

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Hinko Zlopaša

Zagreb, 2013.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

**PRORAČUN STRUKTURNIH DIMENZIJA
PRAMČANOG I KRMENOG DIJELA BRODA
IZLOŽENIM VALNIM UDARNIM
OPTEREĆENJIMA PREMA PRAVILIMA
KLASIFIKACIJSKIH DRUŠTAVA**

Mentor:

Doc. dr. sc. Jerolim Andrić, dipl. ing.

Student:

Hinko Zlopaša

Zagreb, 2013.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i služeći se navedenom literaturom kao i savjetima doc. Jerolima Andrića, kojem se ovom prilikom zahvaljujem. Najveća hvala dragom Bogu što me doveo do ovoga.

Hinko Zlopaša



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne
simulacije

| | |
|-------------------------------------|--------|
| Sveučilište u Zagrebu | |
| Fakultet strojarstva i brodogradnje | |
| Datum | Prilog |
| Klasa: | |
| Ur.broj: | |

ZAVRŠNI ZADATAK

Student:

Mat. br.:

Naslov:

Opis zadatka:

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Zadatak zadao:

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Mladen Andrassy

SADRŽAJ

| | |
|---|-----|
| SADRŽAJ | I |
| POPIS SLIKA | II |
| POPIS TABLICA..... | III |
| POPIS OZNAKA | IV |
| SAŽETAK..... | V |
| 1. UVOD..... | 1 |
| 2. POJAVA VALNOG UDARNOG OPTEREĆENJA..... | 2 |
| 3. ZAHTJEVI KLASIFIKACIJSKIH DRUŠTAVA..... | 3 |
| 3.1. Obuhvaćeni tipovi brodova..... | 3 |
| 3.2. Područje pramca i krme koje se proračunava | 3 |
| 3.3. Relevantni kutevi pramca i krme | 3 |
| 4. IZABRANA FORMA TRUPA BRODA | 5 |
| 5. PRORAČUN TLAKOVA UDARA | 7 |
| 5.1. Tlakovi udara u području pramca | 7 |
| 5.2. Tlakovi udara u području krme | 10 |
| 6. PRORAČUN ZAHTJEVANIH DEBLJINA LIMOVA OPLATE..... | 12 |
| 6.1. Zahtjevane debljine limova oplata na pramcu | 12 |
| 6.2. Zahtjevane debljine limova oplata na krmi | 15 |
| 7. PRORAČUN ZAHTJEVANIH MOMENATA OTPORA PRESJEKA UKREPA | 17 |
| 7.1. Zahtjevani profili ukrepa na pramcu | 18 |
| 7.2. Zahtjevani profili ukrepa na krmi | 19 |
| 8. STUDIJA OSJETLJIVOSTI | 20 |
| 9. ZAKLJUČAK..... | 22 |
| LITERATURA..... | 23 |
| PRILOZI..... | 24 |

POPIS SLIKA

| | |
|--|----|
| Slika 1. Relevantni kutevi pramca i krme po DNV-u | 4 |
| Slika 2. Relevantni kutevi pramca i krme po LR-u | 4 |
| Slika 3. Točke promatranja na pramcu..... | 6 |
| Slika 4. Točke promatranja na krmi | 6 |
| Slika 5. Raspored izračunatih tlakova udara po rebrima na visini D3 – D4 | 8 |
| Slika 6. Raspored izračunatih tlakova udara po rebrima na visini D4 – D5 | 8 |
| Slika 7. Raspored izračunatih tlakova udara po rebrima na visini D5 – D6 | 9 |
| Slika 8. Raspored izračunatih tlakova udara po rebrima na visini D6 – D7 | 9 |
| Slika 9. Raspored izračunatih tlakova udara po rebrima na visini D1 | 11 |
| Slika 10. Raspored izračunatih tlakova udara po rebrima na visini D2 | 11 |
| Slika 11. Raspored zahtjevanih debljina limova oplate na visini D3 – D4..... | 13 |
| Slika 12. Raspored zahtjevanih debljina limova oplate na visini D4 – D5 | 14 |
| Slika 13. Raspored zahtjevanih debljina limova oplate na visini D5 – D6..... | 14 |
| Slika 14. Raspored zahtjevanih debljina limova oplate na visini D6 – D7..... | 14 |
| Slika 15. Raspored zahtjevanih debljina limova oplate na visini D1 | 16 |
| Slika 16. Raspored zahtjevanih debljina limova oplate na visini D1 | 16 |
| Slika 17. Utjecaj kuta β_p na tlak udara na pramcu | 20 |
| Slika 18. Utjecaj kuta β_p na tlak udara na krmi | 21 |
| Slika 19. Utjecaj brzine plovidbe na tlak udara na pramcu..... | 21 |

POPIS TABLICA

| | |
|--|----|
| Tablica 1. Usporedba dobivenih tlakova udara na pramcu | 7 |
| Tablica 2. Usporedba dobivenih tlakova udara na krmi..... | 10 |
| Tablica 3. Usporedba zahtjevanih debljina limova oplata na pramcu..... | 13 |
| Tablica 4. Usporedba zahtjevanih debljina limova oplata na krmi | 15 |
| Tablica 5. Usporedba zahtjevanih profila ukrepa na pramcu | 18 |
| Tablica 6. Usporedba zahtjevanih profila ukrepa na krmi | 19 |

POPIS OZNAKA

| Oznaka | Jedinica | Opis |
|---------------|-----------------------|---|
| L | [m] | duljina broda |
| α | [°] | kut između oplata i vertikalne osi |
| β | [°] | kut između vodne linije i uzdužne linije broda |
| α_p | [°] | kut između uzdužne linije broda i nagiba oplata gledanog u uzdužnoj ravnini |
| β_p | [°] | kut između oplata i horizontalne osi |
| γ_p | [°] | kut između vodne linije i uzdužne linije broda |
| B | [m] | širina broda |
| T | [m] | gaz broda |
| V | [m/s] | brzina plovidbe broda |
| C_B | | koeficijent istisnine |
| z | [m] | relevantna visina |
| p_{sl} | [kN/m ²] | tlak udara po DNV-u |
| P_{bf} | [kN/m ²] | tlak udara po LR-u |
| t | [mm] | zahtjevana debljina lima oplata |
| Z_p | [cm ³] | zahtjevan plastični moment otpora presjeka ukrepe |
| Z_{pa} | [cm ³] | stvarni moment otpora presjeka ukrepe |

SAŽETAK

Cilj ovog rada je istražiti kako različiti pristupi dvaju klasifikacijskih društava, *Det Norske Veritas* i *Lloyd's Register*, utječu na dimenzije strukturnih elemenata. Kroz uvod i drugo poglavlje je pobliže objašnjena sama pojava udaranja u valove (eng. *slamming*). U trećem poglavlju su ukratko objašnjene razlike u pristupima tom problemu ovih dvaju klasifikacijskih društava. U četvrtom poglavlju je predstavljena izabrana forma trupa broda te se kroz peto, šesto i sedmo poglavlje proračunavaju glavne veličine potrebne za rješavanje ovog problema. Kroz studiju osjetljivosti u osmom poglavlju se istražuje koliko pojedini parametri utječu na ovu pojavu. U zaključku je konačni komentar dobivenih rezultata i utjecaja ispitivanih parametara.

1. UVOD

Udaranje u valove (eng. *slamming*) opisuje dinamički udar valova na pramčani i krmeni dio oplata broda koja je iznad proračunatog gaza. Posljedice udaranja na tom izloženom dijelu oplata su vrlo visoki hidrodinamički tlakovi i sile čije se djelovanje može promatrati na lokalnoj i globalnoj razini. Na lokalnoj razini, dio koji je obuhvaćen ovim radom, radi se o djelovanju lokalnog tlaka u području interakcije s fluidom. Na globalnoj razini ti tlakovi uzrokuju globalne vibracije strukture te značajnu promjenu ukupnog momenta savijanja i smičnih sila u trupu broda.

Iz praktičnih razloga, veličine lokalnih tlakova su obuhvaćene jednostavnim postupcima koje predlažu klasifikacijska društva. Općenito, kako bi se povećao teretni prostor kod brodova za prijevoz automobila ili kontejnera šire se krajnji dijelovi palube. Posljedica toga je mali kut između oplata na pramcu odnosno krmu i slobodne površine fluida. Taj kut je definiran kao kut gledan u poprečnom presjeku između oplata i horizontalne osi. Smanjenjem tog kuta raste tlak udara koji može prouzrokovati i strukturna oštećenja. Kroz mnogo godina iskustva i promatranja utvrđeno je da ranije spomenuti brodovi trpe oštećenja na pramčanom dijelu tokom plovidbe u teškim vremenskim uvjetima. U zadnje vrijeme, ovaj fenomen je dobio na važnosti zbog česte plovidbe pri velikim brzinama u teškim vremenskim uvjetima.

Glavni izazov u ovom pogledu je što točnije predvidjeti veličine tih tlakova kako bi se mogla odrediti potrebna ojačanja oplata na pramčanom i krmenom dijelu broda. U prošlosti, različita klasifikacijska društva su postavila različite zahtjeve. Ti zahtjevi su nastali kombiniranjem analitičkih metoda i proračuna koji su dodatno ispravljani s obzirom na već znane slučajeve oštećenja. Klasifikacijska društva su svjesna da trenutna Pravila dovode do različitih strukturnih dimenzija za isti brod [1]. Upravo zbog toga, cilj ovog rada je istražiti razlike u pristupima klasifikacijskih društava kod izračuna tlakova, debljina limova i ukrepa u pramčanom i krmenom dijelu. Za usporedbu su uzeti *Det Norske Veritas* (DNV) i *Lloyd's Register* (LR).

2. POJAVA VALNOG UDARNOG OPTEREĆENJA

Udaranje dna o valove nastaje prilikom potpunog izranjanja dijela oplata dna te naglog uranjanja koje slijedi neposredno nakon izrona tako da je kut između tangente na površinu oplata i slobodne površine fluida vrlo malen. Kod udara o dno dolazi do nastanka impulsnih sila, vrlo velikih sila koje traju vrlo kratko vremensko razdoblje pri čemu dolazi do vibriranja cjelokupnog brodskog trupa. Najkritičnije stanje je u slučaju suprotnih faza između gibanja vala i pramca broda u vertikalnoj ravnini, odnosno kada se pramac ili krma giba prema dolje, a val prema gore [2]. Iskustva kažu da u takvim uvjetima, pogotovo ako je podrhtavanje snažno izraženo, kapetan broda svjesno smanjuje brzinu plovidbe. U izrazito teškim uvjetima plovidbe može čak doći i do promjene plovidbenog puta što u konačnici utječe na ukupnu duljinu plovidbe.

Pojava postaje složenija zbog stohastične prirode morskih valova i procjene najgorih vremenskih uvjeta u kojima se brod može naći tijekom svog eksploatacijskog vijeka.

Ipak, u praksi je izazov određivanja tlaka udara u oplatu sveden na empirijske formule dane od strane klasifikacijskih društava. Te formule su pojednostavljene i uzimaju u obzir promatranu formu broda opisanu osnovnim značajkama kao što su duljina, širina, visina, koeficijent istisnine, kut izboja pramca, kut vodne linije, itd.

3. ZAHTJEVI KLASIFIKACIJSKIH DRUŠTAVA

3.1. Obuhvaćeni tipovi brodova

Det Norske Veritas (2011) ima univerzalna pravila za sve tipove brodova. U Part 3, Chapter 1, Section 7, E100 i E200 su dani izrazi za izračun tlakova u željenim točkama oplata, pripadajuće debljine limova te izrazi za izračun momenata otpora ukrepe [3].

Lloyd's Register (2010) ima posebna pravila za putničke brodove, RO-RO brodove, trajekte i brodove za prijevoz kontejnera. U Part 4, Chapter 2, Section 4 i Section 5 su dani izrazi za izračun tlakova u željenim točkama oplata, pripadajuće debljine limova te izrazi za izračun momenata otpora ukrepa [4].

Svi proračuni koji su bili potrebni za ovaj rad napravljeni su u programu MathCAD 14.0.

3.2. Područje pramca i krme koje se proračunava

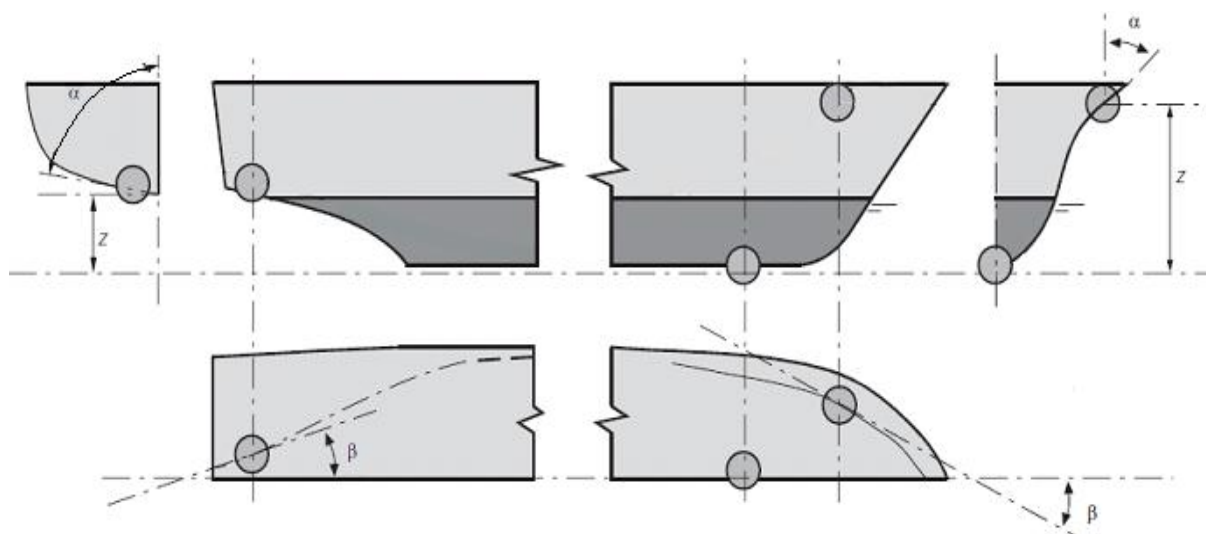
Zahtjevi DNV-a nalažu da se utjecaj tlakova udara procjenjuje u području od $0.9L$ pa do pramčanog perpendikulara, odnosno od krmenog perpendikulara pa do $0.1L$.

S druge strane LR zahtijeva ojačavanje oplata broda na dijelovima iznad vodne linije gdje trup ima značajne promjene forme.

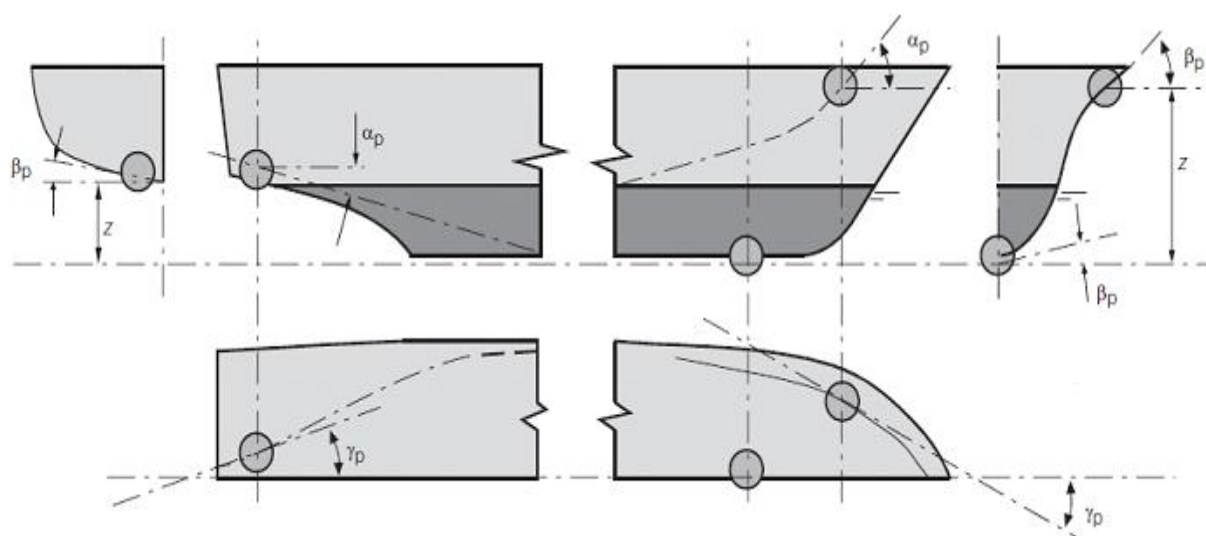
3.3. Relevantni kutevi pramca i krme

Formu pramca i krme DNV opisuje pomoću dva kuta: kut α (kut između oplata i vertikalne osi) i kut β (kut između vodne linije i uzdužne linije broda) kao što je prikazano na Slici 1.

LR formu pramca i krme opisuje pomoću tri kuta: kut α_p (kut između uzdužne linije broda i nagiba oplata gledanog u uzdužnoj ravnini), kut β_p (kut između oplata i horizontalne osi) i kut γ_p (kut između vodne linije i uzdužne linije broda), Slika 2.



Slika 1. Relevantni kutevi pramca i krme po DNV-u



Slika 2. Relevantni kutevi pramca i krme po LR-u

4. IZABRANA FORMA TRUPA BRODA

Za usporedbu zahtjeva ovih dvaju klasifikacijskih društava izabran je brod za prijevoz automobila brodogradilišta Uljanik projektiran prema Pravilima DNV-a. Glavne karakteristike izabranog trupa broda su:

$$L = 176.4 \text{ m}$$

$$B = 31.1 \text{ m}$$

$$T = 7.5 \text{ m}$$

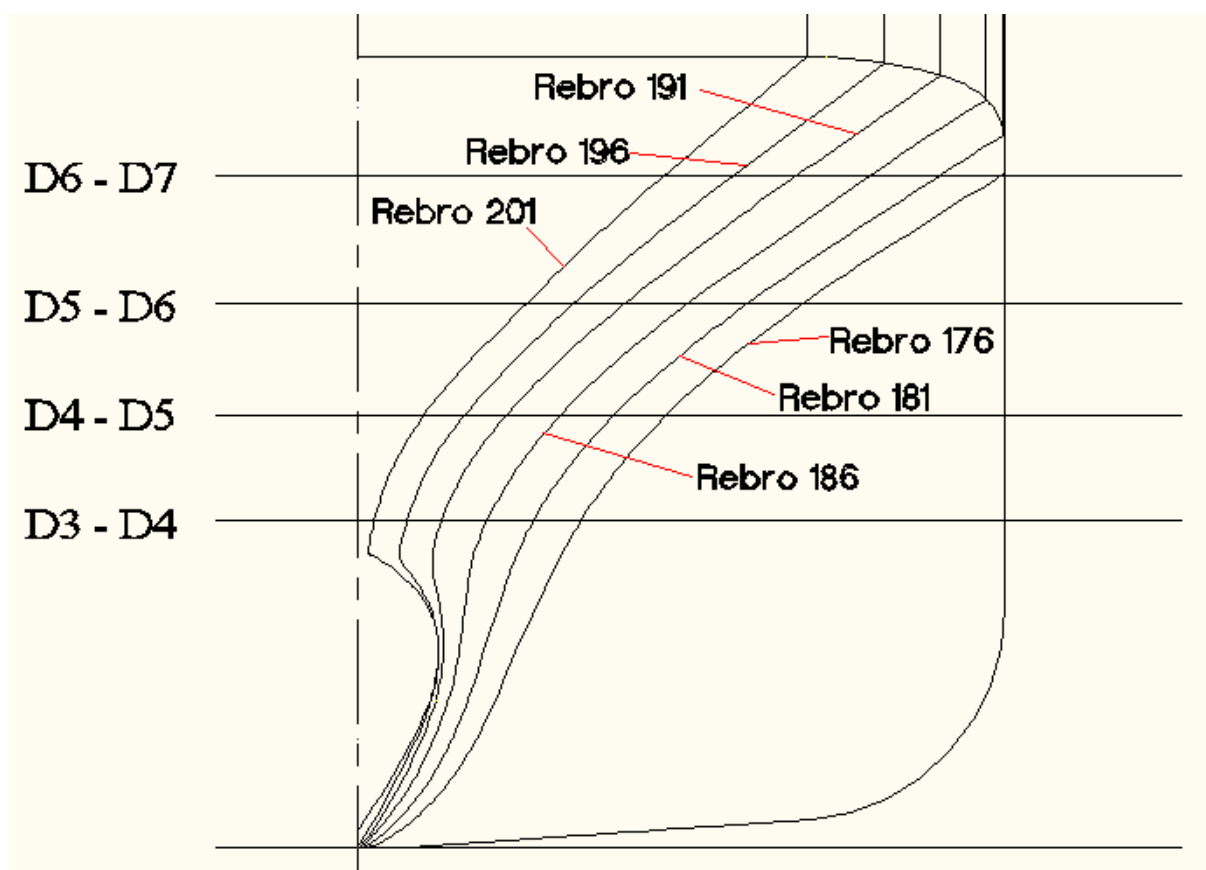
$$V = 20 \text{ čv}$$

$$C_B = 0.6$$

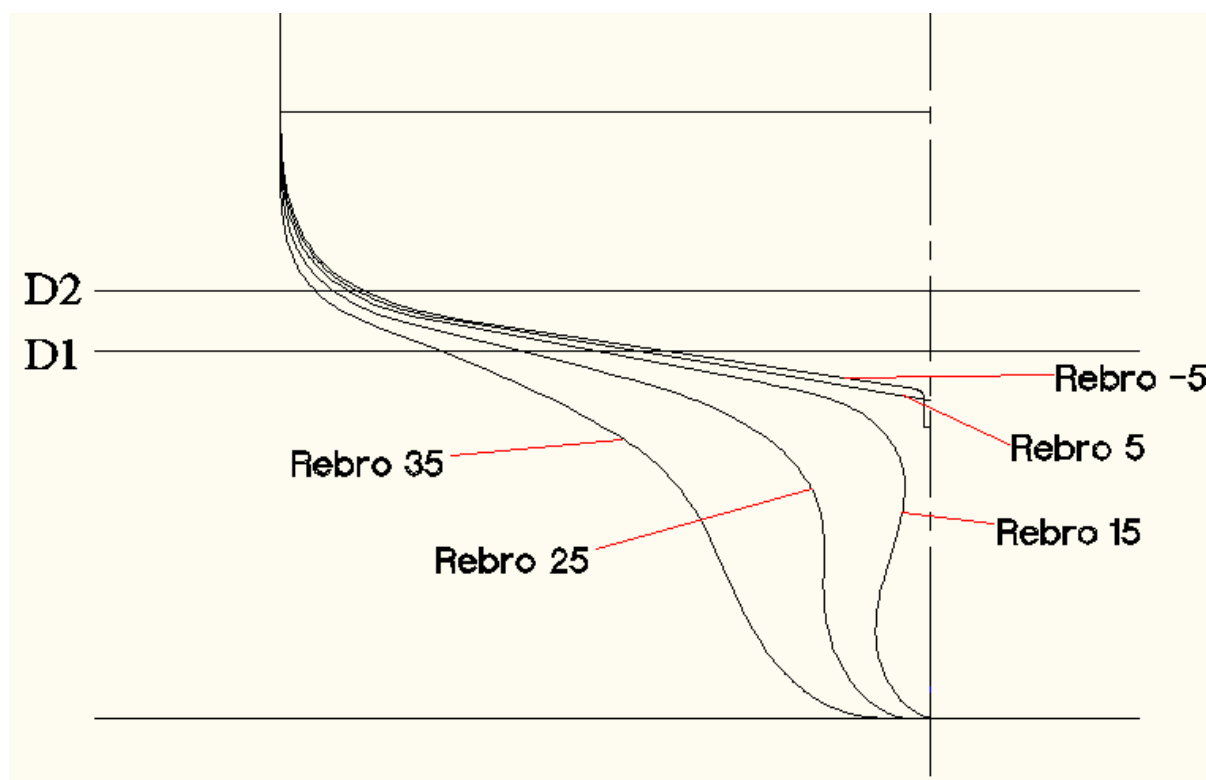
Za potrebe ovog proračuna izabrane su točke, vidi Sliku 3, na rebrima 176, 181, 186, 191, 196 i 201 u području od $0.85L$ pa do pramčanog perpendikulara na pramcu, odnosno točke, vidi Sliku 4, na rebrima - 5, 5, 15, 25 i 35 u području od $-0.0185L$ pa do $0.147L$ na krmi.

Tlakovi udara, debljine limova oplata i momenti otpora ukrepa na pramcu određeni su za šest različitih rebara na četiri visine iznad vodne linije. To su: razina između paluba $D3$ i $D4$ ($z = 7.89 \text{ m}$), razina između paluba $D4$ i $D5$ ($z = 10.41 \text{ m}$), razina između paluba $D5$ i $D6$ ($z = 13.08 \text{ m}$) i razina između paluba $D6$ i $D7$ ($z = 16.16 \text{ m}$). Tlakovi, debljine limova oplata i momenti otpora ukrepa na krmi određeni su za pet različitih rebara na dvije visine iznad vodne linije. To su: razina označena s $D1$ ($z = 8.75 \text{ m}$) i razina označena s $D2$ ($z = 10.2 \text{ m}$).

U prilogu I. su priloženi dijelovi nacрта raskroja oplata limova pramca i krme izabrane forme trupa broda s označenim izabranim točkama.



Slika 3. Točke promatranja na pramcu



Slika 4. Točke promatranja na krmi

5. PRORAČUN TLAKOVA UDARA

5.1. Tlakovi udara u području pramca

Za odabrane točke na pramcu proveden je proračun tlakova udara po DNV-u i LR-u te su dobiveni rezultati prikazani u Tablici 1. Bitno je naglasiti da se kod DNV-a formule za tlak udara na krmi i na pramcu razlikuju.

DNV-ova formula za izračun veličine tlaka udara na pramcu glasi:

$$p_{sl} = C(2.2 + C_f) * (0.4V \sin \beta + 0.6\sqrt{L})^2 \quad [\text{kN/m}^2] \quad (1)$$

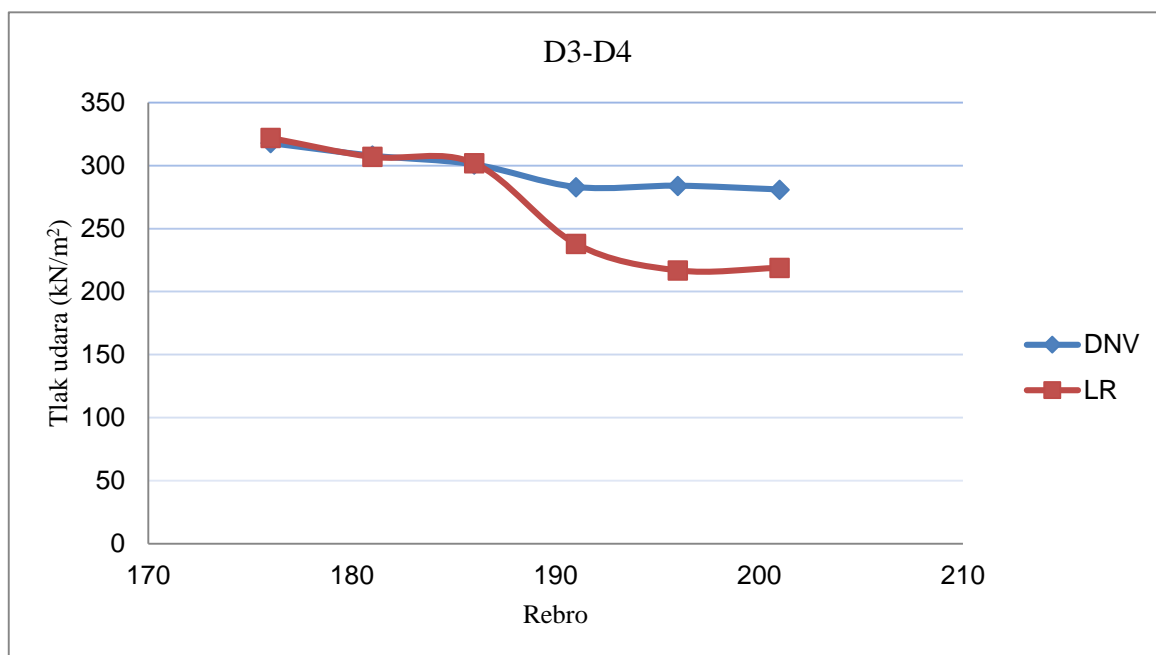
LR-ova univerzalna formula za izračun veličine tlaka udara na pramcu glasi:

$$P_{bf} = 0.5(K_{bf}V_{bf}^2 + K_{rv}H_{rv}V_{rv}^2) \quad [\text{kN/m}^2] \quad (2)$$

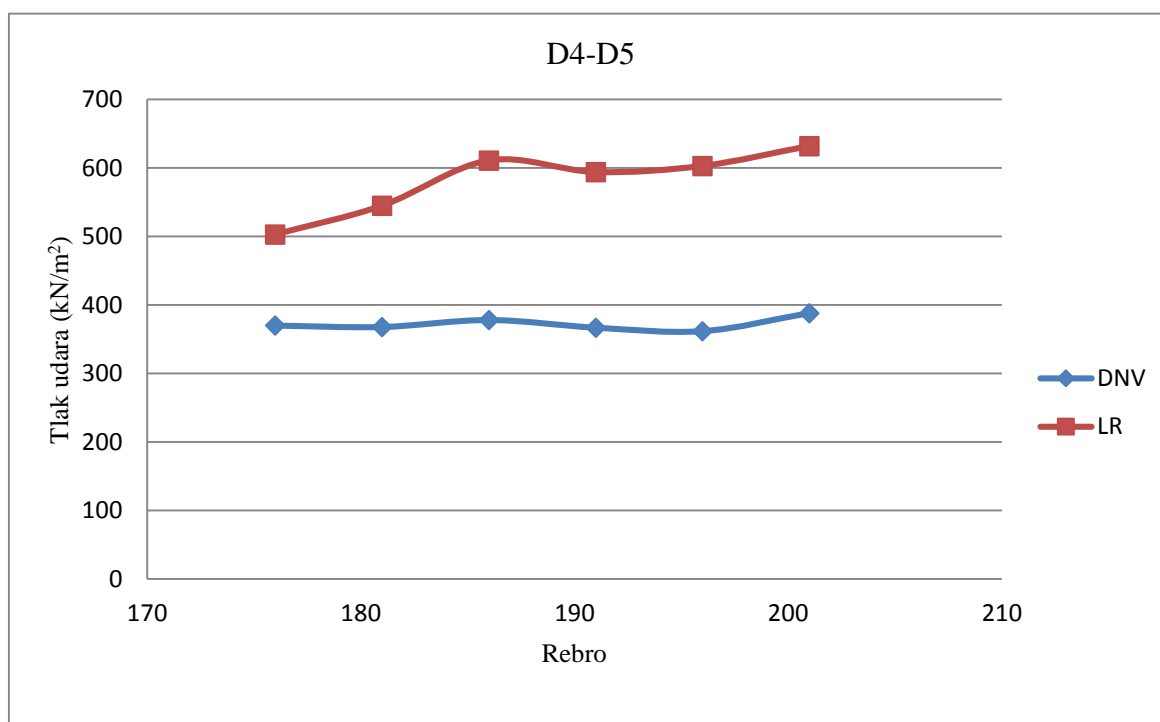
Vidljivo je da su vrijednosti tlaka udara dobivene prema DNV-u značajno manje od vrijednosti dobivenih prema LR-u. Isto tako, vrijednosti prema DNV-u su ujednačenije uzduž promatranih visina kao što je vidljivo iz Slika 5, 6, 7 i 8.

| Pozicija duž broda | | Tlakovi na pramcu (kN/m ²) | | | |
|---------------------------|-----|--|---------|---------|---------|
| | | D3 - D4 | D4 - D5 | D5 - D6 | D6 - D7 |
| Fr.176 (0.85L) | DNV | 318 | 370 | 405 | 372 |
| | LR | 322 | 503 | 654 | 606 |
| Fr.181 (0.877L) | DNV | 308 | 368 | 416 | 401 |
| | LR | 307 | 545 | 739 | 695 |
| Fr.186 (0.9L) | DNV | 301 | 378 | 424 | 418 |
| | LR | 302 | 611 | 803 | 766 |
| Fr.191 (0.927L) | DNV | 283 | 367 | 428 | 428 |
| | LR | 238 | 594 | 841 | 869 |
| Fr.196 (0.95L) | DNV | 284 | 362 | 423 | 454 |
| | LR | 217 | 603 | 856 | 925 |
| Fr.201 (0.967L) | DNV | 281 | 388 | 452 | 487 |
| | LR | 219 | 632 | 812 | 849 |

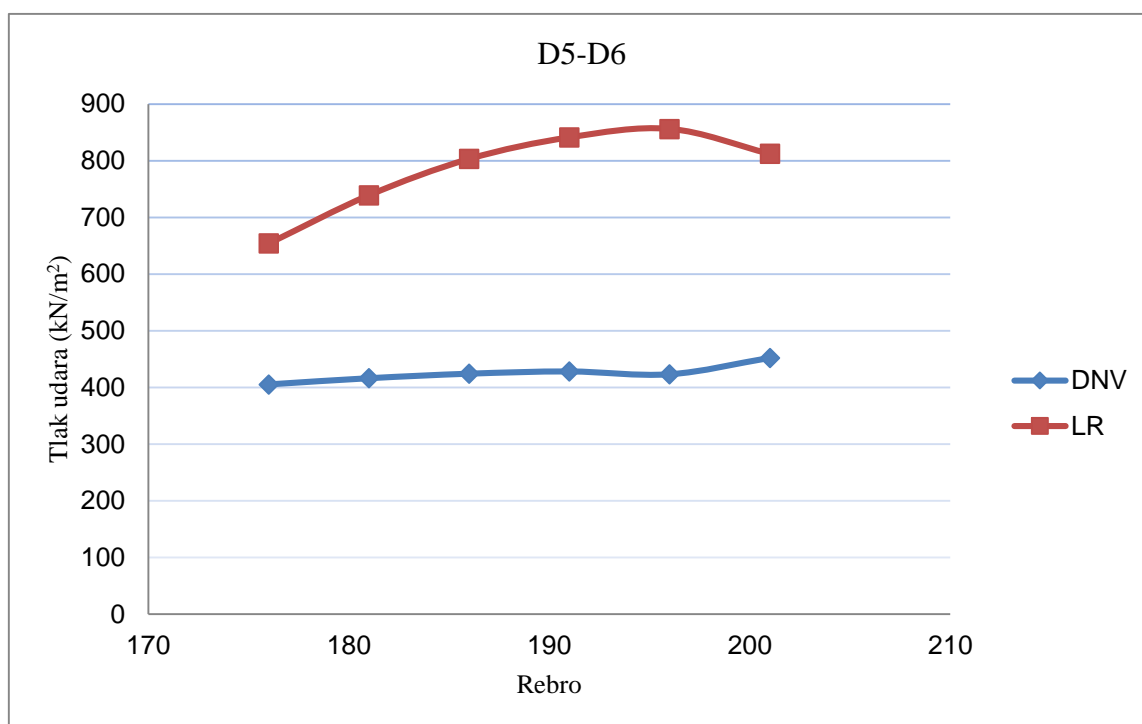
Tablica 1. Usporedba dobivenih tlakova udara na pramcu



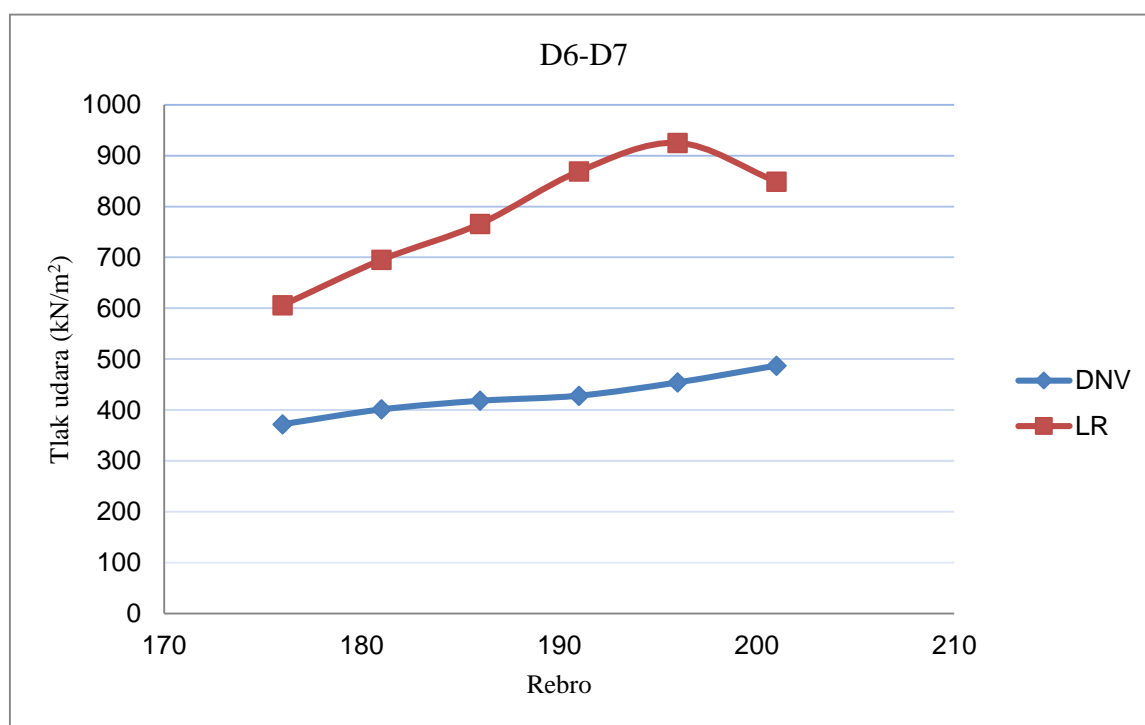
Slika 5. Raspored izračunatih tlakova udara po rebrima na visini D3 – D4



Slika 6. Raspored izračunatih tlakova udara po rebrima na visini D4 – D5



Slika 7. Raspored izračunatih tlakova udara po rebrima na visini D5 – D6



Slika 8. Raspored izračunatih tlakova udara po rebrima na visini D6 – D7

5.2. Tlakovi udara u području krme

Za odabrane točke na krmi proveden je proračun tlakova udara po DNV-u i LR-u te su dobiveni rezultati prikazani u tablici 2.

DNV-ova formula za izračun veličine tlaka udara na krmi glasi:

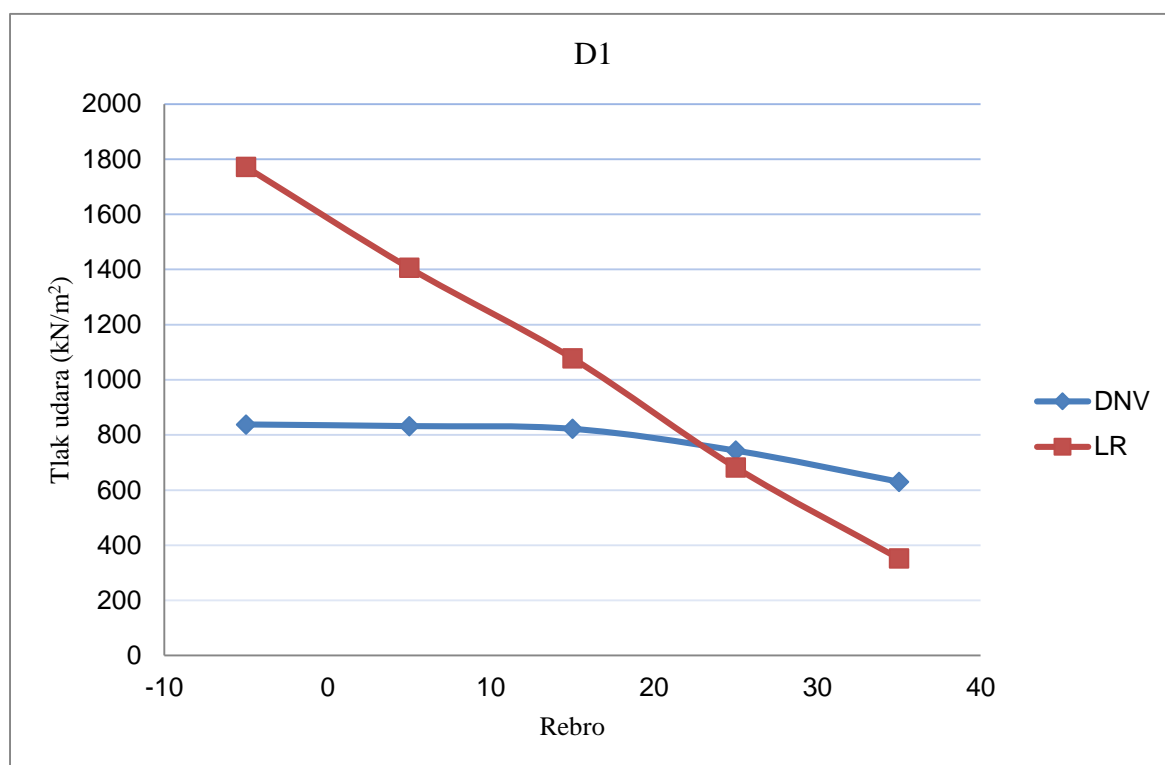
$$p_{sl} = 2.2CL \left(0.6 + \frac{1.65a_0(0.55L-X) \sin^3 \alpha}{C_B L} \right)^2 \quad [\text{kN/m}^2] \quad (3)$$

LR-ova formula za izračun veličine tlaka udara na krmi je jednaka formuli za izračun veličine tlaka udara na pramcu. Bitno je naglasiti da kod proračuna tlakova udara na krmi, LR uzima da je brzina plovidbe jednaka nuli.

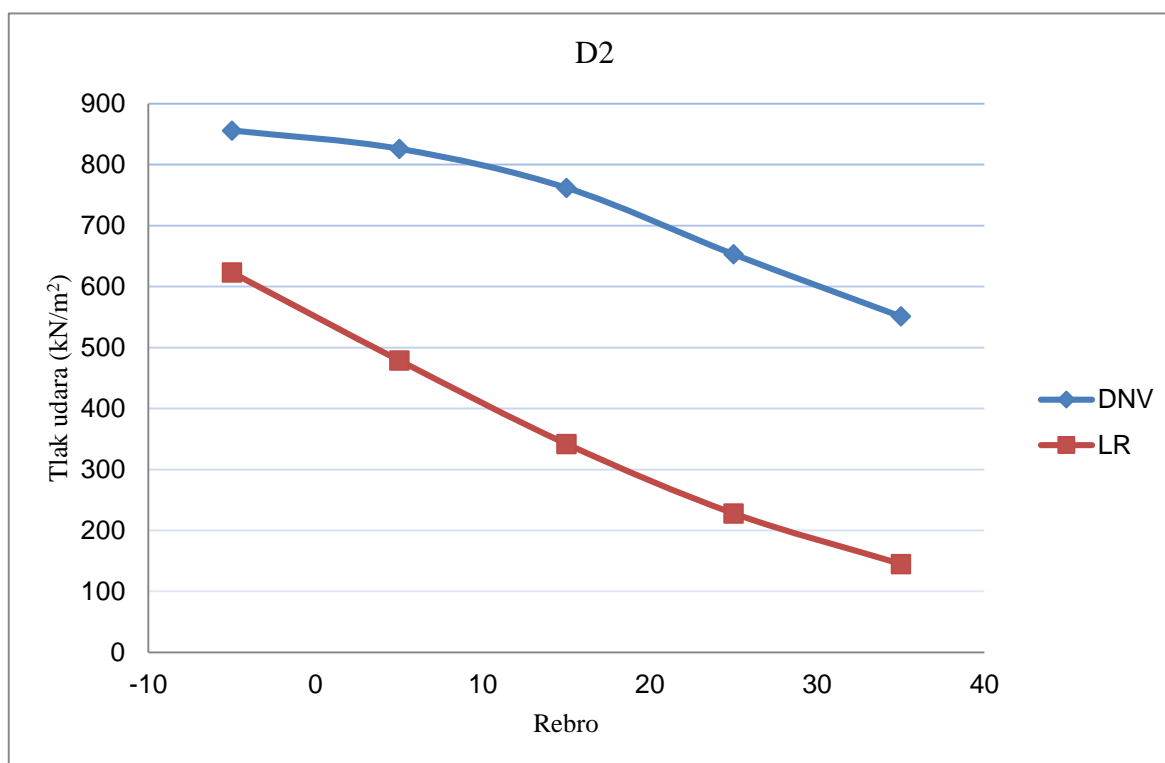
Na slikama 9 i 10 se vidi da vrijednosti tlaka dobivene prema DNV-u su manje od vrijednosti dobivenih prema LR-u samo dok je nagib promatranog rebra mali. Čim kut između promatranog dijela oplata i horizontalne osi počinje rasti, tlak udara prema LR-u značajno pada.

| Pozicija duž broda | | Tlakovi na krmi (kN/m ²) | |
|-----------------------------|-----|--------------------------------------|-----|
| | | D1 | D2 |
| Fr.-5 (- 0.0185L) | DNV | 838 | 856 |
| | LR | 1772 | 623 |
| Fr.5 (0.0176L) | DNV | 832 | 826 |
| | LR | 1406 | 479 |
| Fr.15 (0.053L) | DNV | 822 | 762 |
| | LR | 1078 | 342 |
| Fr.25 (0.097L) | DNV | 743 | 653 |
| | LR | 682 | 228 |
| Fr.35 (0.147L) | DNV | 630 | 551 |
| | LR | 352 | 145 |

Tablica 2. Usporedba dobivenih tlakova udara na krmi



Slika 9. Raspored izračunatih tlakova udara po rebrima na visini D1



Slika 10. Raspored izračunatih tlakova udara po rebrima na visini D2

6. PRORAČUN ZAHTJEVANIH DEBLJINA LIMOVA OPLATE

6.1. Zahtjevane debljine limova oplata na pramcu

Na temelju dobivenih vrijednosti tlaka udara na pramcu, proveden je proračun zahtjevanih debljina limova oplata prema DNV-u i LR-u.

DNV-ova univerzalna formula za izračun zahtjevanih debljina limova oplata glasi:

$$t = \frac{13.8k_a s \sqrt{p_{sl}}}{\sqrt{\sigma_f}} + t_k \quad [\text{mm}] \quad (4)$$

LR-ova univerzalna formula za izračun zahtjevanih debljina limova oplata glasi:

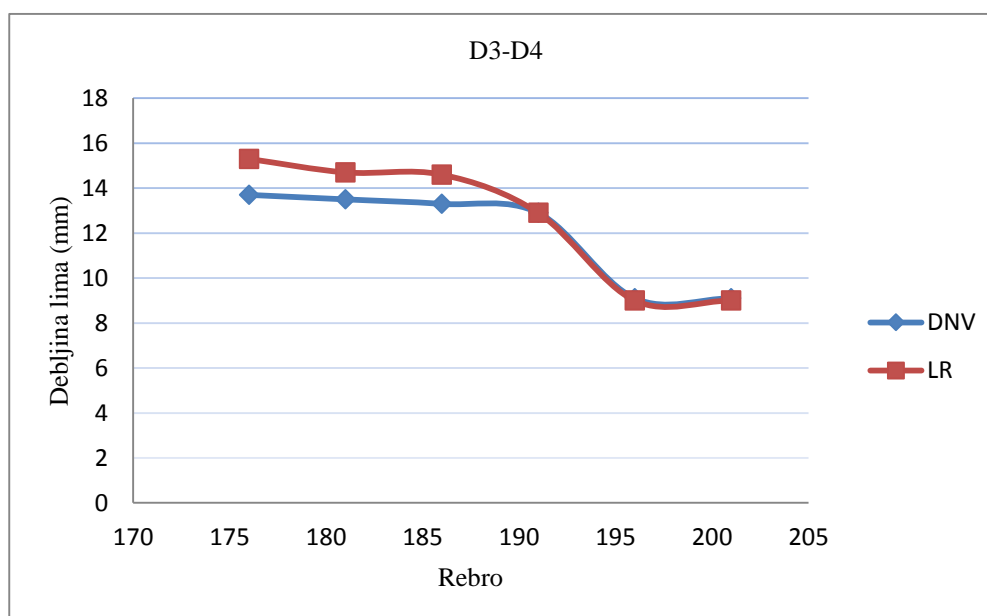
$$t = 3.2s_c \sqrt{kh_s C_R} * 10^{-2} \quad [\text{mm}] \quad (5)$$

Kao što je vidljivo iz Slika 11, 12, 13 i 14, dobivene debljine limova su u sličnom odnosu kao i tlakovi udara. Upravo jer su prema LR-u dobivene veće vrijednosti tlaka udara tako su i debljine limova izračunate prema LR-u veće.

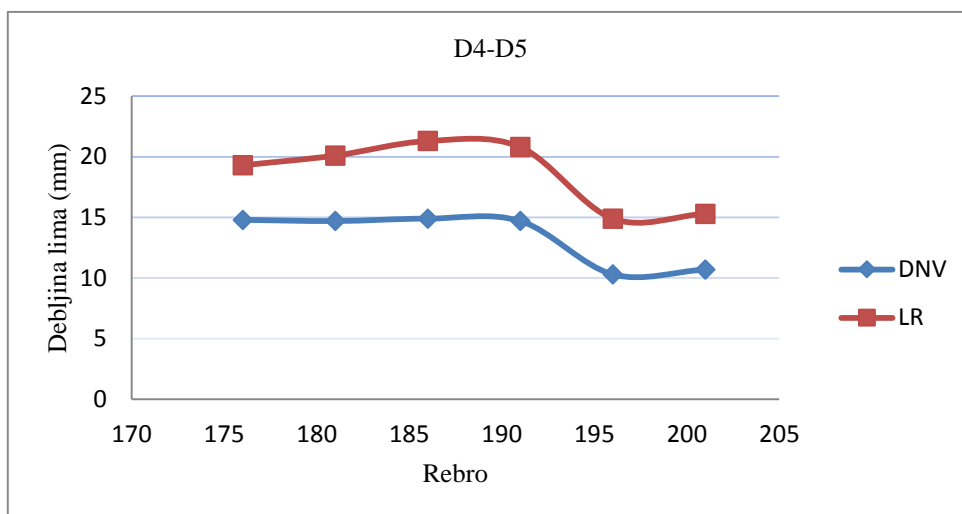
Na sljedećoj stranici u Tablici 3 je i usporedba dobivenih debljina s debljinama koje je Uljanik odabrao za promatrani brod. Vidljivo je da je Uljanik pratio zahtjeve DNV-a. Zahtjevi se dobro podudaraju, posebno unutar područja od $0.9L$ do pramčanog perpendikulara za koje su i predviđena Pravila DNV-a. Na rebrima 196 i 201 neke debljine limova su uvećane uslijed posebnih zahtjeva zbog otvora za sidro i sl.

| Pozicija duž broda | | Tražene debljine limova oplata na pramcu, (mm) | | | |
|---------------------------|---------|--|---------|---------|---------|
| | | D3 - D4 | D4 - D5 | D5 - D6 | D6 - D7 |
| Fr.176 (0.85L) | Uljanik | 13,5 | 13,5 | 12,5 | 12,5 |
| | DNV | 13,7 | 14,8 | 15,4 | 14,8 |
| | LR | 15,3 | 19,3 | 22,0 | 21,2 |
| Fr.181 (0.877L) | Uljanik | 15,0 | 16,0 | 18,0 | 16,0 |
| | DNV | 13,5 | 14,7 | 15,6 | 15,4 |
| | LR | 14,7 | 20,1 | 23,4 | 22,7 |
| Fr.186 (0.9L) | Uljanik | 15,0 | 16,0 | 18,0 | 16,0 |
| | DNV | 13,3 | 14,9 | 15,8 | 15,7 |
| | LR | 14,6 | 21,3 | 24,4 | 23,8 |
| Fr.191 (0.927L) | Uljanik | 15,0 | 16,0 | 18,0 | 16,0 |
| | DNV | 12,9 | 14,7 | 15,9 | 15,9 |
| | LR | 12,9 | 20,8 | 25,0 | 25,4 |
| Fr.196 (0.95L) | Uljanik | 15,0 | 15,0 | 35,0 | 16,0 |
| | DNV | 9,1 | 10,3 | 11,1 | 11,5 |
| | LR | 9,0 | 14,9 | 17,8 | 18,5 |
| Fr.201 (0.967L) | Uljanik | 20,0 | 15,0 | 15,0 | 16,0 |
| | DNV | 9,1 | 10,7 | 11,5 | 11,9 |
| | LR | 9,0 | 15,3 | 17,3 | 17,7 |

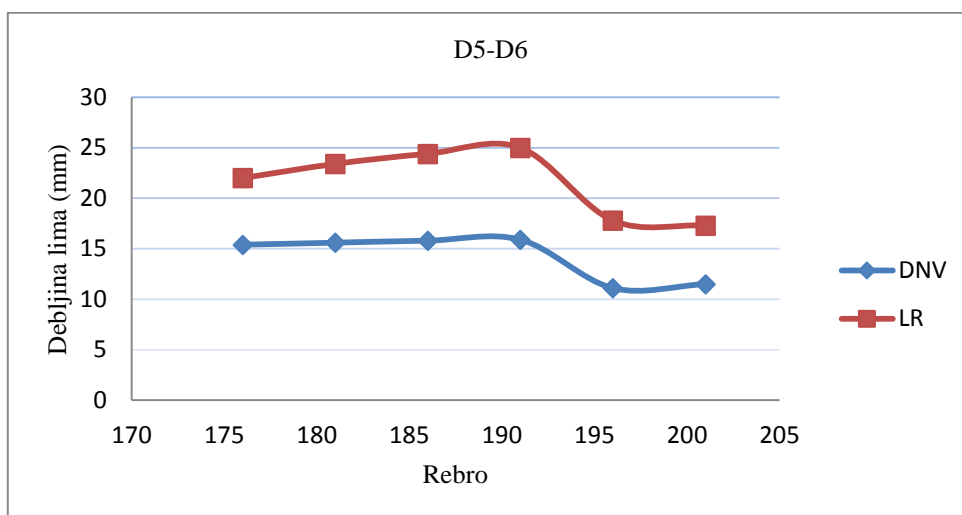
Tablica 3. Usporedba zahtjevanih debljina limova oplata na pramcu



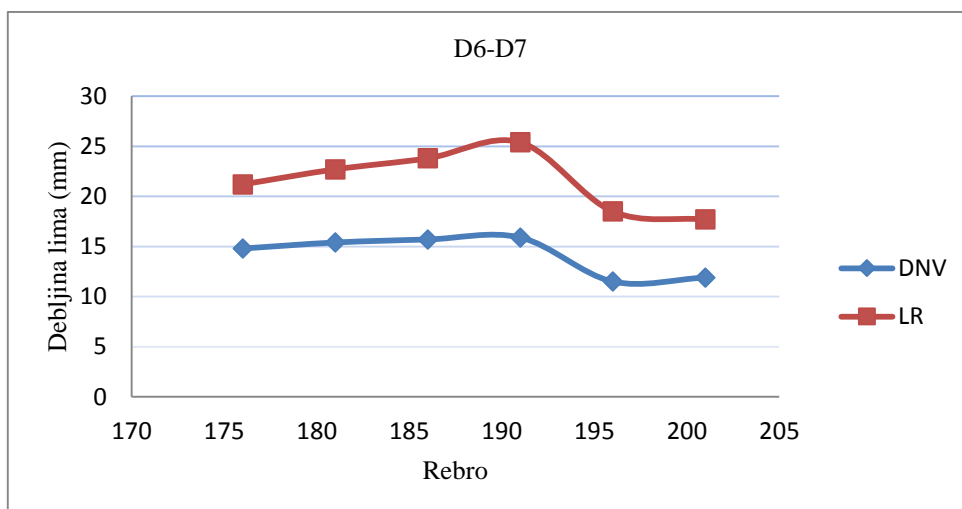
Slika 11. Raspored zahtjevanih debljina limova oplata na visini D3 – D4



Slika 12. Raspored zahtjevanih debljina limova oplata na visini D4 – D5



Slika 13. Raspored zahtjevanih debljina limova oplata na visini D5 – D6



Slika 14. Raspored zahtjevanih debljina limova oplata na visini D6 – D7

6.2. Zahtjevane debljine limova oplata na krmi

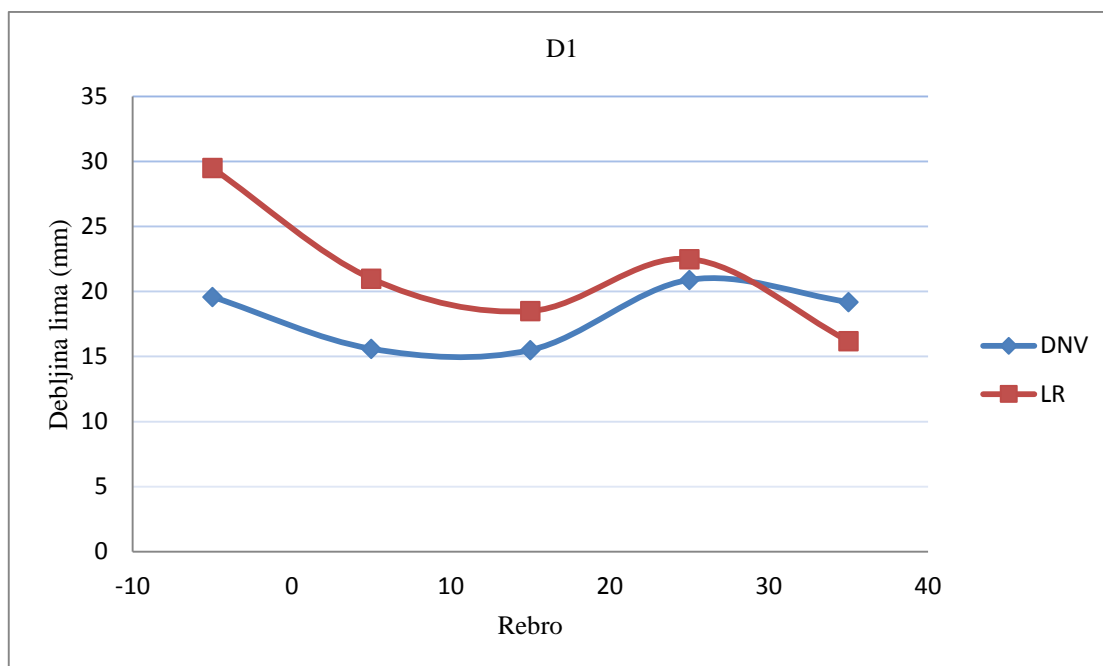
Na temelju dobivenih vrijednosti tlaka udara na krmi, proveden je proračun traženih debljina oplata prema DNV-u i LR-u. Formule za izračun debljine limova oplata na krmi su istovjetne onima za izračun debljine limova na pramcu.

Iz Slike 15 i 16 se može zaključiti kao i u slučaju pramca da su odnosi između traženih debljina limova oplata istovjetni odnosima između ranije izračunatih tlakova udara na krmi.

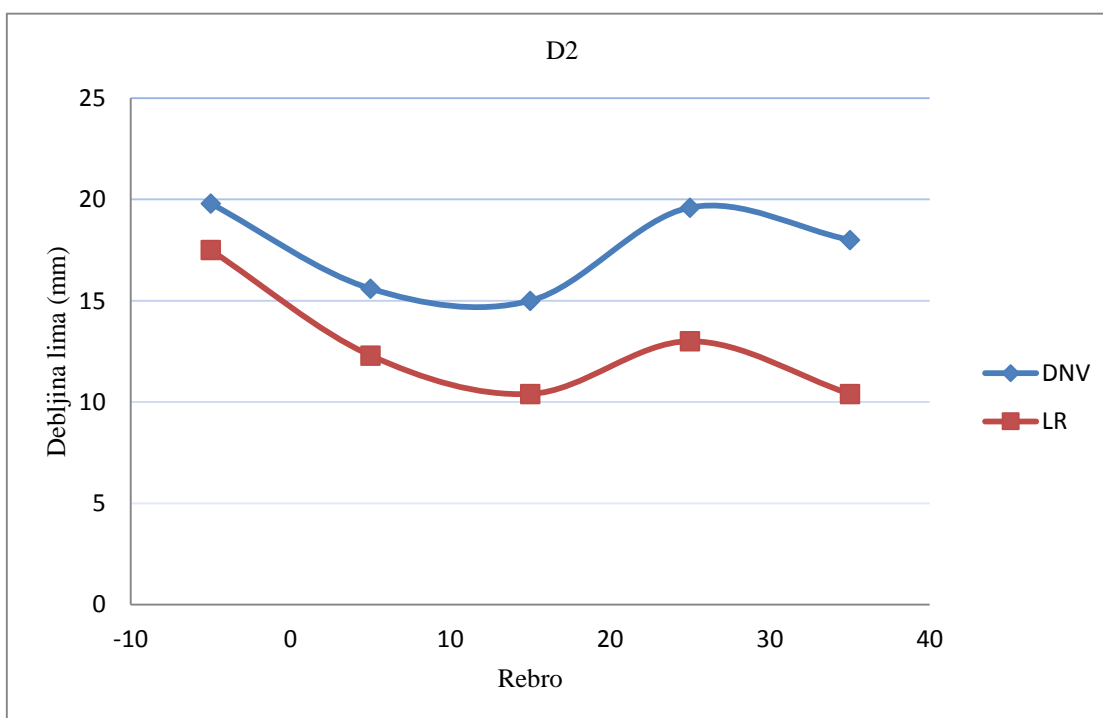
U slučaju krme kod usporedbe izračunatih debljina s debljinama za koje se Uljanik opredijelio, vidi Tablicu 4, dolazi do nekih odstupanja u području oko $0.1L$ i naprijed zato jer su točke promatranja obuhvaćene ovim radom van propisanog područja ojačanja po zahtjevima DNV-a, odnosno na samoj granici.

| Pozicija duž broda | | Tražene debljine limova oplata na krmi, (mm) | |
|----------------------------|---------|--|------|
| | | D1 | D2 |
| Fr.-5 (-0.0185L) | Uljanik | 18,0 | 18,0 |
| | DNV | 19,6 | 19,8 |
| | LR | 29,5 | 17,5 |
| Fr.5 (0.0176L) | Uljanik | 16,0 | 16,0 |
| | DNV | 15,6 | 15,6 |
| | LR | 21,0 | 12,3 |
| Fr.15 (0.053L) | Uljanik | 16,0 | 16,0 |
| | DNV | 15,5 | 15,0 |
| | LR | 18,5 | 10,4 |
| Fr.25 (0.097L) | Uljanik | 13,5 | 13,0 |
| | DNV | 20,9 | 19,6 |
| | LR | 22,5 | 13,0 |
| Fr.35 (0.147L) | Uljanik | 13,5 | 13,0 |
| | DNV | 19,2 | 18,0 |
| | LR | 16,2 | 10,4 |

Tablica 4. Usporedba zahtjevanih debljina limova oplata na krmi



Slika 15. Raspored zahtjevanih debljina limova oplata na visini D1



Slika 16. Raspored zahtjevanih debljina limova oplata na visini D1

7. PRORAČUN ZAHTJEVANIH MOMENATA OTPORA PRESJEKA UKREPA

Profili ukrepa su određeni prema vrijednostima momenata otpora koji su izračunati prema formulama koje propisuju ova klasifikacijska društva. Unutar tih formula su uzeti u obzir ranije izračunati tlakovi udara na tim područjima.

Plastični moment otpora profila prema DNV-u ne smije biti manji od:

$$Z_p = \frac{160sl^2p}{(1+\frac{n_s}{2})\sigma_f} + \frac{n_s \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{A_s}{A_{sa}}\right)^2}\right) \sin \varphi_w h_w (h_w + t_p)(t_w - t_k)}{8000} \quad [\text{cm}^3] \quad (6)$$

Stvarni moment otpora profila prema DNV-u:

$$Z_{pa} = \frac{h_w(h_w + t_p)(t_w - t_k) \sin \varphi_w}{2000} + \frac{A_{fn} \left(h_{fc} + \frac{t_p}{2}\right) \sin \varphi_w - b_w \cos \varphi_w}{1000} \quad [\text{cm}^3] \quad (7)$$

Plastični moment otpora profila prema LR-u ne smije biti manji od:

$$Z_p = 3.75 h_s s_{cm} k l_e^2 * 10^{-3} \quad [\text{cm}^3] \quad (8)$$

Stvarni moment otpora profila prema LR-u:

$$Z_p = 2.8 * 10^{-4} s_{cm} t_p^2 - 10^{-3} b_f b_{fc} t_f \sin \theta_e + 5 * 10^{-4} (h_w^2 t_w + 2 b_f t_f h_w) \cos \theta_e \quad [\text{cm}^3] \quad (8)$$

7.1. Zahtjevani profili ukrepa na pramcu

Kao što se može vidjeti iz Tablice 5, LR i kod odabira profila ukrepa ima nešto „stroži“ pristup od DNV-a. Na razini D3 - D4 je zahtjev profila identičan dok na ostalim razinama LR zahtjeva ipak nešto jače profile.

U usporedbi dimenzija profila koje je Uljanik odabrao ponovno je vidljiva podudarnost s DNV-ovim zahtjevima. Postoje mala odstupanja na 176. i 181. rebru, međutim razlog tomu je što su točke na spomenutim rebrima van područja koje DNV propisuje, odnosno nalaze se na manje od 0.9L.

| Pozicija duž broda | | Zahtjevani profili ukrepa na pramcu | | | |
|---------------------------|---------|-------------------------------------|-----------|-----------------|-----------------|
| | | D3 - D4 | D4 - D5 | D5 - D6 | D6 - D7 |
| Fr.176 (0.85L) | Uljanik | HP 300X12 | HP 300X12 | HP 300X12 | HP 300X12 |
| | DNV | HP 300X11 | HP 300X11 | HP 340X15 | HP 430X21 |
| | LR | HP 300X11 | HP 370X15 | HP 370X13 | HP 430X17 |
| Fr.181 (0.877L) | Uljanik | HP 300X12 | HP 340X12 | HP 340X12 | T 340X12X250X20 |
| | DNV | HP 300X11 | HP 300X11 | HP 370X15 | HP 400X17 |
| | LR | HP 300X11 | HP 370X15 | HP 370X13 | HP 430X17 |
| Fr.186 (0.9L) | Uljanik | HP 300X12 | HP 340X12 | HP 340X12 | T 340X12X250X20 |
| | DNV | HP 300X11 | HP 300X11 | HP 340X13 | HP 430X17 |
| | LR | HP 300X11 | HP 370X15 | HP 370X13 | HP 430X17 |
| Fr.191 (0.927L) | Uljanik | HP 300X12 | HP340X12 | HP 340X12 | T 340X12X250X20 |
| | DNV | HP 300X11 | HP 300X11 | HP 340X13 | HP 400X17 |
| | LR | HP 300X11 | HP 340X15 | HP 370X13 | HP 430X17 |
| Fr.196 (0.95L) | Uljanik | T 240X10X100X25 | HP 240X10 | L 310X12X110X25 | HP 280X12 |
| | DNV | HP 300X11 | HP 300X11 | HP 300X11 | HP 300X11 |
| | LR | HP 300X11 | HP 300X11 | HP 430X21 | HP 370X16 |
| Fr.201 (0.967L) | Uljanik | rebrenica | HP 240X10 | L 310X12X110X25 | HP 280X12 |
| | DNV | HP 300X11 | HP 300X11 | HP 300X12 | HP 300X11 |
| | LR | HP 300X11 | HP 300X11 | HP 430X21 | HP 370X16 |

Tablica 5. Usporedba zahtjevanih profila ukrepa na pramcu

7.2. Zahtjevani profili ukrepa na krmi

Odabir profila na krmi jasno kao i kod proračuna debljine limova oplata na krmi pokazuje jasnu ovisnost LR-ovih zahtjeva o kutu β_p . Jasno se iz Tablice 6 vidi da LR kod malih kuteva β_p traži jače profile, ali kada se taj kut počne povećavati, LR-ov zahtjev postaje manji i od zahtjeva DNV-a.

Pri pogledu na dimenzije profila koje je Uljanik odabrao vidi se da zadovoljavaju većinu zahtjeva koji su ovdje izračunati. Razlog zbog kojeg traženi uvjeti nisu zadovoljeni na 25. i 35. rebru je što se oni nalaze van područja za koje DNV propisuje ojačanja.

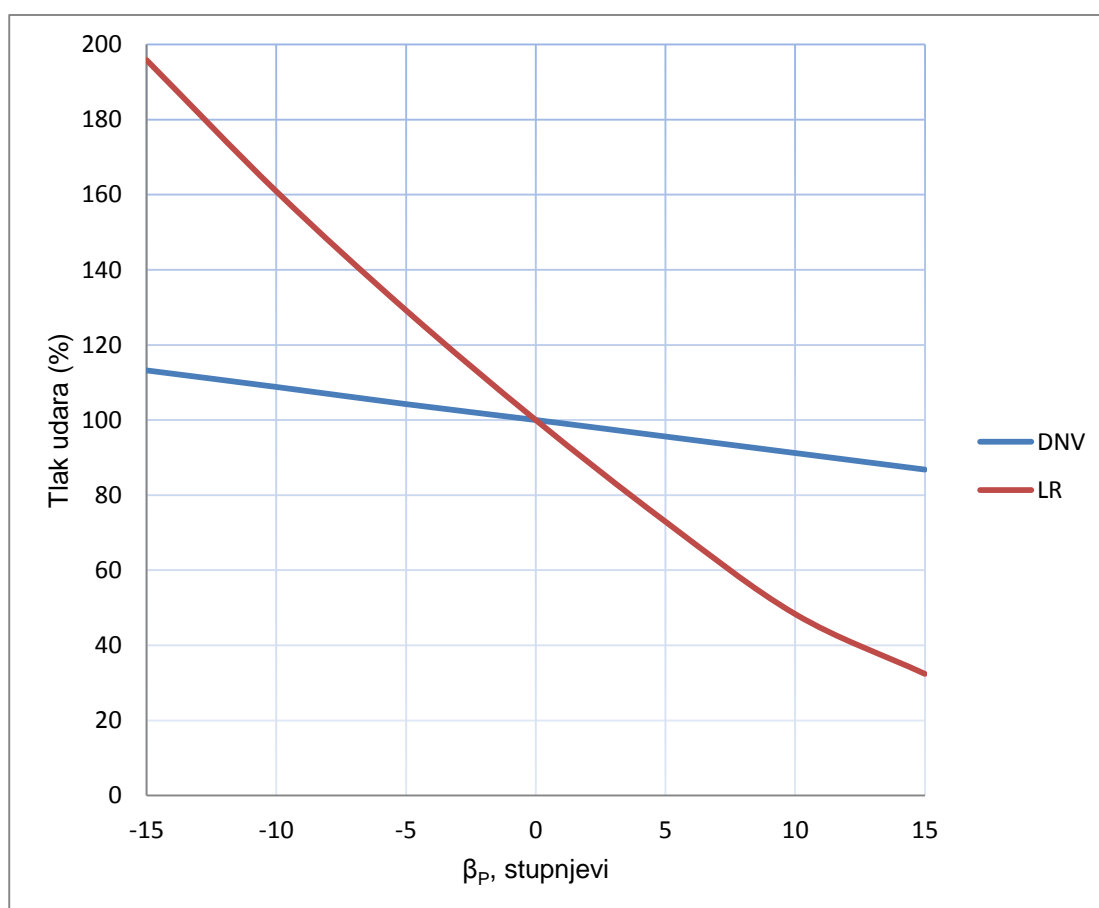
| Pozicija duž broda | | Zahtjevani profili ukrepa na krmi | |
|----------------------------|---------|-----------------------------------|-----------|
| | | D1 | D2 |
| Fr.-5 (-0.0185L) | Uljanik | HP 320X12 | HP 320X12 |
| | DNV | HP 300X11 | HP 300X11 |
| | LR | HP 430X19 | HP 300X11 |
| Fr.5 (0.0176L) | Uljanik | HP 320X12 | HP 320X12 |
| | DNV | HP 300X11 | HP 300X11 |
| | LR | HP 300X14 | HP 200X9 |
| Fr.15 (0.053L) | Uljanik | HP 320X12 | HP 320X12 |
| | DNV | HP 300X11 | HP 300X11 |
| | LR | HP 300X11 | HP 200X9 |
| Fr.25 (0.097L) | Uljanik | HP 300X11 | HP 300X11 |
| | DNV | T 450X21X350X60 | HP 430X21 |
| | LR | T 650X15X250X25 | HP 370X16 |
| Fr.35 (0.147L) | Uljanik | HP 300X11 | HP 300X11 |
| | DNV | HP 430X17 | HP 400X17 |
| | LR | HP 400X17 | HP 300X11 |

Tablica 6. Usporedba zahtjevanih profila ukrepa na krmi

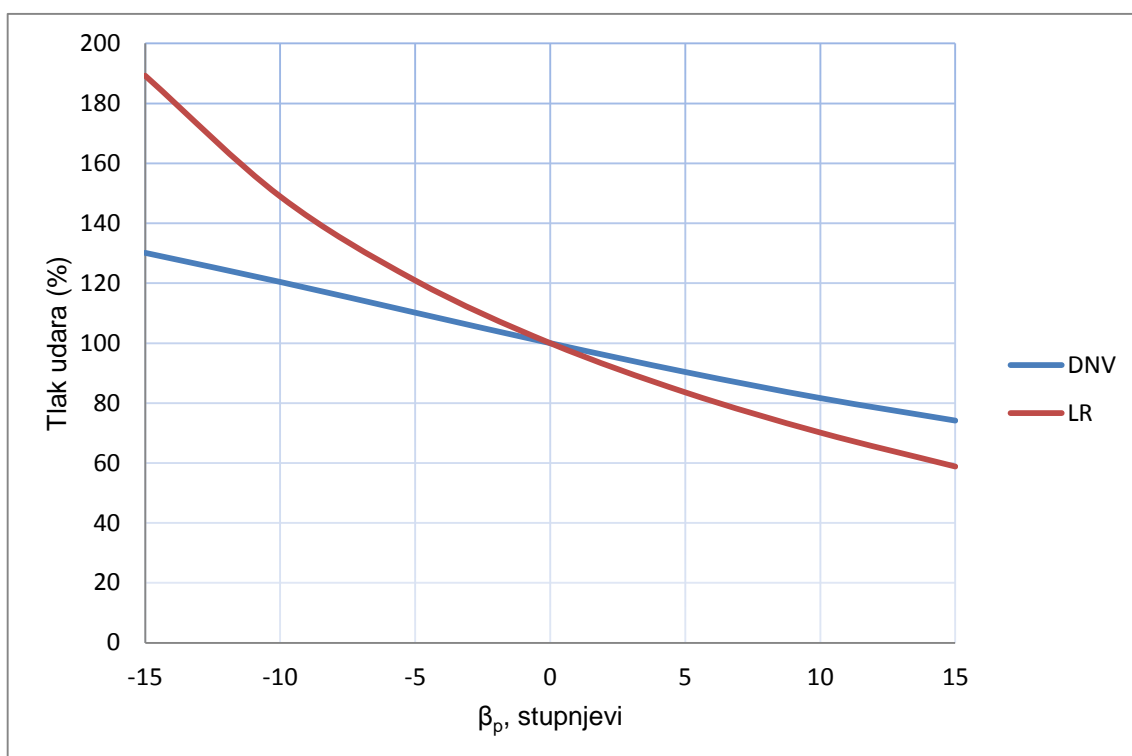
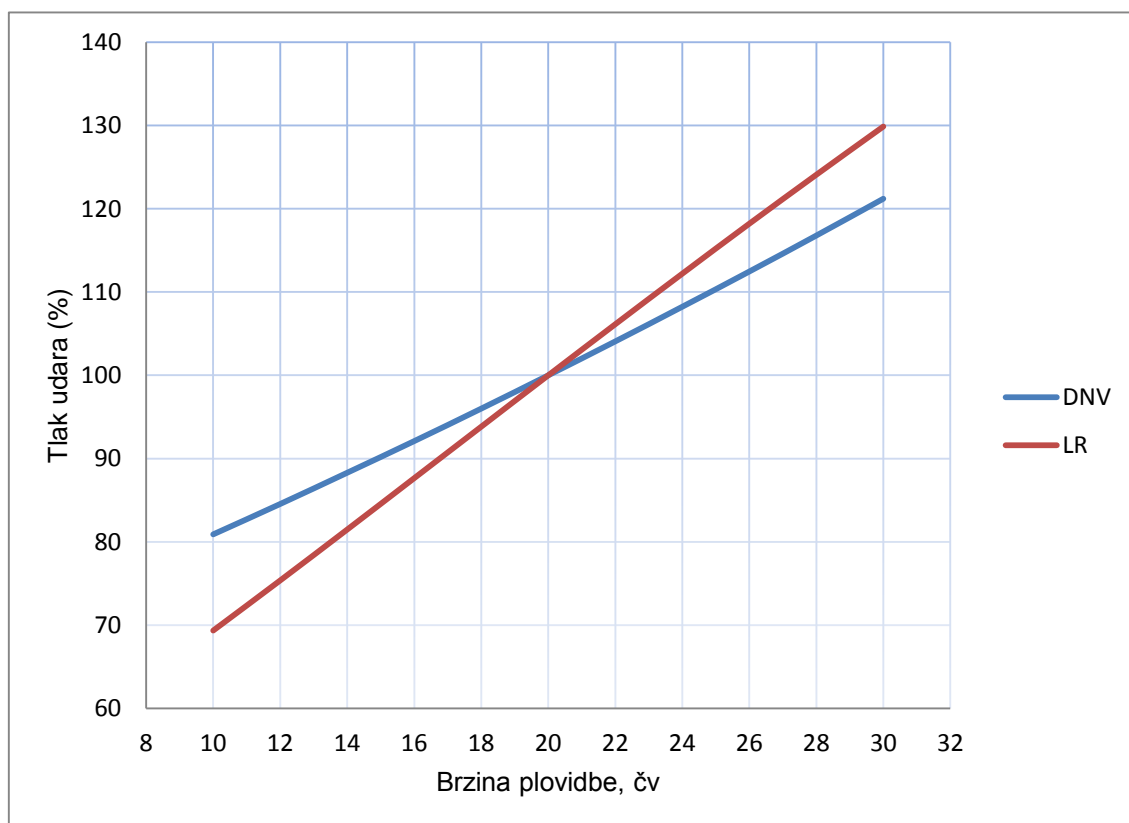
8. STUDIJA OSJETLJIVOSTI

Proračunom svih ranije navedenih veličina i dimenzija jedna ulazna veličina se pokazala posebno bitnom, odnosno utjecajnom na krajnji rezultat, a to je, prema LR-u, kut β_p . Kao što je ranije već definirano to je kut između promatranog dijela oplata i horizontalne osi. Stoga je ovom studijom osjetljivosti, između ostalog, odlučeno pokazati za koliki bi se postotak promijenio tlak udara na oplatu na pramcu (vidi Sliku 17.) i na krmi (vidi Sliku 18.) gledano iz perspektive obaju klasifikacijskih društava kada bi taj isti kut varirao do 15 stupnjeva.

Isto tako, u promatranje je i uzeta varijacija brzine plovidbe broda (vidi Sliku 19.) o kojoj izravno ovise dobivene vrijednosti tlaka udara i prema DNV-u i prema LR-u i koja je sama po sebi jedna od najvažnijih značajki svakog broda.



Slika 17. Utjecaj kuta β_p na tlak udara na pramcu

Slika 18. Utjecaj kuta β_p na tlak udara na krmi

Slika 19. Utjecaj brzine plovitbe na tlak udara na pramcu

9. ZAKLJUČAK

Usporedba zahtjeva klasifikacijskih društava DNV i LR je pokazala da za iste uvjete LR procjenjuje poprilično veće vrijednosti tlaka udara od onih procjenjenih od strane DNV-a. Kad se pogledaju debljine limova, LR zahtijeva u prosjeku oko 25 % deblja opločenja od DNV-a za točku na pramcu. Zanimljivost je da na krmi DNV kod većih kuteva β_p zahtijeva u prosjeku oko 25 % deblja opločenja od LR-a, dok za manje kuteve β_p LR i dalje zahtijeva znatno veće dimenzije.

Kod dimenzioniranja profila ukrepa može se reći da je usko povezano s kutom β_p te, gledajući pramac, LR traži nešto veće profile ukrepa od DNV-a, ali ne toliko bitno različite kao što je to slučaj s debljinama opločenja. Dolaskom na krmeni dio gdje su po visini izabrane vrlo različite točke gledano prema iznosu kuta β_p , samo potvrđuju važnost te ulazne veličine.

Potrebno je i naglasiti da su dobivene slične vrijednosti debljine oplata lima i tipovi profila kao kod Uljanikovog broda za prijevoz automobila koji je projektiran prema Pravilima DNV-a i koji je poslužio kao predložak za ovaj rad.

Oba dva klasifikacijska društva slično vrednuju utjecaj brzine na tlak udara. Promjena brzine od 10 % prema DNV-u mijenja tlak udara za otprilike 5 %. Prema LR-u ista promjena brzine dovodi do promjene tlaka udara od oko 7 %. Važno je napomenuti da kod izračuna vrijednosti tlaka udara na krmi brzina plovidbe nema nikakvog utjecaja.

Kao najutjecajnija ulazna veličina se pokazao kut β_p , odnosno kut između oplata i horizontalne osi. Prema DNV-u promjena kuta β_p na pramcu za 10 stupnjeva uzrokuje promjenu tlaka udara od 10 %, dok prema LR-u uzrokuje promjenu od velikih 60 %. Gledajući krmeni dio odnosi su malo drugačiji. Promjenom kuta β_p za 10 stupnjeva, prema DNV-u, tlak udara se mijenja za 20 %, dok prema LR-u ta promjena bi bila oko 40 %.

LITERATURA

- [1] Bajić, D. i Prpić-Orsić J.: Comparison of various classification societies requirements regarding bow area subject to wave impact loads, Proceedings of International workshop-Advanced Ship Design for Pollution Prevention, Split, Croatia, 2009.
- [2] Čuvalo, M.: Osnivanje broda – Programi i algoritmi, Sveučilište u Zagrebu, 1992.
- [3] ..., Det Norske Veritas: „Rules for Classification of Ships, Newbuildings: Hull Structural Design – Ships with Length 100 Meters and Above – Part 3“, July 2011.
- [4] ..., Lloyd's Register: „Rules and Regulations for the Classification of Ships – Part 4 Ship Structures (Ship Types)“, July 2010.
- [5] Uljanik – tehnička dokumentacija : Nacrt broda za prijevoz automobila 477, 478, Pula, 2006.

PRILOZI

- I. Dio nacрта pramca i krme izabrane forme trupa broda
- II. CD-R disc