

# Tehno-ekonomska analiza prometa na europskim unutarnjim plovnim putovima

---

Čakširan, Marko

Master's thesis / Diplomski rad

2014

*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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:999194>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-18**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Marko Čakširan**

Zagreb, 2014.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Kalman Žiha, dipl. ing.

Student:

Marko Čakširan

Zagreb, 2014.

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

Zahvaljujem se svom mentoru prof.dr.sc. Kalmanu Žihi na pomoći pri izradi ovog rada. Također se zahvaljujem svim profesorima i asistentima na prenesenom znanju i suradnji.

Posebno se zahvaljujem dipl. ing. Nikoli Brnardiću na praktičnim savjetima i pomoći te svojim roditeljima koji su imali razumijevanja za vrijeme mog studiranja!

Marko Čakširan



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



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

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

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student:

Mat. br.:

Naslov rada na  
hrvatskom jeziku:

Naslov rada na  
engleskom jeziku:

Opis zadatka:

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datumi obrane:

Zadatak zadao:

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Zvonimir Guzović

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	IV
POPIS TABLICA.....	VI
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE .....	VII
POPIS OZNAKA .....	VIII
SAŽETAK.....	X
SUMMARY .....	XI
1. UVOD.....	1
2. ZNAČAJ I KARAKTERISTIKE UNUTARNJE PLOVIDBE.....	2
2.1. Unutarnja plovidba u Europi.....	2
2.2. Unutarnja plovidba u Hrvatskoj.....	6
3. PLOVNI PUTOVI U EU.....	11
3.1. Klasifikacija plovni putova .....	12
3.2. Ograničenja plovni putova.....	13
4. INTERMODALNI PRIJEVOZ .....	15
4.1. Prednosti intermodalnog prijevoza .....	17
4.2. Intermodalni prijevoz unutarnjim plovnim putovima .....	18
4.2.1. Intermodalni Short Sea Shipping .....	19
5. TRŽIŠTE UNUTARNJE PLOVIDBE .....	20
5.1. Karakteristike.....	20
5.2. Analiza glavnih snaga, slabosti, prilika i prijetnji (SWOT) .....	21
5.3. Ekonomska i ekološka usporedba unutarnje plovidbe sa drugim transportnim tržištima .....	22
5.3.1. Usporedba duljina linija .....	22
5.3.2. Usporedba prijevoza tipova robe .....	23
5.3.3. Sigurnost .....	24
5.3.4. Točnost i pouzdanost .....	25
5.3.5. Ekonomska brzina i potrošnja energije i emisije .....	25
5.3.6. Troškovi .....	30
6. PLOVILA UNUTARNJE PLOVIDBE.....	32
6.1. Osnovni tipovi plovila i konvoja .....	32
6.1.1. Brodovi za suhe terete .....	33
6.1.2. Kontejnerski brodovi .....	38

6.1.3. Tankerska plovila.....	40
6.1.4. Ro-Ro plovila.....	41
6.2. Hidrodinamika plovila unutarnje plovidbe.....	43
6.2.1. Otpor u plitkoj vodi .....	43
6.2.2. Propulzija i sustavi upravljanja .....	46
7. KONSTRUKCIJA PLOVILA UNUTARNJE PLOVIDBE.....	49
7.1. Klasifikacijska društva u unutarnjoj plovidbi.....	49
7.2. Osnovni pojmovi i tumačenja.....	51
7.2.1. Glavne dimenzije i veličine .....	51
7.2.2. Osnovne veličine i pojmovi .....	52
7.3. Materijali .....	54
7.4. Projektna načela u konstrukciji broda unutarnje plovidbe .....	54
7.4.1. Pojmovi i simboli .....	54
7.4.2. Neprekinutost strukture.....	55
7.4.3. Ukrepe.....	55
7.4.3.1. Nepoduprti raspon ukrepa.....	56
7.4.3.2. Složena izvedba ukrepa.....	57
7.4.4. Primarni nosivi elementi .....	58
7.4.4.1. Primarni nosivi elementi sa koljenima.....	58
7.4.4.2. Sunosiva širina primarnih nosivih elemenata .....	58
7.4.5. Načela dimenzija trupa .....	59
7.4.5.1. Koeficijent koljena.....	59
7.4.6. Dodatak zbog korozije .....	61
7.5. Opterećenja brodskih konstrukcija .....	61
7.5.1. Gibanja broda.....	62
7.5.1.1. Zalijetanje .....	63
7.5.1.2. Zanošenje .....	63
7.5.1.3. Poniranje .....	63
7.5.1.4. Ljuljanje .....	63
7.5.1.5. Posrtanje.....	64
7.5.1.6. Zaošijanje.....	64
7.5.2. Opterećenje trupa broda na mirnoj vodi .....	65
7.5.3. Opterećenje trupa uslijed djelovanja valova .....	65
7.5.4. Opterećenje tankova tekućim teretom .....	66
7.5.5. Opterećenja skladišta suhog rasutog tereta .....	67
7.5.6. Opterećenje palube .....	67
7.6. Načini oštećenja.....	68
7.6.1. Popuštanje materijala .....	68

---

7.6.2. Izvijanje .....	68
7.6.3. Zamor konstrukcije .....	69
7.6.4. Krti lom.....	70
8. UZDUŽNA ČVRSTOĆA BRODOVA UNUTARNJE PLOVIDBE .....	71
8.1. Moment savijanja uslijed djelovanja valova .....	72
8.2. Projektni moment savijanja pri progibu i pregibu .....	73
8.3. Provjera dimenzija postojećeg broda.....	74
8.4. Proračun dimenzija poprečnog presjeka prema BV-u.....	75
8.4.1. Oplata palube .....	75
8.4.2. Oplata boka .....	75
8.4.3. Oplata dna .....	75
8.4.4. Oplata uzdužne pregrade .....	76
8.4.5. Hrptenjak .....	76
8.4.6. Palubna podveza .....	76
8.4.7. Provjera čvrstoće .....	76
8.4.8. Usporedba rezultata .....	77
9. ZAKLJUČAK.....	78
LITERATURA.....	79
PRILOZI.....	80



## POPIS SLIKA

Slika 1.	Transportni doseg po vrstama prometa po tonama uz konstantnu količinu energije	3
Slika 2.	Prijevoz tereta po tkm za različite vrste prijevoza (izvor:[2])	5
Slika 3.	Luka Vukovar na Dunavu (izvor:radio.hrt.hr)	7
Slika 4.	Luka Osijek na Dravi	7
Slika 5.	Luka Slavonski Brod na Savi	8
Slika 6.	Luka Sisak na Kupa	8
Slika 7.	Plovni putovi u R. Hrvatskoj (izvor: [4])	10
Slika 8.	Glavni transportni plovni putovi Europe (izvor:CRUP d.o.o.)	11
Slika 9.	Odnos dubine plovnog puta i gaza broda	13
Slika 10.	Međuprostor ispod mosta	14
Slika 11.	Intermodalni prijevoz u unutarnjoj plovidbi	16
Slika 12.	Intermodalni transportni lanac	16
Slika 13.	Odnos duljine plovnih putova, željeznice i autoceste	22
Slika 14.	Vrsta robe prevezena unutarnjim plovnim putovima 2010. godine. (izvor:Eurostat)	23
Slika 15.	Vrsta robe prevezena cestovnim prometom 2011. godine. (izvor:Eurostat)	24
Slika 16.	Prijevoz opasnih tvari 2005. godine (izvor:[2])	25
Slika 17.	Potrošnja energije za različite vrste prijevoza u MJ/tkm	27
Slika 18.	CO <sub>2</sub> emisija kod teretnog prijevoza u 2010. godini na dugim udaljenostima (>150 km);(izvor:[2])	28
Slika 19.	NO <sub>x</sub> emisija kod teretnog prijevoza u 2010. godini na dugim udaljenostima (> 150 km);(izvor: [2])	29
Slika 20.	SO <sub>2</sub> emisija kod teretnog prijevoza u 2010. godini na dugim udaljenostima (> 150 km);(izvor:[2])	30
Slika 21.	Ukupni vanjski troškovi za različite vrste transporta	31
Slika 22.	Brod za prijevoz suhog rasutog tereta klase "Kempenaar"	34
Slika 23.	Brod za prijevoz suhog rasutog tereta klase "Spits"	35
Slika 24.	Brod za prijevoz suhog rasutog tereta klase "Europaschiff" (izvor: viadonau)	36
Slika 25.	Potisni konvoj sa dvije barže (izvor:viadonau)	37
Slika 26.	Kontejnersko plovilo klase "Jowi"	38
Slika 27.	Slaganje kontejnera na plovilo klase "Jowi" (izvor: [7])	39
Slika 28.	Tankersko plovilo (izvor: wikipedia)	40
Slika 29.	Ro-Ro plovilo (izvor: europe.autonews.com)	42
Slika 30.	Omjer otpora r pri plitkoj vodi	44
Slika 31.	Dijagram snage za različite dubine vode	45
Slika 32.	Kritična područja brzine u plitkoj vodi	45
Slika 33.	Kritična područja brzine u plitkoj vodi	46
Slika 34.	Izvedba konstrukcije krme na riječnim teretnim brodovima	47
Slika 35.	Načini izvedbe pramčanih potisnika na riječnim brodovima	48
Slika 36.	Visina i debljina struka HP profila (izvor:[9])	56
Slika 37.	Ukrepa bez koljena (izvor:[9])	56
Slika 38.	Ukrepa ukrepljena ukrepom bez koljena (izvor:[9])	56
Slika 39.	Ukrepa s koljenom (izvor:[9])	57
Slika 40.	Ukrepa ukrepljena ukrepom i koljenom (izvor:[9])	57
Slika 41.	Složena izvedba ukrepe (izvor:[9])	57

---

Slika 42.	Spajanje dvaju primarnih nosećih elemenata .....	58
Slika 43.	Karakteristike koljena na krajevima primarnih nosivih elemenata (izvor:[9]) .....	60
Slika 44.	Djelovanje tlaka na trup broda na mirnoj vodi (izvor:[9]) .....	65
Slika 45.	Djelovanje tlaka na trup broda uslijed djelovanja valova (izvor:[9]).....	65

## POPIS TABLICA

Tabela 1. Statistika o unutarnjoj plovidbi u Europskoj uniji (izvor:[3]) .....	5
Tabela 2. Klasifikacija plovnih putova u R. Hrvatskoj .....	9
Tabela 3. Analiza snaga, slabosti, prilika i prijetnji .....	21
Tabela 4. Energetski faktori za različite vrste prijevoza u MJ/tkm.....	27
Tabela 5. Dimenzije različitih tipova plovila .....	33
Tabela 6. Karakteristike broda klase "Kempenaar" .....	34
Tabela 7. Karakteristike broda klase "Spits" .....	35
Tabela 8. Karakteristike broda klase "Europaschiff" .....	36
Tabela 9. Karakteristike potisnog konvoja sa 4 barže.....	37
Tabela 10. Karakteristike kontejnerskog plovila klase "Jowi".....	39
Tabela 11. Karakteristike tankerskog plovila.....	41
Tabela 12. Karakteristike Ro-Ro plovila.....	42
Tabela 13. Mehanička svojstva čelika za gradnju trupa [10].....	54
Tabela 14. Faktor materijala k [10].....	54
Tabela 15. Dodatak za koroziju.....	61
Tabela 16. Vrijednosti visine vala.....	72
Tabela 17. Pretpostavljene dimenzije elemenata [mm] .....	74
Tabela 18. Stvarne dimenzije elemenata poprečnog presjeka.....	76

## **POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE**

- 1 POPREČNI PRESJEK POSTOJEĆEG BRODA
- 2 POPREČNI PRESJEK BRODA PREMA PRAVILIMA BV-a

## POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
tkm	Jedinica	Tona-kilometar
TEU	ft	Oznaka za dimenzije kontejnera
$P_B$	kW	Snaga na kočnici motora
$R_T$	N	Ukupni otpor broda
v	m/s	Brzina broda
$R_V$	N	Viskozni otpor
$R_W$	N	Otpor valova
h	m	Dubina vode
$L_{pp}$	m	Duljina broda između okomica
$F_{nL}$		Froudeov broj baziran na duljini vodne linije
B	m	Širina broda
D	m	Visina broda
$T_1$	m	Gaz broda
P	kW	Ukupna snaga pogonskog stroja
a	m	Razmak rebara
$a_p$	m	Razmak okvira
u	m	Poluvisina vala
$R_{eH}$	$N/mm^2$	Granice razvlačenja
$R_m$	$N/mm^2$	Vlačna rastezna čvrstoća
W	$cm^3$	Moment otpora ukrepe ili nosača
$h_w$	mm	Visina struka ukrepe ili nosača
$t_w$	mm	Debljina struka ukrepe ili nosača
$b_f$	mm	Širina prirubnice ukrepe ili nosača
$t_f$	mm	Debljina prirubnice ukrepe ili nosača
$t_p$	mm	Debljina lima na kojeg je postavljena ukrepa ili nosač
s	mm	Razmak između ukrepa
S	mm	Udaljenost između primarnih nosivih elemenata
l	mm	Nepoduprti raspon ukrepa ili nosača
I	$cm^4$	Moment tromosti ukrepe ili nosača bez opločenja
$I_B$	$cm^4$	Moment tromosti ukrepe ili nosača sa koljenom bez opločenja
$A_{sh}$	$cm^2$	Površina ukrepe
d,b	m	Dimenzije koljena
$T_{sw}$	s	Period zanošenja
$a_{sw}$	$m/s^2$	Ubrzanje zanošenja
$a_H$	$m/s^2$	Ubrzanje poniranja

$\alpha_R$	$\text{rad/s}^2$	Ubrzanje ljuljanja
$T_R$	s	Period ljuljanja
$A_R$	rad	Amplituda ljuljanja
GM	m	Metacentarska visina
$\alpha_P$	$\text{rad/s}^2$	Ubrzanje posrtanja
$T_P$	s	Period posrtanja
$A_P$	rad	Amplituda posrtanja
$\alpha_y$	$\text{rad/s}^2$	Ubrzanje zaošijanja
H	m	Visina vala
$p_{SE}$	$\text{N/mm}^2$	Tlak koji djeluje na trup broda uslijed vanjskog opterećenja vode
$p_{WE}$	$\text{N/mm}^2$	Tlak uslijed djelovanja valova
$p_{EM}$	$\text{N/mm}^2$	Ukupni tlak koji djeluje na trup broda
$p_C$	$\text{N/mm}^2$	Tlak tereta
$\rho_L$	$\text{N/mm}^2$	Gustoća tekućeg tereta
$z_L$	m	Udaljenost od osnovice broda do najviše razine tekućeg tereta
$z_{TOP}$	m	Udaljenost od osnovice broda do najviše točke tanka
$p_{PV}$	$\text{N/mm}^2$	Tlak na sigurnosnom ventilu
$L_H$	m	Uzdužna duljina skladišta ili tanka između susjednih poprečnih pregrada
$m_B$	t	Masa suhog tereta
$B_l$	m	Širina skladišta ili tanka
$z_H$	m	Udaljenost dna ili pokrova dvodna od osnovice
$p_B$	$\text{N/mm}^2$	Tlak balasta
$d_{AP}$	m	Udaljenost od najviše točke tanka do najviše točke odušnika na palubi
$\sigma_E$	$\text{N/mm}^2$	Elastično naprezanje izvijanja
$\sigma_F$	$\text{N/mm}^2$	Granica popuštanja
$F_K$	N	Kritična sila izvijanja
$l_0$	m	Slobodna duljina izvijanja

## SAŽETAK

Prijevoz robe unutarnjim plovnim putovima je jedan od najstarijih načina prijevoza robe. Najčešće isticane prednosti unutarnje plovidbe su da efikasnost, pouzdanost i održivost. Europska komisija predviđa devet multi-modalnih transportnih putova od preko 37000 kilometara duljine kroz Europu. U gotovo svakoj prometnoj strategiji ili politici Europske unije raspravlja se o prednostima riječnog prometa. Razlog tome je što postoji sve veća svijest o uravnoteženom razvoju prometa. Transport prometa se usmjerava na ekonomičnije i društveno prihvatljivije oblike kao što je riječni promet.

U ovom radu je provedena tehno-ekonomska analiza prometa na unutarnjim plovnim putovima Europe te je provedena i tehnička analiza važnih tipova plovila na unutarnjim vodama. Tehnička analiza sadrži osnovne funkcije, glavne karakteristike, materijale i konstruktivna rješenja pojedinih tipova brodova unutarnje plovidbe. Osim navedenoga, proveden je i proračun uzdužne čvrstoće broda za prijevoz tekućeg tereta prema BV (Bureau Veritas) pravilima.

Ključne riječi: unutarnji plovni putovi, multi-modalni transport, riječni promet, tehno-ekonomska analiza, tehnička analiza, konstruktivna rješenja.

## **SUMMARY**

### Abstract

Transport of goods by inland waterways is one of the oldest ways of transporting goods. The most mentioned advantages of inland navigation are that this type of transportation is efficient, reliable and sustainable. The European Commission predicts nine multi-modal transportation routes of over 37000 km in length through the Europe. In almost every traffic strategy or Europe Union policy is being discussed about advantages of river transport. Reason for this is growing awareness about balanced development of transport. Cargo transport is also routed on economical and socially acceptable forms such as river traffic. In this thesis techno- economic analysis of traffic on the inland waterways of Europe is made. Also technical analysis of the important type of vessels on inland waters is conducted. Technical analysis contains basic function, main performance, materials and constructive solutions to specific type of inland vessels. In addition, calculation of longitudinal strength of ship for liquid cargo is also made by BV (Bureau Veritas) rules.

Key words: inland waterways, multi-modal transport, river traffic, techno-economic analysis, technical analysis, constructive solutions



## **1. UVOD**

U Europi postoji više od 30 000 kilometara kanala, rijeka i jezera koja povezuju stotine industrijski ključnih gradova i područja. Samo srce Europe, pogotovo Nizozemska, Belgija, Luksemburg, Francuska, Njemačka i Austrija, povezano je mnoštvom vrlo pristupačnih rijeka i kanala kojima se svakodnevno prevozi raznovrstan teret kao što su teški metali, rasuti teret, industrijska roba, građevinski materijal, kontejneri, tereti velikih dimenzija te otpad. Iako su glavne arterije europske mreže unutarnjih plovnih putova velike poput Rajne i Dunava, mnogi manji gradovi, sela i industrijske zone povezane su u mrežu putem brojnih pritoka i kanala. Usprkos gustom i fleksibilnoj mreži unutarnjih plovnih putova još uvijek postoji velika količina kapaciteta na unutarnjim plovnim putovima koja nije iskorištena.

## 2. ZNAČAJ I KARAKTERISTIKE UNUTARNJE PLOVIDBE

### 2.1. Unutarnja plovdba u Europi

Unutarnja plovdba je prometna grana koja posljednjih godina plijeni pozornost više od ijedne druge prometne grane u Europi. Riječni promet ubrajamo u ekonomičnije i općedruštveno prihvatljive oblike transporta. U zemljama EU (Europske unija) postoji sve veća svjesnost o potrebi uravnoteženijeg razvitka prometa u usmjeravanju transporta tereta na navedene oblike. Problemi s kapacitetom, kašnjenja te zagušenja počeli su negativno utjecati na mobilnost i ekonomsku konkurentnost te se Europska unija posvetila ostvarenju cilja premiještanja transporta na vrste koje troše manje energije, koje su čišće i sigurnije. Prijevoz unutarnjim plovnim putovima pokazao se kao jeftiniji, ekonomičniji, pouzdaniji te boljim za okoliš, od najčešće vrste prijevoza u Europi – cestovnog prijevoza. Upravo zbog ovih prednosti Europska komisija je odlučila potaknuti korištenje unutarnjih plovnih putova kako bi oni postali ključni dio Europskog intermodalnog transportnog sustava.

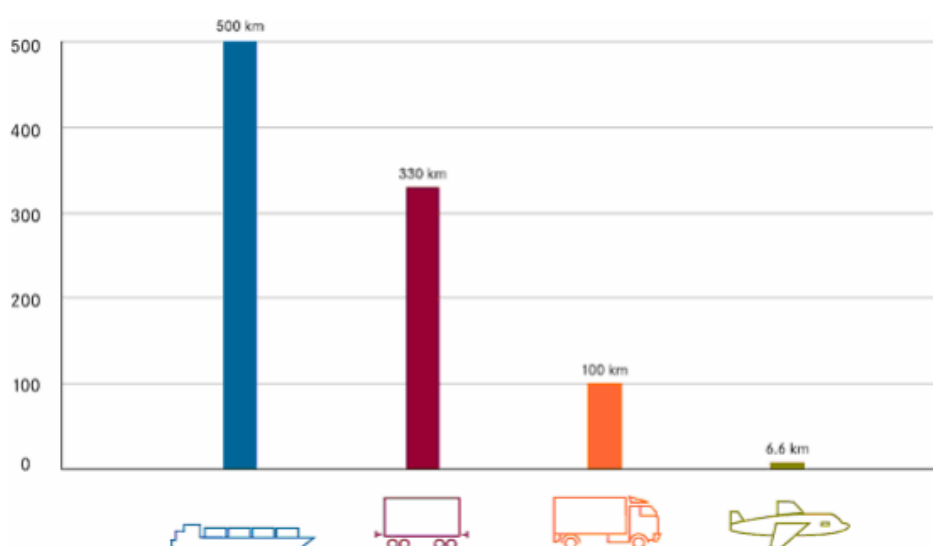
Također, na same uvjete plovdbе utječe vodostaj rijeke na koji se nemože utjecati te je potrebno pratiti vodostaje za planiranje transporta. Osim vodostaja, ova vrsta transporta je relativno male brzine što je bitno za konkurentnost prema ostalima vrstama transporta.

Europa se sastoji od više od 30 000 kilometara rijeka i kanala koje povezuju stotine ključnih gradova i područja. Samo središte Europe povezano je mnoštvom vrlo pristupačnih rijeka i kanala kojima se svakodnevno prevozi raznovrstan teret kao što su rasuti teret, industrijska roba, kontejneri, teški metali, građevinski materijali te otpad. Sama pozicija riječnih luka pruža mogućnost intermodalnih veza sa cestom, željznicom te morskim linijama. Unatoč gustoj i fleksibilnoj mreži unutarnjih putova još uvijek postoji velika količina kapaciteta putova koja nije iskorištena. Transport tereta unutarnjim plovnim putovima imao je 2000. godine udio od 7 % u ukupnom kopnenom teretnom transportu (125 000 milijuna tonskih kilometara), dok su za usporedbu cestovni i željeznički promet imali udio od 74 % odnosno 14 %.[1] Ovakav rezultat se može objasniti time što tek polovica članica EU raspolaže sa međusobno povezanim unutarnjim plovnim putovima. U Belgiji, Nizozemskoj i npr. sjevernoj Francuskoj, udio riječnog transporta u teretnom prometu iznosi čak 43 %.[1]

Investicije u infrastrukturu unutarnjih plovnih putova su zadnjih godina u značajnom zaostatku u usporedbi s cestovnim i željezničkim prometom, ali unatoč tome karakteristike unutarnje plovdbе u velikoj mjeri su se promijenile na bolje. Najviše je učinjeno na

područjima modernizacije flote, rasta prometa na unutarnjim plovnim putovima te uvođenju najmodernijih informacijskih i komunikacijskih tehnologija što je za rezultat imalo da se sve više tereta seli s ceste na unutarnje plovne putove te se povećava udio riječnog transporta u ukupnom transportu tereta. Uz povećanje navedenog udjela, pojavljuju se i neka nova tržišta pogotovo za specijalizirane terete (opasni teret, kemikalije, hladeni teret), dok je najvažnija novina sve veći udio kontejnera u riječnom transportu. Također se povećava i udio putničkog prometa u riječnom transportu te se pretpostavlja da će se ovaj trend nastaviti sa naglaskom na razvoj riječnog turizma.

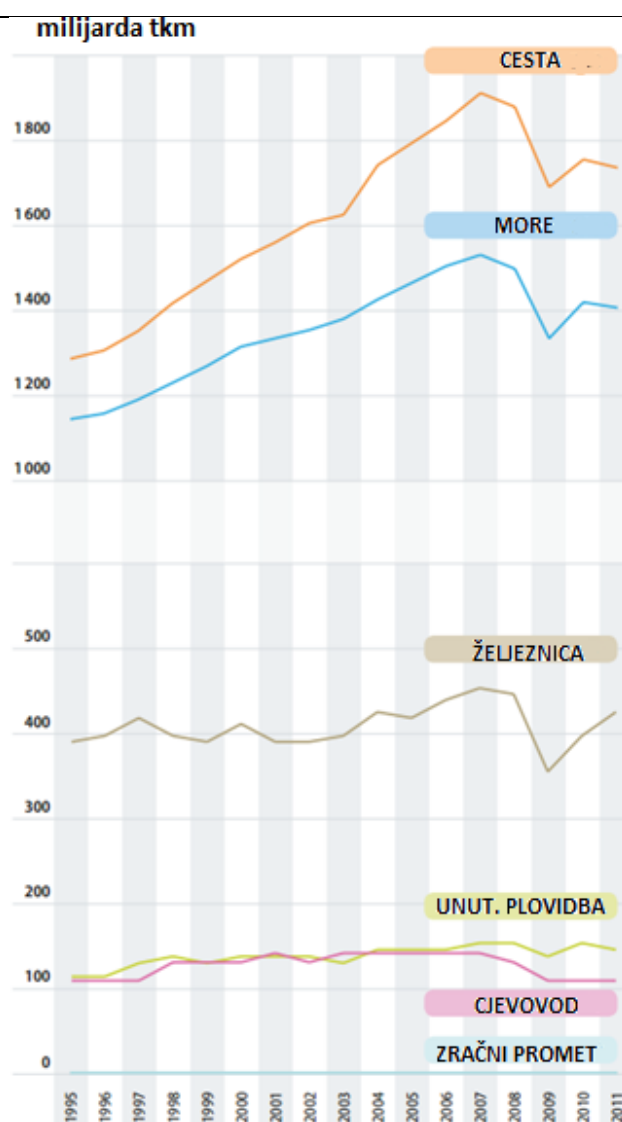
Zbog svojih niskih cijena i efikasnih operacija, prijevoz tereta unutarnjim plovnim putovima pruža svojim korisnicima vrlo dobru vrijednost. Većina plovila mogu po litri goriva prevesti 127 tona tereta, dok za usporedbu, u željezničkom i cestovnom prometu moguće je prevesti 97 odnosno 50 tona tereta po litri goriva.[1] Snaga motora, veličina samih plovila u kombinaciji sa prirodnim tokom plovih putova omogućuje ovako veliku prednost obzirom na potrošnju goriva u usporedbi sa željezničkim vagonima i kamionima. Na većini unutarnjih plovnih putova može se ploviti 24 sata dnevno, sedam dana tjedno što unutarnju plovidbu čini pouzdanom jer ne pati od problema zagušenosti koji trenutno ograničava željeznicu i ceste. Također, unutarnja plovidba je, prema mnogim istraživanjima, jedan od najsigurnijih načina transporta. Broj nesreća je izrazito nizak, a čak i kad dođe do nesreće, ljudske ozljede i materijalna šteta su vrlo ograničeni. Plovila unutarnje plovidbe moraju biti u skladu sa strogim pravilima i standardima te se redovito testiraju od strane inspektora sigurnosti plovidbe.



**Slika 1. Transportni doseg po vrstama prometa po tonama uz konstantnu količinu energije**

Prema istraživanju Europske komisije o količini novca koji se troši na socio-ekonomske troškove raličitih vrsta prijevoza (zagađenja bukom, zagušenja prometnica, zagađenja zraka, itd.) na unutarnju plovidbu otpada samo 0.5 % od ukupnih troškova, dok na cestovni prijevoz otpada najviše, čak 91.5 % troškova.[1]

Unutarnja plovidba postaje okosnica intermodalnog prometa u Europi prvenstveno zahvaljujući mogućnostima direktnog transporta od tvornice do tvornice te transportu u kojem su neophodni samo jedan ili dva preksrcaja te također zbog vrlo dobre povezanosti europskih luka s cestama i željezničkim linijama. Europska unija u potpunosti podržava ideju da riječne luke postanu prave intermodalne platforme pružajući veze sa željeznicom, cestom i morem.



Slika 2. Prijevoz tereta po tkm za različite vrste prijevoza (izvor:[2])

Tabela 1. Statistika o unutarnjoj plovidbi u Europskoj uniji (izvor:[3])

Duljina unutarnjih plovnih putova	40 590 km (EU27-2010.god.)
Ukupni pretovar	141,100 mil. tkm (EU27-2011.god.)
Ukupni prihod od sektora	3 280 000 000 € (EU27-2011.god.)
Udio u modalnom prometu	3,7 % (EU27-2011.god.)
Broj poduzeća	9 651 (EU27-2010.god.)
Broj zaposlenih	42 000 (EU27-2010.god.)

## 2.2. Unutarnja plovidba u Hrvatskoj

Hrvatska je smještena između Sredozemlja i Središnje Europe te je poznata kao zemlja dugačke i razvedene morske obale, ali Hrvatska je također podunavska zemlja s dobro razvijenom mrežom unutarnjih plovnih putova koja nije ni približno dovoljno iskorištena. Hrvatska pripada dunavskom koridoru s tri glavne rijeke: Sava, Drava i Dunav. Navedene rijeke prema Europskom sporazumu o glavnim plovnim putovima od međunarodnog značaja (European Agreement on Main Inland Waterways of International Importance – AGN), uvrštavaju se u mrežu europskih plovnih putova. Također prema AGN-u, luke u Osijeku, Vukovaru, Slavonskom Brodu i Sisku spadaju u mrežu luka otvorenih za međunarodni promet.

U Hrvatskoj Dunav ima najbolje uvjete za plovidbu i klasificiran je kao plovni put AGN klase VIc na čitavoj svojoj dionici. Zbog sezonskog pada vodostaja, Drava nema tako povoljne uvjete za plovidbu te se sastoji od tri dionice različite AGN klase (II, III i IV). Sava, iako najdulja rijeka, je u najlošijem stanju zbog gotovo 15-godišnjeg zanemarivanja što je posljedica ratne situacije u Hrvatskoj i Bosni te je na većem svom dijelu klasificirana kao plovni put AGN klase III.[1]

Vukovar je najveća riječna luka u Hrvatskoj. Smještena je na Dunavu sa godišnjim pretovarom 2006. godine od 915 798 tona. Godine 2013. pretovar je pao na 337 937 tona. Ovaj pad je rezultat globalne krize u svijetu. Osim Vukovara postoje i luka Osijek na Dravi te Sisak i Slavonski Brod na Savi.



**Slika 3. Luka Vukovar na Dunavu (izvor:radio.hrt.hr)**



**Slika 4. Luka Osijek na Dravi**



**Slika 5. Luka Slavonki Brod na Savi**



**Slika 6. Luka Sisak na Kupi**

Teret koji se najčešće prevozi hrvatskim rijekama ja šećer, umjetno gnojivo, žitarice, željezna ruda te sirova nafta.



Tabela 2. Klasifikacija plovnih putova u R. Hrvatskoj

Rijeka	Dionica rijeke	Duljina v.puta (km)	Klasa vodnog puta
<b>DUNAV</b>	1295+501 (Ilok) - 1433+000 (Batina)	137.5	Vlc klasa
<b>SAVA</b>	203+300 (Račinovci) – 305+700 (Sl. Šamac)	102.9	IV klasa
	305+700 (Sl. Šamac)– 330+200 (Oprisavci)	24.5	III klasa
	330+200 (Oprisavci)– 363+200 (Sl. Brod-grad)	33.0	IV klasa
	363+200 (Sl. Brod-grad)- 583+000 (Sisak)	219.8	III klasa
	583+000 (Sisak) – 651+000 (Rugvica)	68.0	II klasa
<b>DRAVA</b>	0+000(Ušće Dunava) – 14+050 (Osijek luka Nemetin)	14.0	IV klasa
	14+050 (Osijek luka Nemetin) –55+450 (Belišće)	41.4	III klasa
	55+450 (Belišće) – 198+600	143,2	II klasa
<b>KUPA</b>	0+000 – 5+900	5.9	I klasa
<b>UNA</b>	0+000 – 4+000	4.0	II klasa
	4+000 – 15+000	11.0	I klasa
<b>UKUPNA DULJINA POSTOJEĆIH VODNIH PUTOVA</b>		<b>805,2</b>	
<b>UKUPNA DULJINA VODNIH PUTOVA – MEĐUNARODNE KLASI</b>		<b>287.4</b>	

Promreženost Hrvatske vodnim putovima iznosi 14 km na 1000 km<sup>2</sup> što joj daje komparativnu prednost u odnosu na EU čija gustoća mreže vodnih putova iznosi svega 9,4 km na 1000 km<sup>2</sup>. [4] Ipak, danas je riječni promet u Hrvatskoj jako slabo iskorišten tj. njegov udio u ukupnoj strukturi prometa je izuzetno mali, iako bi njegov razvoj, kombiniran sa željezničkim prometom bio od velikog značaja za uspostavljanje ravnoteže između različitih prometnih grana, kao alternativa dominantnom cestovnom prometu. Komparativna analiza strukture prijevoza tereta po prometnim granama u 2005. godini pokazuje nam dominantnu ulogu cestovnog prometa sa 76,3 % udjela. Udio željezničkog prometa je 22,9 %, dok unutarnja plovidba zauzima gotovo beznačajnih 0,8 %. U 2011. godini analiza strukture prijevoza po prometnim granama pokazuje da je udio cestovnog prometa pao na 74,3 %, željeznički na 19,9 %, dok je dio unutarnje plovidbe porastao na 5,8 %. [3]



Slika 7. Plovni putovi u R. Hrvatskoj (izvor: [4])

### 3. PLOVNI PUTOVI U EU

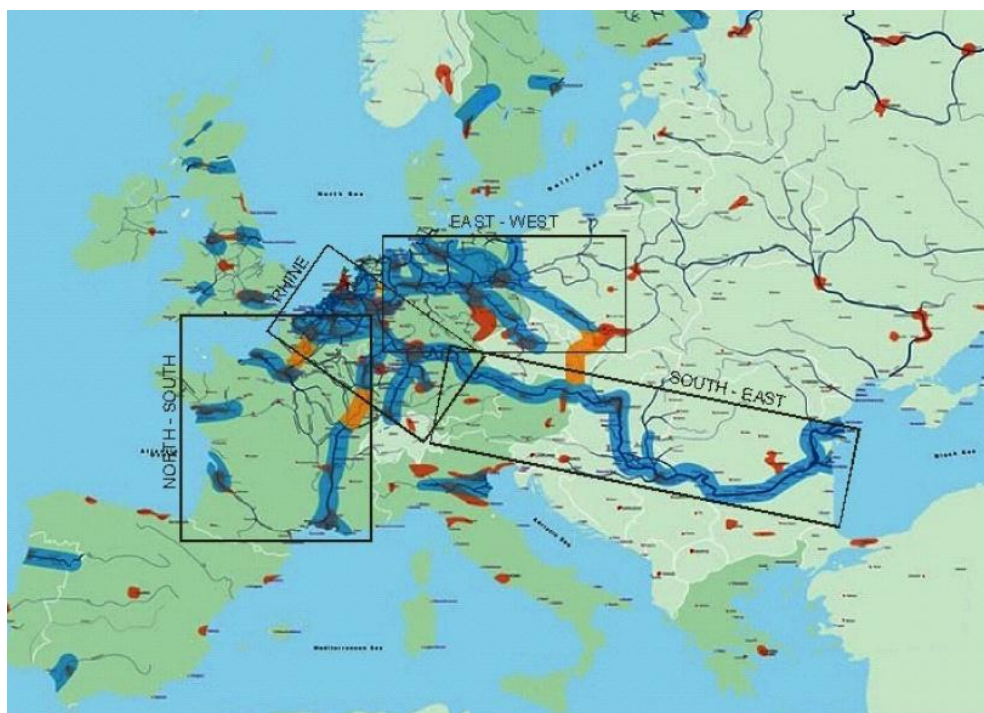
Dužina unutarnjih plovni putova u Europi, koji se koriste za prijevoz i plovidbu, iznose oko 29.000 kilometara, a od toga je otprilike 14.000 kilometara klasificirano kao plovni put klase IV ili više te je na tim plovnim putovima moguć komercijalni prijevoz.

Plovni put se sastoji od[1]:

- Dionica koje slobodno teku – bez brana,
- Dionica reguliranih branama,
- Kanala,
- Dionica koje protječu kroz jezera.

Područje europske unutarnje plovidbe sastoji se od četiri sustava plovni putova:

- Rajna sa svojim pritocima i kanalima
- Sjeverno-južni koridor
- Istočno-zapadni koridor
- Južno-istočni koridor



Slika 8. Glavni transportni plovni putovi Europe (izvor:[1])

Tri četvrtine europskog riječnog brodarstva odvija se na rijeci Rajni, od njezinog izvora u Švicarskoj, do mora u Francuskoj, Njemačkoj i Nizozemskoj. Kao takva, Rajna je glavna arterija i vrata prema Europi u pogledu prijevoza robe preko luke Rotterdam. Velika prednost Rotterdama leži u mogućnosti rukovanja s najvećim pomorskim teretnim brodovima na svijetu i obavljanju prijevoza u unutrašnjost zahvaljujući iznimnom zemljopisnom položaju na ušću velikih europskih rijeka Rajne i Mass. Rotterdam, ali i Antwerpe i Amsterdam, mogu pristupiti neograničenim mogućnostima prijevoza putem vode, kao što je preko Rajne. Da se primjerice Rajna ulijeva u more kod Hamburga, Hamburg bi bio najveća luka u Europi. Belgija i Nizozemska su zemlje koje sadrže čvrste labirinte mreža plovnih putova koji povezuju sve industrijske regije. Isto vrijedi i za sjever Njemačke i sjever Francuske. Sva veća industrijska područja u Njemačkoj i Francuskoj su povezana plovnim putovima, osim okolice Münchena. Tamo gdje nedostaje plovnih putova, logično, nema ni industrije. Najveći europski projekt vodenih putova trenutno se provodi na sjeveru Francuske. Novi veliki 105 kilometara dug kanal između Seine i Schelde će 2015. spojiti Pariz s Belgijom, Nizozemskom i Njemačkom putem plovnog puta.[5]

Istočna i zapadna Europa spajaju se na Dunavu. Sa zapada, preko kanala Majna-Dunav, sva industrijska područja uz Dunav (južna Njemačka, Češka, Slovačka, Mađarska, Hrvatska, Srbija, Bugarska i Rumunjska) nadomak su unutarnje plovidbe. Budimpešta u Mađarskoj je redovito odredište za zapadnu Europu. Iz istočne Europe može se doći do svih destinacija uz Dunav, redovito do Beča i Linza.

Istočnije, riječni brodovi ne mogu ploviti Crnim morem. U Rusiji su stoga aktivni brodovi koji mogu ploviti i rijekama i morima. Preko Poljske postoji još jedna riječna veza s ograničenom nosivosti, s bijeloruskim Dnjeprom, ali se ne koristi aktivno.

Italija je doduše izolirana od ostatka Europe, ali s rijekom Po i njoj susjednim lukama ona ima aktivnu ulogu u sektoru unutarnje plovidbe s oko 1000 plovila.

### **3.1. Klasifikacija plovnih putova**

Ključni kriteriji klasifikacije ovisi o osnovnim dimenzijama plovila koja se koriste. Ekonomska važnost za međunarodni promet pripisana je plovnim putovima klase IV do VII. Takav sustav klasifikacije uspostavljen je od UN/ECE (United Nations Economic Commission for Europe- Ekonomska komisija Ujedinjenih naroda za Europu) i CEMT

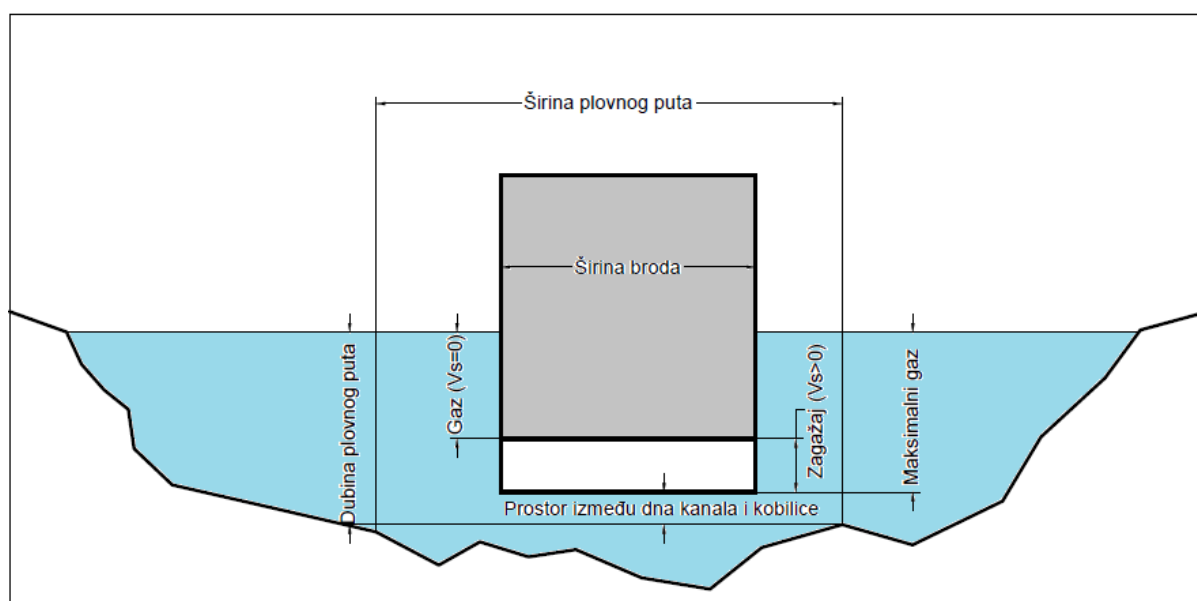
(Conference Europeenne des Ministres des Transports – Europska konferencija Ministara prometa).

Varijable na osnovu kojih se odlučuje su dužina, širina i gaz broda, nosivost plovila ako i međuprostor mosta. Konkurentnost plovnog puta znatno ovisi o prevladavajućim uvjetima plovnog dijela rijeke koji određuju kapacitet plovila za unutarnju plovidbu te time i ekonomsku vitalnost.[1]

### 3.2. Ograničenja plovnih putova

Postoje dvije vrste ograničenja: nautička i tehnička ograničenja.

Na nautička ograničenja utječu dubina plovnog puta i gaz broda. Sama plovnost, a time i kapacitet plovnog puta je određen predvidivošću dubine puta što je važan pokazatelj za profitabilnost i konkurentnost unutarnje plovidbe. Dubina plovnog puta određuje maksimalno moguć gaz brodova i njihovog tereta. Na slici 9. je prikazan odnos dubine plovnog puta i gaza broda.



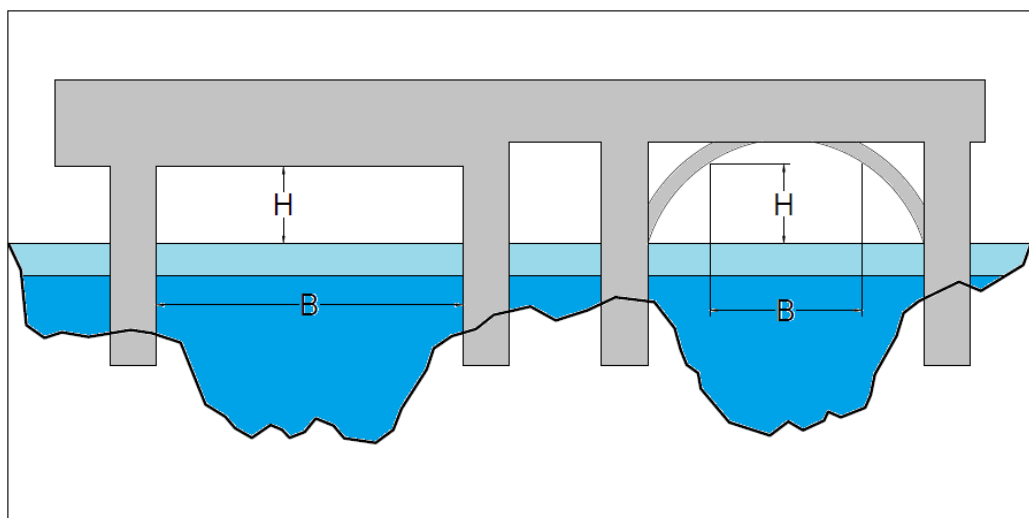
Slika 9. Odnos dubine plovnog puta i gaza broda

Zaključuje se da što je veći gaz, moći će se prevesti više tereta i smanjit će se jedinična cijena po toni tereta. Glavna infrastruktura prijevoza unutarnjim plovnim putovima ima izravan utjecaj na dnevno izvršavanje operacija. Drugim riječima, predvidljivost mogućeg gaza je od

presudne važnosti. Operater plovila će, kada se maksimalni gaz ne može pouzdano predvidjeti, umanjiti rizike i krcati svoje plovilo prema očekivanim dubinama plovnog puta što povećava jediničnu cijenu po toni tereta. Na tehnička ograničenja utječu brane i propisane udaljenosti do mosta.

Brane postoje zbog hidroenergetskih stanica, koje su potrebne za proizvodnju energije te moraju biti konstruirane kako bi se omogućio prijevoz, u protivnom bi rijeke bile blokirane. Brane služe kao stepenice za brodove, a same dimenzije brana ograničavaju maksimalne dimenzije brodova. Kapacitet brane ovisi o broju i dimenzijama komora brane, broju liftova, vremenu potrebnom za jedan prelazak brane, radnom vemeni brane i dimenzijama i kapacitetu brodova.

Međuprostori ispod mostova su odlučujući faktor za troškovno efikasan kontejnerski promet, tj. određuju broj redova kontejnera na brodu. Dva reda obično nisu konkurentni sa cestom ili željeznicom te se upravo radi konkurentnosti i kao opće pravilo kontejnerskog prometa postavljaju tri reda kontejnera uz odogovarajuće međuprostore mosta.



**Slika 10. Međuprostor ispod mosta**

Visina mosta iznad razine vode ograničava visinu plovila od vodene linije do najviše točke broda. Visina mosta iznad razine vode je slučajna i vrlo promjenjiva uslijed vodostaja.

#### 4. INTERMODALNI PRIJEVOZ

Intermodalni ili multimodalni prijevoz je prijevoz tereta u jedinicama, bez rukovanja sa samom robom (pri promjeni načina transporta), kombiniranjem najmanje dviju vrsta prijevoza u prijevoznom lancu, gdje se većina puta prolazi željeznicom, unutarnjim vodenim putovima ili brodom te gdje je početni i završni cestovni dio puta što je moguće kraći. Glavne čimbenike proizvodnje prometnih usluga u svim oblicima prometa, pa tako i u multimodalnom transportu čine prijevoz tereta i putnika pomoću suvremenih infrastrukturnih i suprastrukturnih sadržaja, te operatori multimodalnog transporta, koji najizravnije i najintenzivnije utječu na sigurnost, brzinu i racionalnost manipulacije i transporta tereta. Međunarodni multimodalni transport zbog svoje složenosti i značenja u međunarodnome i nacionalnim gospodarskim sustavima, potrebno je promatrati kao složeni dinamički i stohastički sustav. To je skup međusobno povezanih i međutjecajnih prometno-tehnoloških aktivnosti (procesa, funkcije i poslova), direktnih i indirektnih sudionika, prometnih i drugih kadrova i tehničkih pomagala u njihovome radu i drugih elemenata u stalnom kretanju, mijenjanju i razvoju: tehničko-tehnološkom, organizacijsko-ekonomskom i pravnom, koji omogućuje da se od proizvođača iz države „A“ do potrošača u državu „B“ ili posredstvom države „C“, manipulacija i transport robe izvrši brzo, sigurno i ekonomično s najmanje dva različita prijevozna sredstva i na temelju jedinstvenoga ugovora o prijevozu, tj. jedne prijevozne isprave, a cjelokupni transportni pothvat izvršava ili organizira jedan operator transporta. Takvo sustavno definiranje međunarodnoga multimodalnog transporta sadrži sva bitna obilježja složenih, dinamičkih, ekonomskih, odnosno gospodarskih sustava.[5] Uporaba i popularnost multimodalnog transporta u svijetu svakim danom sve više i više raste u odnosu na ostale vrste transporta zbog smanjenih troškova i postizanja kraćeg vremena transporta. U multimodalnome transportu mogu doći do pozitivnoga izražaja prednosti svih prometnih grana kao i suvremenih oblika manipuliranja i transporta robe, kao npr.: paletizacije, kontejnerizacije, Ro-Ro, Lo-Lo, Ro-Lo.

Europska unija zbog smanjenja opterećenja cestovnog prometa i njegova štetnog učinka na okoliš ide prema planu da do 2020. godine gotovo 40 % transporta tereta preusmjeri u intermodalni model, odnosno potencira da se međunarodni i nacionalni transport u što većoj mjeri s cesta preusmjeri na željeznicu i unutarnju plovidbu ili zračni promet.



Slika 11. Intermodalni prijevoz u unutarnjoj plovidbi

Transportna sredstva koja se koriste u intermodalnom transportu mogu biti:[1]

- Cestovna
- Željeznica
- Unutrašnja plovidba
- „Short sea“ plovidba
- „Deep sea“ plovidba
- Zračna
- Cjevovod



Slika 12. Intermodalni transportni lanac



U nekim slučajevima tvrtke imaju direktnu vezu na intermodalni terminal te u tom slučaju nema početne i završne vožnje. U drugim slučajevima koriste se više od dva načina transporta.

#### 4.1. Prednosti intermodalnog prijevoza

U prometnoj politici poticanje intermodalnog transporta postalo je važno pitanje. Pomicanje transportnih tokova sa jednododalnog cestovnog transporta prema intermodalnom transportu uključuje brojne prednosti za društvo.

**Manja zagušenja i oštećenja na cestama.** Na europskim cestama promet se kontantno pogoršava. Poznat primjer je prometni infarkt u sjevernoj Njemačkoj, ali i mnogi drugi dijelovi Europe su jednako ugroženi. Intermodalni transport nudi proizvodnoj industriji neprekidan dobro isplaniran prijevoz kada ceste više nisu dovoljne. Za društvo, zagušenja znače izgubljeno vrijeme na putovanja za građane, pretjerane emisije i buku. Promet teškog prometa također oštećuje ceste puno više od osobnih automobila.[1]

**Efikasnije korištenje energije.** Potrošnja energije po tonskom kilometru vlakova i riječnih brodova niža je od one za kamion, pod uvjetom da je iskorištenost kapaciteta dovoljna. Kada se putuje velikim brzinama i u slučajevima male iskoristivosti kapaciteta ili dugih početnih i završnih vožnji, intermodalni transport može biti manje energetski efikasan nego cestovni transport.

**Manje prometnih nesreća.** Prema Europskom vijeću za sigurnost prometa, 96 % od svih smrtnih slučajeva u prometu dešava se u nesrećama na cestama. Nesreće koje uključuju kamione su vrlo često teške, osobito za osobne automobile koji su sudjelovali u nesreći.

**Sigurniji transport opasnog tereta.** Rizik od nesreća je niži na željeznici i plovnim putovima nego na cesti. Kemikalije se mogu prevoziti sigurno u tankerskim kontejnerima.

**Manji pritisak na okoliš.** Postoji velik broj faktora koji utječu na različite tipove emisija. Obično je intermodalni transport koji koristi električni željeznički transport čišći nego cestovni transport, međutim opseg ovisi o mnogo faktora, kao npr. tipu elektrane koja proizvodi električnu energiju. Intermodalni transport koji koristi unutarnju plovidbu proizvodi manje CO<sub>2</sub>, ali više SO<sub>2</sub>.

#### **4.2. Intermodalni prijevoz unutarnjim plovnim putovima**

Riječni promet u Europskoj uniji na visokom je mjestu po važnosti. Unutarnja plovidba unutar članica Unije je čest način transporta, jer je ekološki prihvatljiv i relativno niskih troškova. Europska unija je donijela više dokumenata kojima se regulira unutarnja plovidba. Jedni od najvažnijih dokumenata su: Konvencija o međunarodnoj plovidbi Rajnom, dokument o plovidbi Kanalom Rajna-Majna-Dunav, dokument o regulaciji plovnih putova i drugi. Od svih europskih rijeka, najviše je plovno eksploatirana Rajna koja se proteže od Sjevernog mora preko Njemačke do Švicarske. Rajna je nastavak plovnog puta od Sjevernog mora prema unutrašnjosti, pa ne čudi da se upravo u njenom ušću razvila najveća europska luka Rotterdam. Iako najveća europska rijeka, Dunav ima slabu iskoristivost svoga toka te predstavlja samo plovidbeni put od internog značaja za podunavske države. U prometu Europe s prekomorskim državama ova rijeka se minimalno koristi. S obzirom da se danas za transport masovnih tereta koristi more zbog niskih troškova, nadu za uključenje u te glavne svjetske trgovinske tokove imaju samo one rijeke koje su nastavak pomorskog plovnog puta. Dunav nije pogodan za takav promet, jer je do njegovog ušća na Crnome moru puno duži put nego što su to željezničke i cestovne udaljenosti od luka drugih europskih mora. Na važnosti, Dunav je dobio 1992. godine, spajanjem s Rajnom preko rijeke Majne te je tako stvoren Kanal Rajna-Majna-Dunav. Tim kanalom su se spojili sjeverozapad i jugoistok Europe što je proširilo gravitacijsko područje sjevernih luka prema istoku Europe sve do Crnog mora, što ostavlja po strani Jadranske luke koje gube na važnosti. Izgradnja kanala Vukovar-Šamac spojio bi Dunav sa Savom i skratio put od Podunavlja do Jadrana za 417 km, te na taj način donekle mogao preusmjeriti teret prema hrvatskim lukama.[5] Otvaranjem ovog kanala, te uspostavljanjem boljih riječnih veza do Zagreba i željezničkih do Rijeke, riječka bi luka postala još privlačnijom za međunarodni promet.

Riječno brodarstvo je, tradicionalno, način transporta za rasuti teret. U osamdesetim i devedesetim godinama prošlog stoljeća riječno brodarstvo je uspjelo organizirati kontejnerski transport. To je uključivalo uspostavljanje terminala i razvoj vještina za organizaciju transporta vrata-do-vrata. Upravo to je rezultiralo stalnim rastom kontejnerskog transporta putem unutarnjih plovnih putova.

Tehnike riječnog brodarstva trenutno ograničavaju tržište na teretne jedinice koje se mogu slagati. Kako je distribucijski sustav europske industrije baziran na korištenim teretnim jedinicama koje se ne mogu slagati, riječno brodarstvo je ograničeno na prijevoz pomorskih

kontejnera. Zato je intermodalno riječno brodarstvo skoro isključivo prijevoz u unutrašnjost pomorskih kontejnera iz i u luke. Kontinentalan riječni prijevoz teretnih jedinica još je u povojima. Glavne funkcije koje nedostaju su dobavljači teretnih jedinica i marketing.[1]

#### 4.2.1. *Intermodalni Short Sea Shipping*

Intermodalna short sea plovidba se satoji od dva tipa usluga:

- Lo-Lo (Lift on-Lift off): Transport kontejnera i kontejnerski transport unutar Europe;
- Ro-Ro: Transport svih vrsta jedinica na kotačima (cestovna vozila, kontejneri utovareni na postolju);

U Europi, Lo-Lo način usluge se odnosi na dva tipa tokova roba:

- Interkontinentalni tokovi-Short Sea plovidba se koristi za dopremanje kontejnera između interkontinentalnih lučkih središta i sekundarnih kontinentalnih luka. Pri ovom tipu toka postoji samo jedna europska dionica zemljanog transporta (početna ili krajnja vožnja). Upravitelj je veliki međunarodni linijski brodar.
- Kontinentalni tokovi-tokovi sa ishodištem i odredištem u Europi. Upravitelji su pružatelji usluga koji su orjentirani na vrata-do-vrata kontejnerske usluge.[1]

Općenito, dostupno je puno više usluga, plovila su veća, bolja i brža i ispravnost vremenskog rasporeda je puno pouzdanija. Brodovi koji se koriste za za Short Sea transport jako variraju u kapacitetu- od 80 TEU do 5000 TEU. Većina tereta koji se prevozi u prikolicama i kontejnerima je paletiziran. Short Sea usluge koje su najbliža alternativa cestovnom transportu koriste prikolice i kontejnere od 12 m ili 13.60 m. Standardni kontejneri su manje pogodni za paletiziran teret jer je unutrašnja širina samo 2.33 m. Ipak, mnogi Short Sea operateri nude tzv. kontejnere širine paleta 40 ft za koje je utovarni kapacitet 24 paleta od 1 x 1.20 m. To znači tri palete više nego u standardnom kontejneru od 40 ft.[1]

Short Sea transport se koristi za robu koja nije osjetljiva na vrijeme. Predložene su nove tehnologije i novi logistički koncepti kako bi se povećala konkurentnost i nadoknadila ograničena brzina Short Sea plovidbe-brzi brodovi i plutajuća skladišta.

## 5. TRŽIŠTE UNUTARNJE PLOVIDBE

### 5.1. Karakteristike

Postoji velika različitost u važnosti transporta unutarnjim plovnim putovima u različitim zemljama i regijama. Riječni transport pridonosi i pomaže integraciji zemalja u srž Europske unije te također nudi rasterećenje za cestovni i željeznički transport. U nekim zemljama članicama EU ne postoji značajna komercijalna unutarnja plovidba kao npr. Irska, Slovenija, Grčka, Danska. U nekima postoji do nekog ograničenog dosega morsko-riječni transport, npr. Španjolska i Portugal ili je pak niskog profila tj. izoliran kao npr. Italija, Velika Britanija, Finska.

Tržišni aspekti pokrivaju širok raspon faktora, koji utječu na konkurenciju.

Najvažniji faktori su:

- Zahtjevi pošiljatelja/primatelja i organizacija
- Afinitet tipova robe
- Brzina i pouzdanost
- Nautički uvjeti

Tri teretna segmenta (suhi i tekući rasuti teret te generalni teret) su drugačije organizirana. Sustav uglavnom funkcionira prema potražnji za tokove rasutog tereta. U sektoru suhog rasutog tereta, privatne brodarske kompanije brinu se oko prijevoza tekućeg rasutog tereta. Kontejnerski prijevoz putem barži je pak, suprotno sektoru rasutog tereta, baziran na ugovorenoj usluzi koju obično nude udruženja vlasnika brodova ili kompanije koja posjeduje brodove te raspolažu flotom plovila. Rasuti teret se većinom prevozi do objekata koji su locirani u direktnoj blizini plovnog puta dok kontejnerski prijevoz često uključuje multimodalne transportne lance. Za otpremu kontejnera je uključen velik broj stranaka, te uz pošiljatelje i primatelje može biti uključeno još nekoliko kompanija: špediteri, lučki radnici, agenti, operateri barža, operateri kamiona, željeznički operateri, što očigledno stvara probleme u koordinaciji. Faktori kao vrijeme čekanja, dodatni troškovi između logističkog lanca često predstavljaju nedovoljnu kooperaciju između različitih partnera.

## 5.2. Analiza glavnih snaga, slabosti, prilika i prijetnji (SWOT)

Analiza glavnih snaga, slabosti, prilika i prijetnji prikazana je u Tabeli 3.

**Tabela 3. Analiza snaga, slabosti, prilika i prijetnji**

<p><b>Snage:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Pouzdanost</li> <li>* Sigurnost i zaštita</li> <li>* Ekološka prihvatljivost</li> <li>* Kapacitet za prijevoz velikih volumena</li> <li>* Niska specifična potrošnja goriva</li> <li>* Plovila se mogu koristiti za širok izbor roba</li> </ul>	<p><b>Slabosti:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Ovisnost o vodostajima</li> <li>* Mala brzina transporta</li> <li>* Potreba za investiranjem u plovne putove</li> </ul>
<p><b>Prilike:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Raspoloživ kapacitet plovnih putova</li> <li>* Novi tržišni segmenti (kontejnerski i Ro-Ro transporti)</li> <li>* Kooperacija sa željeznicom i cestom</li> </ul>	<p><b>Prijetnje:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Minimalna dubina plovnog puta ne može se jamčiti na par dionica rijeke</li> </ul>

U usporedbi sa drugim priveznicima, unutarnja plovidba ima najnižu specifičnu potrošnju energije i najniže vanjske troškove, visok prijevozni kapacitet i zahtjeva, obzirom na cestovni i željeznički prijevoz, male investicije u održavanje i poboljšanje infrastrukture. Riječni transport je spor način koji ima svoje snage u obliku visoke korisne nosivosti plovila. Pogodan je za sve vrste masivne robe, tekućeg i suhog rasutog tereta. Posebno je pogodan za prijevoz opasnih tereta jer se smatra vrlo sigurnim.

Osnovu riječnog transporta predstavljaju prirodno plovne rijeke uz dodatak kanala koji spajaju najvažnije rijeke međusobno. Trenutna europska mreža ne prati nužno glavne teretne tokove te je potreban cestovni ili željeznički prijevoz da bi popunio „rupe“ tj. opskrbljivao centre za skladištenja tereta i primatelje smještene daleko od plovnih putova. Sa ekonomskog gledišta riječni transport je također vrsta prijevoza sa niskim troškovima. Održavanje i operativni troškovi infrastrukture su usporedno niži.

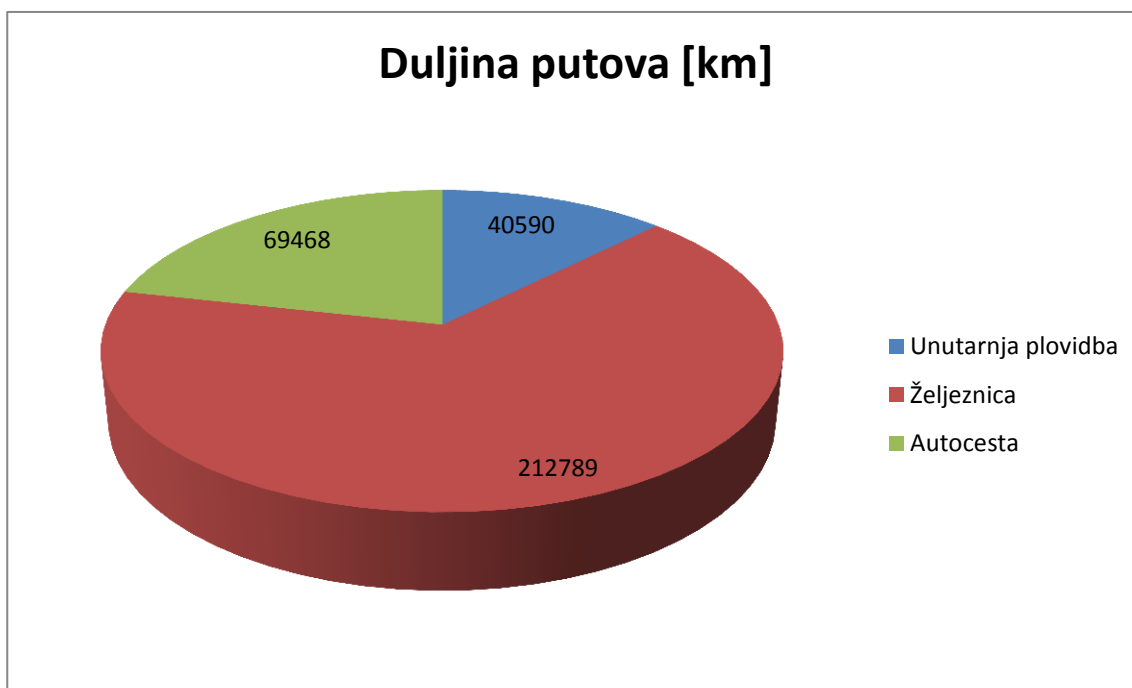
Obzirom na fleksibilnost, riječni transport ima nedostatke jer najčešći tip broda, samohodno plovilo, izgrađen je za određene tipove robe te se zahtjevaju modifikacije koje mogu biti

skupe ili čak možda i nemoguće za izvesti. Sezonski vrhunci u potražnji radi toga ne mogu lako biti zadovoljeni. Riječni transport je vidljivo manje fleksibilan od cestovnog, željezničkog i pomorskog transporta. Plovilo rijetko može biti preusmjereno u slučaju problema na ruti.

### 5.3. Ekonomska i ekološka usporedba unutrašnje plovidbe sa drugim transportnim tržištima

#### 5.3.1. Usporedba duljine linija

Ukupna duljina plovnih putova u EU je značajno manja od duljina željezničkih putova ili autocesta. Duljina željezničkog puta je gotovo pet puta veća od duljine plovnih putova. U Europskoj uniji (27 članica) 2010. godine, duljina plovnih putova iznosila je 40 590 km, dok je duljina željeznica iznosila 212 789 km od čega je 113 519 km elektrificirano. Duljina autocesta iznosila je 69 468 km.[3]

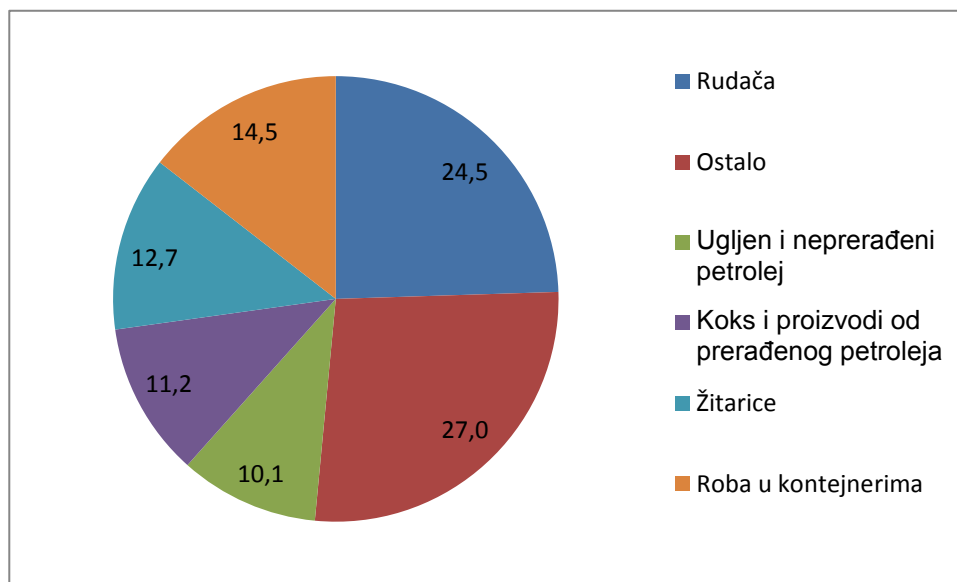


Slika 13. Odnos duljine plovnih putova, željeznice i autoceste

Očito je da željezničke linije vode usporedno sa unutarnjim plovnim putovima.

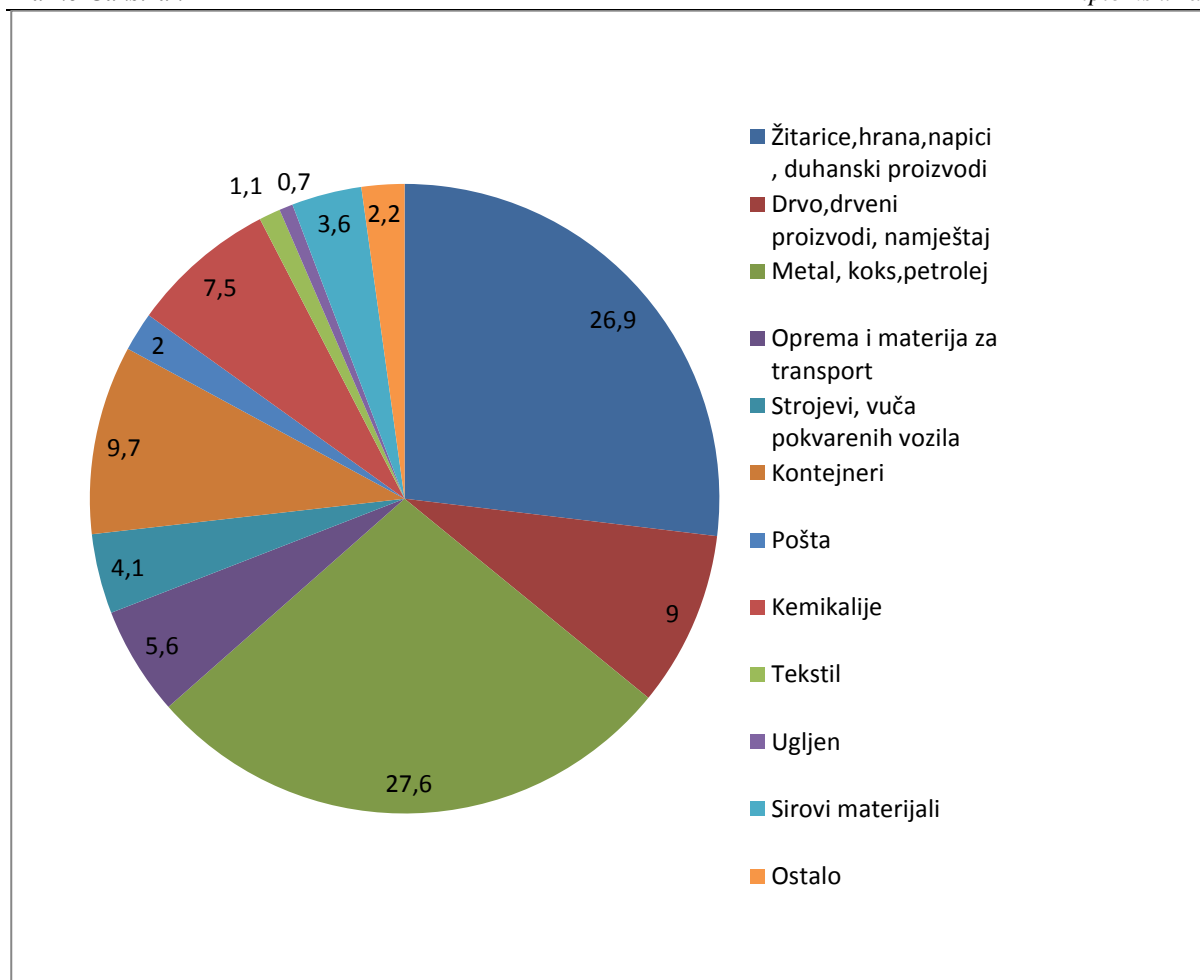
### 5.3.2. Usporedba prijevoza tipova robe

Riječni transport je pogotovo pogodan za suhi i tekući rasuti teret. U zadnjim desetljećima razvio se kontejnerski transport na velikim plovnim riječnim putovima. Transport novih automobila u velikim količinama također je postao moguć.



Slika 14. Vrsta robe prevezena unutarnjim plovnim putovima 2010. godine. (izvor:Eurostat)

Brodovi malih veličina općenito nose do 500 tona rasute robe, brodovi srednje i veće veličine do 2000 tona suhog tereta i do 3000 tona tekućeg rasutog tereta. Gurajući konvoj s dvije barže može nositi preko 5000 tona suhog rasutog tereta. To je ekvivalentno sa 125 željezničkih vagona od 40 tona svaki, ili 250 kamiona od 20 tona nosivosti. Najveći kontejnerski brodovi mogu danas utovariti preko 400 TEU.



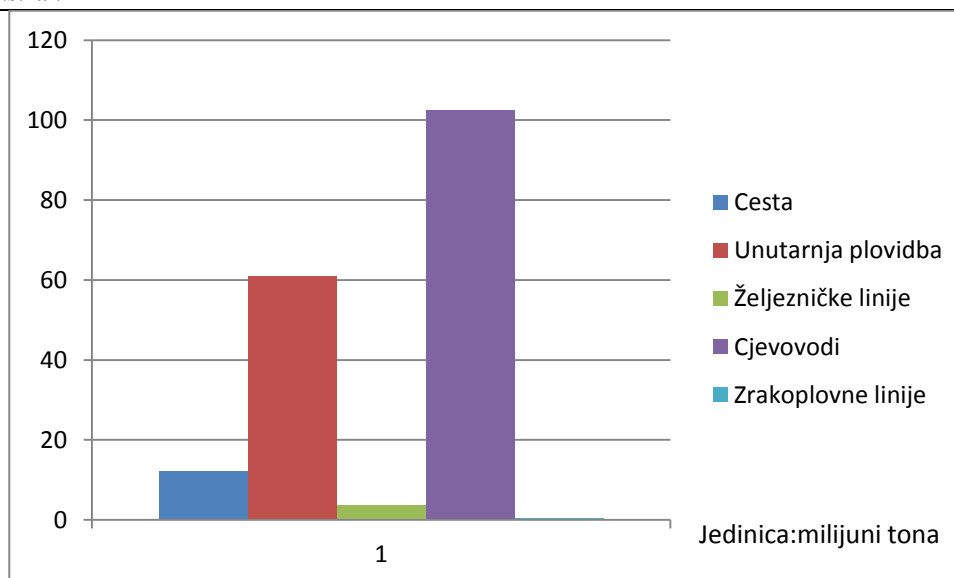
Slika 15. Vrsta robe prevezena cestovnim prometom 2011. godine. (izvor: Eurostat)

### 5.3.3. Sigurnost

Vrlo malo nesreća je zabilježeno u riječnom transportu, koji je najsigurnija vrsta transporta. Željeznica sadrži srednju sigurnost dok prijevoz zrakom sadrži ograničenu sigurnost zbog toga što 80 % tereta u Europi se prevozi cestom. Sigurnost na cestama predstavlja veliki problem. Upravo zbog toga što je najsigurnija vrsta prijevoza, unutarnji promet plovnim putovima pogodan je za prijevoz opasnih tvari.

Opasnim tvarima smatraju se tvari koje mogu ugroziti zdravlje ljudi, izazvati zagađivanje okoliša ili nanijeti materijalnu štetu, koje imaju opasna svojstva za ljudsko zdravlje i okoliš, koja su kao takve definirane zakonima, drugim propisima, te međunarodnim ugovorima, koje na temelju njihove prirode ili svojstava i stanja, a u vezi s prijevozom mogu biti opasne za javnu sigurnost ili red ili koje imaju dokazana toksične, nagrizajuće, nadražujuće, zapaljive, eksplozivne ili radioaktivne učinke, odnosno, opasnim tvarima smatraju se i sirovine od kojih se proizvode opasne robe i otpadi ako imaju svojstva opasnih tvari.[4]





Slika 16. Prijevoz opasnih tvari 2005. godine (izvor:[2])

#### 5.3.4. Točnost i pouzdanost

U većini slučajeva logistički se koncept oslanja na točno-na-vrijeme dostavu (JIT-Just In Time), koja zapravo nije sinonimna za kratko vrijeme transporta. U ovom kontekstu unutarnja plovidba je vrlo konkurentna cesti i željeznici ako ne postoji nikakva fizička ograničenja koja bi mogla narušiti točno-na-vrijeme dostavu. Ipak, jedna od glavnih slabosti riječnog transporta je ovisnost o meteorološkim uvjetima. Plovni putovi mogu biti privremeno zatvoreni zbog visokog vodostaja nakon obilnih kiša u područjima napajanja rijeke. Nisko vodostaji utječu na mogući stupanj iskorištenja plovila i s tim na konkurentnost prema drugim vrstama transporta. U sezonama hladnog vremena, zaleđenja plovnih putova, posebno kanala, može dovesti do privremenog zatvaranja operacija. Redovne i točno-na-vrijeme usluge dostave riječnog transporta imaju malo problema, jer nema nikakvih velikih točaka zagušenja u sustavu mreže. Vremena putovanja i vremena prekrcaja mogu se obično izračunati unaprijed osim tamo gdje se stvaraju redovi ispred brana i lučkih objekata.[1]

#### 5.3.5. Ekonomska brzina i potrošnja energije i emisije

Riječni transport je najsporija motorizirana vrsta transporta, koja postiže unatoč tome brzinu do 12 km/h za primjer na nizvodnoj liniji Basel-Rotterdam [6]. Ekonomska brzina vlakova može značajno varirati, ovisno o prekidima u transportnom lancu. Kompletni željeznički tereti putuju brže, sa ekonomskom brzinom od 50-60 km/h. Ipak, vagonski tereti obično

putuju reduciranim brzinama od 20-30 km/h.[1] Cestovni dugih relacija sa samo jednim vozačem (što je uobičajeno) postiže između 30 i 40 km/h.

U riječnom transportu potrošnja energije ovisi o tome da li brod plovi nizvodno ili uzvodno. Trenutne rasprave o utjecaju različitih načina prijevoza na okoliš se ne usredotočuju samo na emisije u prometu nego i na potrošnju energije. Potrošnja energije je relevantna za procjenu količine emisije. Kod izračuna potrošnje energije za različite načine prijevoza moraju se uzeti u obzir slijedeći faktori: tehničke karakteristike vozila, opterećenje vozila, karakteristike infrastrukture te uvjete u prometu. Na primjer, kod cestovnog prijevoza, protok tj. gustoća prometa je odlučujuća. Prema kompleksnim modelima proračuna, prosječna potrošnja goriva kamiona te kombinacije kamiona i prikolice na njemačkim autocestama 2005. godine je iznosila:[7]

- Neznatna gustoća prometa: 29.2 litara na 100 kilometara
- Srednja razina gustoće prometa: 30.8 litara na 100 kilometara
- Značajna razina gustoće prometa: 31.8 litara na 100 kilometara
- Kreni-stani način vožnje: 61.9 litara na 100 kilometara

Iz rezultata je vidljivo da je specifična potrošnja goriva pri kreni-stani načinu vožnje dvostruko veća od specifične potrošnje goriva pri neznatnoj gustoći prometa.

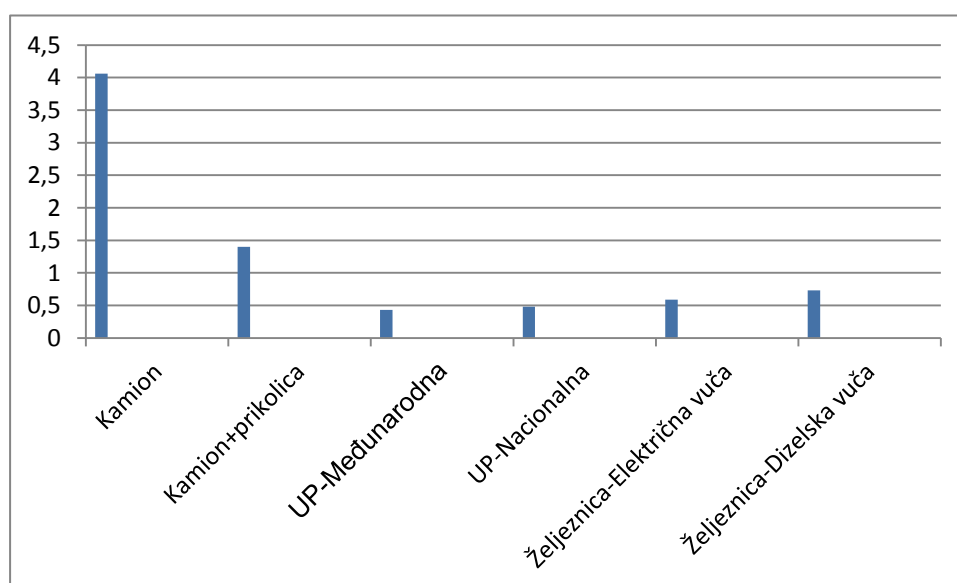
Što se tiče emisije, riječni transport je u boljem položaju i od željeznice sa dizelskom vučom. Usporedba sa električnom vučom je teška, jer ovisi o tipu primarne energije koja se koristi za proizvodnju električne struje.

Tabela 4. Energetski faktori za različite vrste prijevoza u MJ/tkm

Vrsta prijevoza	Prosječni kapacitet tereta (tona)	Potrošnja energije (MJ/tkm)
<b>Cestovni prijevoz</b>		
Kamion	7.3	4.06
Kamion+prikolica	25	1.40
<b>Unutarnja plovidba</b>		
Međunarodna	1250	0.43
Nacionalna	700	0.48
<b>Željeznica</b>		
Električna vuča	1000	0.59
Dizelska vuča	650	0.73

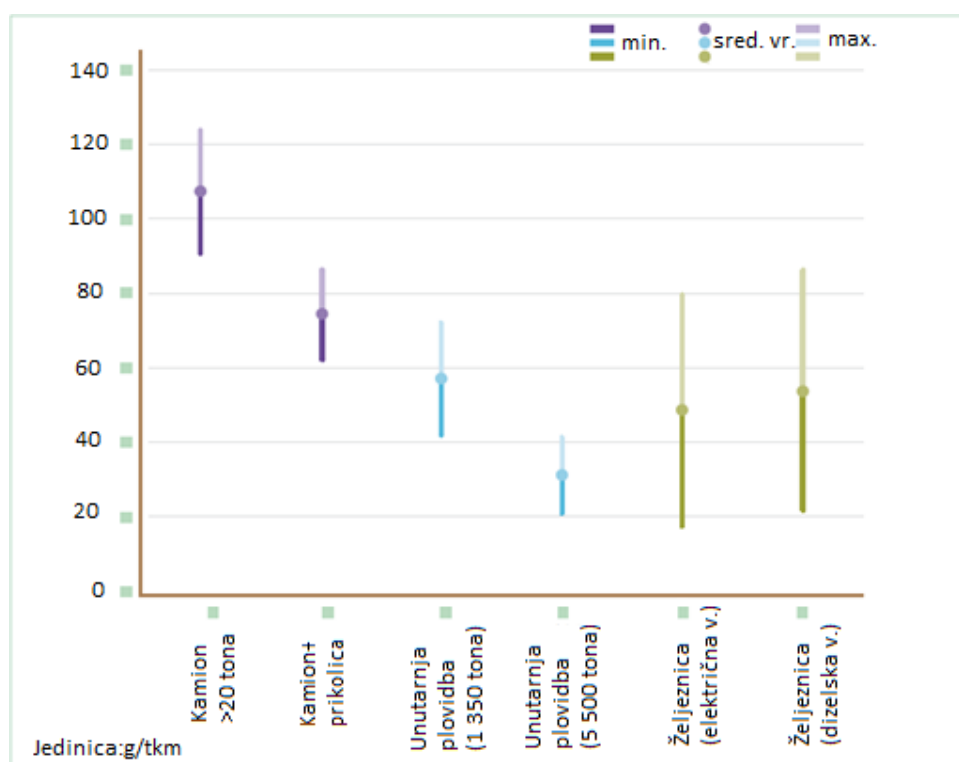
(Izvor: CBS, Lehmann)

Prema tablici vidljivo je da je unutarnja plovidba najisplativiji način prijevoza. Po tonskim kilometrima, potrošnja je čak do 3.5 puta niža nego u cestovnom prijevozu.



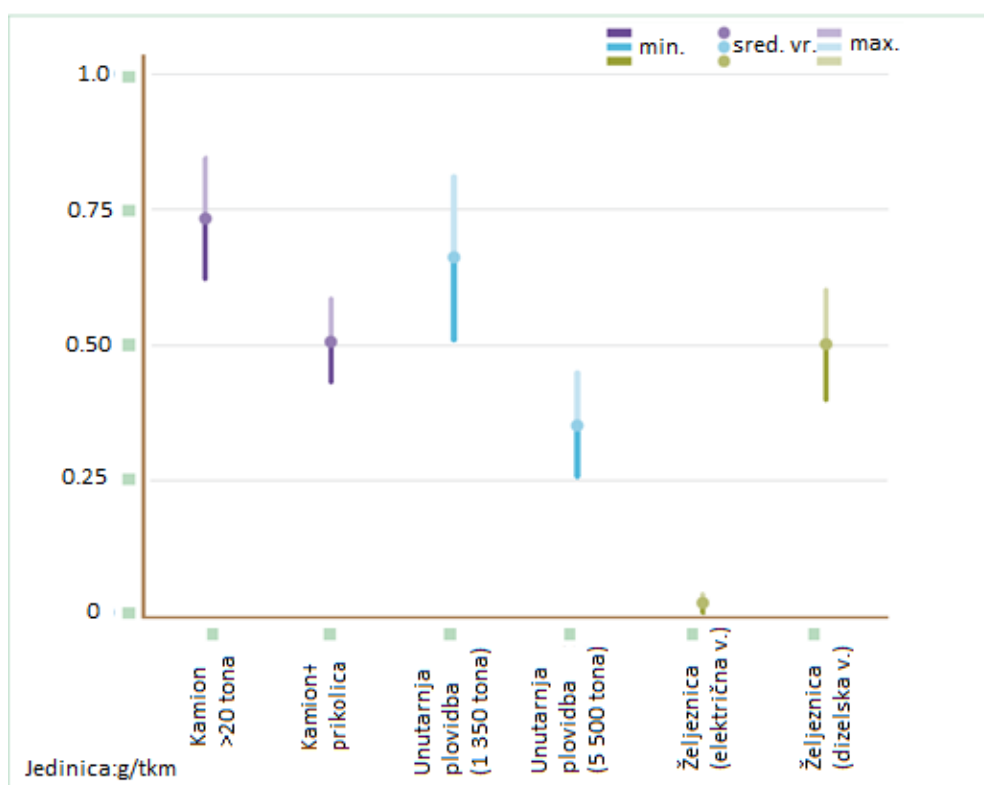
Slika 17. Potrošnja energije za različite vrste prijevoza u MJ/tkm

CO<sub>2</sub>-Ugljični dioksid je glavni uzrok efekta staklenika. Kapacitet vrste prijevoza ima značajan utjecaj na njegovu emisiju.



Slika 18. CO<sub>2</sub> emisija kod teretnog prijevoza u 2010. godini na dugim udaljenostima (>150 km);(izvor:[2])

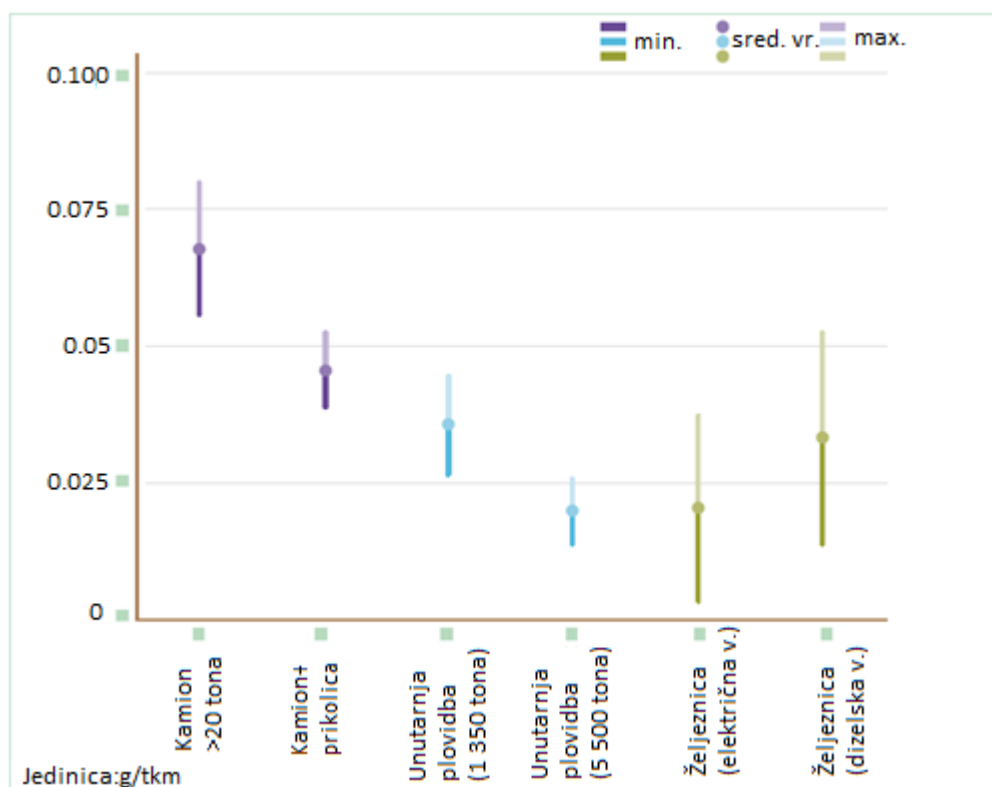
NO<sub>x</sub>-Dušikovi oksidi uzrokuju kisele kiše i smog. U budućnosti, riječna plovila će biti opremljena SCR-katalizatorima koji mogu smanjiti emisiju NO<sub>x</sub> za čak 85 %.



Slika 19.  $\text{NO}_x$  emisija kod teretnog prijevoza u 2010. godini na dugim udaljenostima (> 150 km);(izvor: [2])

SCR (Selective Catalytic Reduction) katalizator pomoću otopine uree, komercijalno nazvana AdBlue,  $\text{NO}_x$  pretvara u vodenu paru i dušik. Otopina AdBlue se u gospodarskim vozilima nalazi u dodatnom spremniku i ubrizgava se u pročišćivač ispušnih plinova. Razrađeni sustavi doziranja u pročišćivaču ispušnih plinova uz SCR katalizator pridonose redukciji emisije dušikovog oksida za gotovo 85 % i čestica čađe za 40 %. Uporabom SCR katalizatora se može i potrošnja goriva smanjiti do pet posto. Trenutno se samo pomoću SCR katalizatora može istovremeno smanjiti emisija čestica čađe i  $\text{NO}_x$  i na taj se način približiti traženim graničnim vrijednostima.

Razina emisije  $\text{SO}_2$  (sumporni dioksid) ovisi o količini sumpora u gorivu. Razina sumpora u gorivu koje koristi sektor riječnog brodarstva je viša nego u sektoru cestovnog prijevoza. Od 2011. i riječnom brodarstvu i cestovnom prijevozu isporučuje se isto gorivo, s niskom količinom sumpora.



Slika 20. SO<sub>2</sub> emisija kod teretnog prijevoza u 2010. godini na dugim udaljenostima (> 150 km);(izvor:[2])

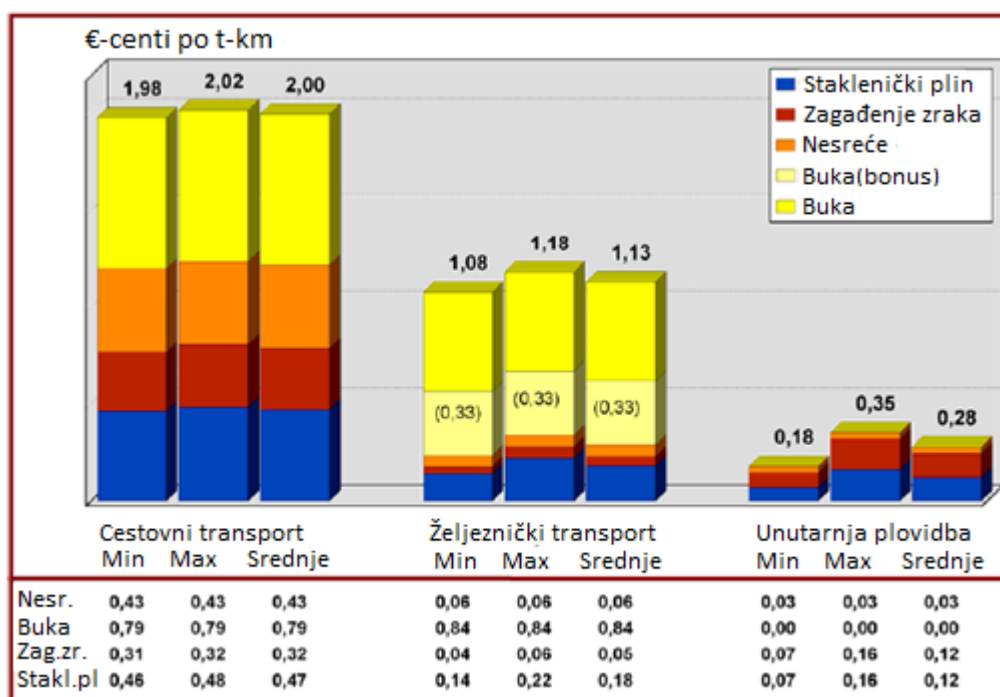
### 5.3.6. Troškovi

Usporedbom troškova i cijena zaključuje se da unutarnja plovidba ima najniže troškove i obično ne plaća nikakve infrastrukturne pristojbe. Što se tiče vanjskih troškova, ono obuhvaća:[6]

- Sigurnost transporta
- Buku
- Stvaranje štetnih plinova
- Zagađenje okoliša
- Mehanički utjecaj na okoliš

Neke od navedenih usporedbi su već ranije uspoređivane u ovom radu te je prikazana usporedba ukupnih vanjskih troškova za različite načine prijevoza. Ukupni prosječni vanjski troškovi unutarnje plovidbe skoro su deset puta manji od ukupnih prosječnih troškova cestovnog transporta. Željeznički transport je konkurentan unutarnjoj plovidbi po stavkama

sigurnosti, zagađenja okoliša te stvaranja štetnih plinova, no zbog buke prosječni vanjski troškovi postaju četiri puta veći nego kod unutarnje plovidbe.



Slika 21. Ukupni vanjski troškovi za različite vrste transporta

Operativni troškovi po tonskom kilometru su niski u usporedbi sa drugim vrstama prijevoza. Ukupna troškovna prednost riječnog transporta ovisi puno o duljini transporta na plovnim putovima i udaljenosti primatelja prema ili od mjesta prekrcaja. Postoje različiti tipovi prekrcaja što rezultira različitim troškovima. U nepovoljnim situacijama troškovi prekrcaja su duplo veći od troškova riječnog transporta. Mnogi primjeri pokazuju da je intermodalni transport efikasan sa unutarnjom plovidbom. Ipak, čak i sa dodatnim troškovima u intermodalnom transportu, kada se uspoređuje sa direktnim cestovnim transportom, vrlo niski troškovi riječnog transporta više nego nadoknađuju dodatne troškove prekrcaja i cestovnog prometa ako je glavna dionica dovoljno dugačka.[1]

## 6. PLOVILA UNUTARNJE PLOVIDBE

### 6.1. Osnovni tipovi plovila i konvoja

Postoje tri različita sredstva prijevoza na unutarnjim plovnim putovima:

- Brod s vlastitim porivom
- Barža koju gura brod s vlastitim porivom (potisni brod)
- Barža vučena riječnim tegljačem

Plovila unutarnje plovidbe klasificirana su prema veličini i namjeni. Teretna plovila se mogu podijeliti prema vrsti robe, najčešće na brodove za suhi teret i tankere. Za brodove s vlastitim porivom veličina varira od malih 38-40 m dugih „peniche“ koji imaju kapacitet tereta od samo oko 300 t za gaz od 2.5 m do velikih riječnih brodova dugih 110 m sa prosječnim kapacitetom od oko 1900 t za isti gaz.[1]

Potisni konvoj sastoji se od motoriziranog transportnog plovila (sa vlastitim pogonom) ili tegljača i jedne ili više nemotoriziranih barži koje su sigurno pričvršćene za plovilo ili brod tegljač.






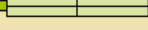

Osnovno pravilo za sastavljanje potisnih konvoja je da jedinice plovila u formacijama potisnih konvoja trebaju biti grupirane tako da što više smanje otpor vode pri kretanju. Kako bi se smanjio otpor od vala koji se širi od pramca broda, barže su postavljene u „cik-cak“ rasporedu prema kraju.

Potisni niz se obično sastoji od 2, 4 ili 6 barži kojima upravlja potisni brod odgovarajuće snage. Standardne europske barže imaju dužinu od 76.5 metara, širinu od 11.0 metara i nosivost od oko 1650 tona za gaz od 2.5 metara. Veliki niz od 6 barži ima dužinu oko 200 metara i nosivost do 18 000 tona. Kada plove nizvodno barže su postavljene dviju u dužinu, tri bok uz bok u istoj liniji. Takav niz ima širinu do 34.2 metra.

Službene dimenzije europske mreže plovnih putova temelje se na ECMT (European Conference of Ministers of Transport) standardima koji su sastavljeni od strane Europske komisije ministara prometa u Parizu.



Tabela 5. Dimenzije različitih tipova plovila

Klasa	Tip Plovila	Formacija potisnog konvoja	Nosivost (t)	Duljina (m)	Širina (m)	Gaz (m)	Visina (m)
0	Leisure	-	-	-	-	-	-
I	Spits	-	-	38.5	5.05	1.8 2.2	4
II	Campine plovilo	-	-	50 55	6.6	2.5	4.0 5.0
III	Plovilo kanala Dortmund-Eems	-	1,250 1,450	67 80	8.2	2.5	4.0 5.0
IV	Plovilo kanala Rajna-Herne		1,600 3,000	80 85	9.5	2.5 2.8	5.25 / 7
Va	Veliko Rajnsko plovilo		3,200 6,000	95 110	11.4	2.5 2.8	5.25 / 7
Vb	Potisni konvoj (2 barže)		3,200 6,000	172 185	11.4	2.5 4.5	9.1
VIa	Potisni konvoj (2 barže)		3,200 6,000	95 110	22.8	2.5 4.5	7.1 9.1
VIb	Potisni konvoj (4 barže)		6,400 12,000	185 195	22.8	2.5 4.5	7.1 9.1
VIc	Potisni konvoj (6 barži)		9,600 18,000	270 280	22.8	2.5 4.5	9.1
VIc	Potisni konvoj (6 barži)		9,600 18,000	193 200	33 34.2	2.5 4.5	9.1

Standardne dimenzije  
Potisni brod: 76.5 m x 11.40 m

### 6.1.1. Brodovi za suhe terete

Plovila za prijevoz suhog tereta koriste se za prijevoz niza različite robe, kao što su žito, rude i čelični cilindri. Pod suhe terete spadaju rasuti suhi teret te kruti teret. Ova plovila mogu koristiti za prijevoz skoro svega, čime smanjuju broj praznih prijevoza.



Slika 22. Brod za prijevoz suhog rasutog tereta klase "Kempenaar"

Tabela 6. Karakteristike broda klase "Kempenaar"

Duljina:		59,85	m
Širina:		6,60	m
Gaz:		2,59	m
Snaga pog. stroja:		330,97	kW
Brzina plovidbe:	Pun kapacitet, uzvodno:	11	km/h
	Pun kapacitet, nizvodno:	19	km/h
Nosivost:		655	t
Broj kamiona*:		26	

\*-označava broj kamiona čiji ukupni kapacitet je jednak kapacitetu broda

Osnovna namjena ovog plovila je prijevoz suhog rasutog tereta. Osim rasutog tereta (pijeska, šljunka, rudače) može prevoziti i čelične cilindre, pakete npr. soli i slično. U slučaju prijevoza poljoprivrednih proizvoda namijenjenih za ljudsku konzumaciju ili hranu za životinje, teret se prevozi i rukuje u skladu sa strogim higijenskim standardima. Plovilo je takvih dimenzija da je u mogućnosti ploviti velikim plovnim područjem tj. u mogućnosti je obavljati utovar i istovar u lukama koje se nalaze na velikim ili malim rijekama ili kanalima. Samo plovilo omogućuje visok stupanj službe tj. usluge, učinkovito planiranje te točno vrijeme dolaska na odredište. Također, staklenički plinovi su zanemarivi s obzirom na ostale vrste transporta, te plovilo plovi bez buke. Kao nedostatak se može navesti što klijent može primiti relativno malu pošiljku tereta jednim prijevozom.

Konstrukcija boka i dna ne sastoji se od dvoboka i dvodna. Sama konstrukcija je izvedena u poprečnom sustavu gradnje. Plovilo ostvaruje poriv preko brodskog motora snage oko 340 kW koji vratilnim vodom pokreće brodski vijak. Brod je upravljani jednim kormilom.

Teretni prostor sadrži najčešće pet grotala koja se zatvaraju kliznim grotlenim poklopcima te na taj način teret ostaje zaštićen u slučaju pogoršavanja vremena.



Slika 23. Brod za prijevoz suhog rasutog tereta klase "Spits"

Tabela 7. Karakteristike broda klase "Spits"

Duljina:		39	m
Širina:		5,09	m
Gaz:		2,42	m
Snaga pog. stroja:		170	kW
Brzina plovidbe:	Pun kapacitet, uzvodno:	7	km/h
	Pun kapacitet, nizvodno:	15	km/h
Nosivost:		362	t
Broj kamiona*:		14	

\*-označava broj kamiona čiji ukupni kapacitet je jednak kapacitetu broda

Plovilo klase „Spits“ tj. „Peniche“ također služi za prijevoz rasutog tereta, ali i generalnog tereta. Plovilo pokreće motor snage 170 kW što mu omogućuje (ovisno o struji rijeke) brzinu od 7 km/h uzvodno i dvostruko brže 15 km/h nizvodno. Klasa „Spits“ je po duljini kraća od klase „Kempenaar“ te mu je i nosivost manja. Teretni prostor ima 3 grotla sa kliznim grotlenim poklopcima.



Slika 24. Brod za prijevoz suhog rasutog tereta klase "Europaschiff" (izvor: viadonau)

Tabela 8. Karakteristike broda klase "Europaschiff"

Duljina:	85	m
Širina:	9,2	m
Gaz:	2,5	m
Snaga pog. stroja:	1000	kW
Nosivost:	1350	t
Broj kamiona*:	54	

\*-označava broj kamiona čiji ukupni kapacitet je jednak kapacitetu broda



Slika 25. Potisni konvoj sa dvije barže (izvor:viadonau)

Tabela 9. Karakteristike potisnog konvoja sa 4 barže

Duljina:	sa 4 barže:	193	m
	sa 6 barži:	269,50	m
Širina:		22,8 ili 34,2	m
Gaz:		4	m
Snaga pog. stroja:		3972	kW
Brzina plovidbe:	Pune teretne barže	10	km/h
	Prazne teretne barže	20	km/h
Brzina utovara:		1500	t/h
Brzina istovara:		800	t/h
Nosivost:		11000-16000	t
Broj kamiona*:		440-660	

\*-označava broj kamiona čiji ukupni kapacitet je jednak kapacitetu broda

Potisni konvoji mogu prevoziti velike količine rasutog tereta (11 000-16 000 tona). Prednost je u tome što se odjednom može prevoziti različiti teret u odvojenim baržama. Potisni konvoji nisu strogo pričvršćeni jedan za drugoga, već sa fleksibilnim spojnicama koje omogućuju jedinicama da svladavaju zakrivljenost u područjima sa posebno uskim riječnim radijusom zakrivljenosti. Moguće je kontrolirati i stupanj savijanja između komponenti potisnih konvoja prilikom manevriranja kroz riječni transport. Također, vijak za poprečni potisak pramca može povećati upravljivost. Pasivna kormila se dodatno koriste za povećanje stabilnosti trasa potisnih konvoja.

Barže su u konvojima raspoređene za transport uzvodno ili nizvodno, ovisno o smjeru konačnog odredišta. U slučaju uzvodnog smjera, konvoj bi trebao imati što manje područje poprečnog presjeka, zbog čega su barže raspoređene jedna iza druge u takozvanu formaciju cigare.[1] U slučaju nizvodnog, barže su raspoređene jedna do druge da se olakša upravljivost potisnog konvoja te njegova sposobnost zaustavljanja.

### 6.1.2. *Kontejnerski brodovi*



**Slika 26. Kontejnersko plovilo klase "Jowi"**

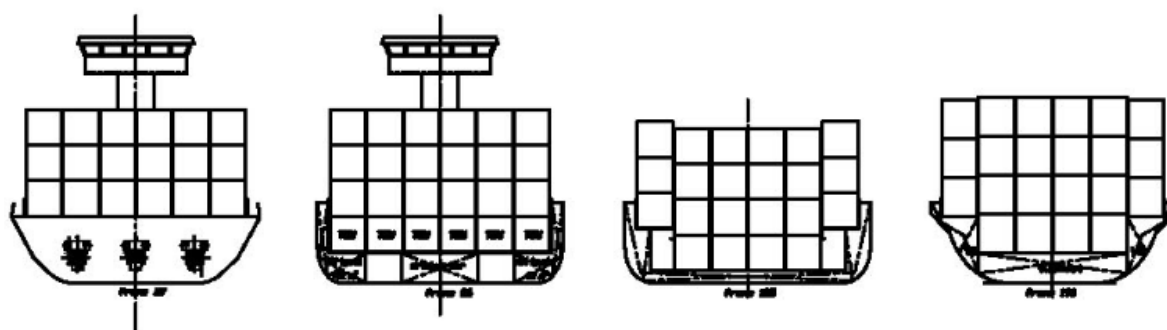
Kontejnersko plovilo klase „Jowi“ izgrađeno je 1998. godine te i danas plovi europskim rijekama prvenstveno Rajnom. TEU jedinice se prevoze na rijeci Rajni sve do morskih luka, koristeći rijeku kao pred-dionicu ili naknadnu transportnu dionicu. U dunavskom području, koriste se kontejnerski potisni konvoji sa četiri barže s ukupnim kapacitetom opterećenja do 576 TEU. Sa duljinom trupa od 135 metara te širinom 17 metara, plovilo klase „Jowi“ može prevesti ukupno 470 TEU.

**Tabela 10. Karakteristike kontejnerskog plovila klase "Jowi"**

Duljina:		135	m
Širina:		17,40	m
Gaz:		3,6	m
Snaga pog. stroja:		3163	kW
Brzina plovidbe:	Pun kapacitet, uzvodno:	12,5	km/h
	Pun kapacitet, nizvodno:	20	km/h
Nosivost:		5407	t
Broj kamiona*:		500	

\*-označava broj kamiona čiji ukupni kapacitet je jednak kapacitetu broda

Svaki kontejner može sadržavati drugačiji teret od odjeće do visoko-tehnološke opreme i dijelova. U kontejnerima sa klimatskim uređajem moguće je prevoziti kvarljive namirnice. Sama oprema i uređenje je izvršeno tako da su ispunjena ADN-R (The European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Inland Waterways-Europski sporazum o međunarodnom prijevozu opasnih tvari unutarnjim plovnim putovima) pravila za prijevoz kontejnera sa opasnim tvarima u neograničenim količinama. Plovilo je opremljeno vodilicama za kontejnere kako bi utovar i istovar bili što kraći. Skladišta sa vodilicama su tako konstruirana da se mogu utovsriti kontejneri u šest redova, jedni pored drugih.

**Slika 27. Slaganje kontejnera na plovilu klase "Jowi" (izvor: [7])**

Kontejnerski brod „Jowi“ pogonjen je strojem snage 3613 kW koji pokreće tri brodska vijka. Osim pogonskih vijaka, brod sadrži i dva pramčana propulzora, svaki snage 373 kW za lakše manevriranje.

### 6.1.3. Tankerska plovila

Tankeri prevoze različite vrste robe u tekućem obliku, uključujući:

- Naftu i derivate, diesel, teška i laka lož-ulja, itd.
- Kemijske plinove-metanol, kiseline, benzol, itd.
- Tekuće plinove.

Moderna plovila imaju dvobok i dvodno koji sprječavaju istjecanje tereta ako dođe do oštećenja vanjskog trupa. Skladište broda je najčešće podijeljeno u nekoliko zasebnih spremnika koji mogu biti odvojeni u individualna područja. To znači da su sustavi punjenja spremnika i gašenja požara, kao gasna povratna cijev, cijevi za ostatak tvari i spremnik za ostatak tvari međusobno odvojeni. Ovi sustavi su potrebni kako bi se spriječilo da preostali otrovni plinovi i tekućine ne dođu u kontakt sa okolinom. Prijevoz tekućih tereta zahtjevaju najnoviju tehnologiju. Tako se spremnici od nehrđajućeg čelika ili brodska skladišta sa posebnom prevlakom koriste kako bi se spriječilo da opasni tereti reagiraju sa površinom spremnika. Grijači i ventili se koriste kod prijevoza tereta koji se lako zamrzne zimi, a sustav prskalice štiti spremnike od ljetnih vrućina.[1]

Pregrade kojima su odijeljeni tankovi su korugirane. Korugirane pregrade se koriste jer ih je lako čistiti, a zbog svog oblika imaju veću čvrstoću. Osim toga tehnološki ih je lakše izraditi jer nema zavara na samoj pregradi.



Slika 28. Tankersko plovilo (izvor: wikipedia)



**Tabela 11. Karakteristike tankerskog plovila**

Duljina:	135,00	m
Širina:	21,80	m
Gaz:	4,4	m
Snaga pog. stroja:	5510	kW
Brzina plovidbe:	27	km/h
Brzina utovara:	2000	t/h
Brzina istovara:	2000	t/h
Nosivost:	9500	t
Broj kamiona (cisterne)*:	380	

\*-označava broj kamiona čiji ukupni kapacitet je jednak kapacitetu broda

Većina tankera ima pumpe koje mogu ukrcati i iskrcati teret direktno iz ili u spremnike u lukama koje nemaju ovu vrstu posebnog sustava utovara. Najčešće, plovilo će imati dvije pumpe-svaka pumpa može biti korištena za samo jedan proizvod.

#### **6.1.4. Ro-Ro plovila**

Roll on/Roll off brodovi (ili skraćeno Ro-Ro brodovi) su brodovi dizajnirani za prijevoz kotrljajućeg tereta kao što su automobili, kamioni, prikolice itd. Za ukrcaj i iskrcaj tereta, kao i premještanje tereta unutar plovila se upotrebljavaju rampe. Rampe se s obzirom na smještaj na brodu dijele na vanjske (rampe koje služe za ukrcaj i iskrcaj tereta) i unutarnje (rampe koje služe za manipulaciju tereta unutar broda).

Vanjske se dijele na:

- Pramčane rampe u simetrali broda
- Krmene rampe u simetrali broda
- Krmene rampe van simetrane, smještene pod kutom u odnosu na simetralu ( $30^\circ$  do  $45^\circ$ )

- Zakretne rampe, postavljene u simetrali broda s mogućnošću zakretanja bočno, do 40° u svaku stranu-Ovakva vrsta rampe se u građuje na brodove koji plove morima i oceanima.

Unutarnje rampe se dijele na pomične i nepomične rampe. Pomične rampe mogu spajati više paluba. Mogu zatvarati palubne otvore, a mogu se koristiti i za dodatno slaganje tereta.



Slika 29. Ro-Ro plovilo (izvor: europe.autonews.com)

Tabela 12. Karakteristike Ro-Ro plovila

Duljina:		110	m
Širina:		11,40	m
Gaz:		2	m
Snaga pog. stroja:		1343	kW
Brzina plovidbe:	Pun kapacitet, uzvodno:	11	km/h
	Pun kapacitet, nizvodno:	20	km/h
Kapacitet:		530	automobila
Broj kamiona*:		60	

## 6.2. Hidrodinamika plovila unutarnje plovidbe

Potrošnja goriva ovisi o snazi glavnog pogonskog stroja koja je potrebna za pogon broda određenom brzinom (zanemarujući potrošnju generatora ostalih manjih potrošača na brodu). Također emisije motora (onečišćenje) je proporcionalno sa snagom pogonskog stroja. Očito je, da je od primarne važnosti smanjiti snagu pogonskog stroja tj. smanjiti snagu potrebnu za pogon broda. Ta snaga se naziva snaga kočenja (snaga na kočnici motora)  $P_B$ , te ovisi o brzini plovila  $v$ , ukupnom otporu  $R_T$  i o koeficijentu učinkovitosti propulzora  $\eta_D$ :

$$P_B = \frac{R_T v}{\eta_D \eta_S} \quad (6.1)$$

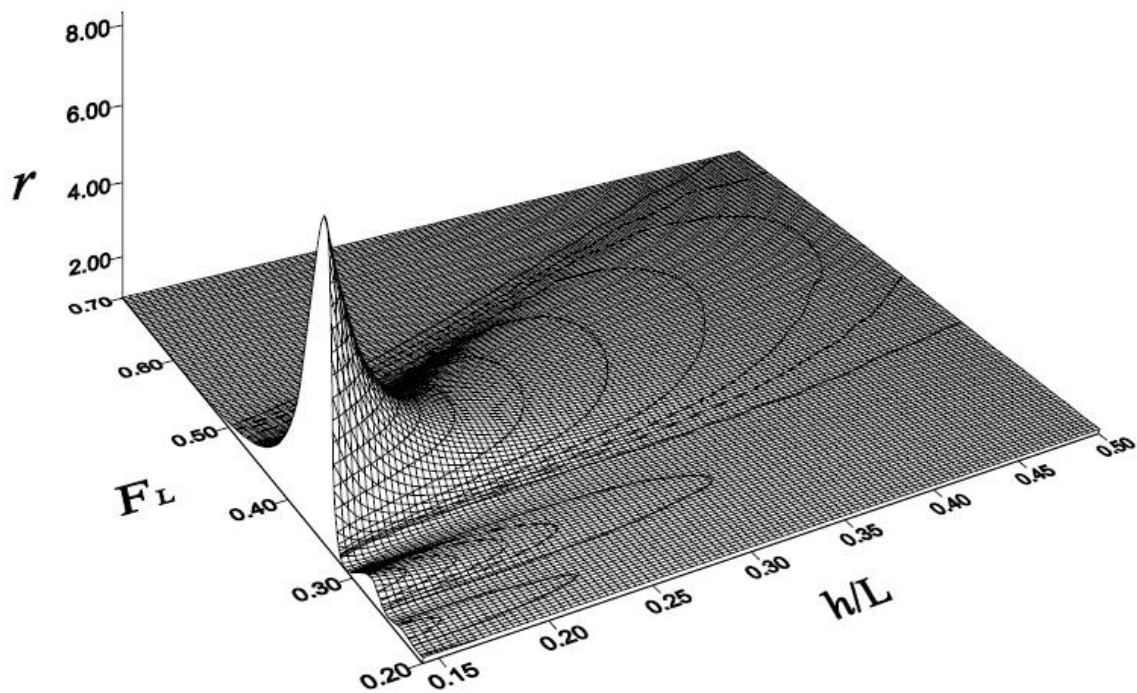
Trup određuje identitet plovila kao prijenosnika ili vrstu tereta koju može prevoziti, kao i uvjete prijevoza te vrste tereta.

### 6.2.1. Otpor u plitkoj vodi

Utjecaj hidrodinamike u plitkoj vodi je od primarne važnosti za sva, a posebno za brza plovila unutarnje plovidbe. U plitkoj vodi otpor broda je značajno drugačiji od otpora broda u dubokoj vodi te može znatno utjecati na formiranje forme plovila unutarnje plovidbe. Otpor  $R_{Th}$  ima izražen vrh (povećanje otpora) pri kritičnoj vrijednosti Froudeovog broja (kritična brzina koja ovisi o dubini vode). To se može objasniti rastom, a zatim padom transverzalnih poprečnih valova. Ukupni otpor  $R_T$  se sastoji od viskoznog otpora  $R_V$  i otpora valova  $R_W$ . U uvjetima plitke vode, otpor valova bitno utječe na ukupni otpor. Ova pojava se može prikazati kroz omjer otpora valova plitke vode i otpora valova duboke vode:  $r = R_{Wh}/R_{W\infty}$ ; Prema navedenom odnosu postoje tri područja brzine:

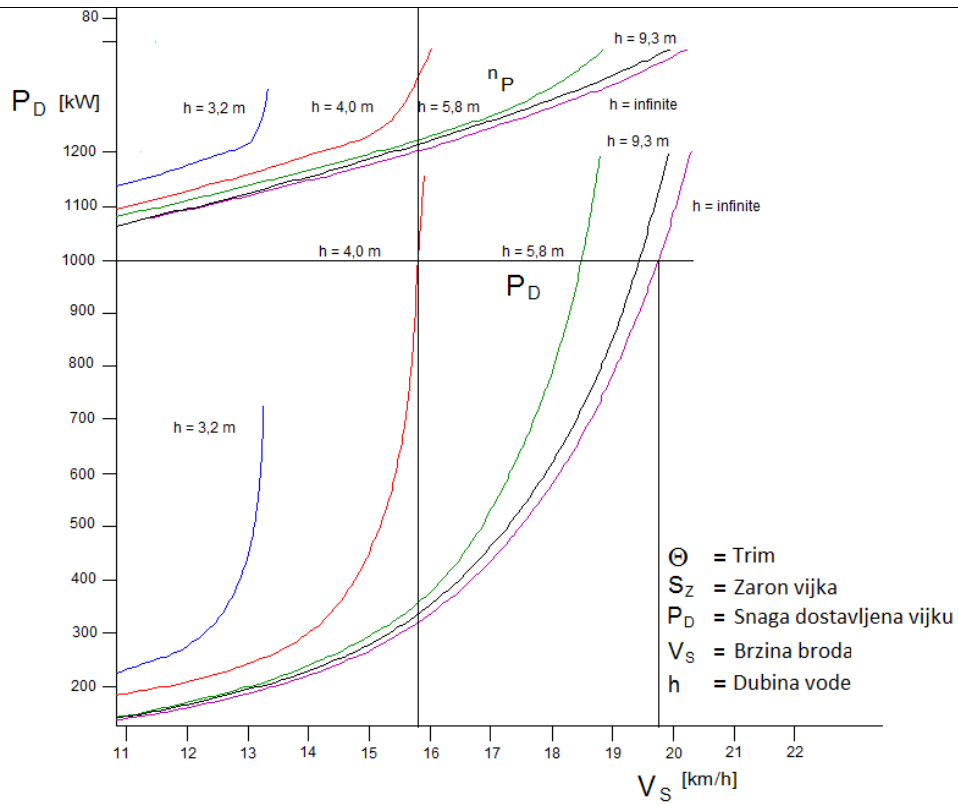
- sub-kritično područje u kojem je utjecaj dubine zanemariv;
- kritično područje u kojem  $R_{Wh}$  naglo raste (omjer  $r$  je veći od 1);
- super-kritično područje u kojem je  $R_{Wh}$  manji od  $R_{W\infty}$  (omjer  $r$  je malo manji od 1);

Povećanje otpora valova, tj. povećanje omjera otpora  $r$  u kritičnom području je od primarne važnosti za brza plovila te uglavnom ovisi o omjeru  $h/L$  (gdje je  $L$  duljina broda na vodnoj liniji). Ovo je dobro prikazano dijagramom na slici 30. gdje je  $F_{nL}$  –Froudeov broj baziran na duljini vodne linije.

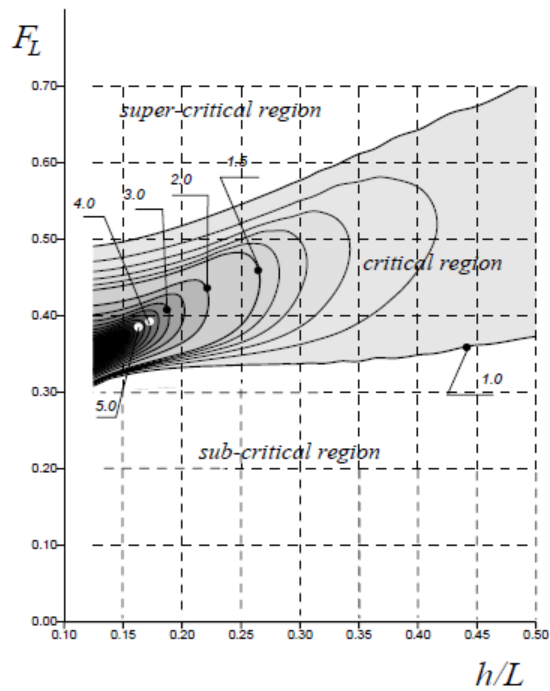


Slika 30. Omjer otpora  $r$  pri plitkoj vodi

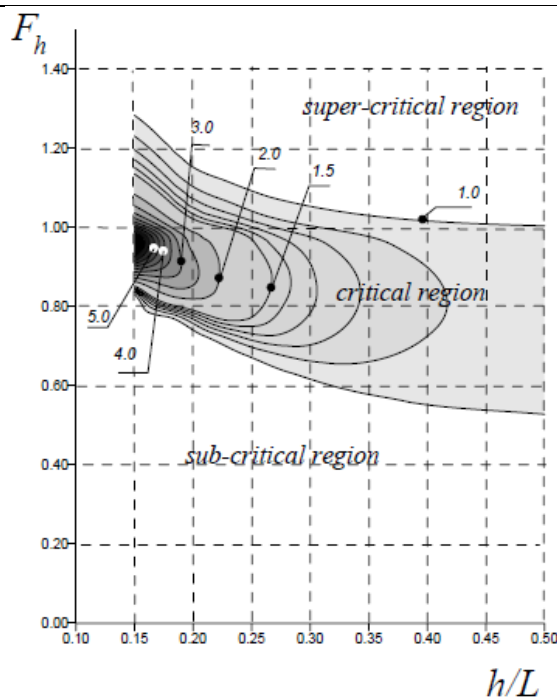
Jedini način kako izbjeći kritično područje (negativan utjecaj dubine) je izbjegavati odgovarajuće brzine  $F_{nh}=0.9 - 1.0$ ,  $F_{nh}=0.3 - 0.4$  te male vrijednosti  $h/L$ . Ovo znači da bi dobro plovilo, posebno brzo, trebalo biti projektirano prema dubini vode, tj. prema dubini kanala ili rijeke kojom će ploviti. Stoga, pravi izbor brzine i duljine broda na vodnoj liniji bi trebao biti određen u što je moguće ranijoj fazi projektiranja, pošto je u kasnijim fazama teže napraviti izmjene. Komercijalna plovila obično plove pri relativno malim brzinama u sub-kritičnim područjima ( $F_{nh} < 0.6-0.7$ ).



Slika 31. Dijagram snage za raličite dubine vode



Slika 32. Kritična područja brzine u plitkoj vodi



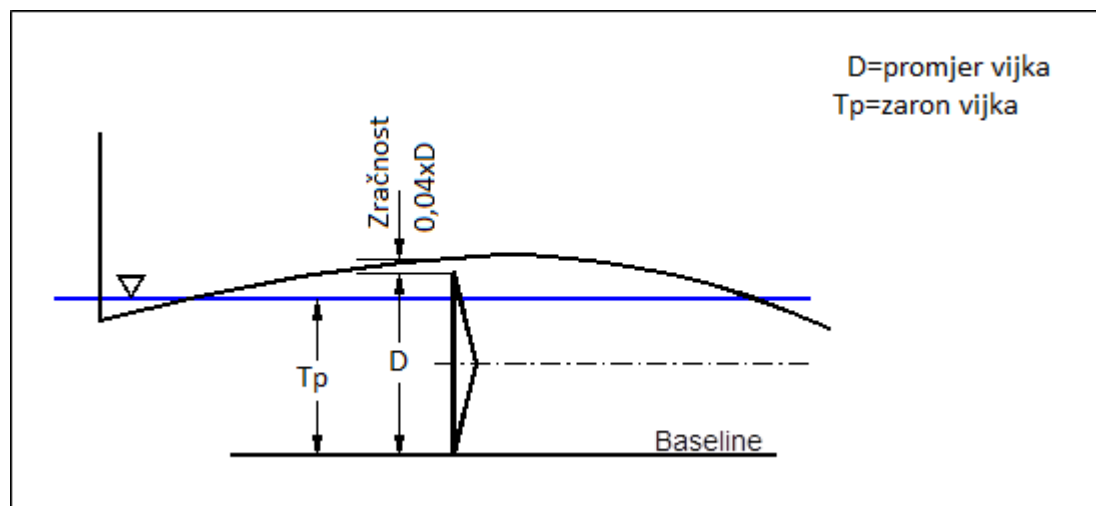
Slika 33. Kritična područja brzine u plitkoj vodi

### 6.2.2. Propulzija i sustavi upravljanja

Kretanje broda kroz vodu omogućeno je djelovanjem propulzora i djelovanjem sustava za upravljanje- kormilom. Prvi pogonski uređaji gonjeni putem parnog stroja bila su bočna i krmena kola koja su u zadnjih šezdeset godina prošlog stoljeća potpuno zamijenjeni sa vijcima na dizelski pogon. Rotirajući vijak stvara potisak koji pokreće brod. Načelno, vijak je pumpa koja ubrzava mlaz vode u određenom smjeru. Potisak se stvara suprotno smjeru djelovanja vijka i proporcionalan je količini vode koja se ubrava preko vijka u određenom vremenskom rasponu.

Među brojnim vrstama vijka, FPP (Fixed Pitch Propeller) vijak sa konstantnim usponom je najčešći tip propelera koji se primjenjuje kod riječnih brodova. Brzina broda je određena veličinom potiska vijka. Općenito, učinkovitost vijka raste sa povećanim promjerom vijka. Ipak, vijak također mora biti dobro uronjen u vodu i postavljen tako da se zrak ne isisava tijekom kretanja jer bi stvoren potisak bio značajno smanjen. Ovi preduvjeti su u suprotnosti sa uvjetima niskog vodostaja na unutarnjim plovnicama i potrebom da se grade plovila sa ograničenim gazom. Da bi stvari bile još gore normalno je očekivati da plovila nisu do kraja natovarena, ili zbog sezonskog niskog vodostaja ili zbog laganog tereta (prazni kontejneri) ili jednostavno zbog toga što je veličina pošiljke znatno manja od teretnog

kapaciteta broda. Kako bi se udovoljilo svim ovim kompleksnim zahtjevima rješenje oblika trupa sa tunelom je skoro pa pravilo na riječnim brodovima. Ovakva izvedba profila krme omogućava postavljanje propelera koji ima veći promjer od minimalnog gaza.[9]

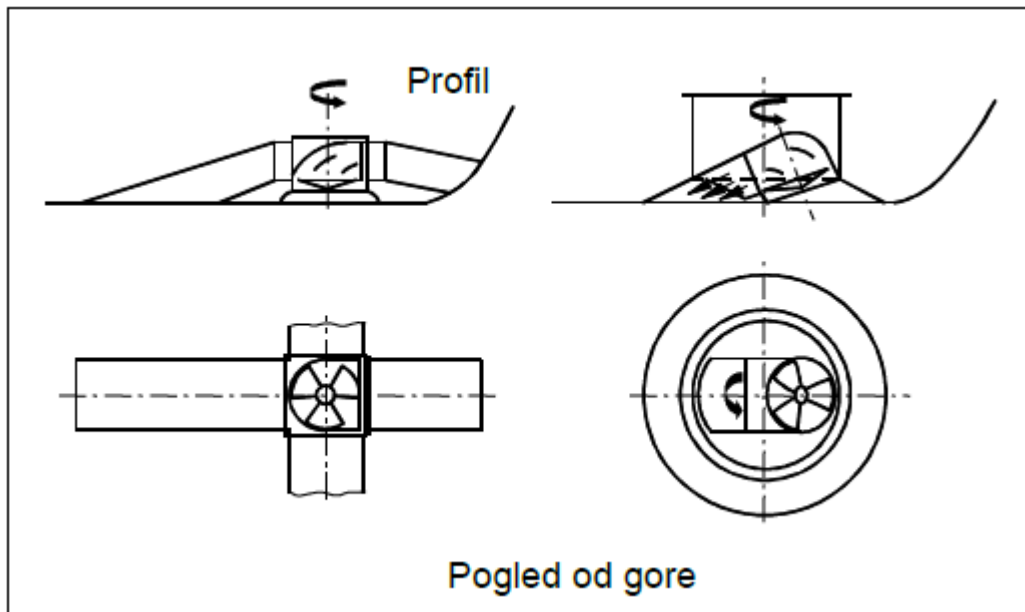


**Slika 34. Izvedba konstrukcije krme na riječnim teretnim brodovima**

Također vodomlazni propulzori su prilično česti na riječnim teretnim brodovima. Vodomlazni propulzori mogu proizvesti oko 20 % više potiska nego standardni propulzori iste veličina, ali problem je u tome da instalacija mlaznice dodatno smanjuje maksimalno dozvoljen promjer vijka za isti gaz i time poništava dobitak na potisku. Posebne izvedbe propulzora kao vijak sa promjenjivim usponom- CPP (Controllable Pitch Propeller), „Schottel“ propulzori ili „Voith-Schneider“ propulzori imaju određene prednosti u odnosu na konvencionalni FPP propulzor, ali zbog svoje značajno više cijene, osjetljivosti i ugroženosti mehanizma njihova primjena nije uobičajena na riječnim plovilima osim na npr. nekim riječnim putničkim brodovima tj. kruzerima.

Upravljanje brodom znači imati kontrolu nad pravcem kretanja broda. Najjednostavniji i najčešći uređaj za upravljanje jest kormilo. Tok vode oko profila kormila u nagibnoj poziciji stvara transverzalnu silu koja pomiče krmu suprotno od nagiba kormila.

Uobičajena karakteristika svih kormila je da stvorena upravljačka sila ovisi o brzini broda. Što je veća brzina, efekt kormila postaje bolji. Aktivna kormila koja omogućavaju maksimalnu upravljačku silu pri malim brzinama, te koja su vrlo korisna za manevriranje u ograničenom prostoru (luke, brane), su zapravo vodene pumpe koje ubrzavaju mlaz vode u željenom smjeru. Ove pumpe su najčešće smještene na pramcu broda i nazivaju se pramčani potisnici.[9]



Slika 35. Načini izvedbe pramčanih potisnika na riječnim brodovima



## 7. KONSTRUKCIJA PLOVILA UNUTARNJE PLOVIDBE

Brodovi predstavljaju velike i složene sustave i često su dijelovi nekih još većih i složenijih prijevoznih sustava pod neizvjesnim utjecajima okoline i zahtjeva službe. Brodovi se sastoje iz više podsustava, od kojih je svaki bitan za djelovanje cjeline. Brodske konstrukcije se mogu smatrati podsustavima koji omogućuju uključivanje ostalih podsustava i njihovo zajedničko djelovanje u službi broda.

U ukupnom procesu projektiranja broda prema projektnoj spirali, projektiranje brodske konstrukcije može nastupiti tek nakon određivanja tipa i funkcije broda, službe broda, područje plovidbe i glavnih izmjera (duljine, širine, visine i gaza). Na samom početku rada na projektu broda započinje i zamisao projektiranje brodske konstrukcije s osnovnim naznakama raspodjele glavnih podstruktura i važnih elemenata konstrukcije. Nakon što je glavni projekt određen u najvažnijim svojim sastavnicama može započeti preliminarno projektiranje brodske konstrukcije koje se može odvijati opetovano i usklađeno s promjenama glavnog projekta u tijeku. Tek u uznapredovalim fazama glavnog projekta započinje detaljno projektiranje brodske konstrukcije. Normalno se u praksi trgovačke brodogradnje detaljno projektiranje brodske konstrukcije započinje na osnovi pravila klasifikacijskih društava za gradnju trupa, a tek se tako razvijena detaljno razrađena konstrukcija podvrgava složenijim provjerama, danas uobičajeno primjenom direktnih proračuna metodom konačnih elemenata. Zbog velike važnosti koje zajednica pridaje sigurnosti ljudi i brodova i zaštiti okoliša, nadzor od strane klasifikacijskih društava, neovisnih inspektora brodovlasnika i nadzornih jedinica brodogradilišta se neprestano provodi tijekom svih faza projektiranja brodske konstrukcije u projektnim i konstrukcionim uredima i tijekom izgradnje trupa broda u brodogradilištu i nastavlja se za vrijeme cijelog životnog vijeka broda u službi.

### 7.1. Klasifikacijska društva u unutarnjoj plovidbi

U brodogradnji kontrolnu su ulogu preuzela tijekom vremena klasifikacijska društva, pri čemu se vodi računa i o drugim sudionicima pomorskog transporta kao što su lučke vlasti, državne regulative, korisnici brodova itd. Sam naziv „klasifikacija“ potječe od prvotno zamišljenih klasa sigurnosnih normi. Brodovlasnici trebaju osiguranje radi smanjenja opasnosti od gubitaka, a osiguravatelji trebaju sigurnosne standarde. Klasifikacijska društva na osnovi odobrenja vlasti provjeravaju projekte, gradnju, djelovanje u službi i održavanje prema međunarodnim i nacionalnim standardima o sigurnosti na moru, rijekama te jezerima.

Klasifikacijom se postavljaju standardi za trup, strojni dio, opremu i službu, a provodi se i provjera da li su brodovi građeni i održavani prema standardima.

Djelatnosti klasifikacijskih društava su tehničke naravi, usmjerene na unapređenje sigurnosti ljudskih života i imovine na moru kao i zaštita okoliša mora i unutarnjih vodnih putova.

Pregled klasifikacijskih društava unutarnje plovidbe u Europi:

- LR-Lloyd`s Register of Shipping;
- BRG-Bulgarian River Shipping;
- BV-Bureau Veritas;
- RINA-Registro Italiana Navale e Aeronautica;
- RRR-Russian River Register;
- CRS-Croatian Register of Shipping;
- PRS-Polish Register of Shipping;
- GL-DNV (Germanischer Lloyd i Det Norske Veritas)

Glavni organi i institucije unutarnje plovidbe u Europi:

- UNECE-United Nations Economic Commission for Europe (Ekonomska komisija Ujedinjenih naroda za Europu); U sklopu UNECE-a djeluju:  
ITC (Inland Transport Committee); ECE-TRANS
- EU- Europska unija;
- Dunavska komisija (sjedište u Budimpešti);
- Rajnska komisija CCNR (sjedište u Strasbourg);
- Savska komisija (sjedište u Zagrebu);

Obavljanjem tehničkog nadzora Registar utvrđuje udovoljava li brod odgovarajućim zahtjevima Pravila za određenu namjenu i za određeno područje plovidbe. Brodogradilišta, proizvođači, brodari itd., obvezni su djelatnicima Registra omogućiti pristup i osigurati potrebne uvjete za obavljanje tehničkog nadzora.

Prije početka gradnje broda treba Registru na uvid ili odobrenje podnijeti tehničku dokumentaciju u tri primjerka. Tehnička dokumentacija mora biti izrađena i upotpunjena potrebnim podacima, tako da je moguće provjeriti udovoljava li brod zahtjevima Pravila. Odobrenje tehničke dokumentacije potvrđuje se pečatom Registra i potpisom eksperta.

Tijekom gradnje broda, djelatniku Registra mora biti omogućen siguran pristup radovima koji su direktno ili indirektno vezani uz nadzor. Dužnost brodogradilišta, odnosno izvođača radova jest pravovremeno izvještavati Registar o gotovosti pojedinih faza gradnje broda, kako bi djelatnik Registra mogao izvršiti pregled u svrhu utvrđivanja usklađenosti izvedenih radova s Pravilima. Cilj provjere funkcionalnosti je dokazivanje usklađenosti pregledavanih sustava, opreme i uređaja s Pravilima.

## 7.2. Osnovni pojmovi i tumačenja

### 7.2.1. Glavne dimenzije i veličine

- L (m)** Duljina - Razmak, na teretnoj vodnoj liniji, između prednjeg ruba pramčane statve i stražnjeg ruba krmene statve ili simetrale od glavnog rebra najudaljenijeg kormila kad nema krmene statve, kojom prilikom se duljina L ne uzima manja od 96 % duljine teretne vodne linije. U slučajevima kada brod nema niti krmene statve niti kormila, duljina L uzima se jednaka duljini teretne vodne linije.
- B (m)** Širina - Najveći horizontalni razmak između dviju točaka poprečnog presjeka trupa preko vanjskog lica rebara, na sredini broda.
- D (m)** Visina - Vertikalni razmak točke na simetrali i gornjem rubu plosne kobilice odnosno točke presjeka unutarnjeg lica oplata i boka gredne kobilice i točke presjeka donjeg lica palubne proveze i unutarnjeg lica završnog voja ili presjeka njihovih produženih linija, na sredini broda.
- d (m)** Gaz - Vertikalni razmak točke na simetrali i gornjem rubu plosne kobilice odnosno točke presjeka unutarnjeg lica oplata i boka gredne kobilice do teretne vodne linije.

**$L_{oa}$  (m)** Duljina preko svega – Horizontalna udaljenost od najudaljenije točke konstrukcije i nepokretnih dodataka na krmi do takve točke na pramcu broda.

**P (kW)** Snaga stroja – Ukupna snaga svih glavnih porivnih strojeva.

### 7.2.2. Osnovne veličine i pojmovi

**a (m)** Razmak rebara- Razmak između dvaju susjednih poprečnih ili uzdužnih rebara, mjereno od istih površina.

**$a_p$  (m)** Razmak okvira- Razmak između dvaju susjednih okvirnih rebara mjereno od istih površina.

**u (m)** Poluvisina vala- Polovina visine uvjetnog vala, ovisno o području plovidbe (v.7.2.2. Osnovne veličine i pojmovi).

**$R_{cH}$  (N/mm<sup>2</sup>)** Granica razvlačenja primjenjenog čelika, N/mm<sup>2</sup> (ali ne više od 0,7 njegove prekidne čvrstoće).

**Područje plovidbe 1** – područje unutrašnjih voda s visinom vala do 2,00 m.

**Područje plovidbe 2** – područje unutrašnjih voda s visinom vala do 1,20 m.

**Područje plovidbe 3** – područje unutrašnjih voda s visinom vala do 0,60 m.

**Krmena i pramčana okomica** – Okomice kroz krmeni odnosno pramčani kraj duljine L u simetrali broda.

**Glavno rebro** – Poprečni presjek broda na polovini duljine L.

**Strojarnica na krmi** – Oznaka položaja strojarnice ako se sredina njene duljine nalazi iza 0.3L od sredine broda prema krmi.

**Sredina broda** – Dio broda po duljini 0.25L prema pramcu i krmi od glavnog rebra.

**Krajevi broda** – Dijelovi broda po 0.15L od krmene i pramčane okomice.

**Krmeni i pramčani pik** – Dio broda od krmene sudarne pregrade prema krmi odnosno od pramčane sudarne pregrade prema pramcu.

**Gornja paluba** – Najgornja paluba neprekinuta po cijeloj duljini broda.

**Paluba čvrstoće** – Paluba koja formira gornji pojas poprečnog okvira trupa.

**Nadgrađe** – Zatvoreni prostor na gornjoj palubi koji se proteže od boka do boka, ili čiji je bok udaljen od boka broda ne više od  $0.04B$ . Nadgrađe može imati više nivoa, tada nazivanih redovima nadgrađa.

**Paluba nadgrađa** – Paluba koja s gornje strane omeđuje jedan red nadgrađa.

**Palubna kućica** – Zatvoreni prostor na gornjoj palubi ili palubi nadgrađa koji je svojim bokom udaljen bar od jednog boka broda za više od  $0.04B$ .

**Struktura** – Bilo koji oblik i grupa građevnih elemenata koji su raspoređeni i učvršćeni međusobno i s opločenjem po određenom principu i dimenzionirani tako da uspješno ukrućuju oplatu trupa, pregrade i sl.

**Građevni element** – Bilo koji pojedini element koji je sastavni dio oplata ili strukture trupa.

**Nosač** – U pravilu dio strukture sastavljen od jednog ili više građevnih elemenata u jednu cjelinu, kao pojedinačni element lokalne i opće čvrstoće.

**Ukrućenje** – U pravilu jedan element strukture (profil).

**Opločenje** – Skup međusobno zavarenih limova koji čine cjelinu (opločenje dna, pregrade i sl.)

### 7.3. Materijali

U brodogradnji se općenito koriste metali (čelici i obojani metali), drvo i umjetni materijali (stakloplastika) te nemetali (cement, boje, brtve itd.). U unutarnjoj plovidbi, kao i u morskoj, najčešći materija za izradu trupa je čelik. Čelik mora proći različita ispitivanja te mora biti odobren od strane klasifikacijskog društva.

**Tabela 13. Mehanička svojstva čelika za gradnju trupa [10]**

Kategorija čelika (t<100 mm)	Gornja granica razvlačenja $Re_H$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Vlačna (rastezna) čvrstoća $R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]
A-B-D	235	400-520
A32-D32	315	440-590
A36-D36	355	490-620
A40-D40 (1)	390	510-650
(1) - t ≤ 50 mm		

Svako od navedenih kategoriji čelika pripada određeni faktor materijala  $k$  koji je funkcija granice razvlačenja  $Re_H$ .

**Tabela 14. Faktor materijala  $k$  [10]**

$Re_H$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$k$
235	1
315	0,78
355	0,72
390	0,68

### 7.4. Projektna načela u konstrukciji broda unutarnje plovidbe

#### 7.4.1. Pojmovi i simboli

$w$  (cm<sup>3</sup>) - Moment otpora ukrepe i/ili nosača.

$h_w$  (mm) -Visina struka ukrepe i/ili nosača.

$t_w$  (mm) -Debljina struka ukrepe i/ili nosača.

$b_f$  (mm) -Širina prirubnice ukrepe i/ili nosača.

$t_f$  (mm) -Debljina prirubnice ukrepe i/ili nosača.

$t_p$  (mm) -Debljina lima na kojeg je postavljena ukrepa i/ili nosač.

$s$  (mm) -Razmak između ukrepa.

$S$  (mm) -Udaljenost između primarnih nosivih elemenata.

**I** (mm) -Nepoduprti raspon ukrepa i/ili nosača.

**I** (cm<sup>4</sup>) -Moment inercije ukrepe i/ili nosača bez opločenja, oko neutralne osi paralelne sa opločenjem.

**I<sub>B</sub>** (cm<sup>4</sup>) -Moment inercije ukrepe i/ili nosača sa koljenom bez opločenja, oko neutralne osi paralelne sa opločenjem.

**k** -Faktor materijala, definiran Tabelom 14.

#### 7.4.2. *Neprekinutost strukture*

Kod brodskih konstrukcija važno je ostvariti neprekinutost strukture. Struktura je neprekinuta tj. kontinuirana kada se opterećenja prenose preko strukture bez naglih promjena u polju naprezanja. Promjena u dimenzijama strukture između srednjeg dijela broda i krmenog i pramčanog pika mora biti postepena. Na mjestima gdje koncentracija naprezanja može izazvati strukturni diskontinuitet, potrebno je ojačanje strukture. Primarni ukrepni elementi moraju biti tako postavljeni da osiguraju strukturnu neprekinutost.

#### 7.4.3. *Ukrepe*

Profil HP nosača se može zamijeniti sa ekvivalentnim L profilom. Dimenzije ekvivalentnog L profila se dobiju, prema sljedećim izrazima,[10]:

$$h_w = h'_w - \frac{h'_w}{9,8} + 2 \quad (7.1)$$

$$t_w = t'_w \quad (7.2)$$

$$b_f = \alpha \left[ t'_w + \frac{h'_w}{6,7} - 2 \right] \quad (7.3)$$

$$t_f = \frac{h_w}{9,2} - 2 \quad (7.4)$$

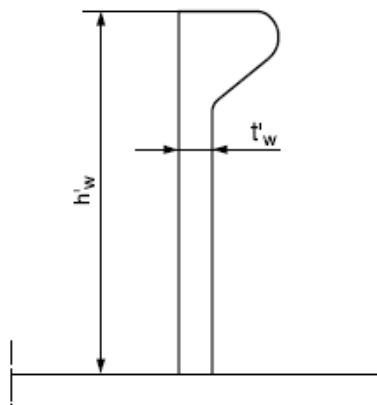
gdje je:

$h'_w$ ,  $t'_w$  – Visina i debljina struka HP profila prema Slici 36.

$\alpha$  – Koeficijent određen prema:

$$1,1 + \frac{(120-h'_w)^2}{3000} \quad \text{ako je } h'_w \leq 120 \quad (7.5)$$

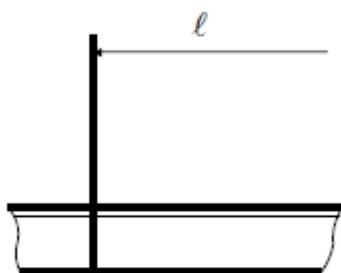
$$1 \quad \text{ako je } h'_w > 120$$



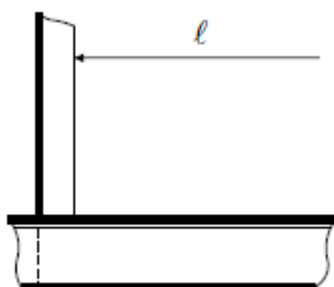
Slika 36. Visina i debljina struka HP profila (izvor:[10])

#### 7.4.3.1. Nepoduprti raspon ukrepa

Određivanje nepoduprtog raspona ukrepa je prikazano na slikama 37. – 40.

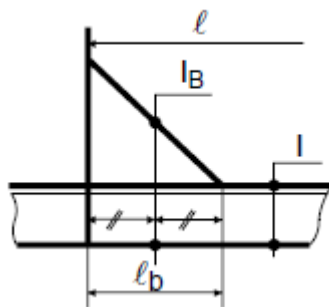


Slika 37. Ukrepa bez koljena (izvor:[10])

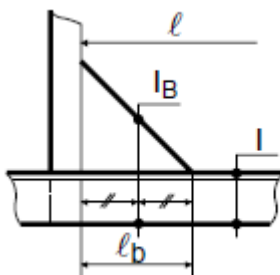


Slika 38. Ukrepa ukrepljena ukrepom bez koljena (izvor:[10])





Slika 39. Ukrepa s koljenom (izvor:[10])



Slika 40. Ukrepa ukrepljena ukrepom i koljenom (izvor:[10])

#### 7.4.3.2. Složene izvedbe ukrepa

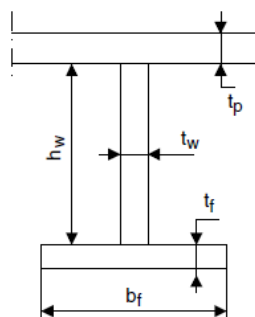
Geometrijska svojstva složenih izvedbi ukrepa (Slika 41.) se mogu izračunati prema sljedećim izrazima,[10]:

$$A_{Sh} = \frac{h_w t_w}{100} \quad (7.6)$$

$A_{Sh}$  – Površina ukrepe [ $\text{cm}^2$ ];

$$W = \frac{h_w t_f b_f}{1000} + \frac{t_w h_w^2}{6000} \left( 1 + \frac{A_a - t_f b_f}{A_a + \frac{t_w h_w}{2}} \right) \quad (7.7)$$

$W$  – Moment otpora ukrepe [ $\text{cm}^3$ ];



Slika 41. Složena izvedba ukrepe (izvor:[10])

#### 7.4.4. Primarni nosivi elementi

Nepoduprti raspon primarnih nosivih elemenata određuje se na isti način kao i za ukrepe (Slika 37.-40.)

Geometrijske karakteristike složenih izvedbi primarnih nosivih elemenata se određuju na isti način kao i za ukrepe (Slika 41.)

##### 7.4.4.1. Primarni nosivi elementi sa koljenima

Visina te debljina lima koljena ne smije biti manja od visine, odnosno debljine slabijeg primarnog nosivog elementa.[10]



Slika 42. Spajanje dvaju primarnih nosećih elemenata

##### 7.4.4.2. Sunosiva širina primarnih nosivih elemenata

Sunosiva širina primarnih nosivih elemenata ovisi o tipu opterećenja.

1. Opterećenje: Ako su nosači opterećeni jednoliko raspoređenim opterećenjem ili opterećenjem ne manjim od 6 koncentriranih opterećenja na jednakim razmacima,[10]:

- $l/S_0 \leq 4$ ;

$$b_p = 0,36S_0 \left( \frac{l}{S_0} \right)^{0,67}$$

- $l/S_0 > 4$ ;

$$b_p = \text{MIN} (S_0; S_1)$$

2. Opterećenje: Ako su nosači opterećeni sa opterećenjem manjim od 6 koncentriranih opterećenja :

- $l/S_0 < 8$

$$b_p = 0,205S_0 \left(\frac{l}{S_0}\right)^{0,72}$$

- $l/S_0 \geq 8$

$$b_p = 0,9S_0$$

gdje je:

$S_0$ :  $S_0=S$ , ukoliko rubovi opločenja ne završavaju na nosaču;

$S_0=0.5S$ , ukoliko jedan rub opločenja završava na nosaču;

$S_1$ :  $S_1=0.2l$ , ukoliko rubovi opločenja ne završavaju na nosaču;

$S_1=0.1l$ , ukoliko jedan rub opločenja završava na nosaču;

#### 7.4.5. Načela dimenzija trupa

Opterećenja ukrepa i primarnih nosivih elemenata se računaju s obzirom na centralnu os ukrepe ili nosača.

##### 7.4.5.1. Koeficijent koljena

Pravila se primjenjuju za ukrepu bez koljena, sa koljenom na jednom kraju ili sa koljenima na oba kraja. Koeficijenti koljena  $\beta_b$  i  $\beta_s$  se računaju prema sljedećim izrazima,[10]:

$$\beta_b = \left(1 - \sum_{i=1}^n \frac{s_{bi}}{s}\right)^2 \quad (7.8)$$

$$\beta_s = \left(1 - \sum_{i=1}^n \frac{s_{bi}}{s}\right), \quad (7.9)$$

gdje su:  $s$  – razmak između ukrepa [m];

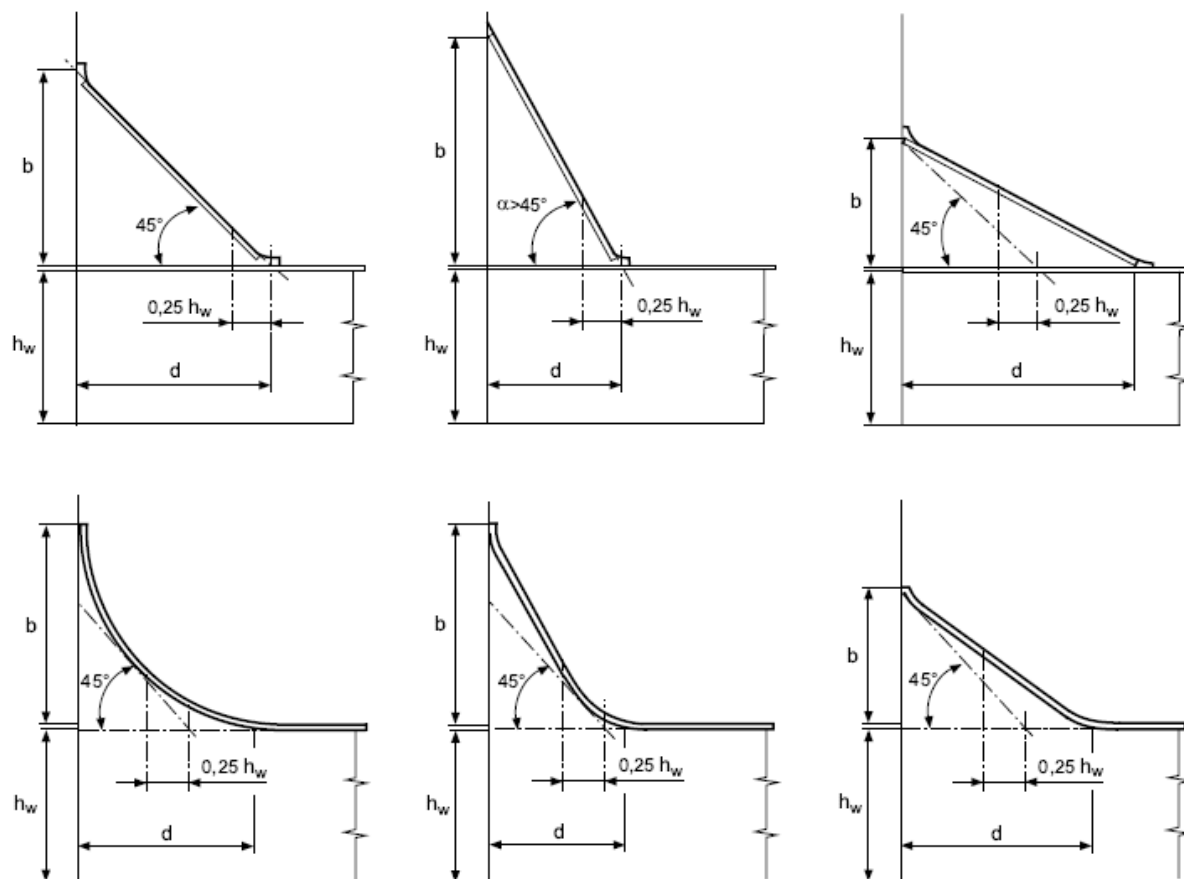
$$s_{bi} = 0,5s_b;$$

$$s_b = \min (d;b);$$

$d, b$  – dimenzije koljena [m];

$n$  – broj koljena;

Koeficijenti koljena na krajevima primarnih nosivih elemenata određuju se prema istim izrazima kao i za ukrepe.



**Slika 43. Karakteristike koljena na krajevima primarnih nosivih elemenata (izvor:[10])**

$$S_{bi} = S_b - 0,25h_w;$$

$h_w$  – Visina primarnog nosivog elementa [m];

#### 7.4.6. Dodatak zbog korozije

Za elemente konstrukcije u područjima navedenim u tablici dodaci za koroziju ne smiju biti manja od propisanih iznosa:

**Tabela 15. Dodatak za koroziju**

Područje		Dodatak [mm]
Balastni tank		1
Teretni tank i tank goriva	Opločenje horizontalnih površina	0,75
	Opločenje ne-horizontalnih površina	0,5
	Ukrepe i primarni noseći elementi	0,5
Skladišta suhog rasutog tereta	Općenito	1
	Unutarnje opločenje dvodna	1,75
	Opločenje boka brodova sa jednim bokom	
	Unutarnje opločenje broda sa duplim bokom	
Opločenje poprečnih pregrada		
Uzvojni tank jaružala		2
Mjesta za boravak		0
Ostali prostori		0,5

#### 7.5. Opterećenja brodskih konstrukcija

Opterećenja nastaju kao posljedica službe broda i djelovanja okoline. Prema promjenljivosti postoje vremenski nepromjenljiva (statička), vremenski promjenljiva (dinamička) i malo promjenljiva opterećenja. Malo promjenljiva opterećenja se nekada u proračunima tretiraju kao kvazi-statička. Opterećenja mogu biti unutarnja ( uslijed pritiska opreme i sile tereta i opreme) te vanjska (uslijed sila pritiska vode rijeke ili jezera, vjetra te dodira s obalom ili drugim plovnim objektom).

Opterećenja brodskih konstrukcija se promatraju kao stvarna i projektna. Stvarna su opterećenja vrlo neizvjesna i mogu se promatrati kao redovita opterećenja, ona koja se javljaju u uobičajenim uvjetima službe broda kako je to zamišljeno u projektu za razne

slučajeve krcanja i za dokovanje, te na izvanredna opterećenja koja nastaju pri udesima i nesrećama kao sudari, nasukavanja ili drugi nepredvidljivi i neuobičajeni slučajevi. Stvarna se opterećenja pojavljuju u naravi za vrijeme službe broda i mogu se ocjenjivati mjerenjima ili se mogu predviđati postupcima pomorstvenosti i teorije broda. Stvarna su opterećenja složena, posljedica su raznih vanjskih utjecaja na brod od vjetra, valova, struja, leda, obraštanja, promjene temperatura, te svih međudjelovanja elemenata brodske konstrukcije i dijelova broda uključivo vlastite težine, ukrcanog tereta i zaliha. Njihov je deterministički opis gotovo nemoguć zbog velikih neizvjesnosti u njihovom djelovanju i načinima određivanja.

Projektne se kao takova ne pojavljuju u naravi, nego se pretpostavljaju na razne načine za potrebe projektiranja brodske konstrukcije, bilo kao najgora moguća opterećenja na nekom mjestu ili ovojnica svih opterećenja na nekom mjestu uslijed svih mogućih stanja plovidbe u cijelom vijeku korištenja broda u službi. Upravo se zbog složenosti problema, točnije nerješivosti na točan način, pribjegava raznim podjelama opterećenja koja onda omogućuju njihovo praktično vrednovanje u projektu konstrukcije. Projektne se opterećenja primjenjuju kao tlakovi, distribuirana opterećenja, ubrzanja te koncentrirane sile i momenti.

Po načinu djelovanja, opterećenja se dijele:

- Globalna (opterećenje brodske konstrukcije kao cjeline);
- Lokalna (opterećenja dijelova brodske strukture).

### **7.5.1. Gibanja broda**

Gibanja se razmatraju po komponentama kao tri translatorna i tri rotaciona gibanja.

Translatorna gibanja:

- Zalijetanje (e:surge);
- Zanošenje (e:sway);
- Poniranje (e:heave);

Rotaciona gibanja:

- Ljuljanje (e:roll);
- Posrtanje (e:pitch);
- Zaošijanje (e:yaw);

#### 7.5.1.1. Zalijetanje

Ubrzanje zalijetanja  $a_{SV}$  se uzima da je jednaka iznosu  $0,5 \text{ m/s}^2$ .

#### 7.5.1.2. Zanošenje

Period zanošenja se računa prema izrazu,[10]:

$$T_{SW} = \frac{0,8\sqrt{L}}{0,10\frac{V}{\sqrt{L}}+1} \quad [s] \quad (7.10)$$

Ubrzanje zanošenja se računa prema izrazu,[10]:

$$a_{SW} = 7,6a_B \quad \left[\frac{m}{s^2}\right] \quad (7.11)$$

#### 7.5.1.3. Poniranje

Ubrzanje poniranja računa se prema,[10]:

$$a_H = 9,81a_B \quad \left[\frac{m}{s^2}\right] \quad (7.12)$$

#### 7.5.1.4. Ljuljanje

Ubrzanje pri ljuljanju se računa prema,[10]:

$$\alpha_R = \frac{40A_R}{T_R^2} \quad \left[\frac{rad}{s^2}\right] \quad (7.13)$$

Period ljuljanja se računa prema izrazu,[10]:

$$T_R = 0,77 \frac{B}{\sqrt{GM}} \quad [s] \quad (7.14)$$

Amplitude  $A_R$ [9]:

$$A_R = a_B \sqrt{E} \quad [rad] \quad (7.15)$$

Uzima se vrijednost manja od 0,35.

E - parametar koji se računa prema:

$$E = 11,34 \frac{GM}{B} \geq 1$$

GM-Metacentarska visina [m]-udaljenost od težišta sistema do metacentra.

#### 7.5.1.5. Posrtanje

Ubrzanje pri posrtanju,[10]:

$$\alpha_p = \frac{40A_P}{T_P^2} \quad \left[ \frac{rad}{s^2} \right] \quad (7.16)$$

Period i amplituda posrtanja se računaju prema,[10]:

$$T_P = 0,575\sqrt{L} \quad [s] \quad (7.17)$$

$$A_P = 0,328a_B \left( 1,32 - \frac{h_W}{L} \right) \left( \frac{0,6}{c_B} \right)^{0,75} \quad [rad] \quad (7.18)$$

#### 7.5.1.6. Zaošijanje

Ubrzanje zaošijanja se računa prema,[10]:

$$\alpha_Y = 15,5 \frac{a_B}{L} \quad \left[ \frac{rad}{s^2} \right] \quad (7.19)$$

$a_B$  – Parametar se računa prema:

$$a_B = 0,33n \left( 0,04 \frac{V}{\sqrt{L}} + 1,1 \frac{h_W}{L} \right) \quad (7.20)$$

$h_W$  – Parametar valova:

$$h_W = 11,44 - \left| \frac{L-250}{110} \right|^3 \quad (7.21)$$

V – Najveća brzina u službi [km/h];

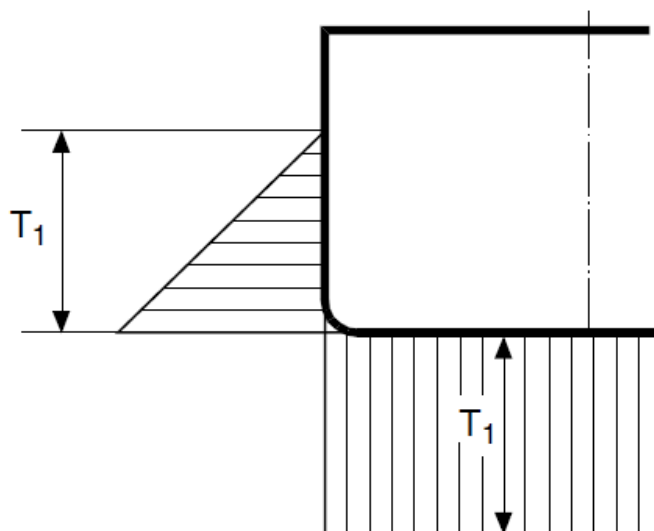
L – Duljina broda [m];

n – Koeficijent plovidbe; n=0,85H

H- Visina vala [m];



### 7.5.2. Opterećenje trupa broda na mirnoj vodi



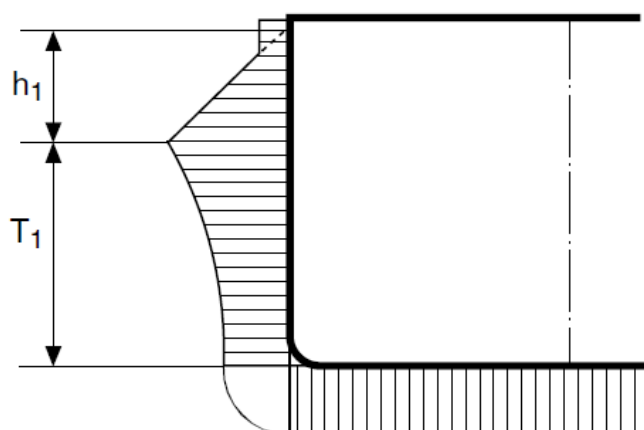
Slika 44. Djelovanje tlaka na trup broda na mirnoj vodi (izvor:[10])

Tlak koji djeluje na trup broda uslijed vanjskog opterećenja vode se računa,[10]:

$$p_{SE} = 9,81(T_1 - z) \quad \left[ \frac{kN}{m^2} \right] \quad (7.22)$$

pri čemu je  $T_1$  gaz broda u [m];

### 7.5.3. Opterećenje trupa uslijed djelovanja valova



Slika 45. Djelovanje tlaka na trup broda uslijed djelovanja valova (izvor:[10])

Tlak na dijelove trupa ispod vodne linije ( $z < T_1$ ) uslijed djelovanja valova se računa prema,[10]:

$$p_{WE} = 9,81\gamma_{W2}h_1 \left( \frac{0,23(z-T_1)}{T_1} + 1 \right) \quad \left[ \frac{kN}{m^2} \right] \quad (7.23)$$

Tlak na dijelove trupa iznad vodne linije ( $z > T_1$ ) uslijed djelovanja valova se računa prema,[10]:

$$p_{WE} = 9,81\gamma_{W2}(T_1 + h_1 - z) \quad \left[ \frac{kN}{m^2} \right] \quad (7.24)$$

Ukupni vanjski tlak koji djeluje na trup ( $z \leq T_1$ ) jednak je:

$$p_{EM} = p_{SE} + p_{WE} \quad (7.25)$$

Za  $z > T_1$  vrijedi:

$$p_{EM} = p_{WE}$$

gdje je:  $z$  –  $z$  koordinata s obzirom na koordinatni sustav broda;

$\gamma_{W2}$ -faktor sigurnosti vezan uz tlak valova:  $\gamma_{W2}=1$  za  $n < 1,02$

$\gamma_{W2}=1,2$  za  $n \geq 1,02$ ;

#### 7.5.4. Opterećenje tankova tekućim teretom

Tlak koji djeluje na strukturu tankova  $p_c$  jednak je zbroju tlaka koji djeluje na konstrukciju broda na mirnoj vodi  $p_s$  i inercijskog tlaka  $p_w$ . Tlak  $p_c$  računa se prema,[10]:

$$p_s = 9,81\rho_L(z_L - z) \quad \left[ \frac{kN}{m^2} \right] \quad (7.26)$$

$$p_s = 9,81\rho_L(z_{TOP} - z) + 1,15p_{PV} \quad \left[ \frac{kN}{m^2} \right] \quad (7.27)$$

gdje je:

$\rho_L$  -  $[kg/m^3]$  – gustoća tekućeg tereta;

$z_L$  -  $[m]$  – udaljenost od osnovice broda do najviše razine tekućeg tereta;

$z_{TOP}$  –  $[m]$  – udaljenost od osnovice broda do najviše točke tanka;

$p_{PV}$  –  $[kN/m^2]$  – tlak sigurnosnog ventila ili najveći tlak u tanku za vrijeme utovara/istovara;

Tlak  $p_w$  se računa,[10]:

$$p_w = \rho_L\gamma_{W2}[0,5a_{x1}l_B + a_{z1}(z_{TOP} - z)] \quad (7.28)$$

Pri čemu je:

$$a_{x1} = \sqrt{a_{SU}^2 + [9,81A_P + \alpha_P(z - T_1)]^2} \quad (7.29)$$

$$a_{z1} = \sqrt{a_H^2 + \alpha_p^2 K_x L^2} \quad (7.30)$$

Koeficijent  $K_x$  jednak je:

$$K_x = 1,2 \left(\frac{x}{L}\right)^2 - 1,1 \frac{x}{L} + 0,2 \geq 0,018 \quad (7.31)$$

### 7.5.5. Opterećenje skladišta suhog rasutog tereta

Tlak kojim suhi rasuti teret djeluje na strukture boka te pregrada računa se prema,[10]:

$$p_c = \left(\frac{D-z}{D-z_H}\right) p_0 \quad \left[\frac{kN}{m^2}\right] \quad (7.32)$$

Pri čemu je  $p_0$  ukupni tlak koji djeluje na oplatu dna ili pokrov dvodna:

$$p_0 = p_s + p_w \geq 0$$

$p_s$  – tlak na oplatu dna ili na pokrov dna broda na mirnoj vodi,[10]:

$$p_s = \frac{9,81 m_B}{L_H B_l} \quad \left[\frac{kN}{m^2}\right] \quad (7.33)$$

$p_w$  – inercijski tlak koji djeluje na oplatu dna ili na pokrov dvodna,[10]:

$$p_w = \frac{a_{z1} \gamma_w z^2 m_B}{L_H B_l} \quad \left[\frac{kN}{m^2}\right] \quad (7.34)$$

gdje je:  $m_B$  [t] – masa suhog rasutog tereta;

$L_H$  [m] – uzdužna duljina skladišta između susjedne poprečne pregrade;

$B_l$  [m] - širina skladišta;

$z_H$  [m] – udaljenost dna ili pokrova dvodna od osnovice;

### 7.5.6. Opterećenje palube

Na palubu djeluje tlak  $p_E$  koji se računa prema (26.) i tlak balasta prema,[10]:

$$p_B = 9,81(z_{TOP} - z + d_{AP}) \quad (7.35)$$

gdje je:  $d_{AP}$  [m] – udaljenost od najviše točke tanka do najviše točke odušnika na palubi.

## 7.6. Načini oštećenja

Uzroci oštećenja konstrukcija:

- Pretjerane plastične deformacije uslijed jednokratnog djelovanja velikog opterećenja,
- Gubitak nosivosti zbog izvijanja strukturnih elemenata pod tlačnim opterećenjima,
- Lomovi strukturnih dijelova do kojih dolazi ili zbog zamora konstrukcije i umora materijala izloženog dinamičkim opterećenjima i visokim napreznjima ili zbog vlačnog puknuća uslijed popuštanja, krtog loma pri niskim temperatura okoline u elementima u kojima se javljaju visoka napreznja, osobito na mjestima koncentracije napreznja.

### 7.6.1. Popuštanje materijala

Do popuštanja dolazi kada radna napreznja u brodskim konstrukcijama premaše elastična svojstva materijala i dostignu granicu popuštanja  $\sigma_F$ . Čvrstoća popuštanja ne predstavlja poseban način oštećenja, ali se koristi kao pokazatelj primjene elastične analize. Čvrstoća popuštanja se koristi i kao osnova za određivanje granične čvrstoće, poprečnog popuštanja, čvrstoće na zamor pri malim učestalostima promjene i čvrstoći na elastično savijanje kod visokih statičkih opterećenja.

### 7.6.2. Izvijanje

Izvijanje je pojava gubitka pravolinijske ravnoteže i zauzimanje krivolinijske ravnoteže pod djelovanjem tlačne uzdužne sile. Ravnoteža vanjskih i unutarnjih sila može biti stabilna, labilna (nestabilna) i indiferentna. Da bi postigli punu sigurnost konstrukcije moraju biti zadovoljeni slijedeću uvjeti: uvjet čvrstoće (napreznja), uvjet krutosti (deformabilnosti) i uvjet stabilnosti.

- Elastično izvijanje:

$$\sigma_E \leq \frac{\sigma_F}{2} \quad (7.36)$$

- Elastično-plastično izvijanje (neelastično izvijanje):

$$\sigma_E > \frac{\sigma_F}{2} \quad (7.37)$$

gdje je:  $\sigma_E$  – Elastično naprezanje izvijanja,

$\sigma_F$  – Granica popuštanja;

Kritična sila je najmanja vrijednost sile pri kojoj nastupa gubitak stabilnosti, tj. pri kojoj štap iz stabilne pravolinijske forme ravnoteže prelazi u nestabilnu krivolinijsku formu- izvija se. Izraz za kritičnu silu:

$$F_K = \frac{\pi^2 EI_{min}}{l_0^2} \quad (7.38)$$

gdje je:

$E$  [N/mm<sup>2</sup>] – modul elastičnosti materijala;

$I_{min}$  [cm<sup>4</sup>] - minimalni moment inercije;

$l_0$  [m] – slobodna duljina izvijanja;

### 7.6.3. Zamor konstrukcije

Zamor konstrukcije je pojava postupnog oštećenja materijala konstrukcije uslijed dugotrajnih periodičnih promjenjivih opterećenja. Umor materijala nastaje uglavnom kod dinamički napregnutih konstrukcija. Prilikom dinamičkog opterećenja, materijal će puknuti pri znatno manjim naprezanjima od maksimalne vlačne čvrstoće, pa čak i granice razvlačenja. Otpornost materijala prema dinamičkom naprezanju nazivamo dinamička izdržljivost materijala.

Vrlo male pukotine redovita su pojava u konstrukcijama i njihovim dijelovima i kao takve su za konstrukciju bezopasne. Zamor predstavlja rast i stapanje ovih nepravilnosti, nakon čega slijedi formiranje pukotine, te njeno širenje do konačnog puknuća. Proces oštećenja od umora materijala uobičajeno se dijeli u tri faze:

- inicijacija ili početak pukotine,
- širenje ili rast pukotine,

- lom.

Dinamička izdržljivost konstrukcija i zavarenih spojeva uobičajeno se daje preko Wöhlerovih ili S-N krivulja. Wöhlerova krivulja daje odnos između broja ciklusa napreznja do loma  $N$  i raspon nazivnog napreznja  $\Delta\sigma$ :  $(\Delta\sigma)_m N=C$ , gdje su  $m$  i  $C$  konstante ovisne o materijalu i tipu zavora, tipu opterećenja i okolnim uvjetima. Raspon napreznja  $\Delta\sigma$  određuje se kao razlika najvećeg napreznja ciklusa  $\sigma_{max}$  i najvećeg donjeg napreznja ciklusa  $\sigma_{min}$ :  $\sigma_{max} - \sigma_{min}$ .

Wöhlerove krivulje se određuju pokusima na uzorcima (epruvete), kojima se podvrgavaju promjenjivom napreznju konstantne amplitude do loma, a životni vijek određuje se kao broj ciklusa do loma. Najveće promjenjivo napreznje koje uzorci izdrže bez pojave loma nakon praktički beskonačnog broja ciklusa, predočeno graničnim brojem ciklusa  $N_d$ , naziva se dinamička izdržljivost  $R_d$ .

#### 7.6.4. Krti lom

Krti lom je lom kod kojeg pod djelovanjem napreznja ne postoji plastična deformacija, već se početna mikropukotina širi duž kristalne ravnine. Osim sklonosti samog materijala, krti lom se javlja i kod sniženih temperatura i velikih brzina promjena napreznja.

## 8. UZDUŽNA ČVRSTOĆA BRODOVA UNUTARNJE PLOVIDBE

Opterećenje na brodsku konstrukciju možemo podijeliti na statičko i dinamičko. Statičko opterećenje nastaje kad brod pluta u mirnoj vodi, a dinamičko kad plovi na valovima. Kod plutanja broda u mirnoj vodi na njega djeluju sile uzgona od hidrostatičkog pritiska i sile težine trupa svih predmeta koji se na njemu nalaze. Premda je težina broda jednaka cjelokupnom uzgonu broda, raspodjela tih sila po duljini broda nije jednaka, tako da u pojedinim presjecima broskog trupa nastupa ili pretičak težine ili pretičak uzgona.

Kod uzdužne čvrstoće riječnog broda vrijednost naprezanja moraju biti u okviru prema pravilima, [10]:

$$\sigma_1 \leq 192/k \left[ \frac{N}{mm^2} \right] \quad (8.1)$$

$\sigma_1$  su normalna naprezanja ( $N/mm^2$ ) koja se računaju prema izrazima za progib i pregib.

- Za progib vrijedi [10]:

$$\sigma_1 = \frac{M_{TS}}{W} 10^3 \quad (8.2)$$

- Za pregib vrijedi [10]:

$$\sigma_1 = \frac{M_{TH}}{W} 10^3 \quad (8.3)$$

$M_{TS}$  [kNm] – Ukupni vertikalni moment savijanja pri progibu broda,

$M_{TH}$  [kNm] – Ukupni vertikalni moment savijanja pri pregibu broda.

Moment otpora  $W$  [ $cm^3$ ] se računa prema:

$$W = \frac{I_y}{100|z-N|} \quad (8.4)$$

gdje su:

$I_y$  [ $cm^4$ ] – moment tromosti poprečnog presjeka broda,

$N$  [m] – položaj težišta poprečnog presjeka broda,

$z$  [m] – položaj težišta strukturnog elementa.

Ukupni vertikalni momenti savijanja računaju se prema [10]:

- za progib:

$$M_{TS} = M_S + M_W \quad (8.5)$$

- za pregib:

$$M_{TH} = M_H + M_W \quad (8.6)$$

$M_S$  [kNm] – projektni moment savijanja broda na mirnoj vodi pri progibu broda,

$M_H$  [kNm] – projektni moment savijanja broda na mirnoj vodi pri pregibu broda,

$M_W$  [kNm] – moment savijanja uslijed valova.

### 8.1. Moment savijanja uslijed djelovanja valova

Moment savijanja uslijed djelovanja valova ovisi o području plovidbe broda. Prema Bureau Veritas pravilima postoje tri područja plovidbe:

- IN(0) – područje u kojemu je površina vode potpuno mirna,
- IN(0,6) – područje u kojemu se pojavljuju jake struje, mreškanja površine i postoji vjerojatnost pojavljivanja vala visine do 0,6 metara. Moment savijanja uslijed djelovanja valova [kNm] za ovo područje računa se prema:

$$M_W = 0,045L^2BC_B \quad (8.7)$$

- IN(1,2 ≤ x ≤ 2) – područje u kojemu postoji vjerojatnost pojavljivanja značajne valne visine između 1,2 i 2 metra. Za ovo područje moment savijanja uslijed djelovanja valova [kNm] se računa prema:

$$M_W = 0,021nCL^2B(C_B + 0,7) \quad (8.8)$$

Gdje je:

$n$  – parametar plovidbe koje se računa prema:  $n=0,85H$ ;

$H$  [m] – visina vala koja se određuje prema:

**Tabela 16. Vrijednosti visine vala**

Područje plovidbe	Visina vala H [m]
IN(0)	0
IN(0,6)	0,6
IN(1,2 ≤ x ≤ 2,0)	1,2 ≤ x ≤ 2,0

$C$  – parametar vala koji ovisi o duljini broda i računa se prema:

$$C = (118 - 0,36L) \frac{L}{1000} \geq 7,2 \quad \text{za } L < 90 \quad (8.9)$$



$$C = 10,75 - \left(\frac{300-L}{100}\right)^{1,5} \quad \text{za } L \geq 90 \quad (8.10)$$

## 8.2. Projektni moment savijanja pri progibu i pregibu

Projektni momenti savijanja računaju se prema:

- za progib [10]:

$$M_S = M_{S0} + \sum M_C \quad [\text{kNm}] \quad (8.11)$$

- za pregib [10]:

$$M_H = M_{H0} + \sum M_C \quad [\text{kNm}] \quad (8.12)$$

$\sum M_C$  [kNm] – Suma korekcijskog momenta savijanja;

Procijenjeni momenti savijanja  $M_{S0}$  i  $M_{H0}$  [kNm], ukoliko je brod samohodan, računaju se prema izrazima:

- za progib [9]:

$$M_{S0} = FM_{CS} - M_{HS} \quad (8.13)$$

- za pregib [9]:

$$M_{H0} = 0,273L^2B^{1,342}D^{0,172}(1,265 - C_B) \quad (8.14)$$

gdje je:

F – Faktor utovara koji se računa prema:  $F=P/P_T$ ;

P [t] - Stvarna masa tereta,

$P_T$  [t] – Masa tereta pri najvećem gazu broda,

$$M_{CS} = 0,4L^{1,86}B^{0,8}T^{0,48}(C_B - 0,47)[3,1 + R_{11}(10,68L - 53,22l_1)(1 - R_{12}) + R_{21}(0,17L - 0,15l_2)(1 - R_{22})] \quad [\text{kNm}] \quad (8.15)$$

$$M_{HS} = 0,417L^{1,92}B^{1,464}(0,712 - 0,622C_B) \quad [\text{kNm}] \quad (8.16)$$

gdje su  $R_{11}$ ,  $R_{12}$ ,  $R_{21}$ ,  $R_{22}$ ,  $l_1$  i  $l_2$  koeficijenti ovisni o duljini broda te udaljenosti tereta od krmene, odnosno pramčane statve.

### 8.3. Provjera dimenzija postojećeg broda

Za brod sljedećih dimenzija potrebno je ispitati strukturne elemente koji sudjeluju u uzdužnoj čvrstoći:

$$L_{pp}=72,2 \text{ m}$$

$$B=10,2 \text{ m}$$

$$D= 2,4 \text{ m}$$

$$T=1,95 \text{ m}$$

$$C_B= 0,84$$

Ukupni vertikalni momenti savijanja, prema (8.5 i 8.6) iznose:

$$M_{TH}= 22\ 183,7 \text{ kNm}$$

$$M_{TS}=12\ 694,1 \text{ kNm}$$

**Tabela 17. Dimenzije elemenata postojećeg broda[mm]**

1	Oplata palube	6
2	Oplata boka	7,5
3	Oplata dna	7
4	Oplata pregrade	5,5
5	Hrptenjak	260 x 8
6	L profil na hrptenjaku	100 x 50 x 10
7	Palubna podveza	280 x 55 x 7

Prema pretpostavljenim dimenzijama dobio se ukupan moment tromosti i položaj težišta poprečnog presjeka:

$$I=21\ 476\ 648,27 \text{ cm}^4;$$

$$\eta=1,13 \text{ m};$$

Ukupni moment otpora poprečnog presjeka iznosi, prema (8.4.):

$$W=189\ 687,52 \text{ cm}^3$$

Maksimalna naprezanja s obzirom na popuštanje moraju biti manja od:

$$\sigma_1 \leq \frac{192}{k} = 192 \text{ N/mm}^2$$

k=1 za korišteni čelik S235;

Stvarna naprezanja u stanju progiba i pregiba su:

- progib:

$$\sigma_{1S} = \frac{M_{TS}}{W} 10^3 = 66,92 \text{ N/mm}^2$$

- pregib:

$$\sigma_{1H} = \frac{M_{TH}}{W} 10^3 = 116,94 \text{ N/mm}^2$$

Iz rezultata je vidljivo da su stvarna naprezanja manja od dopuštenog naprezanja te pretpostavljene dimenzije zadovoljavaju uzdužnu čvrstoću.

#### 8.4. Proračun dimenzija poprečnog presjeka prema BV-u

##### 8.4.1. Oplata palube

Debljina oplata palube se računa prema:

$$t_1 = 2 + 0,02Lk^{0,5} + 3,6s = 5,24 \text{ mm} \quad (8.17)$$

Uzima se vrijednost  $t_1=5,24 \text{ mm}$  sa dodatkom za koroziju:  $t_1=6 \text{ mm}$ .

##### 8.4.2. Oplata boka

Debljina oplata boka se računa prema:

$$t_1 = 1,68 + 0,025Lk^{0,5} + 3,6s = 5,29 \text{ mm} \quad (8.18)$$

Uzima se veća vrijednost  $t_1=5,29 \text{ mm}$  sa dodatkom za koroziju:  $t_1=6 \text{ mm}$ .

##### 8.4.3. Oplata dna

Debljina oplata dna se računa prema:

$$t_1 = 1,85 + 0,03Lk^{0,5} + 3,6s = 5,82 \text{ mm} \quad (8.21)$$

Uzima se veća vrijednost  $t_1=5,82 \text{ mm}$  tj. sa dodatkom za koroziju:  $t_1=6,5 \text{ mm}$ .

##### 8.4.4. Oplata uzdužne pregrade

Debljina oplata dna se računa prema:

$$t_1 = 0,026Lk^{0,5} + 3,6s = 4,03 \text{ mm} \quad (8.23)$$

Uzima se veća vrijednost  $t_1=4,03 \text{ mm}$  tj. sa dodatkom za koroziju:  $t_1=5 \text{ mm}$ .

#### 8.4.5. Hrptenjak

Moment otpora hrptenjaka računa se prema:

$$w = \beta_b \frac{p}{m\left(\frac{200}{k} - \sigma_{x1}\right)} S l^2 10^3 = 49,26 \text{ cm}^3 \quad (8.25)$$

Odabran je L profil dimenzija 80x65x8.

#### 8.4.6. Palubna podveza

Moment otpora palubne podveze računa se prema:

$$w = \beta_b \frac{p}{m\left(\frac{200}{k} - \sigma_{x1}\right)} S l^2 10^3 = 132,7 \text{ cm}^3 \quad (8.26)$$

Odabran je L profil dimenzija 130x75x10.

Dimenzije dobivene prema izrazima prema BV-u:

**Tabela 18. Dimenzije elemenata poprečnog presjeka dobivene izrazima prema BV**

1	Oplata palube	6
2	Oplata boka	6
3	Oplata dna	6,5
4	Oplata pregrade	5
5	Hrptenjak	80x65x8
6	Palubna podveza	130x75x10

Ukupni moment tromosti iznosi:

$$I = 21911063,18 \text{ cm}^4$$

Udaljenost neutralne linije od osnovice:

$$\eta = 1,1908 \text{ m}$$

Ukupni moment otpora poprečnog presjeka iznosi:

$$W = 18\,3994,2 \text{ cm}^3$$

#### 8.4.7. Provjera čvrstoće

Naprezanja u stanju progiba i pregiba:

- Progib:

$$\sigma_{1S} = \frac{M_{TS}}{W} 10^3 = 68,99 \text{ N/mm}^2$$

- Pregib:

$$\sigma_{1H} = \frac{M_{TH}}{W} 10^3 = 120,56 \text{ N/mm}^2$$

Naprezanja su manja od dopuštenih naprezanja te se zaključuje da dimenzije dobivene prema pravilima BV-a zadovoljavaju uzdužnu čvrstoću.

#### **8.4.8. Usporedba rezultata**

Provedbom kontrole dimenzija prema novim pravilima BV-a ustanovljene su vrlo male razlike u odnosu na izgrađeni brod. U konačnici su manje razlike u dimenzijama strukturnih elemenata rezultirale minimalnim promjenama naprezanja.

## 9. ZAKLJUČAK

U prvom dijelu ovog rada je pokazano na osnovi tehno-ekonomske analize unutarnje plovidbe u Europi, da se polažu velika očekivanja u razvoj intermodalnog prijevoza što u potpunosti uključuje unutarnju plovidbu.

U drugom dijelu ovog rada razmotreni su tehnički aspekti plovila unutarnje plovidbe. Ukratko su opisani problemi hidrodinamike unutarnje plovidbe s posebnim naglaskom utjecaja plitke vode. U nastavku su postavljeni temelji za proračun konstrukcije broda unutarnje plovidbe na osnovi specifičnog opterećenja i uvjeta korištenja.

U trećem dijelu ovog rada izvršena je provjera konstruktivnih elemenata tankera na unutarnjim plovnim putovima tipičnog za uvjete rijeke Save. Elementi konstrukcije su dimenzionirani na osnovi BV (Bureau Veritas) pravila za unutarnju plovidbu najprije u odnosu na lokalnu čvrstoću. Na osnovi tako dobivenih dimenzija provjereni su uvjeti uzdužne čvrstoće na osnovu dopuštenih naprezanja za brodove unutarnje plovidbe i proračunatog momenta otpora presjeka. Time je omogućeno da se procjenjuju operativna opterećenja i eventualno pojačavanje strukturnih elemenata u slučaju njihovog premašivanja.

Na kraju, ovim radom je pokazano da prijevoz unutarnjim plovnim putovima ima dobre perspektive te da se i u našem okruženju u Hrvatskoj može i treba tome aspektu transporta posvetiti nužna pažnja.

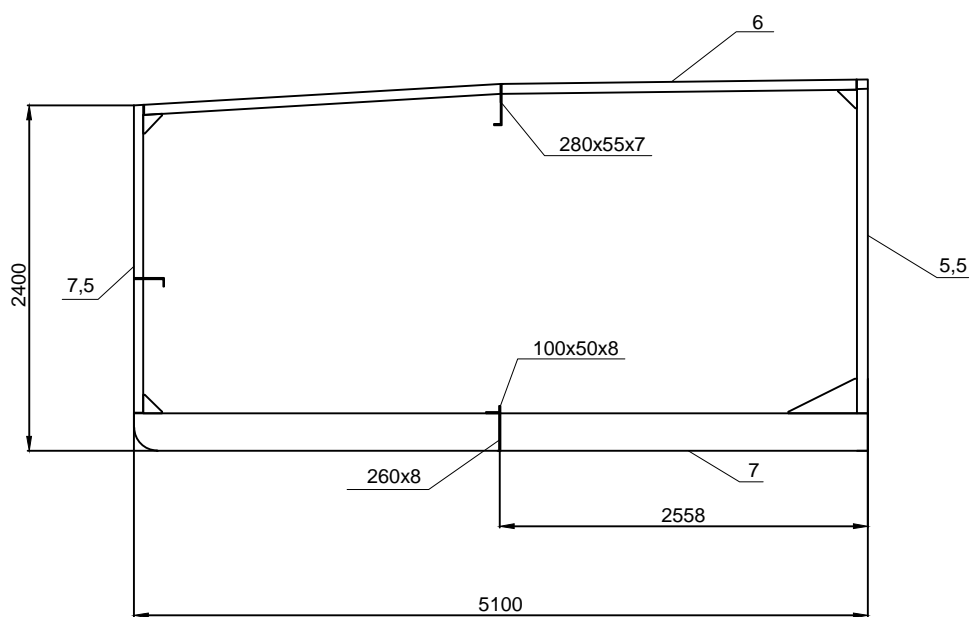
## **LITERATURA**

- [1] Priručnik za unutarnju plovidbu u Republici Hrvatskoj, Centar za razvoj unutarnje plovidbe d.o.o., Zagreb, prosinac 2006.
- [2] The power of inland navigation, The future of freight transport and inland shipping in Europe 2010-2011, Rotterdam.
- [3] European Commission, EU transport in figures, Statistical pocketbook 2013.
- [4] Ministarstvo pomorstva, prometa i infrastrukture, 2014.
- [5] Multimodalni transport-čimbenik djelotvornog uključivanja Hrvatske u europski prometni sustav, G. Nikolić, Rijeka, 2003.
- [6] Real cost reduction of door-to-door intermodal transport: RECORDIT.org
- [7] Economical and ecological comparison of transport modes: Road, railway, inland waterways, Summary of findings, november 2007.
- [8] Technomar engineering b.v.
- [9] Particularities of navigation on inland waterways, Zigić, VBD.
- [10] Bureau Veritas, Rules for the Classification of Inland Navigation Vessels, April 2009.


## **PRILOZI**

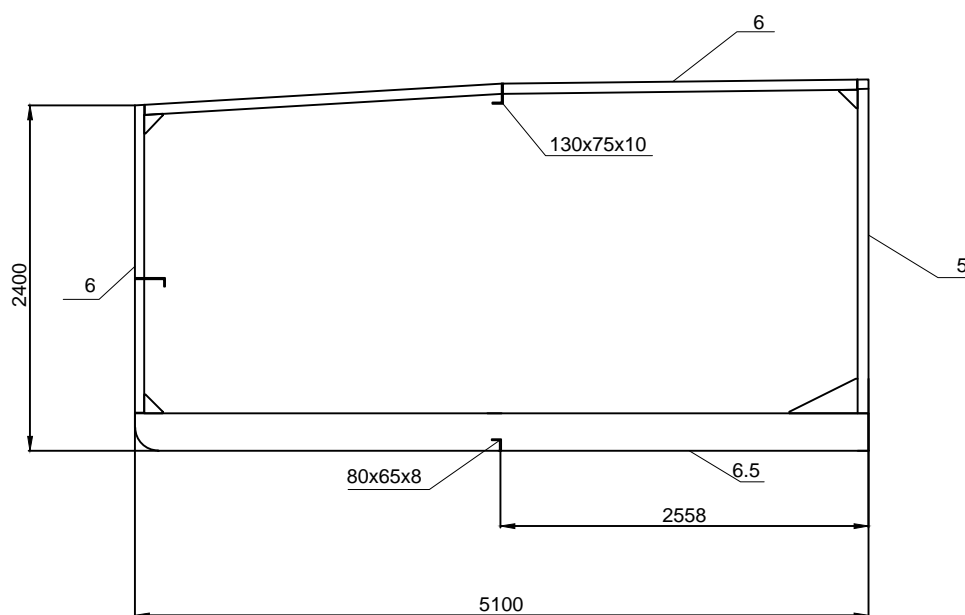
- I. CD-R disc
- II. Proračun






$L_{pp} = 72,2 \text{ m}$   
 $B = 10,2 \text{ m}$   
 $T = 1,95 \text{ m}$   
 $C_b = 0,84$

	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB-Zagreb
Projektirao		Marko Caksiran		
Crtao		Marko Caksiran		
Pregledao				
Mjerilo: 1 :200	Naziv: Poprečni presjek postojećeg broda			Broj listova: 2
				List br. 1



$L_{pp} = 72,2 \text{ m}$   
 $B = 10,2 \text{ m}$   
 $T = 1,95 \text{ m}$   
 $C_b = 0,84$

	Datum	Ime i prezime	Potpis	 <b>FSB-Zagreb</b>
Projektirao		Marko Caksiran		
Crtao		Marko Caksiran		
Pregledao				
Mjerilo: <b>1 :200</b>	Naziv: <b>Poprečni presjek broda prema pravilima BV-a</b>			Broj listova: 2
				List br. 2

**1. Momenti savijanja, proračun dimenzija prema BV-u**

B Hull design and construction

**1 APPLICATION****2 SYMBOLS AND DEFINITIONS****Symbols**

Block coefficient:

$$C_B = \frac{\Delta}{L \cdot B \cdot T}$$

$C_B$	0,84
-------	------

B Hull design and construction

**3 DESIGN LOADS****1 GENERAL****5 Range of navigation****5.2 Navigation coefficient n****5.2.1**

$$n = 0,85 \cdot H$$

n	0,51
---	------

B Hull design and construction

**3 DESIGN LOADS****2 HULL GIRDER LOADS****Symbols**

Coefficient R:

$$R = \frac{L - L_{AV} - L_{AR}}{L}$$

R	0,75
---	------

Distance of cargo, from fore end:

$$L_{AV} = d_{AV} + X_{AV}$$

$L_{AV}$	8,20 m
----------	--------

Distance of cargo, from aft end:

$$L_{AR} = d_{AR} + X_{AR}$$

$L_{AR}$	9,50 m
----------	--------

Loading factor:

$$F = \frac{P}{P_T}$$

F	0,90
---	------

Coefficients:

$$l_1 = \frac{-k_3}{k_2} \cdot L$$

(Sagging) 

$l_1$	14,17
-------	-------

$$l_2 = \frac{-k_3}{k_4} \cdot L$$

(Sagging) 

$l_2$	16,82
-------	-------

$$L_1 = 0,5 \cdot L - l_1 - L_{AV}$$

(Sagging) 

$L_1$	13,73 m
-------	---------

$$L_2 = 0,5 \cdot L - l_2 - L_{AR}$$

(Sagging) 

$L_2$	9,78 m
-------	--------

$$L_3 = 0,5 \cdot L - 0,5 \cdot L_1 - L_{AV}$$

(Sagging) 

$L_3$	21,03 m
-------	---------

$$R_{11} = \frac{0,5 \cdot L - L_{AV} - L_1}{L - L_{AV} - L_{AR}}$$

(Sagging) 

$R_{11}$	0,26
----------	------

$$R_{12} = \frac{L_1}{0,5 \cdot L - L_{AV} - L_1}$$

$$R_{21} = \frac{0,5 \cdot L - L_{AR} - L_2}{L - L_{AV} - L_{AR}}$$

$$R_{22} = \frac{L_2}{0,5 \cdot L - L_{AR} - L_2}$$

(Sagging)	$R_{12}$	0,97
-----------	----------	------

(Sagging)	$R_{21}$	0,31
-----------	----------	------

(Sagging)	$R_{22}$	0,58
-----------	----------	------

## 1 Design still water bending moments

### 1.1 General

#### 1.1.2 Table 1: Estimated design bending moments

Load case: Navigation

Hogging:

Sagging:

$$M_S = M_{S0} + \sum M_C$$

$M_H$	15.869,52	kNm
$M_S$	6.379,90	kNm

## 2 Estimated still water bending moments

### 2.4 Values of estimated still water bending moments

#### 2.4.3 Self-propelled cargo carriers

Table 5.

Load case: Navigation

Hogging:

$$M_{H0} = 1,515 \cdot L^2 \cdot B^{0,78} \cdot D^{0,2} \cdot (1 - C_B)$$

$M_{H0}$	15.869,52	kNm
----------	-----------	-----

Load case: Navigation

Sagging:

$$M_{S0} = F \cdot (M_{H0} + M_{0S}) - M_{H0}$$

$M_{S0}$	6.379,90	kNm
----------	----------	-----

Table 7, coefficients  $k_i$ :

(self-propelled vessel)

	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$
Hogging	0,000	3,455	-0,780	4,956
Sagging	0,000	4,433	-0,870	3,735

## 3 Wave bending moments

### 3.3 Range of navigation

#### 3.3.1 For range of navigation IN ( $0 \leq x \leq 0,6$ ):

$$M_W = 0,021 \cdot n \cdot C \cdot L^2 \cdot B \cdot (C_B + 0,7)$$

$M_W$	6.314,18	kNm
-------	----------	-----

## 4 Total vertical bending moments

### 4.1 General

#### 4.1.1 (Table 8)

$$M_{CS} = 0,4L^{1,86}B^{0,8}T^{0,48}(C_B - 0,47)[3,1 + R_{11}(10,68L - 53,22L_1)(1 - R_{12}) + R_{21}(0,17L - 0,15L_2)(1 - R_{22})]$$

$$M_{TH} = M_H$$

$$M_{TS} = M_S$$

$M_{CS}$	16.828,15	kNm
----------	-----------	-----

Load case: Navigation

Limit state: Hull girder yielding

Hogging: Sagging:

$$M_{TH} = M_H + M_W \quad M_{TS} = M_S + M_W$$

$M_{TH}$	<b>22.183,70</b>	kNm
$M_{TS}$	<b>12.694,08</b>	kNm

Load case: Navigation

Limit state: Other limit states

Hogging: Sagging:

$$M_{TH} = M_H + \gamma_W \cdot M_W \quad M_{TS} = M_S + \gamma_W \cdot M_W$$

B Hull design and construction

**3 DESIGN LOADS**

3 VESSEL MOTIONS AND ACCELERATIONS

**Symbols**

Wave parameter:

$$C = (118 - 0,36 \cdot L) \frac{L}{1000} \geq 7,2 \quad \text{for} \quad L < 90,00 \quad C = 6,64$$

$$C = 10,75 - \left( \frac{300 - L}{100} \right)^{1,5} \quad \text{for} \quad L \geq 90,00 \quad C = 7,31$$

<b>C</b>	<b>6,64</b>
----------	-------------

**2. Vessel motions and accelerations**

**2.2 Vessel relative motion**

2.2.1 Vessel relative motion

$$\text{for } n < 1,02 \quad h_1 = 0,6 \cdot n \quad (1) \quad h_1 = 0,31$$

$$\text{for } n \geq 1,02 \quad h_1 = 0,08 \cdot n \cdot C \cdot (C_B + 0,7) \quad (2) \quad h_1 = 0,42$$

<b><math>h_1</math></b>	<b>0,31</b>
-------------------------	-------------

B Hull design and construction

**3 DESIGN LOADS**

4 LOCAL LOADS

**Symbols**

$\gamma_{W2}$  Partial safety factor covering uncertainties regarding wave loads:

$$\gamma_{W2} = 1,00 \quad \text{for } n < 1,02$$

$$\gamma_{W2} = 1,20 \quad \text{for } n \geq 1,02$$

<b><math>\gamma_{W2}</math></b>	<b>1,00</b>
---------------------------------	-------------

$$\sigma_{x1} = 192,00 \quad \text{N/mm}^2$$

B Bottom Scantlings

**4. Plating scantlings**

**4.1 Plating net thickness**

4.1.1 Central part, bottom plating thickness

$$\lambda_T = 0,27$$

Table 4. Bottom and inner bottom plating net thicknesses, in mm:

Plating:

$$t_1 = 1,85 + 0,031k^{0,5} + 3,6$$

$$t_1 = 5,82 \quad \text{mm}$$

$$t_2 = 1,24 C_a C_r S \sqrt{\frac{kp}{\lambda_T}}$$

<b><math>t_1</math></b>	<b>5,82</b>	mm
-------------------------	-------------	----

$$t_2 = 2,57 \text{ mm}$$

$$p = p_E = 21,44 \text{ kN/m}^2$$

$C_a$  - aspect ratio, equal to:

$$C_a = 1,21 \sqrt{1 + 0,33 \left(\frac{s}{l}\right)} - 0,69 \frac{s}{l}$$

$$C_a = 0,48$$

Ca	0,48
----	------

$C_r$  - Coefficient of curvature:

$$C_r = 0,22$$

$$l = \frac{2,55}{0,50} \text{ m}$$

$$s = 0,50 \text{ m}$$

Cr	0,22
----	------

$$k = 1,00$$

5.2. Net section modulus and net shear sectional area of structural members

Table 6: Net scantlings of single bottom structure

$$W = \beta_b \frac{p}{m \left( \frac{200}{k} - \sigma_{x1} \right)} S l^2 10^3$$

$$W = 49,26 \text{ cm}^3$$

$$\beta_b = 1,00$$

$$m = 8,00$$

$$p = 21,44 \text{ kN/m}^2$$

$$l = 0,50 \text{ m}$$

$$S = 2,50 \text{ m}$$

Odabran je nosač L profila dimenzija: 80x65x8 W= 52 cm3

#### 4.1 Plating net thickness

Table 3. Side and inner side plating net thicknesses, in mm

Plating:

$$t_1 = 1,68 + 0,025 L k^{0,5} + 3,6s$$

$$t_1 = 5,29 \text{ mm}$$

$t_1$	5,29 mm
-------	---------

$$t_2 = 1,24 C_a C_r s \sqrt{\frac{k p}{\lambda_T}}$$

$$s = 0,50 \text{ m}$$

$$C_a = 0,48$$

$$C_r = 0,22$$

$$p = 10,09 \text{ kN/m}^2$$

$$p_c - p_{EM} = 2,10 \text{ kN/m}^2$$

$$p_E = 10,09 \text{ kN/m}^2$$

$$l = 2,55 \text{ m}$$

$$t_2 = 1,21 \text{ mm}$$

#### 4. Open deck

##### 4.1 Stringer plate

##### 4.1.2 Stringer plate thickness, in mm

$$t_1 = 2 + 0,02 L k^{0,5} + 3,6s$$

$$t_1 = 5,24 \text{ mm}$$

$t_1$	5,24 mm
-------	---------

$$t_2 = 1,24 C_a C_r s \sqrt{\frac{k p}{\lambda_T}}$$

$$t_2 = 0,19 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 s &= 0,50 \text{ m} \\
 Ca &= 0,48 \\
 Cr &= 0,22 \\
 p &= p_{WE} = 2,31 \text{ kN/m}^2 \\
 z &= 2,40 \\
 l &= 2,55 \text{ m}
 \end{aligned}$$

## 5.4. Deck supporting structure

## 5.4.3. Net scantlings of structural members

Table 9: Net scantlings of deck supporting structure

$$W = \beta_b \frac{p}{m \left( \frac{226}{k} - \sigma_{x1} \right)} S l^2 10^3$$

$$\begin{aligned}
 \beta_b &= 1 \\
 p &= 2,31 \text{ kN/m}^2 \\
 m &= 8 \\
 S &= 2,5 \text{ m} \\
 l &= 2,5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$W = 132,698 \text{ cm}^3$$

Izabran je L nosač dimenzija: 130x75x10

$$W = 136 \text{ cm}^3$$

## 4 Plating scantling

## 4.1.1. Plating net thickness bulkhead

Table 3: Bulkhead plating net thickness t

$$t_1 = 2 + 0,0032 L k^{0,5} + 3,6s$$

$$t_1 = 4,03104 \text{ mm}$$

$t_1$	4,03 mm
-------	---------

$$t_2 = C_a C_r s \sqrt{k p}$$

$$\begin{aligned}
 t_2 &= 0,25285 \text{ mm} \\
 s &= 0,5 \text{ m} \\
 Ca &= 0,47738 \\
 Cr &= 0,21875 \\
 p &= 23,45 \text{ kN/m}^2 \\
 l &= 2,55 \text{ m}
 \end{aligned}$$

**2. External pressure**2.1 Pressure on sides and bottom

## 2.1.1 River design pressure

For  $z \leq T_1$ :

$$P_E = P_{SE} + P_{WE} \quad \text{kN/m}^2$$

## 2.1.3 River still water pressure

$$P_{SE} = 9,81 \cdot (T_1 - z) \quad \text{kN/m}^2$$

## 2.1.4 River wave pressure

(Table 2)

Bottom and sides below the waterline

$$P_{WE} = 9,81 \cdot \gamma_{W2} \cdot h_1 \cdot \left( \frac{0,23 \cdot (z - T_1)}{T_1} + 1 \right) \quad \text{kN/m}^2$$

Bottom

$T_1 = T$

z (m)	T <sub>1</sub> (m)	P <sub>WE</sub> kN/m <sup>2</sup>	P <sub>SE</sub> kN/m <sup>2</sup>	P <sub>E</sub> kN/m <sup>2</sup>
0,00	1,95	2,31	19,13	21,44

## 3.1.2 Still water pressure

Liquid cargo:

$p_c = 23,54 \text{ kN/m}^2$

$p_{Em} = 21,44 \text{ kN/m}^2$

**2. Proračun momenta otpora postojećeg broda**

Red.br.	b[mm]	t[mm]	A[cm <sup>2</sup> ]	Poluga z	MI=Az cm <sup>3</sup>	MII Az <sup>2</sup> cm <sup>4</sup>	
1 Oplata palube	5100	6	306	240	73440	17.625.600,00	
2 Oplata boka	2400	7,5	180	120	21600	2.592.000,00	
<b>3</b> Oplata dna	5100	7	357	0,35	124,9	437.325,00	
4 Oplata pregrade	2580	5,5	141,9	129	18305,1	2.361.357,90	
5 Hrptenjak	260x6		15,6	130	2028	263.640,00	
6 L profil	100x50x8		11,36	267,2	3035,39	811.056,74	
7 Palubna podveza	280x55x7		23,45	236,8	5552,96	1.337.386,48	
			<b>Σ</b>	<b>1035,31</b>	<b>1123,35</b>	<b>124086,4</b>	<b>25.428.366,12</b>

Moment tromosti za  
vlastitu os i; cm<sup>4</sup>

1 Oplata palube	9,18
2 Oplata boka	864000
<b>3</b> Oplata dna	14,5775
4 Oplata pregrade	787119
5 Hrptenjak	878,8
6 L profil	23,4
7 Palubna podveza	1280,68
	<b>1.653.325,64</b>

Udaljenost neutralne linije od pretpostavljene:

$$\eta = \frac{\sum M_I}{\sum A} = \frac{124086}{1035,31} = 119,89 \text{ cm}$$

Moment tromosti za poprečni presjek iznosi:

$$I = \sum M_{II} + \sum i - \eta^2 \sum A$$

$$I = 23522205,42 \text{ cm}^4$$

Moment otpora poprečnog presjeka W:

$$W = \frac{I}{\eta} = 196184 \text{ cm}^3$$



**3. Proračun momenta otpora poprečnog presjeka izračunatih dimenzija na temelju pravila BV-a**

Red.br.	b[mm]	t[mm]	A[cm <sup>2</sup> ]	Poluga z	MI=Az cm <sup>3</sup>	MII Az <sup>2</sup> cm <sup>4</sup>
1 Oplata palube	5100	6	306	240	73440	17.625.600,00
2 Oplata boka	2400	6	144	120	17280	2.073.600,00
<b>3</b> Oplata dna	5100	6,5	331,5	0,35	116,025	40,61
4 Oplata pregrade	2580	5	129	129	16641	2.146.689,00
5 Palubna podveza	130x75x10		19,5	231,67	4517,565	1.046.584,28
6 Hrptenjak	80x65x8		10,96	5,53	60,6088	335,17
			<b>Σ</b>			
			940,96	726,55	112055,2	22.892.849,06

Moment tromosti za  
vlastitu os i; cm<sup>4</sup>

1 Oplata palube	9,18
2 Oplata boka	691200
<b>3</b> Oplata dna	11,671
4 Oplata pregrade	715563
5 Palubna proveza	68,3
6 Hrptenjak	40,1

**1.406.892,25**

Udaljenost neutralne linije od pretpostavljene:

$$\eta = \frac{\sum M_i}{\sum A} = \frac{112055}{940,96} = 119,08 \text{ cm}$$

Moment tromosti za poprečni presjek iznosi:

$$I = \sum M_{ii} + \sum i - \eta^2 \sum A$$

$$I = 21911063,18 \text{ cm}^4$$

Moment otpora poprečnog presjeka W:

$$W = \frac{I}{\eta} = 183994 \text{ cm}^3$$











0