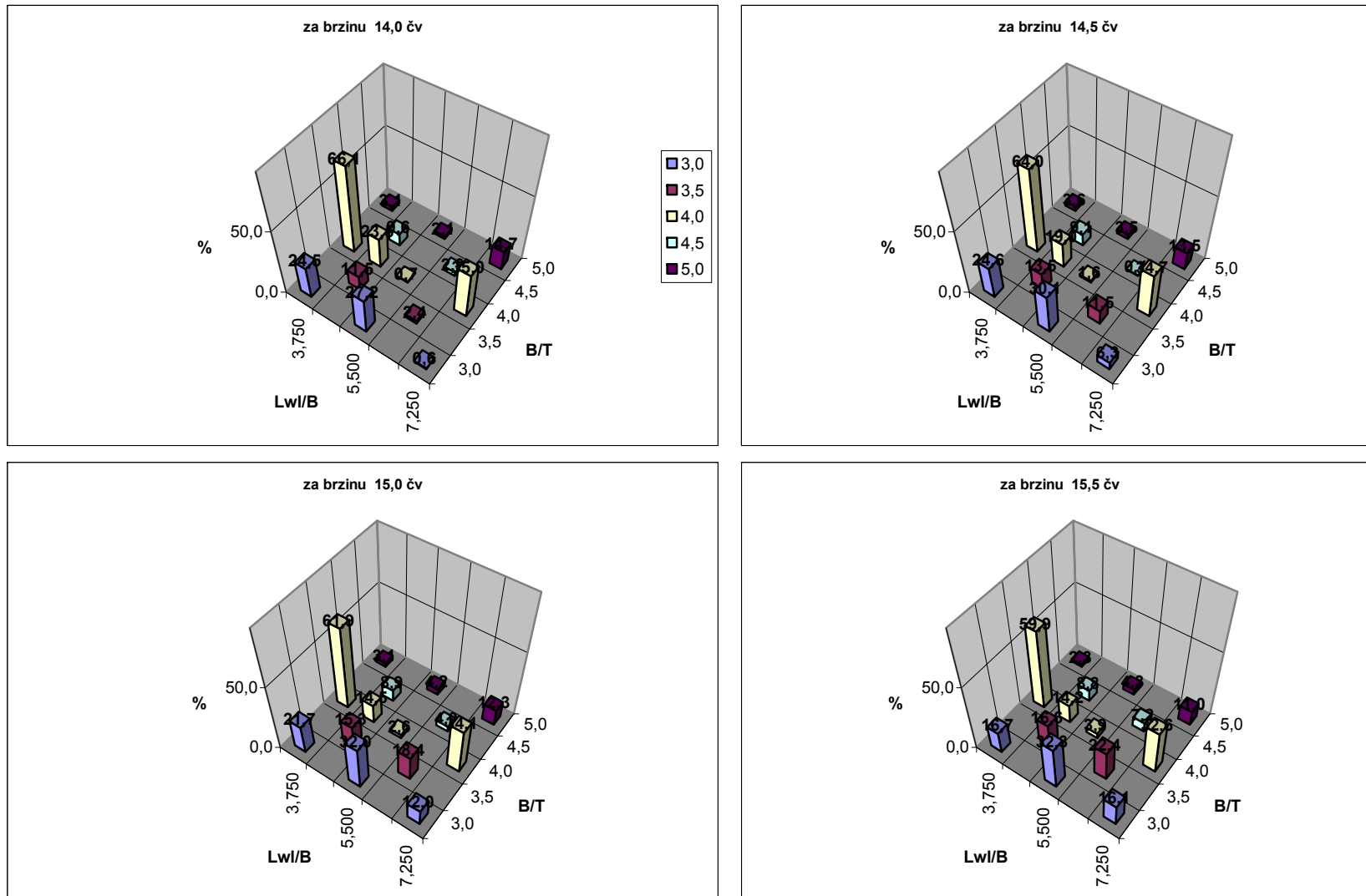


Slika II.4 3-D prikaz odstupanja metoda (%) za koeficijente upijanja  $t$  za određene brzine  $v$

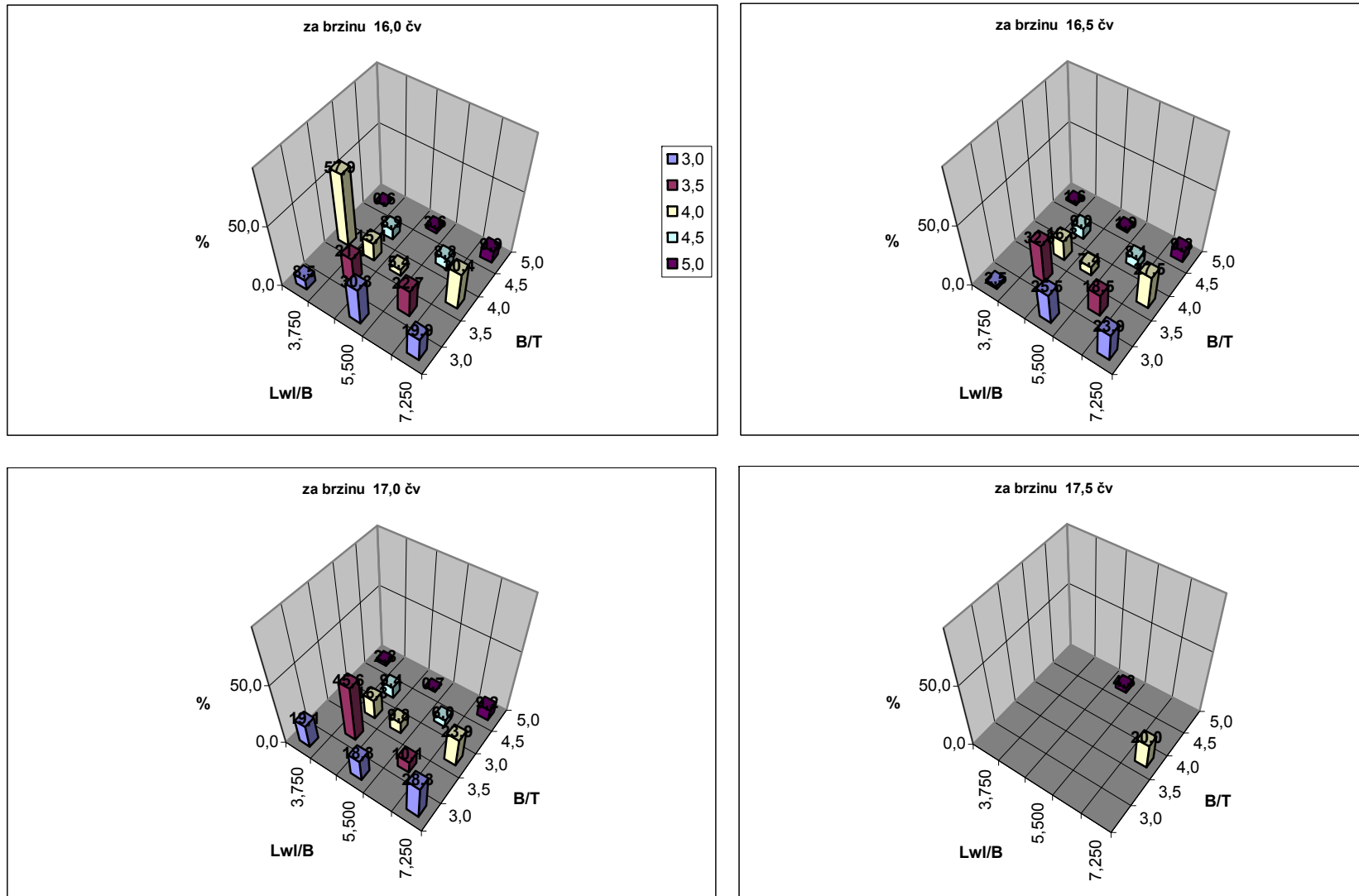




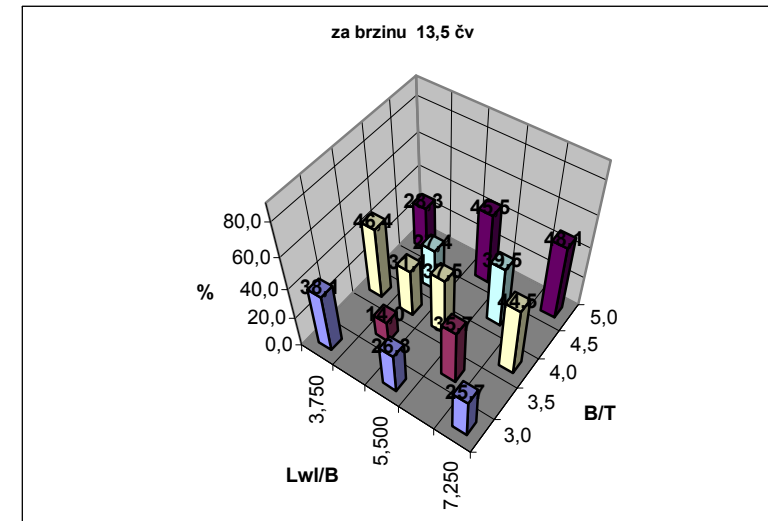
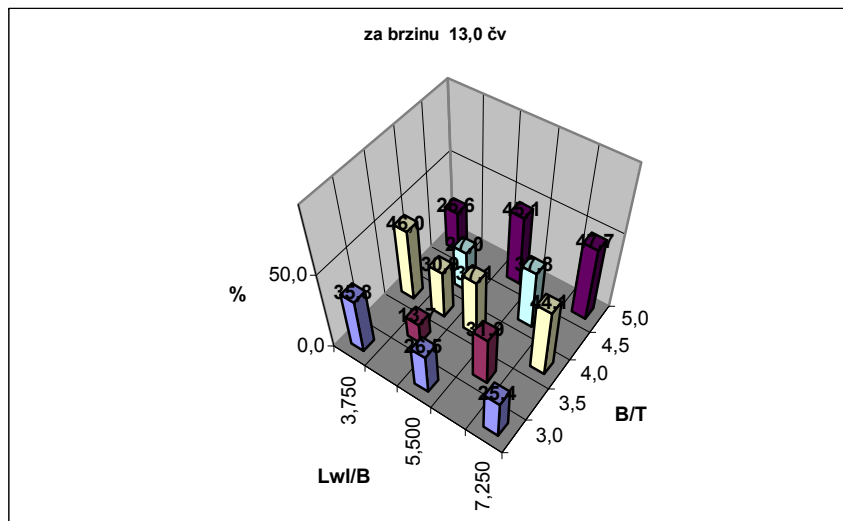
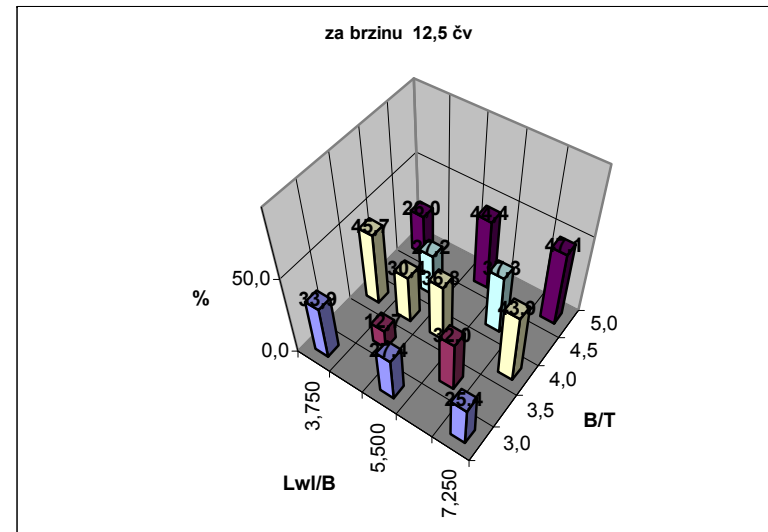
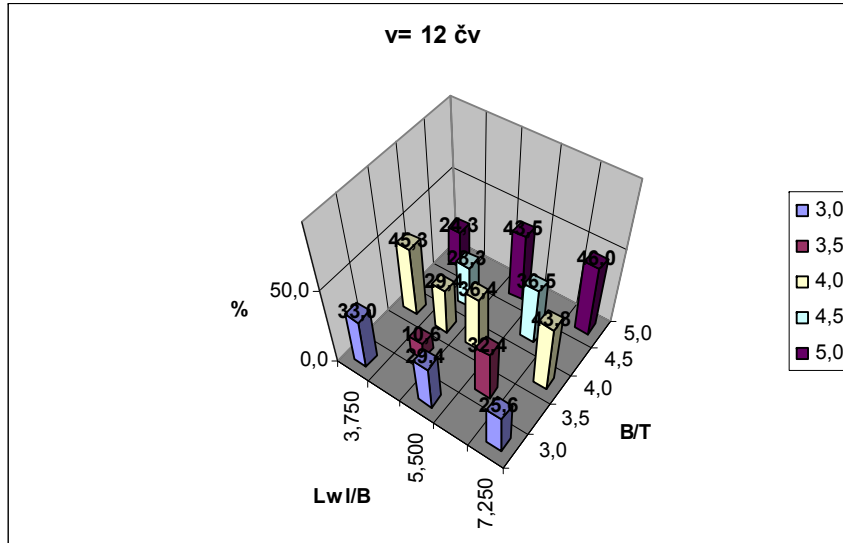
Slika II.5 3-D prikaz odstupanja metoda (%) za koeficijente upijanja  $t$  za određene brzine  $v$



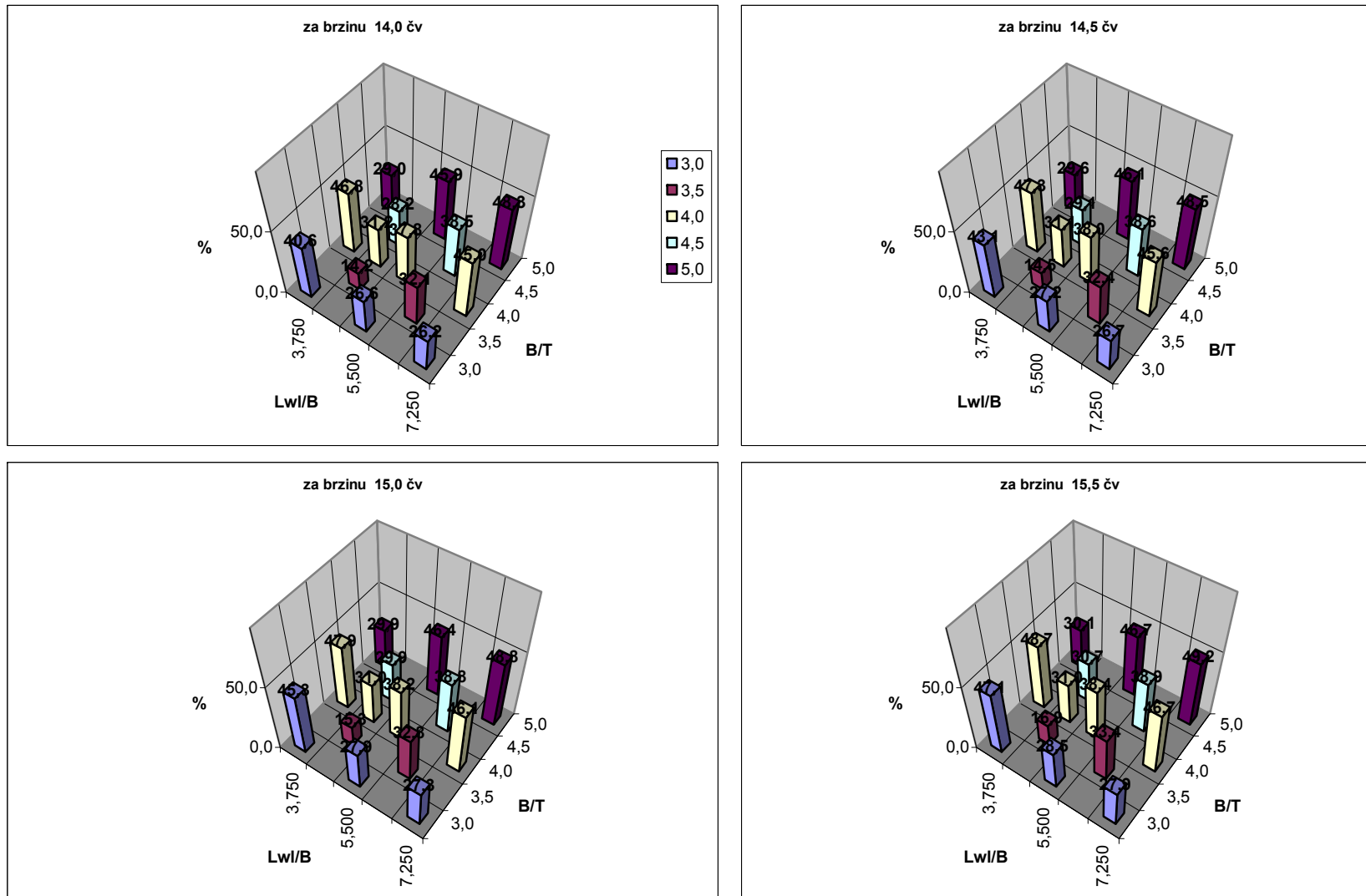
Slika II.6 3-D prikaz odstupanja metoda (%) za koeficijente upijanja  $t$  za određene brzine  $v$



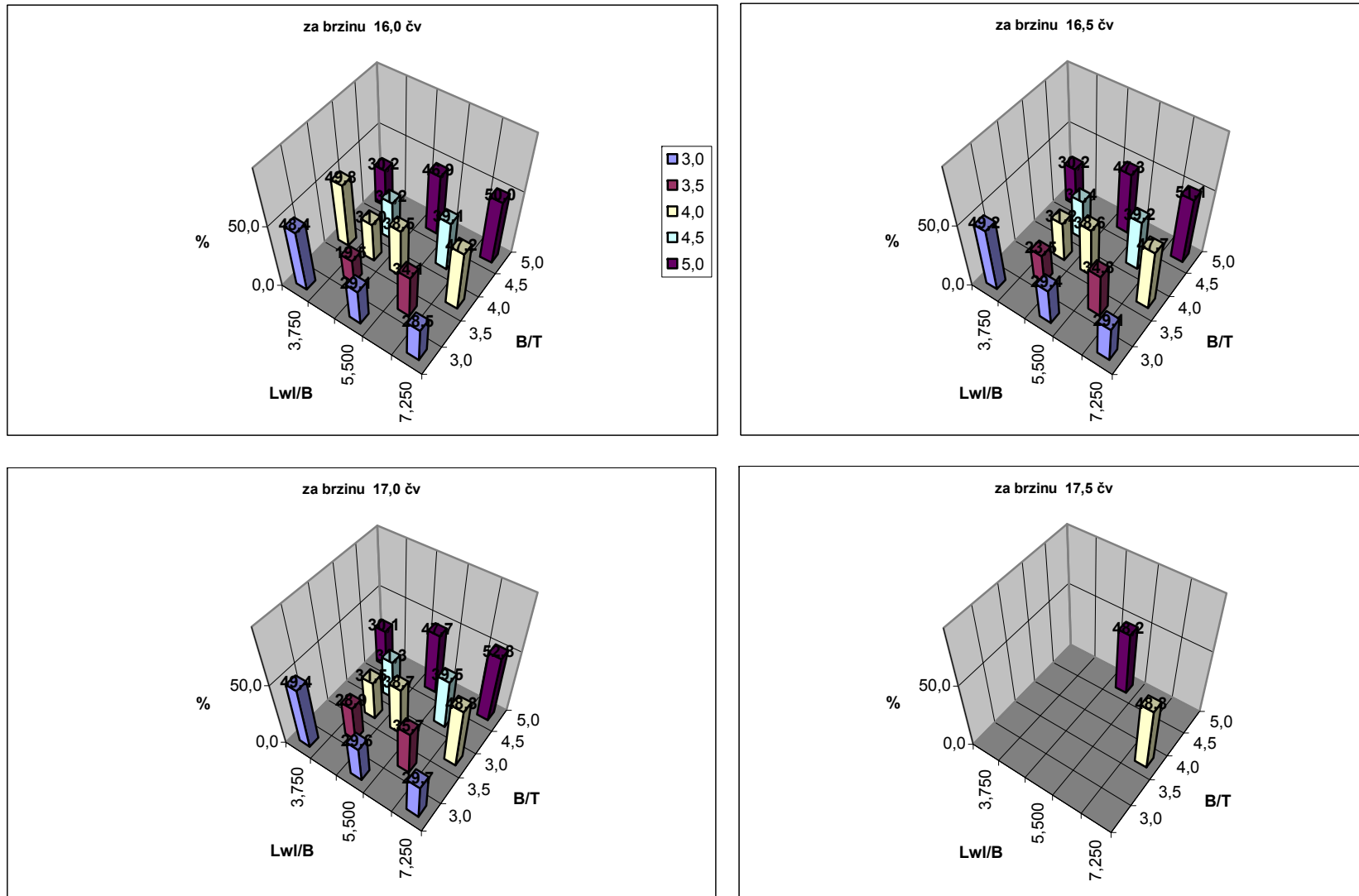
Slika II.7 3-D prikaz odstupanja metoda (%) za sustrujanje  $w$  za određene brzine  $v$



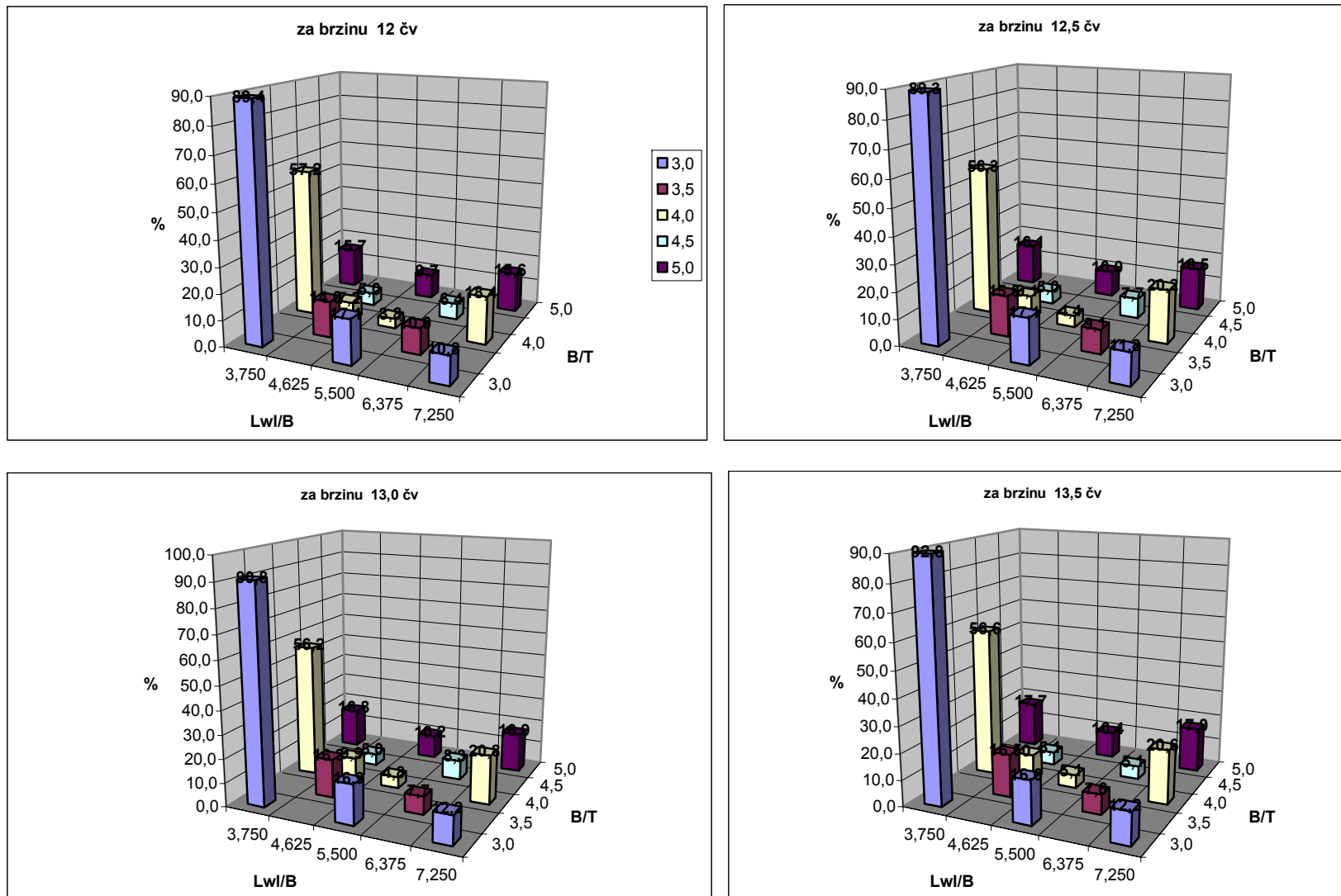
Slika II.8 3-D prikaz odstupanja metoda (%) za sustrujanje  $w$  za određene brzine  $v$



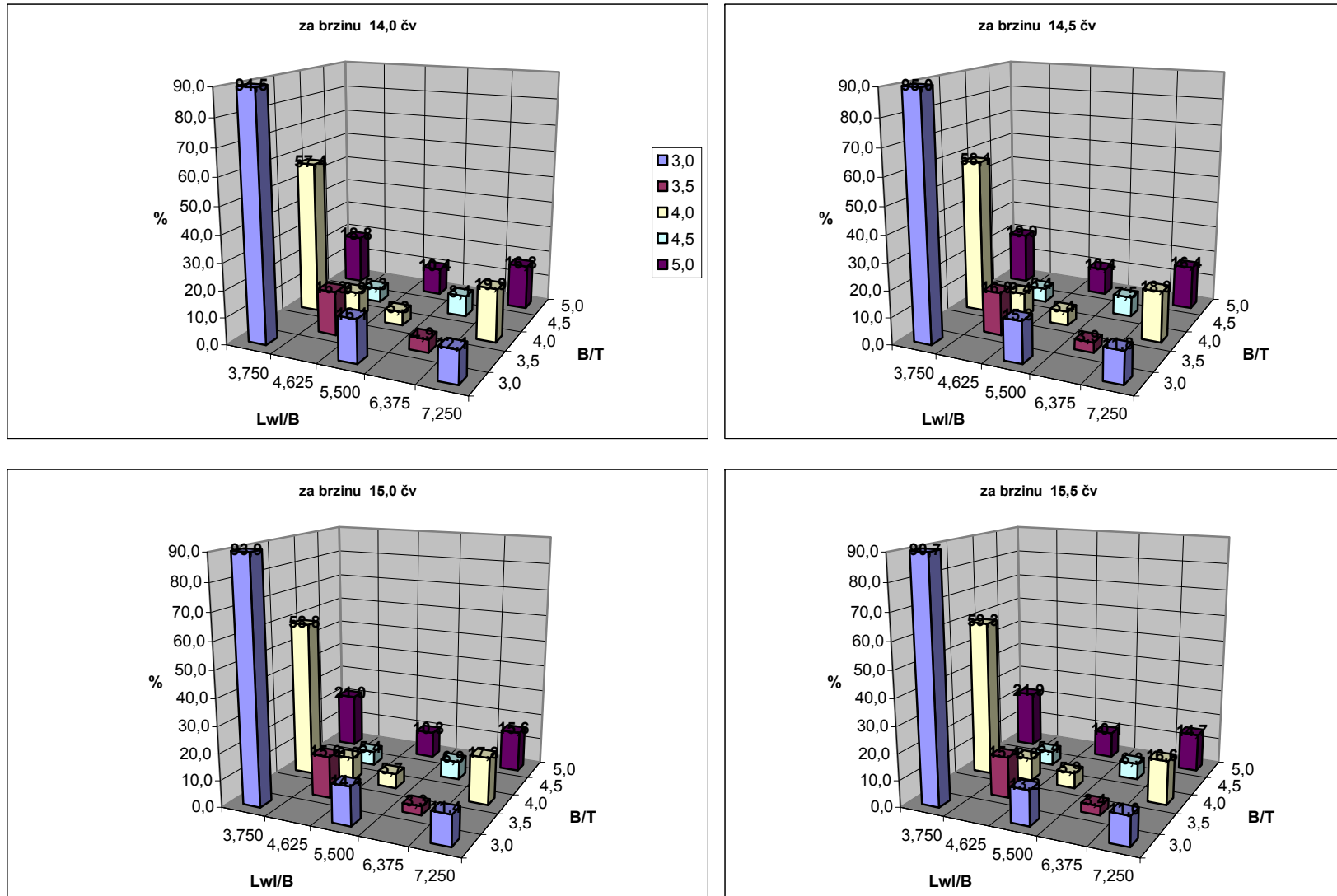
Slika II.9 3-D prikaz odstupanja metoda (%) za sustrujanje  $w$  za određene brzine  $v$



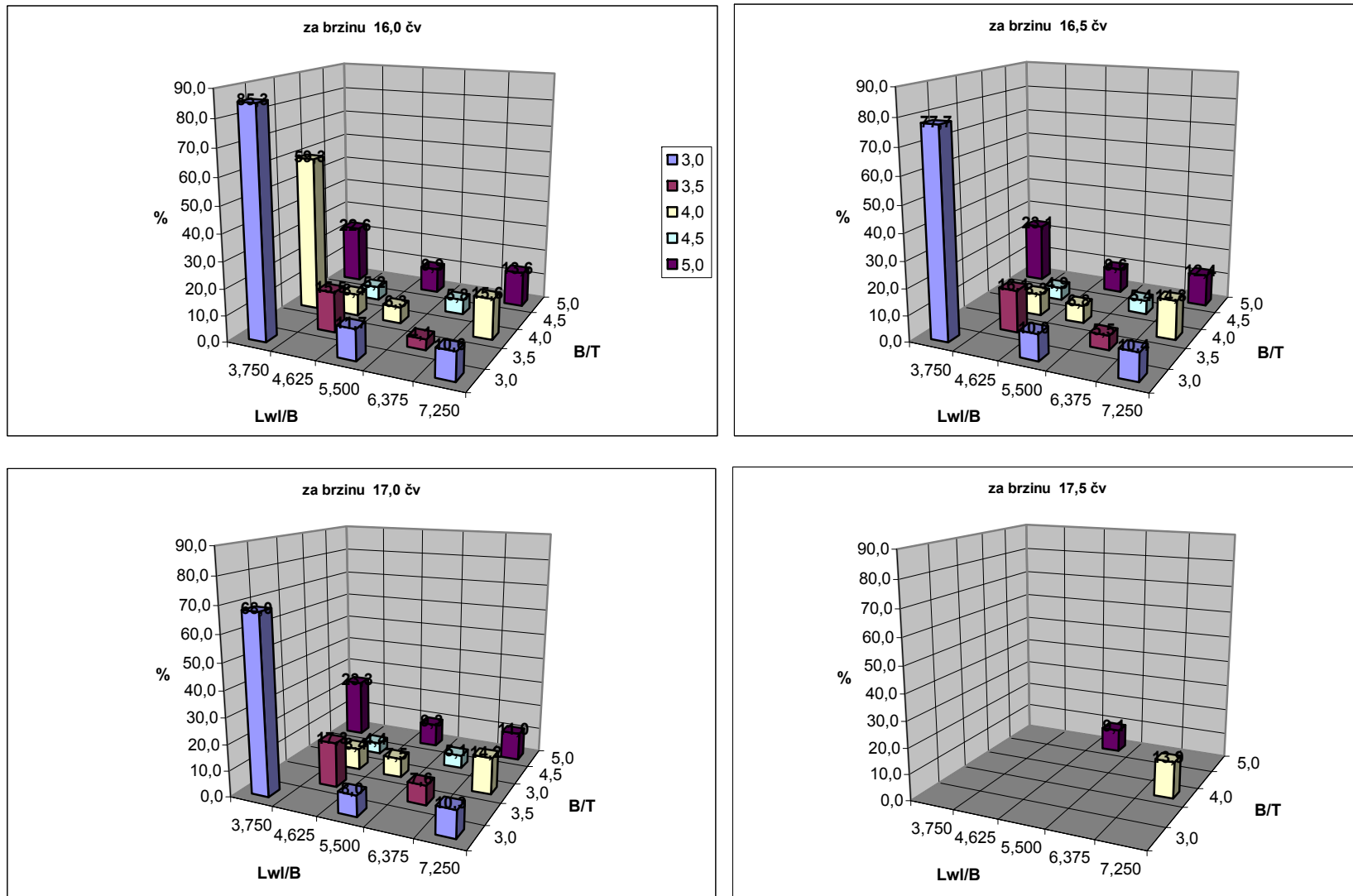
Slika II.10 3-D prikaz odstupanja metoda (%) za poriv  $T$  za određene brzine  $v$



Slika II.11 3-D prikaz odstupanja metoda (%) za poriv  $T$  za određene brzine  $v$

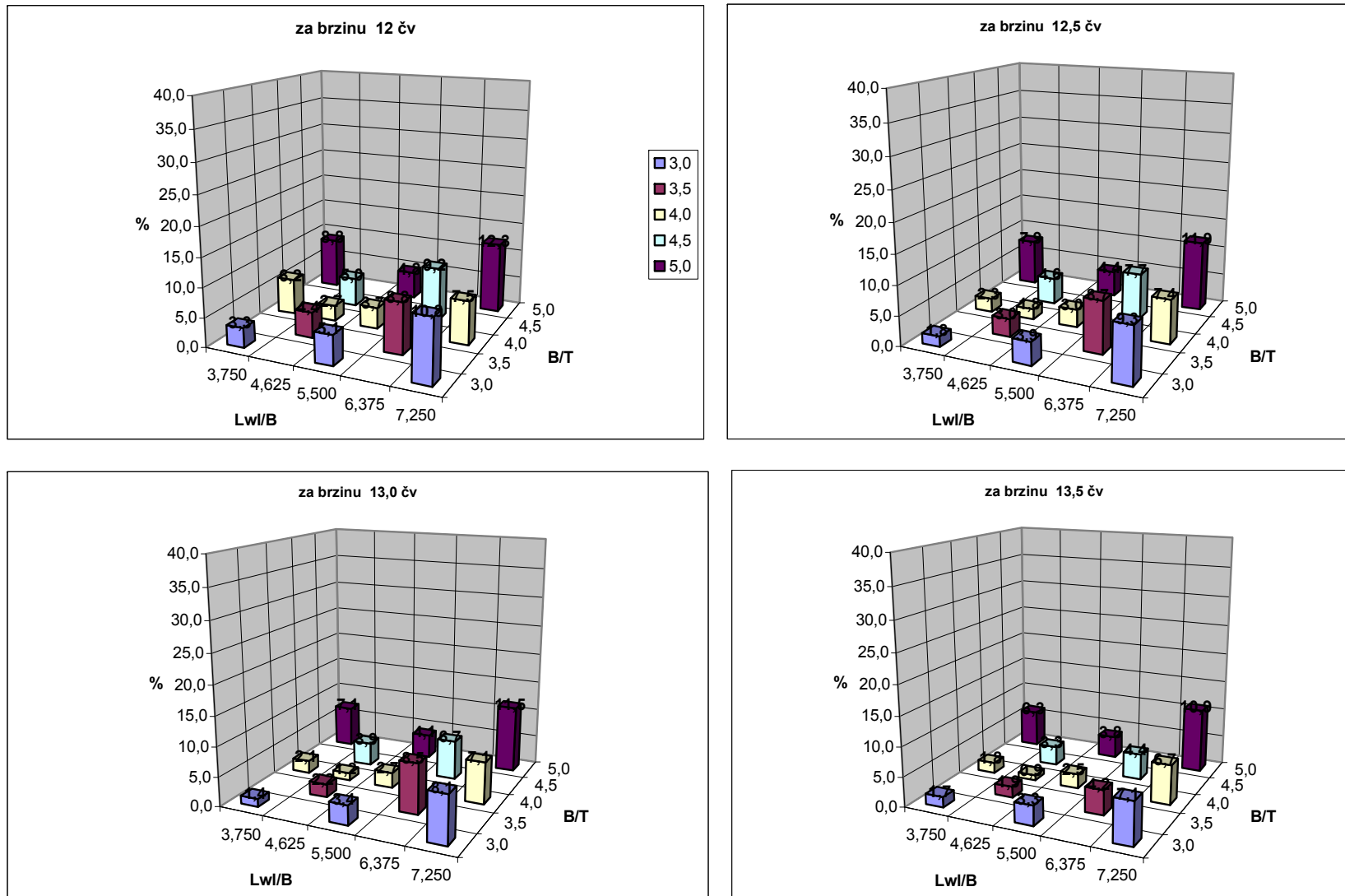


Slika II.12 3-D prikaz odstupanja metoda (%) za poriv  $T$  za određene brzine  $v$

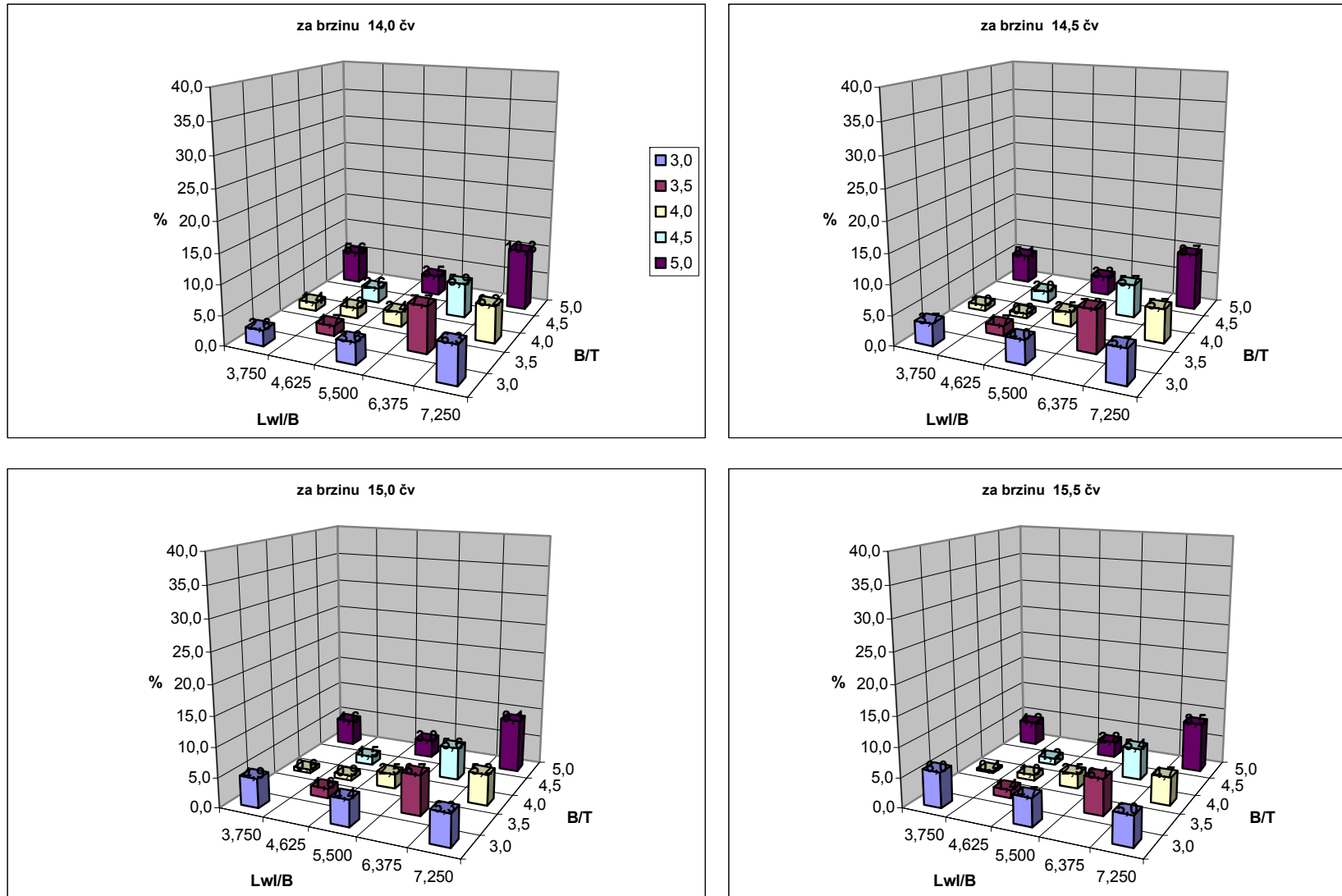




Slika II.13 3-D prikaz odstupanja metoda (%) za koeficijent prijelaza  $\eta_R$  za određene brzine  $v$



Slika II. 14 3-D prikaz odstupanja metoda (%) za koeficijent prijelaza  $\eta_R$  za određene brzine v



Slika II. 15 3-D prikaz odstupanja metoda (%) za koeficijent prijelaza  $\eta_R$  za određene brzine v

