

# Dokovanje teglenice u plutajućem doku

---

**Kos, Dino**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:905956>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-04-02**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U RIJECI  
**TEHNIČKI FAKULTET**

Preddiplomski stručni studij brodogradnje

Završni rad

**DOKOVANJE TEGLENICE U PLUTAJUĆEM DOKU**

Rijeka, siječanj 2024.

Dino Kos  
0069074548

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
**TEHNIČKI FAKULTET**

Preddiplomski stručni studij brodogradnje

Završni rad

**DOKOVANJE TEGLENICE U PLUTAJUĆEM DOKU**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Anton Turk

Komentor: prof. dr. sc. Marko Hadjina

Rijeka, siječanj 2024.

Dino Kos

0069074548

## **Izjava**

Sukladno čl. 9 *Pravilnika o završnom radu, završnom ispitu i završetku stručnih prijediplomskih studija* izjavljujem da sam samostalno izradio rad pod nazivom *Dokovanje teglenice u plutajućem doku*, konzultirajući se s mentorom i komentorom te primjenjujući znanja stečena tijekom studija.

Rijeka, svibanj 2024.

---

Dino Kos

## ZAHVALA

Ovim putem bih se htio najviše zahvaliti svom mentoru izv. prof. dr. sc. Antonu Turku na vodstvu i pruženoj pomoći, komentoru prof. dr. sc. Marku Hadjini, brodogradilištu Viktor Lenac na ustupljenim materijalima, te svim profesorima i asistentima Tehničkog fakulteta u Rijeci na prenesenom znanju u dosadašnjem dijelu školovanja.

Posebna zahvala ide mojim roditeljima i prijateljima koji su me bezuvjetno podržali kroz cijelo školovanje. Veliko hvala na svemu!

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

Rijeka, 14. ožujka 2022.

Zavod: **Zavod za brodogradnju i inženjerstvo morske tehnologije**  
Predmet: **Hidrostatika broda**

## ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Dino Kos (0069074548)**  
Studij: **Preddiplomski stručni studij brodogradnje**

Zadatak: **Dokovanje teglenice u plutajućem doku / Docking procedure of the barge in the floating dock**

Opis zadatka:

Osnovni opis tipova plutajućih dokova. Za zadanu teglenicu sljedećih osnovnih dimenzija  $L_{oa} = 78,50$  m,  $B = 31$  m,  $H = 4,5$  m,  $T_{design} = 2$  m,  $T_{scantling} = 3,40$  m, treba izvršiti pripremne radnje za dokovanje i izdokovanje. Opisati osnovni tehnološki proces pripreme za dokovanje i izdokovanje teglenice. Izvršiti proračun hidrostatike pri toj proceduri.

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

Zadatak uručen pristupniku: 21. ožujka 2022.

Mentor:

Izv. prof. dr./sp. Anton Turk

Prof. dr. sc. Marko Hadjina (komentor)

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

Prof. dr. sc. Albert Zamarin

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. PLUTAJUĆI DOKOVI (PLOVNI)</b> .....	2
<b>2.1. Elementi plutajućeg doka</b> .....	3
<b>2.2 Radni postupak plutajućeg doka</b> .....	4
<b>2.3. Klasifikacija plutajućih dokova</b> .....	4
2.3.1. Klasifikacija prema poprečnom presjeku.....	4
2.3.2. Klasifikacija prema konstrukcijskim izvedbama .....	7
2.3.3. Klasifikacija prema materijalu izrade .....	11
2.3.4. Klasifikacija prema namjeni .....	12
2.3.5. Klasifikacija prema stupnju autonomnosti.....	13
2.3.6. Klasifikacija prema metodi balastiranja.....	14
<b>3. PRIPREMA I POSTUPAK DOKOVANJA</b> .....	14
<b>4. PRORAČUN POPREČNOG I UZDUŽNOG STABILITETA TEGLENICE</b> .....	21
<b>4.1. Metode za računanje virtualnog gubitka metacentarske visine</b> .....	21
<b>4.2. Proračun poprečnog stabiliteta teglenice</b> .....	28
<b>4.3. Uzdužni stabilitet teglenice</b> .....	40
<b>5. ZAKLJUČAK</b> .....	43
<b>LITERATURA</b> .....	44
<b>POPIS SLIKA</b> .....	45
<b>POPIS TABLICA</b> .....	47
<b>POPIS DIJAGRAMA</b> .....	47
<b>POPIS PRILOGA</b> .....	47
<b>Sažetak</b> .....	48
<b>Summary</b> .....	48





## 1. UVOD

Proces dokovanja i izdokovanja plovila je složen i dug proces koji zahtijeva znanje, iskustvo i koordinaciju svih uključenih operatera i članova timova. Potrebno je izvršiti proces uz maksimalnu sigurnost ljudi i bez opasnosti od oštećenja kako za dokovano plovilo, tako i za sami dok. Princip rada samog dokovanja ovisi o konstrukcijskim karakteristikama plovnog objekta kojeg treba dokovati, kao i o stanju u kojem se plovilo nalazi. Potrebna je detaljna analiza objekta kojeg treba dokovati, mogućnosti brodogradilišta i kapaciteta za dokovanje. Također je nužno pobrinuti se za sigurnosne standarde i propise koje će osigurati stabilnost i sigurnost tijekom dokovanja.

Rad je započet kratkim opisom funkcije plutajućeg doka, a zatim i klasifikacija plutajućih dokova. U 3. poglavlju su detaljnije opisani priprema i postupak dokovanja, gdje su priloženi obrasci iz brodogradilišta "Viktor Lenac" i gdje su pobliže objašnjeni slučajevi dokovanja prazne teglenice i teglenice punog kapaciteta nosivosti. U 4. poglavlju sam objasnio dvije metode određivanja metacentarske visine plovila koje se koriste za poprečni stabilitet, nakon čega je uslijedio sami proračun teglenice zadanih dimenzija. Za proračun sam koristio metodu virtualnog pomaka težišta sustava. Uz manjak zadanih parametara sam morao putem drugih izvora izvući i pretpostaviti određene nove parametre da bih mogao nastaviti s proračunom, nakon čega su uslijedile tablice i dijagrami za dva zadana slučaja, gaz prazne teglenice i gaz teglenice punog kapaciteta nosivosti. Potrebno je bilo odrediti kritični gaz, odnosno gaz pri kojem dolazi do prevrtanja teglenice. Specifičnost zadanih dimenzija je pridonijela rješenju, odnosno zaključku da je posrijedi slučaj gdje je teglenica izrazito stabilna, odnosno da kritični gaz ne postoji.

## 2. PLUTAJUĆI DOKOVI (PLOVNI)

Plovni objekt kojim se podiže brod iz vode za potrebe pregleda, bojanja ili popravaka se zove remontni plovni dok, a uz dodatnu odgovarajuću tehničku opremljenost se može koristiti pri gradnji i predaji broda vodi. [1]



*Slika 2.1. Plutajući dok [1]*

## 2.1. Elementi plutajućeg doka

Plutajući dok je plovni objekt većih dimenzija od plovila kojeg podiže iz vode pomoću kontroliranja vlastite zalihe deplasmana. Konstrukcija plutajućeg doka se sastoji od pontona i tornjeva.

Pontoni su horizontalni konstruktivni elementi na koje brod nasjeda pri dokovanju i pomoću kojih se ostvaruje dodatna zaliha deplasmana. Masa dokovanog broda se kompenzira ostvarenom zalihom istisnine.

Vertikalni konstruktivni elementi doka koji se nalaze na bočnim stranama su tornjevi (nadgrađa). Tornjevi služe održavanju potrebnog stabiliteta pri zaronjavanju ili dizanju broda, za podupiranje broda kod dokovanja, služe kao smještaj pogonskog uređaja pumpe i ostale drenažne naprave i osiguravaju uzdužnu čvrstoću doka.

Tankovi balasta su smješteni u pontonima i dijelu tornjeva čijim naplavlivanjem ili crpljenjem tekućine dok uroni ili izroni iz morske vode. [1]

Slika 2.2. prikazuje elemente plutajućeg doka (pontone na površini morske vode i tornjeve sa svake strane doka).



*Slika 2.2. Elementi plutajućeg doka [1]*

## **2.2 Radni postupak plutajućeg doka**

Radni postupak plutajućeg doka počinje naplavlivanjem vlastitih tankova čime se dok toliko spušta u vodu da na njegovu platformu (radnu palubu) stane brod, zatim se crpi voda iz tankova doka te se zajedno s brodom podigne (izroni) onoliko koliko je potrebno da brod u potpunosti izađe iz vode nakon čega je moguće započeti s remontnim radovima na suhom.

Paluba pontona doka se naziva radna paluba, a sigurnosna paluba je gornja paluba tornja. Sigurnosna paluba služi kao granica pri punjenju tornjeva balastom što onemogućava uranjanje doka preko granične vodne linije.

Ponton i tornjevi doka ispod sigurnosne palube su pregradama podijeljeni na suhe i balastne prostore (tankove). [1]

## **2.3. Klasifikacija plutajućih dokova**

Velika je raznolikost plutajućih dokova, a najčešće se klasifikacija se vrši po poprečnom presjeku, prema konstrukcijskoj izvedbi trupa, prema materijalu izrade trupa, namjeni, stupnju autonomnosti, metodi balastiranja itd. [1]

### **2.3.1. Klasifikacija prema poprečnom presjeku**

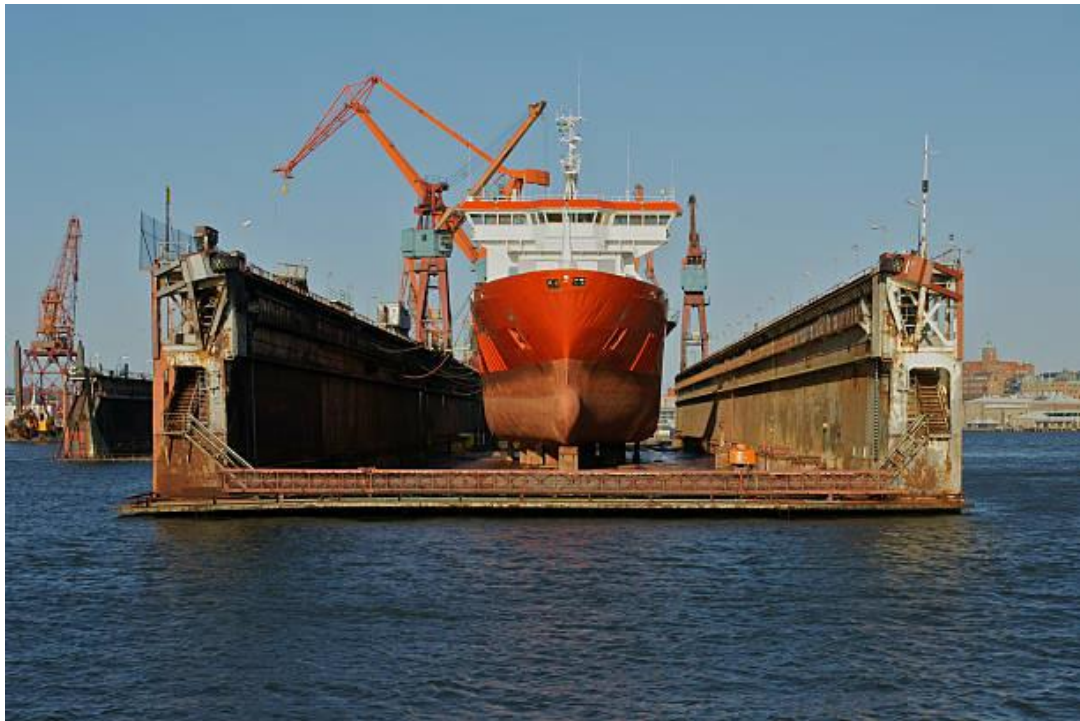
Razlikujemo "U" dokove koji se koriste na moru i "L" dokove koji se koriste u rijekama.

Najuobičajenija vrsta plutajućeg doka je U-dok čiji je poprečni presjek u obliku slova "U". U-dok se sastoji od horizontalnih pontona na koje brod legne pri dokovanju. Također se sastoji od dva vertikalna tornja s bočnih strana doka čiji vrhovi, kada je dok uronjen, ostaju iznad razine vode te na taj način održavaju stabilitet doka. Unutrašnjost doka se sastoji od većeg broja nepropusnih tankova koji su spojeni drenažom za pražnjenje i punjenje. Na tornjevima doka se nalazi oprema koja služi za gradnju i remont broda poput dizalica, cjevovoda i vitala. Uobičajeno je sidrenje U-doka na mjestu koje mora biti dovoljno duboko da dozvoljava uronjavanje doka, inače slobodno pluta na sidrištu. Na slici 2.3. je prikazan U-plutajući dok. [2]

Ako se dok gradi iz jednog komada, odnosno ako je nesamodokujući dok, jednostavna je konstrukcija trupa doka. U slučaju da se dok sastoji od više rastavljivih sekcija, odnosno ako je samodokujući dok, konstrukcijski problem predstavlja izvedba sekcijskih spojeva.

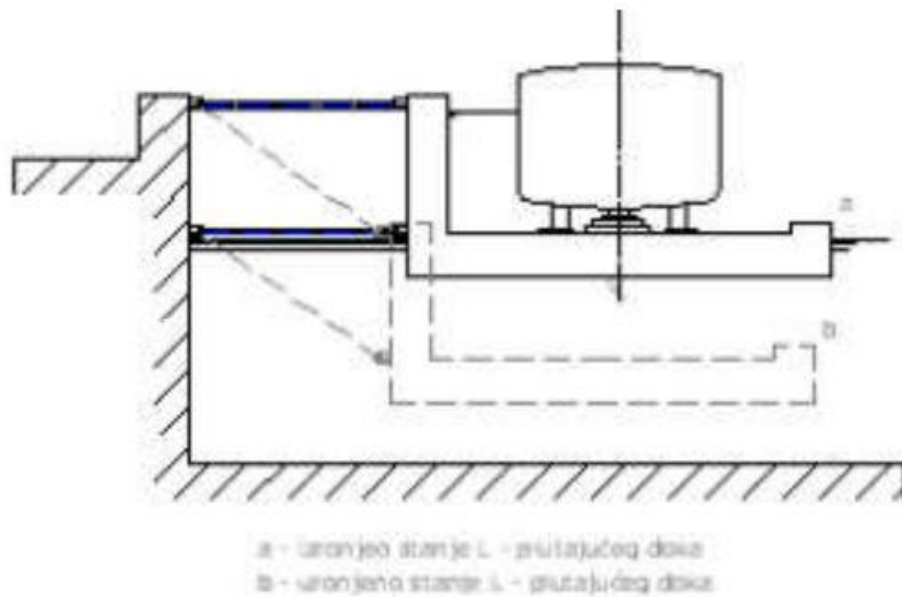
Pontoni manjih dokova su izvedeni najčešće od jedne ili dvije nepropusne uzdužne pregrade, dok poprečnih pregrada, koje su također nepropusne, ima više ovisno o duljini samog doka. Uobičajeno je kombiniranje poprečnih pregrada na način da ih ima paran broj te da nijedna pregrada ne padne u glavno rebro doka. Gornji dio bočnih tornjeva služi za smještaj strojeva i strojne opreme, a donji dio tornjeva ima funkciju tankova za vodu. [2]

U pravilu pontonski prostor kod većih dokova služi za tankove i podijeljen je s tri nepropusne uzdužne pregrade. Uzdužni sistem gradnje se često koristi za središnji dio pontona, a poprečni sistem gradnje se koristi za gradnju tornjeva i prostor ispod tornjeva. [2]

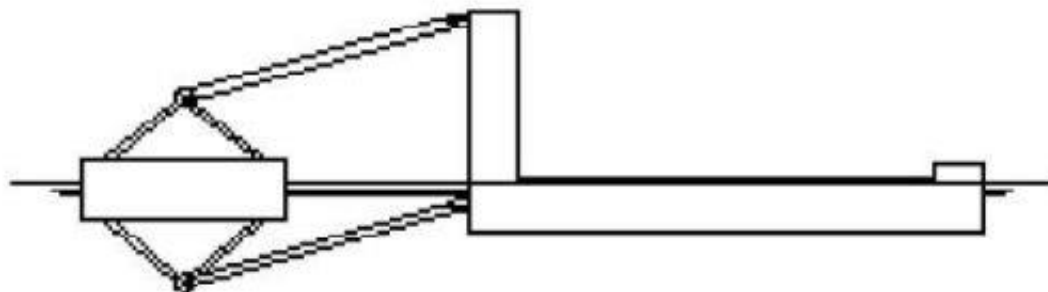


*Slika 2.3. Brod u U-plutajućem doku [1]*

Za razliku od U-dokova, L-plutajući dok ima samo jedan toranj, što znači jeftiniju izgradnju uslijed lakše strukture trupa u odnosu na strukturu trupa U-plutajućeg doka. Također je prednost L-doka u lakšem ulasku broda u dok s obzirom da je jedan bok doka slobodan. Nedostatak L-plutajućeg doka je nestabilnost pri potapanju ili izronjavanju zbog nesimetričnosti doka. Zbog takvog "jednostranog" položaja nadgrađa dok mora biti pričvršćen ili uz obalu zglobnim krakovima ili uz bočni ponton čijim se balastiranjem dok drži u ravnoteži. Zbog tih razloga je sve manja primjena L-dokova. Na slikama 2.4. i 2.5. su prikazani L-plutajući dokovi pričvršćeni za obalu i za bočni ponton. [2]



Slika 2.4. Plutajući L-dok pričvršćen za obalu [1]



Slika 2.5. Plutajući L-dok pričvršćen za bočni ponton [1]

### 2.3.2. Klasifikacija prema konstrukcijskim izvedbama

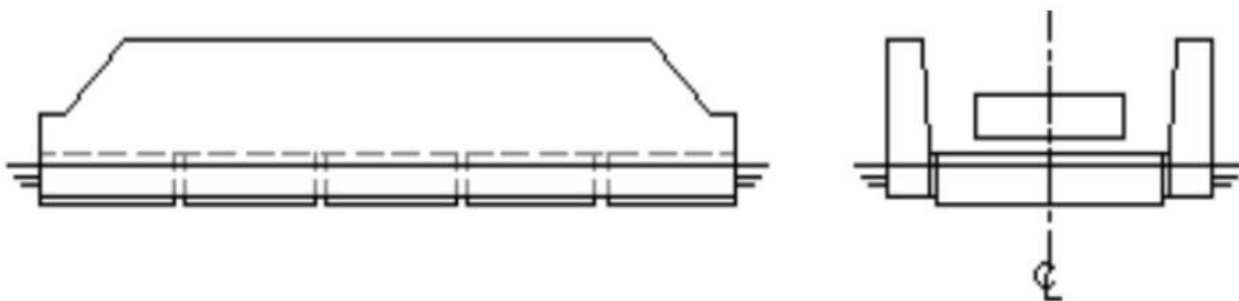
Plutajući dokovi se prema konstrukcijskoj izvedbi trupa dijele na monolitne, rastavljive, pontonske, sekcijske, sekcisko-pontonske i klizne plutajuće dokove.

Monolitni plutajući dok je izgrađen iz jednog dijela, što znači da nije moguće međusobno odijeliti pontone i tornjeve. Prednosti monolitnog plutajućeg doka su najmanja cijena izgradnje, vrlo mala vlastita težina u odnosu na druge dokove i pouzdanost pri eksploataciji. Nedostaci monolitnog plovnog doka su, u slučaju remonta svog podvodnog dijela, dokovanje u drugim dokovima i manjak uzdužne čvrstoće tokom tegljenja na valovima. [2]



*Slika 2.6. Monolitni plutajući dok [1]*

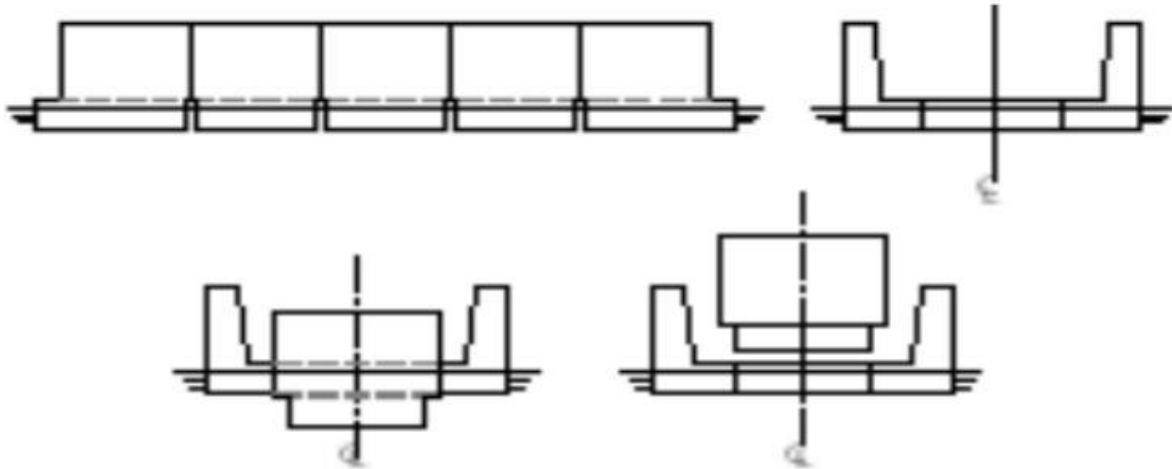
Pontonski plutajući dok je sastavljen od monolitnih tornjeva i člankastih pontona čiji broj može varirati od 3 do 8 pontona. Pontoni su spojeni s tornjevima putem varenja ili vijaka, a u starije vrijeme su se spajali zakovicama. Da bi se omogućilo pojedinačno samodokovanje pontona unutarnja širina plutajućeg doka mora biti veća od duljine svakog pontona. Samodokovanje znači da se pontoni podižu u istom plutajućem doku nakon što se odvoje od trupa. Nedostaci pontonskih plutajućih dokova su velika masa doka i ograničenje potezne sile prilikom tegljenja. [2]



*Slika 2.7. Pontonski plutajući dok [2]*

Sekcijski plutajući dok je uzdužno podijeljen poprečnim ravninama s dvije do deset sekcija koje su međusobno spojene fleksibilno ili čvrsto tako da duljina jedne sekcije bude manja od unutarne širine plutajućeg doka. U tom slučaju se jedna sekcija može odvojiti od ostalih sekcija, okrenuti u uzdužnom smjeru te uvući u drugi dio doka i izroniti. Zglobna veza kao fleksibilni spoj sekcija omogućuje njihov odgovarajući međusobni položaj, a čvrsti spoj pretvara sekcijski dok u monolitni objekt putem vijaka ili zavarenih traka. Svi sekcijski plutajući dokovi su samodokujući, a nekad pojedine sekcije služe kao samostalni dokovi. Kako bi se izbjegle nezgode potreban je oprez pri rastavljanju sekcijskih dokova s obzirom da nije jednako opterećenje na svim sekcijama, što povećava složenost samog rastavljanja sekcija. [2]





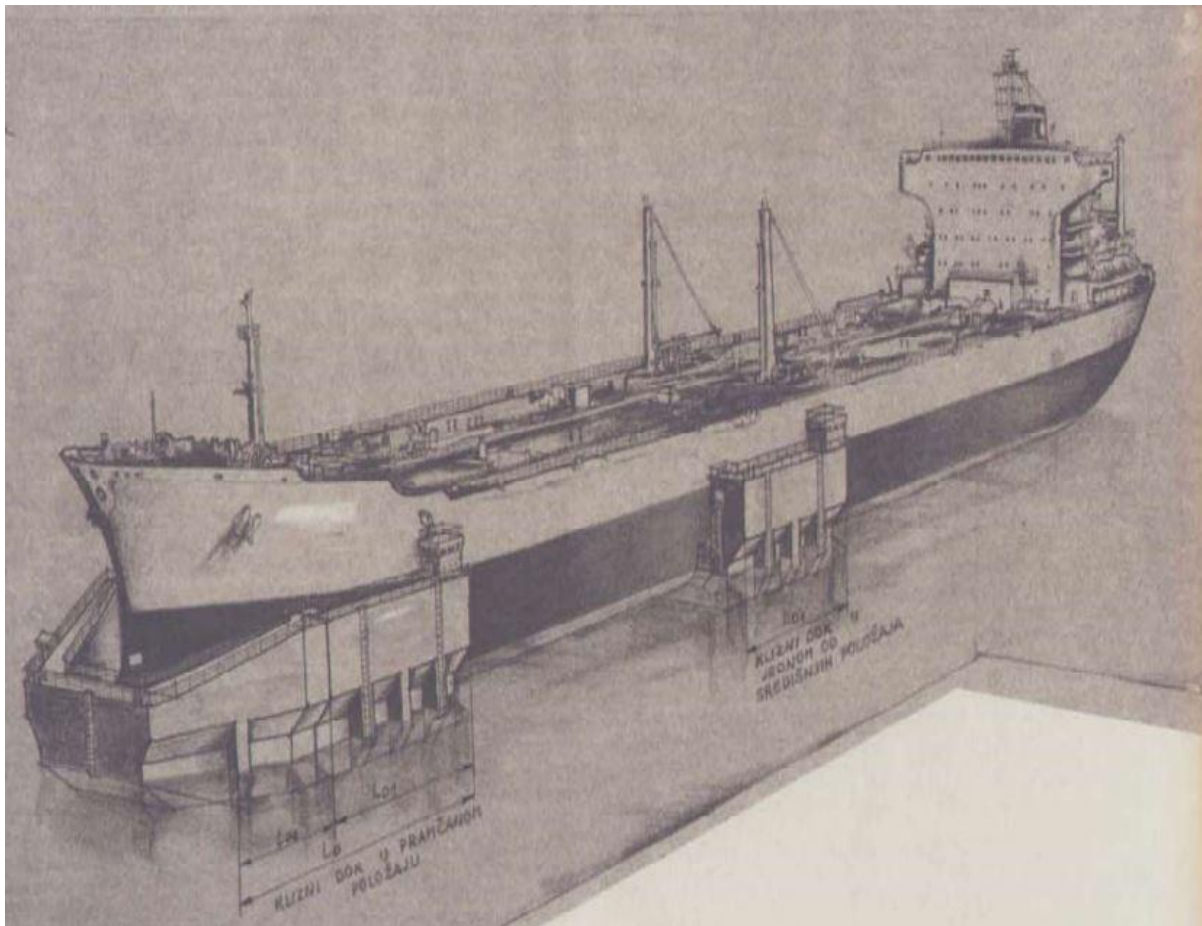
*Slika 2.8. Sekcijski plutajući dok [2]*

Sekcijsko-pontonski plutajući dokovi u sebi objedinjuju oba principa za podjelu trupa doka. Ova vrsta plutajućeg doka je najčešće izgrađena u dvije sekcije, gdje svaka sekcija sadrži rastavljivi ponton koji se sastoji od više članaka, čime je omogućeno samodokovanje. [1]

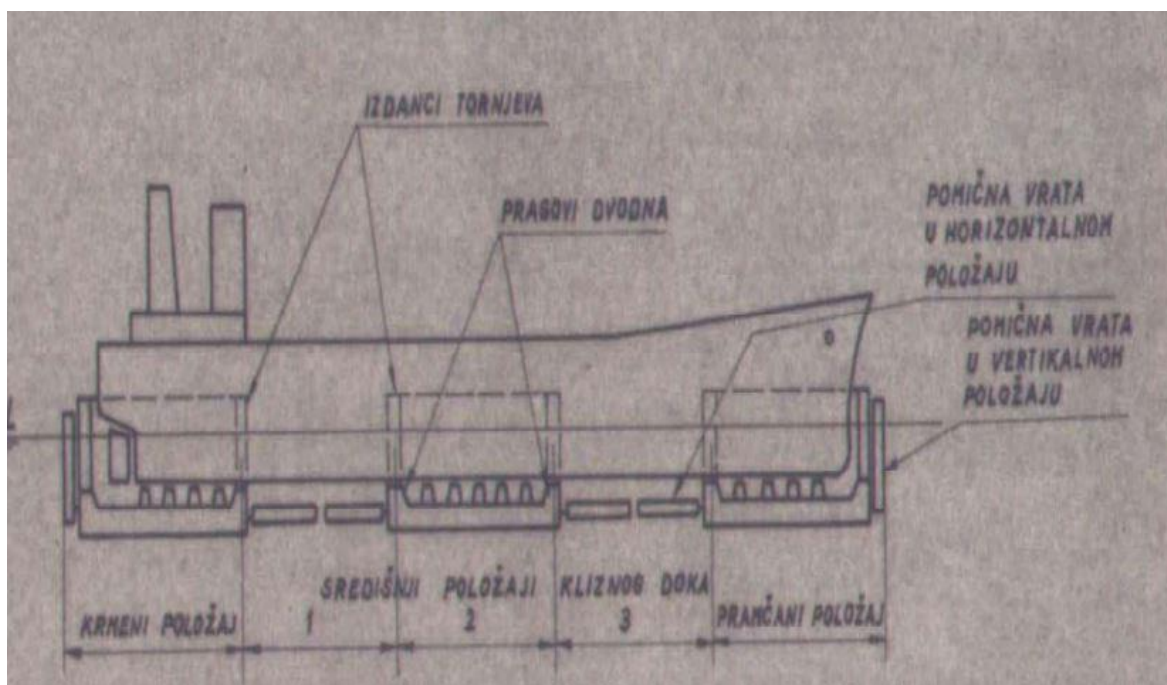
Klizni plutajući dokovi (Slika 2.9.) su poseban tip plutajućih dokova koje je osmislio doc dr. sc. Želimir Sladoljev s Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu. Dokovanje kliznim plutajućim dokom se izvodi na način da se odjednom dokuje jedan dio broda, a dokovanje cijelog broda da se izvede u nekoliko uzastopnih parcijalnih dokovanja (Slika 2.10. parcijalno dokovanje broda). Prednost ovakvog dokovanja je mogućnost dokovanja broda znatno većih dimenzija od samoga doka gdje treba posebno paziti da se brod zadrži na svojoj plovnoj liniji za vrijeme parcijalnog dokovanja, odnosno da se u dopuštenim granicama zadrže promjene gaza ili trima broda. Klizni plutajući dok je vanjskim izgledom jako sličan klasičnom plovnom doku, ali je njegov radni postupak nešto drugačiji. [1]

Da bi se klizni dok podvukao pod brod, odnosno da brod uđe u dok jednim dijelom svoje duljine, dok punjenjem vlastitih tankova balasta utone do potrebne dubine. Nakon toga se prazne balastni tankovi što dovodi do podizanja kliznog doka sve dok brod ne sjedne na potklade doka koje su prethodno

pripremljene. Brtveni sistem koji je smješten na pragovima dvodna doka i izdancima tornjeva služi za brtvenje oplata broda do iznad njene visine urona. Prilikom dokovanja krajnjeg pramčanog ili krmenog dijela broda, otvorena strana kliznog doka prema moru se zatvara pomičnim vratima. U unutrašnjem prostoru doka, odnosno radnom prostoru je nakon brtvljenja ostala voda. Da bi se na zaronjenom dijelu broskog trupa omogućili radovi popravaka i održavanja, potrebno je ispumpati preostalu vodu i dobiti suhi radni prostor doka, a ta voda se ispumpava putem balastnog i kaljužnog sustava doka. Nakon obavljenih radova na jednom dijelu broda, klizni dok se premješta na idući položaj tako da se, zavisno o odabranoj duljini kliznog doka i samoj duljini broda, može obaviti dokovanje cijelog broda s nekoliko premještanja. [1]



Slika 2.9. Klizni plutajući dok [1]



Slika 2.10. Parcijalno dokovanje broda [1]

### 2.3.3. Klasifikacija prema materijalu izrade

Plutajući dokovi se prema materijalu izrade trupa dijele na čelične, armirano-betonske, drvene i kompozitne.

Najzastupljeniji materijal izrade trupa plovnih dokova je čelik. Mana plutajućih dokova od čelika je stvaranje korozije što znatno smanjuje vijek trajanja i samo održavanje čini složenijim.

Prednost armirano-betonskih plutajućih dokova je dulji vijek trajanja i manja potreba za popravljanjem podvodnog dijela trupa uslijed duge eksploatacije. Njihova šira primjena je ograničena velikom težinom trupa i nekim specifičnim nedostacima.

Gradnja drvenih plutajućih dokova je rijetka uslijed njihove male težine, male uzdužne čvrstoće, povećane opasnosti od izbijanja požara te jako male trajnosti

Kompozitni plutajući dokovi su dokovi s armirano-betonskim pontonom i čeličnim tornjevima. [1]

#### 2.3.4. Klasifikacija prema namjeni

Plutajući dokovi se prema namjeni dijele na:

- plovne dokove za remont, dokovanje broda (Slika 2.11.),
- plovne dokove za transport, odnosno prijenos oštećenih plovnih objekata (Slika 2.12.),
- plovne dokove za predaju broda vodi s horizontalnog mjesta gradnje. [1]



*Slika 2.11. Plutajući dok za remont*



*Slika 2.12. Plutajući dok za transport*

### 2.3.5. Klasifikacija prema stupnju autonomnosti

Plutajući dokovi se po stupnju autonomnosti dijele na:

- nesamohodne-neautonomne, nemaju vlastiti pogon niti izvore energije,
- nesamohodne-autonomne, nemaju vlastiti pogon ali imaju vlastite izvore energije,
- samohodne-autonomne, imaju vlastiti pogon i vlastite izvore energije. [1]

### 2.3.6. Klasifikacija prema metodi balastiranja

Plutajući dokovi se prema metodi balastiranja dijele na:

- plutajuće dokove sa suhim odjeljcima,
- plutajuće dokove bez suhih odjeljaka,
- plutajuće dokove s nezavisnim izljevom vode iz tornjeva. [1]

## 3. PRIPREMA I POSTUPAK DOKOVANJA

Postupak pripreme za dokovanje i samo dokovanje ovisi o karakteristikama objekta koji se dokuje. Kod dokovanja teglenice, potrebno je izvršiti pripremne radnje na teglenici koje uključuju pražnjenje tereta, balastnih tankova teglenice ili drugih materijala s teglenice koji bi mogli ometati postupak dokovanja. Također je važno osigurati da su svi pokretni dijelovi, poput motora i propelera, isključeni ili u sigurnom položaju. Da bi se dokovanje realiziralo do kraja potrebno je angažirati radnike iz više područja struke. Postupak pripreme za dokovanje se sastoji od više faza. Upravitelj doka je odgovorna osoba za postupak dokovanja i zadužen je za organizaciju rada. Upravitelj doka, zapovjednik objekta, a i po potrebi voditelj objekta, prema tehničkim uputstvima za eksploataciju doka, utvrđuju uvjete koje objekat treba zadovoljiti prije ulaska u dok (eng. docking condition). Dužnost zapovjednika je da ispuni Upitnik (O.06.13.01), prikazan na slici 3.1., koji sadrži osnovne tehničke podatke o plovilu, stanje težina objekta (prazno plovilo, gorivo, balast, voda, ukupna težina, ostale težine), gaz na krmu i pramcu, stabilitet samog objekta (MG), zahtjeve za opskrbu električnom energijom, vodom i ostalo. Zapovjednik daje potrebne nacрте na uvid upravitelju doka, a osnovni nacrt je Plan dokovanja, na kojem se vidi forma trupa dokovanog objekta, smještaj armature na trupu (usisne košare, brzinomjer, dubinomjer, čepovi tankova, ljuljne kobilice, stabilizatori), te se na temelju tog određuje položaj objekta u doku i vrši razmještaj centralnih i bočnih potklada. Iz Plana dokovanja se određuje položaj Plimsollove oznake, koja služi za pozicioniranje objekta unutar doka. [3]

O.06.13.01



## QUESTIONNAIRE

Prior to enter the shipyard for mooring or docking and before leaving the dock or shipyard, master of the ship is requested to answer on some questions close tied on stability and navigability:

Name of the ship \_\_\_\_\_

Nationality \_\_\_\_\_ Owner \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ GRT \_\_\_\_\_ NRT \_\_\_\_\_

Loa \_\_\_\_\_ Breadth \_\_\_\_\_

Fore and draught \_\_\_\_\_ Aft and draught \_\_\_\_\_

### List of the ship

1. Metacentric height MG in the moment of entering the dock or mooring: \_\_\_\_\_
2. Light ship \_\_\_\_\_
3. Fuel \_\_\_\_\_
4. Water \_\_\_\_\_
5. Ballast \_\_\_\_\_
6. Cargo \_\_\_\_\_
7. Remaining weights \_\_\_\_\_
8. Total weight \_\_\_\_\_
9. Damages on the hull \_\_\_\_\_
10. Electric current required \_\_\_\_\_
11. Fresh water required \_\_\_\_\_
12. Specifics of the ship in consideration of the stability: \_\_\_\_\_

13. On the ship there is no inflammable, explosiv and toxic materials  
This questionnaire is connected to points 2.2, 2.6, 3.2 and 3.3 of "The rules of the ship in shippreparing yard" submitted to the ship.

Rijeka, \_\_\_\_\_ 19\_\_\_\_

MASTER OF THE SHIP:

Eventual displacement of the weights regarding the points 3, 4, 5, 6, and 7 prior to leaving the dock or mooring place:

Rijeka, \_\_\_\_\_ 19\_\_\_\_

MASTER OF THE SHIP:

*Slika 3.1. Upitnik*

Osnovni zahtjev za određivanje uzdužnog položaja objekta unutar doka se odnosi na položaj težišta objekta koji se dokuje u odnosu na težište doka, gdje je idealno da se poklapaju. Teži se što manjoj razlici njihovih težišta, pogotovo kad je deplasman objekta koji se dokuje blizu maksimalnoj nosivosti doka. Kad se dokuje objekt s nespecifičnim veličinama kao što su dužina, širina, deplasman, trim, raspored težina, konzultira se Konstrukcijski ured brodogradilišta. Kod određivanja poprečnog položaja objekta koji se dokuje, njegova se simetrala mora poklapati sa simetralom doka. Sve radnje koje se vrše za pripremu dokovanja i svi parametri koji određuju položaj objekta u doku se upisuju u Karton (O.06.13.02.), prikazan na slici 3.2., koji se koristi kod idućeg dokovanja istog objekta ili za slične slučajeve. [3]

**O.06.13.02**

**BROD** \_\_\_\_\_

**ZASTAVA** \_\_\_\_\_

Suhl teret, tanker, putnički, brod frizer, ribarski brod

**BRT** \_\_\_\_\_ **Loa** \_\_\_\_\_ **U** \_\_\_\_\_

**NRT** \_\_\_\_\_ **Lpp** \_\_\_\_\_

**Depl.** \_\_\_\_\_ **B** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ **D** \_\_\_\_\_

16			
15			
14			
13			
12			
11			
10			
9			
8			
7			
6			
5			
4			
3			
2			
1			

Kirna sjedn na br. \_\_\_\_\_

Prije dokovanja skinuti centralne podklade br. \_\_\_\_\_

Most na pramcu OTVOREN—ZATVOREN

Skala br. \_\_\_\_\_

**CENTRIRANJE**  
trokut, bočna letva, staza

Slika 3.2. Karton



Pripremne radnje koje se vrše prije ulaska plovila u dok su potapanje doka na potreban gaz, što ovisi o gasu plovila, pripremu priteznih vitala i čeličnih užadi koju služe za pozicioniranje plovila unutar doka i osiguravaju stabilnost dokovanog objekta. Potapanje doka se izvodi naplavljivanjem balastnih tankova čime upravlja strojar doka pod nadzorom upravitelja doka. Tokom potapanja se prate razni mjerni instrumenti koji pokazuju gaz na pramcu i na krmi, uzdužni i poprečni nagib te savijanje i izvijanje doka. Sva mjerenja moraju biti usklađena s tehničkim uputstvima i moraju se vršiti stalne provjere i korekcije. [3]

Da bi objekt ušao u dok koriste se konopi za tegalj, pritezna vitla na pramcu doka i tegljači. Tokom ulaska, objekt se pozicionira u uzdužnom i poprečnom smislu na poziciju koja je definirana u planu dokovanja. Pozicioniranje se vrši pomoću čeličnih užadi i priteznih vitala smještenih na pramcu i krmi doka. Uzdužno pozicioniranje se određuje položajem Plimsollove oznake u odnosu na glavno rebro doka, a poprečno pozicioniranje se određuje prema oznakama na centralnim potkladama ili mjerenjem udaljenosti paralelnog srednjaka od tornja doka. [3]

Nakon završetka pozicioniranja, dok se diže otvaranjem izlaznih ventila balasta i balastnih tankova te se uključuju balastne sisaljke. Pozicioniranje se provjerava i korigira do trenutka dodira kobilice objekta i centralnih potklada doka. Radom balastnog usisa i ventila balasta upravlja dežurni strojar doka pod nadzorom upravitelja doka. Tokom podizanja doka prati se međusobno stanje doka i objekta te se vrše provjere i korekcije nagiba i savijanja. Bočne potklade, koje sprječavaju naginjanje dokovanog objekta, se podižu ovisno o formi podvodnog dijela objekta s obzirom da izranjanjem gubi stabilitet. Broj bočnih potklada koje se koriste i sile kojima su potklade opterećene se bilježe u poseban formular (O.06.13.04), prikazan na slici 3.3. Točno vrijeme svake faze dokovanja od ulaska objekta u dok do izlaska objekta iz doka se upisuje u Protokol dokovanja (O.06.13.03), prikazan na slici 3.4., koji se pohranjuje u Karton objekta. Odmah nakon završetka dokovanja pregledava se stanje doka i objekta u doku te se po potrebi vrši dodatno potklađivanje. Nakon toga se mogu izvršiti potrebni radovi održavanja, popravaka ili drugi zadaci. To može uključivati detaljan pregled trupa, zamjenu ili popravak dijelova, farbanje ili bilo koju drugu potrebnu radnju.

Kada su sve radnje završene, plovni objekt se oslobađa veza s dokom. Plutajući dok se tada ponovno podiže iznad vode, što omogućuje plovnom objektu slobodno kretanje. Objekt se zatim vuče tegljačima ili sam plovi na željenu lokaciju. Ovaj postupak zahtijeva pažljivo planiranje, koordinaciju i izvođenje kako bi se osiguralo da se plovni objekt dokuje i opsluži na siguran i učinkovit način.

**O.06.13.04**

BROD \_\_\_\_\_ Datum \_\_\_\_\_

GAZ m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	<b>LIJEVA STRANA</b>															
	<b>DESNA STRANA</b>															

*Slika 3.3. Formular bočnih potklada*

0.06.13.03

Broj doka

Brodogradilište  
"VIKTOR LENAC"

IME BRODA \_\_\_\_\_  
 LUKA PRI PADNOSTI \_\_\_\_\_  
 BRT \_\_\_\_\_ NRT \_\_\_\_\_  
 DUŽINA \_\_\_\_\_ ŠIRINA \_\_\_\_\_  
 GAZ pramac: \_\_\_\_\_ krma: \_\_\_\_\_

Radni nalog:  
Nalog za dokovanje:

Dokovanje	Vrijeme	Izdokovanje	Vrijeme
Datum:		Datum:	
Vodostaj:		Vodostaj:	
Gaz doka pramac: _____ Krma: _____		Siz sa broda: Početak plavljenja doka:	
Nagib doka:		Voda do vrha potklada:	
Trim doka:		Prestanak plavljenja radi pregleda podvodnog dijela broda	
Brod u doku:		Završen pregled podvodnog dijela broda I nastavak plavljenja	
Pilot sa broda:		Brod pliva:	
Brod centriran:		Iskopčana struja:	
Početak pumpanja:		Raspojen vatrogasni vod:	
Brod sjedi na potkladama:		Raspojena slatka voda:	
Postavljene bočne potklade:		Pogašen agregat za davanje struje brodu:	
Dok na suhom:		Gaz doka pramac: _____ Krma: _____	
Završetak pumpanja:		Nagib doka:	
Gaz doka pramac: _____ Krma: _____		Trim doka:	
Defleksija optičko-hidraulička Konkavno: _____ cm Konveksno: _____ cm		Brod spreman za izdokovanje:	
Postavljen siz:		Pilot na brod:	
Ukopčana struja: _____ V		Defleksija optičko-hidraulička Konkavno: _____ cm Konveksno: _____ cm	
Spojen vatrogasni vod:		Brod iz doka:	
Spojena slatka voda:			
Upućen agregat za davanje struje:			
Oštećenja doka za vrijeme dokovanja:		Oštećenja doka za vrijeme izdokovanja:	
Opaska razlog čekanja dokovanja I drugo:		Opaska razlog čekanja izdokovanja I drugo:	
Dok majstor:		Dok majstor:	

Slika 3.4. Protokol dokovanja

Barža se obično dokuje prazna, odnosno bez tereta ili punih tankova, iz razloga stabilnosti, sigurnosti i održavanja.

Dokovanje barže s punim tankovima ili teretom može značajno utjecati na njezinu stabilnost. Punoća tankova ili tereta može promijeniti centar gravitacije i povećati rizik od nestabilnosti, posebno prilikom podizanja na plutajući dok.

Dokovanje teglenice s punim tankovima ili teretom može stvoriti dodatne izazove u upravljanju i sigurnosne rizike. Punoća tereta može povećati težinu barže i zahtijevati veću pažnju prilikom manipulacije, što može povećati rizik od nezgoda ili oštećenja.

Dokovanje prazne barže olakšava provođenje rutinskog održavanja ili popravaka. Prazna barža omogućava lakši pristup trupu i unutrašnjosti, što olakšava izvođenje radova.

Međutim, postoje situacije u kojima se barža može dokovati s teretom ili punim tankovima, ali to zahtijeva posebne pripreme i pažljivo planiranje kako bi se osigurala sigurnost i stabilnost. Primjeri takvih situacija uključuju hitne situacije i specifične operativne potrebe.

U slučaju hitnih situacija ili izvanrednih okolnosti, može se dogoditi da je potrebno dokovati baržu s teretom radi hitnog održavanja ili intervencije. U ovim slučajevima, specijalizirani stručnjaci moraju pažljivo procijeniti rizike i poduzeti odgovarajuće mjere kako bi osigurali sigurno dokovanje.

U nekim operativnim scenarijima, kao što su prijenos hitne opreme ili tereta, može se zahtijevati dokovanje barže s teretom. U ovim slučajevima, potrebno je poduzeti dodatne mjere kako bi se osigurala stabilnost i sigurnost barže tijekom dokovanja.

U svakom slučaju, odluka o dokovanju barže s teretom ili punim tankovima trebala bi biti pažljivo razmotrena i provedena u skladu s relevantnim propisima i sigurnosnim standardima. Prije donošenja takve odluke, potrebno je provesti detaljnu procjenu rizika i osigurati da su poduzete sve potrebne mjere kako bi se osigurala sigurnost posade, plovila i okoline.

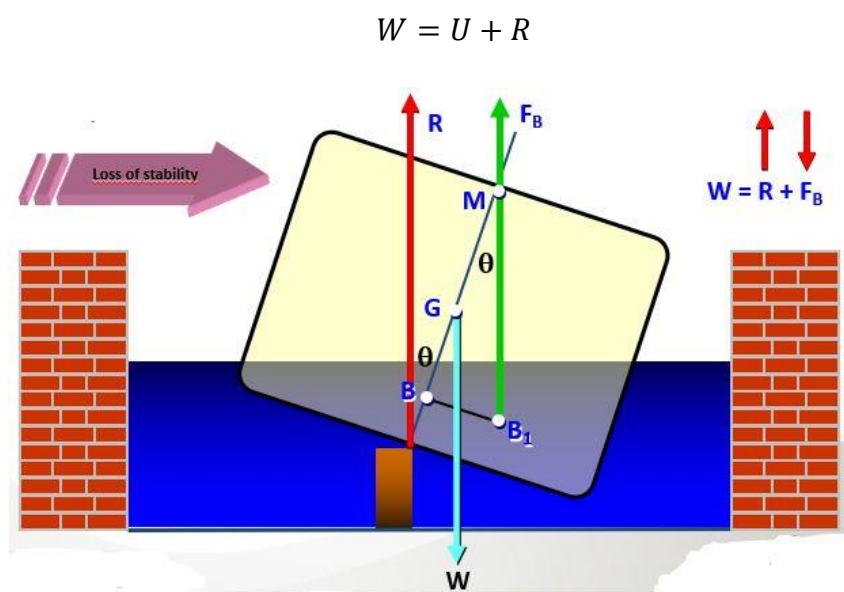
## 4. PRORAČUN POPREČNOG I UZDUŽNOG STABILITETA TEGLENICE

### 4.1. Metode za računanje virtualnog gubitka metacentarske visine

Prije ulaska u dok, plovni objekt mora imati:

- pozitivnu početnu metacentarsku visinu,  $MG > 0$ ,
- uspravan položaj,
- ako je moguće ravnu kobilicu ili lagani trim na krmi,
- tank dvodna potpuno prazan ili potpuno pun zbog smanjenog utjecaja slobodnih površina,
- u slučaju premale početne metacentarske visine, tank dvodna se puni. [4]

Nakon što je teglenica pozicionirana iznad potklada doka, započinje se s ispuštavanjem vode unutar doka. Kako se razina vode unutar doka smanjuje, teglenica se bliži točki dodira s potkladama. U trenutku dodira krme i potklada započinje kritični period, gdje se javlja sila reakcije potklada i dio težine teglenice se prebacuje na potklade. Kritični period traje do trenutka kada teglenica u potpunosti legne na potklade doka. [5]



Slika 4.1. Prikaz gubitka poprečnog stabiliteta plovila [5]

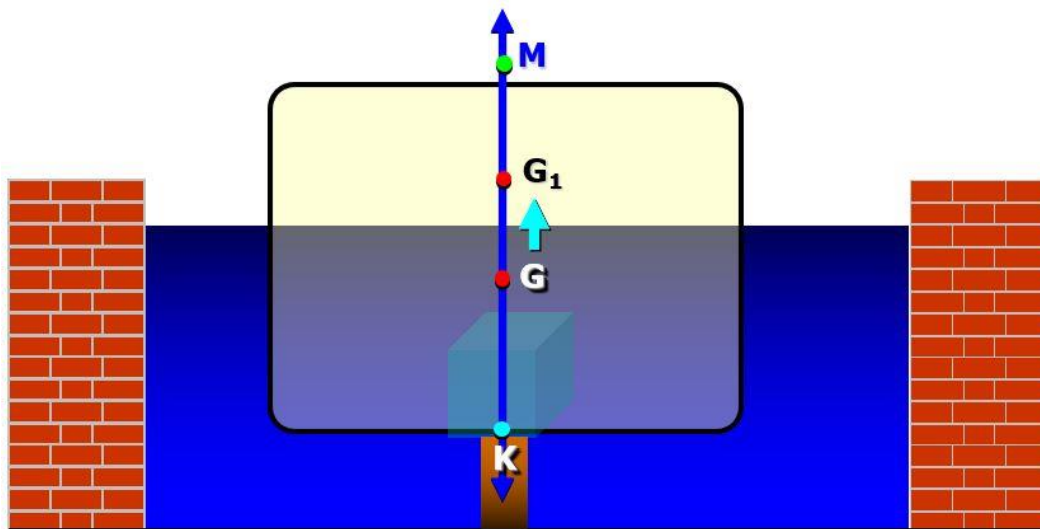
Potrebno je zadržati pozitivnu metacentarsku visinu kako ne bi došlo do prevrtanja teglenice uslijed gubitka poprečnog stabiliteta koji se događa pri kritičnom gazu kojeg treba izračunati. Tijekom kritičnog perioda dio teglenice i dalje pluta, a kako se vodna linija smanjuje tako se i težište uronjenog dijela teglenice pomiče na niže. [4]

Kritični gaz se događa kada je reducirana metacentarska visina jednaka nuli ( $M_0 G_{red} = 0$ ).

Uslijed prijenosa težine teglenice na potklade doka dolazi do smanjenja metacentarske visine teglenice. Reakcija potklade postepeno raste kako se pramčani trim mijenja pri lijeganju teglenice na potklade. Cilj je izračunati maksimalnu silu reakcije potklade (R) prije nego je teglenica u potpunosti legla na potklade. [5]

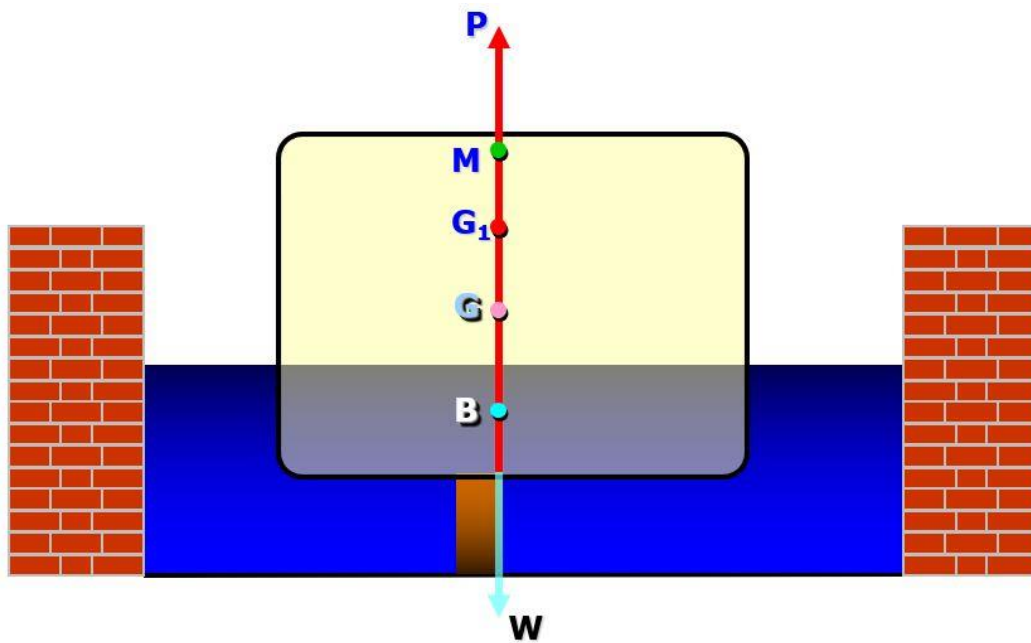
Gubitak metacentarske visine se može izračunati pomoću dvije metode. Prva metoda je pomak težišta sustava, a druga je pomak težišta istisnine. U nastavku ću ukratko opisati obje metode.

Kada plovilo, u ovom slučaju teglenica, dođe u dodir s potkladama, pretpostavlja se da dolazi do prijenosa težine s kobilice na potklade uslijed reakcijske sile potklada. Težina samog plovila se smanjuje te iz tog razloga dolazi do virtualnog podizanja težišta sustava  $GG_1$  što je vidljivo na slici 4.2.



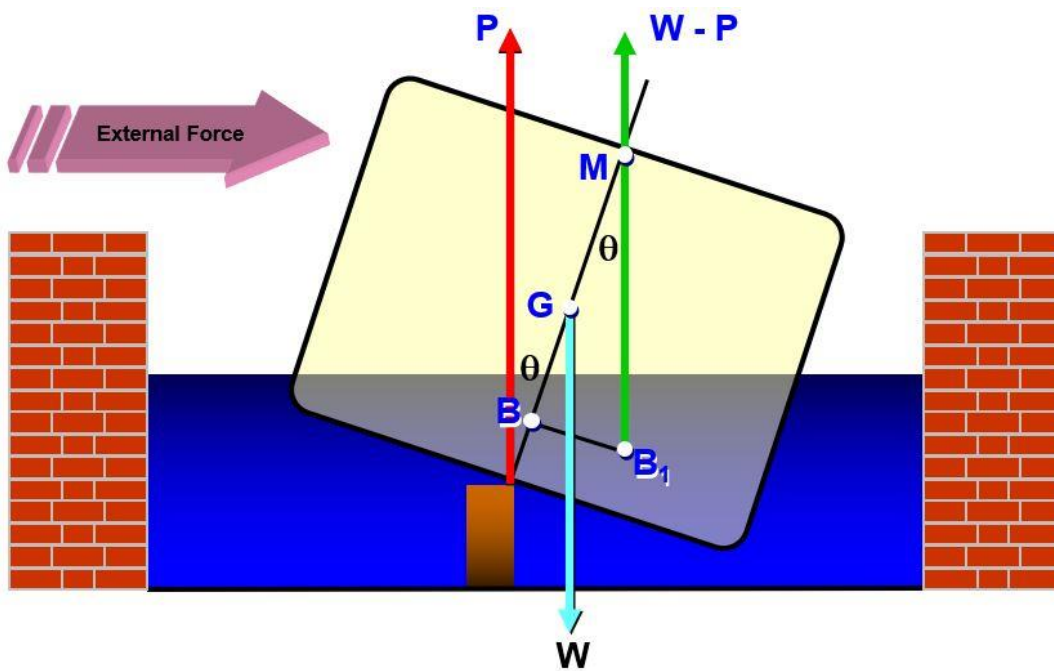
Slika 4.2. Pomak težišta sustava [4]

Tokom kritičnog perioda, dio plovila i dalje pluta (slika 4.3.)



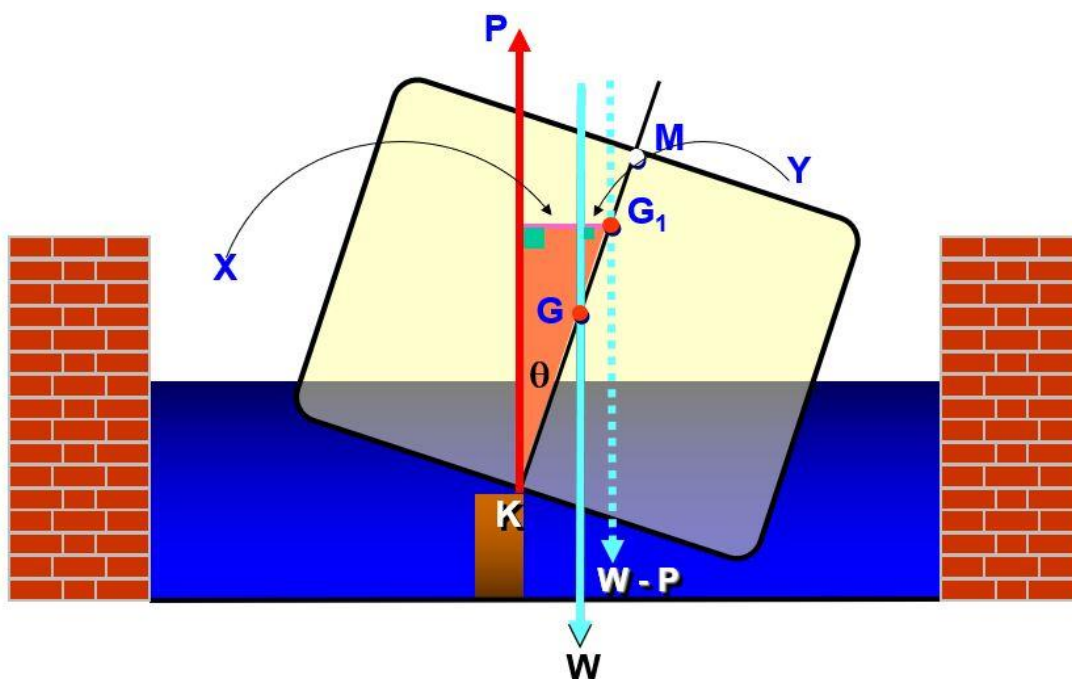
Slika 4.3. Prikaz plovila tokom kritičnog perioda [4]

Ako na plovilo djeluje neka vanjska sila dolazi do nagiba plovila za kut  $\theta$  (slika 4.4.).



Slika 4.4. Nagib plovila pri utjecaju vanjske sile [4]

Dolazi do smanjenja težine plovila  $W$  što dovodi do pomaka težišta sustava  $GG_1$  (slika 4.5.).

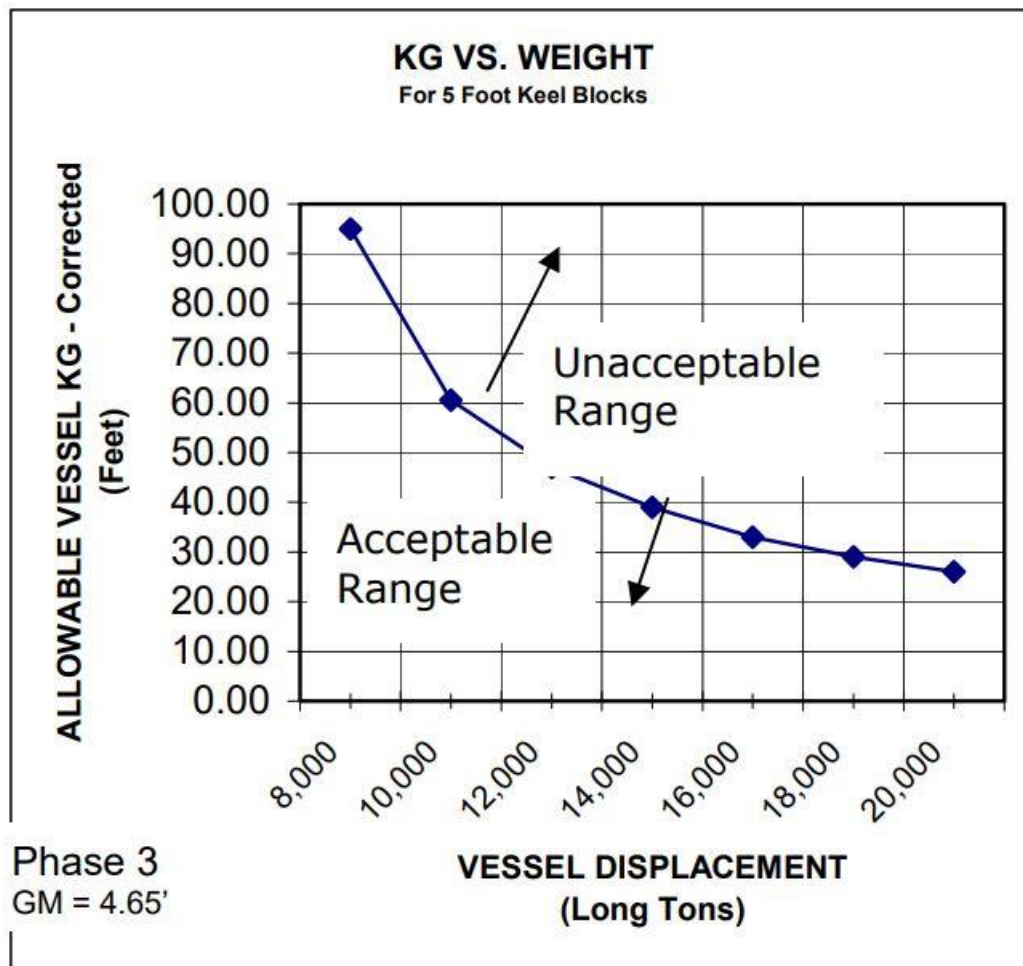


Slika 4.5. Pomak težišta sustava pri nagibu plovila [4]

Formula za računanje pomaka težišta sustava je:  $GG_1 = \frac{P \times KG}{W - P}$  [m]

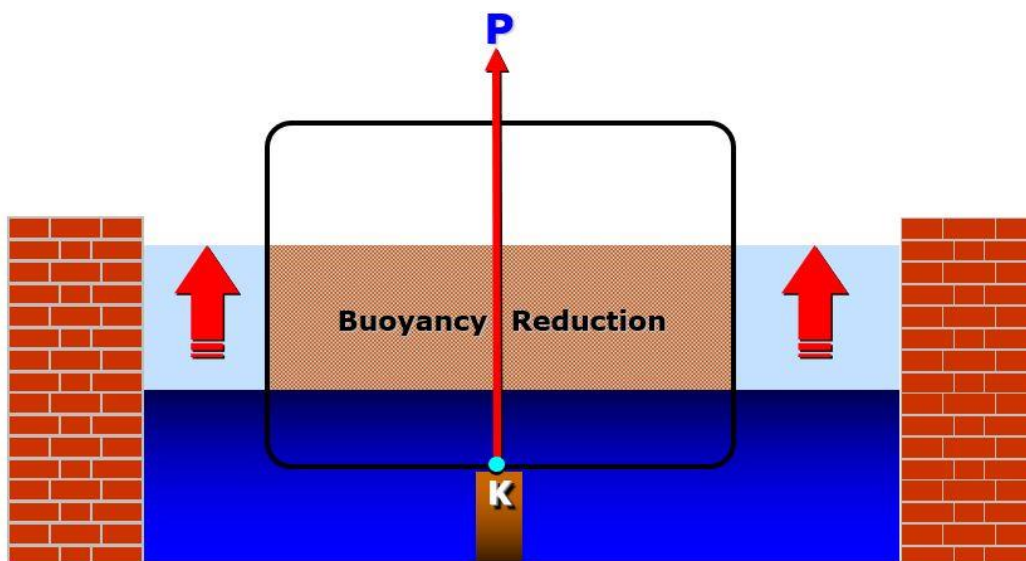
Da bi se olakšao proces procjene stabiliteta, svi plutajući dokovi moraju imati krivulju odnosa metacentarske visine ( $KG$ ) i deplasmana plovila (slika 4.6.). Krivulja se razvija za fazu najmanjeg stabiliteta svakog doka posebno. Ako se zadani parametri sijeku u točki koja se nalazi ispod krivulje, znači da je odobreno dokovanje uslijed dozvoljene vrijednosti stabiliteta plovila. U slučaju da se zadani parametri sijeku u točki iznad krivulje, dokovanje nije odobreno uslijed nedozvoljene vrijednosti stabiliteta plovila.





Slika 4. 6. Krivulja odnosa KG i deplasmana plovila [8]

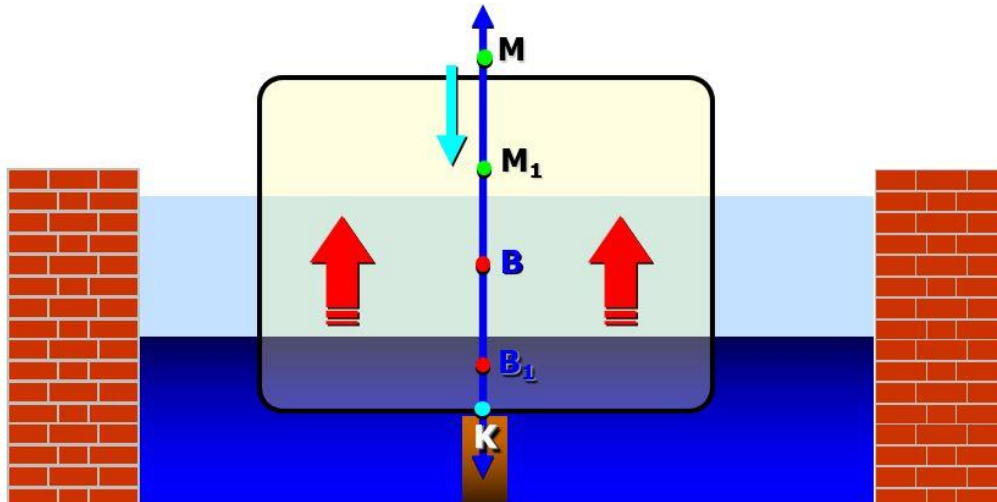
Kada plovilo dođe u dodir s potkladama započinje kritični period te se pretpostavlja prijenos sile uzgona plovila na potklade uslijed smanjenja istisnine (slika 4.7.). Iz tog razloga dolazi do smanjenja visine metacentra  $KM$ , odnosno spuštanje metacentra ( $MM_1$ ) dok su težina i visina težišta sustava plovila  $KG$  iste (slika 4.8.).



Slika 4.7. Smanjenje istisnine pri kritičnom periodu [4]

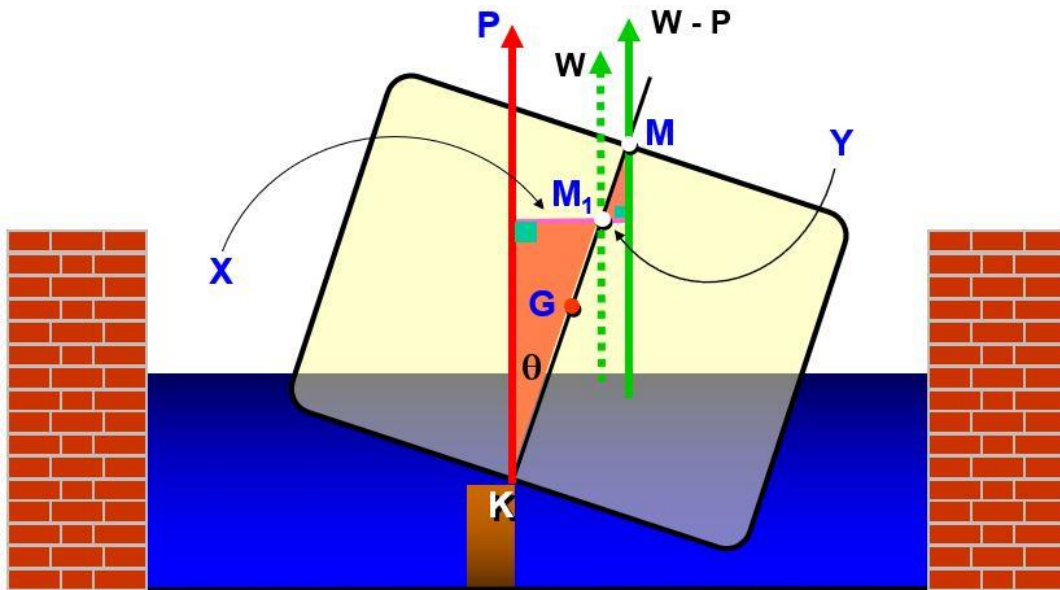
Tijekom kritičnog perioda dio plovila i dalje pluta.

Smanjenje ili gubitak metacentarske visine  $GM$  je jednak nižem položaju novog metacentra  $MM_1$ .



Slika 4.8. Smanjenje visine metacentra plovila [4]

Ako na plovilo djeluje neka vanjska sila dolazi do nagiba plovila za kut  $\theta$ , prijenosa sile uzgona i do pomaka metacentra  $MM_1$  (slika 4.9.).



Slika 4.9. Pomak metacentra pri nagibu plovila [4]

Formula za računanje pomaka metacentra sustava je:  $MM_1 = \frac{P \times KM}{W}$

P je reakcijska sila potklade prikazana na slikama, a u proračunu je označena kao sila R.

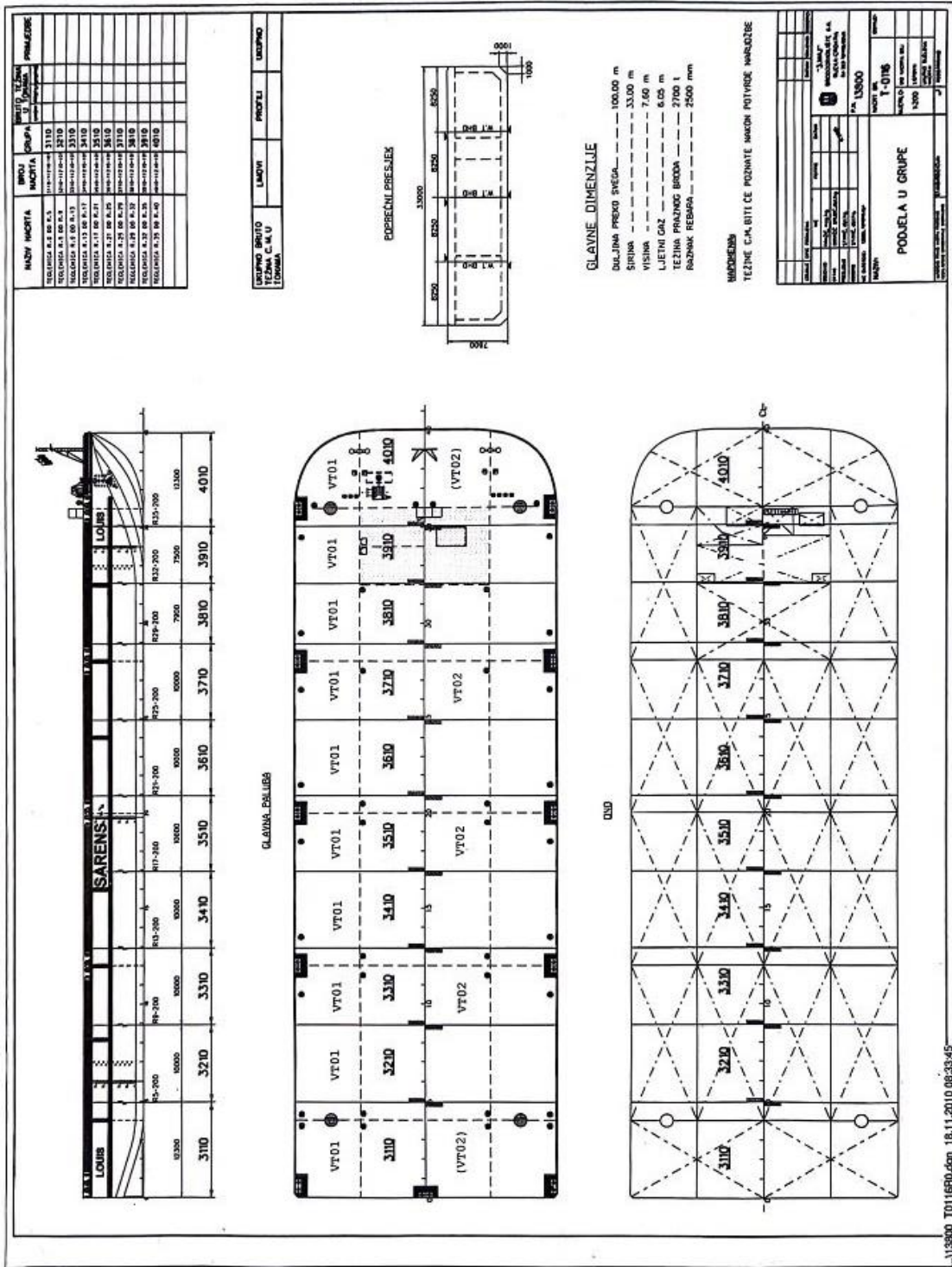
## 4.2. Proračun poprečnog stabiliteta teglenice

Zadane dimenzije teglenice su:

- duljina preko svega  $L_{OA} = L = 78,50$  [m],
- širina  $B = 31,00$  [m],
- visina  $H = 4,50$  [m],
- projektni gaz  $T_{design} = T_0 = 2,00$  [m],
- gaz s punim kapacitetom nosivosti  $T_{scantling} = T_1 = 3,40$  [m].

Poznate vrijednosti:

- gustoća morske vode  $\rho = 1,025$  [t/m<sup>3</sup>] = 1 025 [kg/m<sup>3</sup>],
- ubrzanje sile teže  $g = 9,80665$  [m/s<sup>2</sup>].



Prilog 1. Opći plan teglenice

S obzirom na nepoznatost parametara koje su potrebne za proračun (visina težišta teglenice  $KG$  i koeficijent punoće istisnine  $C_B$ ) u nastavku slijedi objašnjenje pretpostavljenih vrijednosti potrebnih parametara.

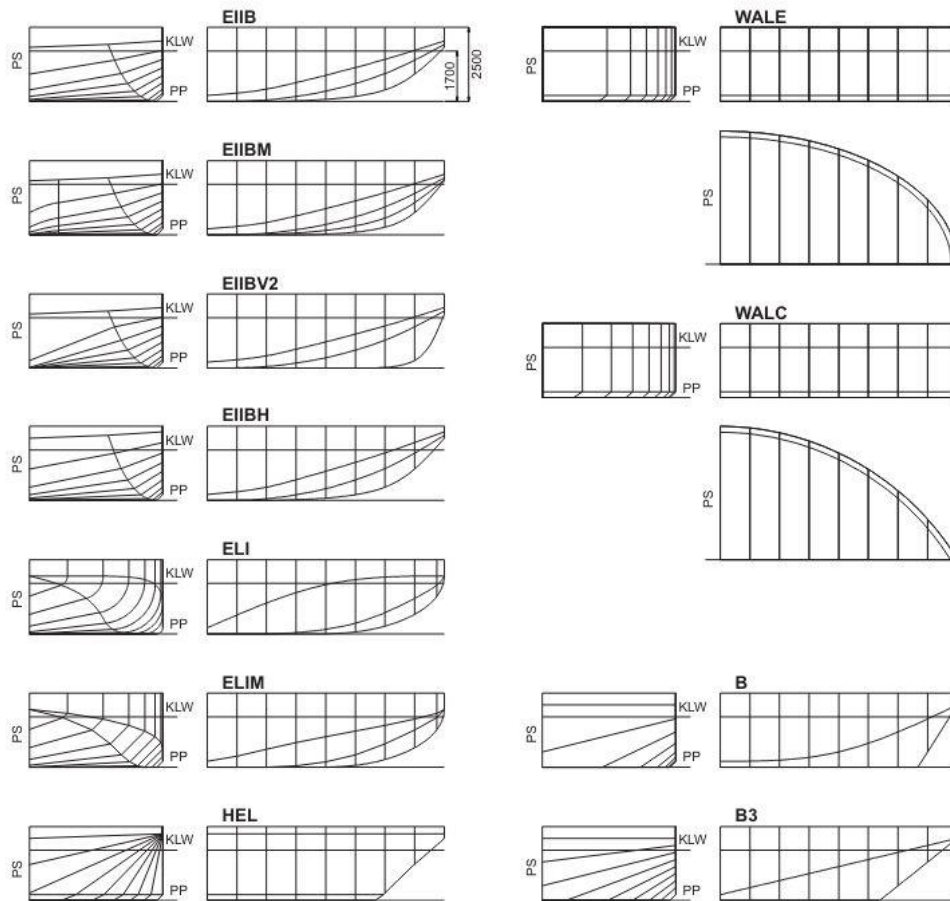


Fig. 1. Hull forms of the considered barges. PS - Plane of symmetry, PP - Base Plane, K LW - Design waterline :

Slika 4.10. Prikaz forme trupa za različite vrste teglenica [6]

Bow	$C_B$	$C_{BE}$
EIIB	0.952	0.705
EIIBM	0.952	0.709
EIIBV2	0.956	0.742
EIIBH	0.951	0.675
ELI	0.950	0.695
ELIM	0.949	0.699
WALE	0.962	0.782
WALC	0.949	0.700
B	0.974	0.823
B3	0.952	0.663
HEL	0.939	0.589

Slika 4.11. Vrijednosti koeficijenta punoće istisnine [6]

Na slikama 4.10. i 4.11. su prikazane forme pramčanog dijela trupa za različite tipove teglenica i pripadajući izračunati koeficijenti punoće istisnine trupa. U tom proračunu su, radi jednostavnosti, izuzeti krmeni završeci teglenica. [6]

U ovom proračunu na temelju navedenog istraživanja i zadanih tipova teglenica, odnosno pripadajućih koeficijenata punoće istisnine izračunati su koeficijent punoće istisnine za zadani primjer teglenice korištenjem aritmetičke sredine navedenih vrijednosti  $C_B$ .

$$C_B = \frac{0.952+0.952+0.956+0.951+0.950+0.949+0.962+0.949+0.974+0.952+0.939}{11} = 0,953 = 0,95$$

Volumen istisnine prazne teglenice:

$$V_0 = L_{OA} \times B \times T_0 \times C_B = 78,50 [m] \times 31,00[m] \times 2,00[m] \times 0,95 = 4.623,65 [m^3]$$

Masa prazne teglenice:

$$\Delta_0 = V_0 \times \rho = 4.623,65 [m^3] \times 1,025 \left[ \frac{t}{m^3} \right] = 4.739,24 [t]$$

Težina prazne teglenice:

$$W_0 = \Delta_0 \times g = 4.739,24 [t] \times 9,80665 \left[ \frac{m}{s^2} \right] = 46.476,08 [kN]$$

Volumen istisnine teglenice punog kapaciteta nosivosti:

$$V_1 = L_{OA} \times B \times T_1 \times C_B = 78,50 [m] \times 31,00[m] \times 3,40[m] \times 0,95 = 7.860,21 [m^3]$$

Masa teglenice punog kapaciteta nosivosti:

$$\Delta_1 = V_1 \times \rho = 7.860,21 [m^3] \times 1,025 \left[ \frac{t}{m^3} \right] = 8.056,71 [t]$$

Težina teglenice punog kapaciteta nosivosti:

$$W_1 = \Delta_1 \times g = 8.056,71 [t] \times 9,80665 \left[ \frac{m}{s^2} \right] = 79.009,34 [kN]$$

U situaciji kad je teglenica u potpunosti bez tereta, pretpostavlja se visina težišta sustava teglenice u vrijednosti od 60% ukupne visine teglenice. [7]

Pretpostavljene vrijednosti:

- položaj težišta teglenice  $KG = H \times \frac{60}{100} = 4,50 \times \frac{60}{100} = 2,70[m]$ ,
- položaj težišta istisnine  $KF_0 = \frac{T_0}{2} = 1,00 [m]$ ,
- $C_B = 0,95$

Uzevši u obzir pretpostavljenu vrijednost koeficijenta istisnine teglenice  $C_B = 0,95$  možemo dobiti okvirnu vrijednost sile uzgona  $U$  za gaz potpuno prazne teglenice.

$$U = C_B \times L \times B \times T_0 \times \rho \times g$$

$$U = 0,95 \times 78,50[m] \times 31,00[m] \times 2,00[m] \times 1,025 \left[ \frac{t}{m^3} \right] \times 9,80665 \left[ \frac{m}{s^2} \right] = 46 476,08 [kN]$$



Ako se teglenica nagne za neki kut  $\varphi$ , njen moment stabilneta je jednak sumi momenata s obzirom na točku K, koja je smještena na kobilici, oko koje se teglenica okreće. U točki K djeluje sila reakcije R.

$$M_{st} = U \times M_{01}K \times \sin\varphi - W \times KG \times \sin\varphi$$

$$W = U + R \rightarrow F_B = W - R$$

$$M_{st} = (W - R) \times M_{01}K \times \sin\varphi - W \times KG \times \sin\varphi$$

$$M_{st} = (W \times M_{01}K \times \sin\varphi - W \times KG \times \sin\varphi) - R \times M_{01}K \times \sin\varphi$$

$$M_{st} = W \times \sin\varphi \times (M_{01}K - KG) - R \times M_{01}K \times \sin\varphi$$

$$M_{st} = W \times \sin\varphi \times M_{01}G - R \times M_{01}K \times \sin\varphi$$

$$M_{st} = W \times (M_{01}G - \frac{R}{W} \times M_{01}K) \times \sin\varphi$$

Reducirana metacentarska visina  $M_0G_{red} = M_{01}G - \frac{R}{W} \times M_{01}K$ .

Uvjet stabilne ravnoteže:  $M_{st} > 0$

$$M_{01}G > \frac{R}{W} \times M_{01}K$$

Kritično stanje, odnosno kritični gaz se javlja kada je  $M_{01}G = \frac{R}{W} \times M_{01}K$ .

Kada je  $M_{01}G < \frac{R}{W} \times M_{01}K$  dolazi do gubitka početnog stabilneta.

Traži se gaz za koji je ispunjen uvjet  $M_{01}G = \frac{R}{W} \times M_{01}K$ .

Silu uzgona izračunata je uz navedenu pretpostavku na početku proračuna za zadani gaz T<sub>0</sub>.

$$U = 46\,476,08 \text{ [kN]}$$

Potrebno je za različite gazove izračunati sljedeće veličine:

- sila uzgona,  $U = L \times B \times T \times \rho \times g$
- početni metacentarski radijus,  $M_0F_0 = \frac{I_B}{V} = \frac{LB^3}{12} = \frac{B^2}{12T}$
- udaljenost početnog metacentra od osnovice,  $M_0K = M_0F_0 + KF_0 = \frac{B^2}{12T} + \frac{T}{2}$
- reducirana udaljenost početnog metacentra od osnovice,  $\frac{R}{W} \times M_0K$
- metacentarska visina,  $M_0G = M_0F_0 - F_0G = M_0F_0 - (KG - KF_0)$   
$$M_0G = M_0F_0 - KG + KF_0 = \frac{B^2}{12T} - KG + \frac{T}{2}$$

Na temelju navedenih formula iznad, dobivene su vrijednosti u tablicama proračuna poprečnog stabiliteta 1 i 2 za različite gazove u slučajevima prazne teglenice (tablica 1) i pune nosivosti teglenice (tablica 2).

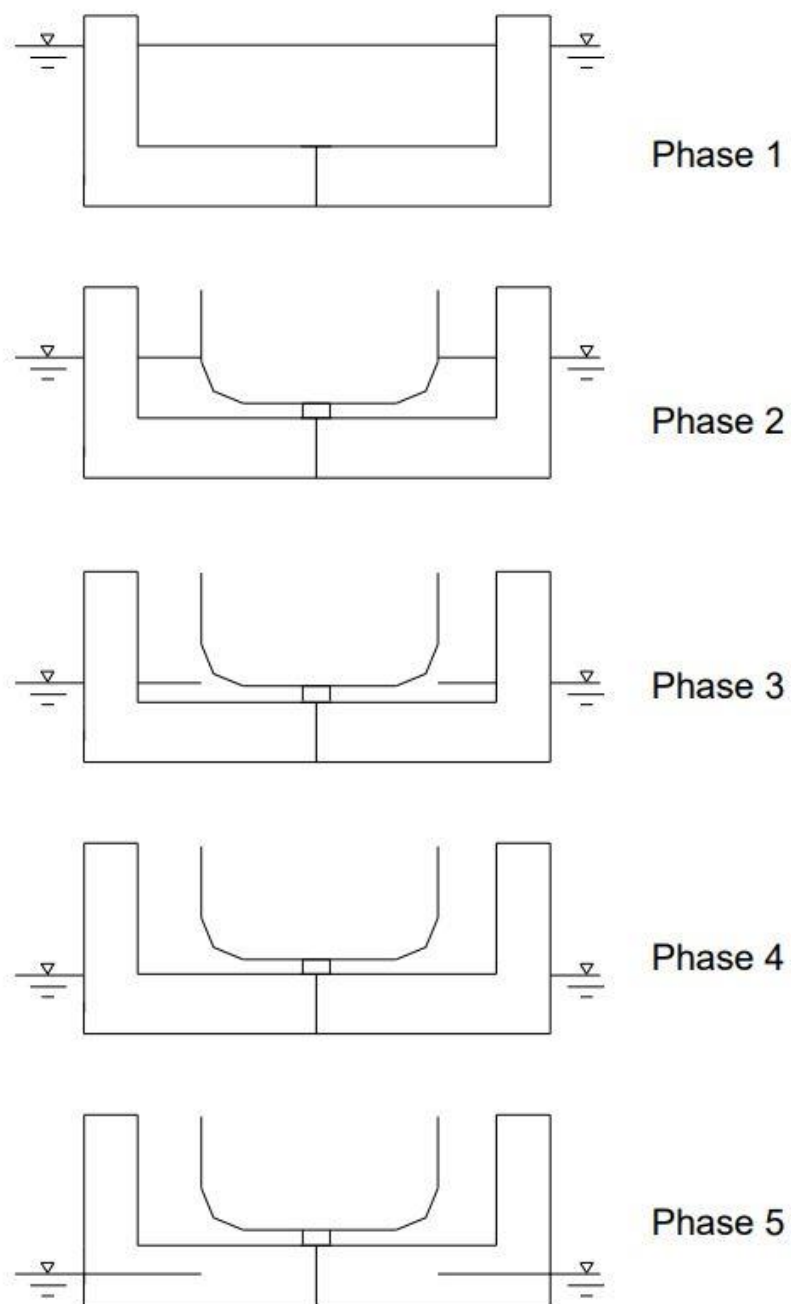
Preko izračunatih vrijednosti, treba napraviti dijagram funkcija reducirane udaljenosti početnog metacentra od osnovice  $\frac{R}{W} \times M_0K$  i metacentarske visine  $M_0G$  u ovisnosti o gasu  $T$ . Presječna točka dviju funkcija daje kritični gaz gdje teglenica gubi poprečni stabilitet.

Na slici 4.11. je prikazan stabilitet doka i plovila unutar doka u pet različitih faza dokovanja koje se mogu protumačiti kao faze dokovanja pri različitim gazovima.

Pet faza dokovanja su:

- potpuno uronjeni dok bez plovila,
- djelomično podizanje plovila (do otprilike polovine dokovanog gasa),
- površina vode je na gornjem rubu potklada,
- površina vode je na gornjem rubu pontona doka,
- dokovanje pri normalnom operativnom gasu.

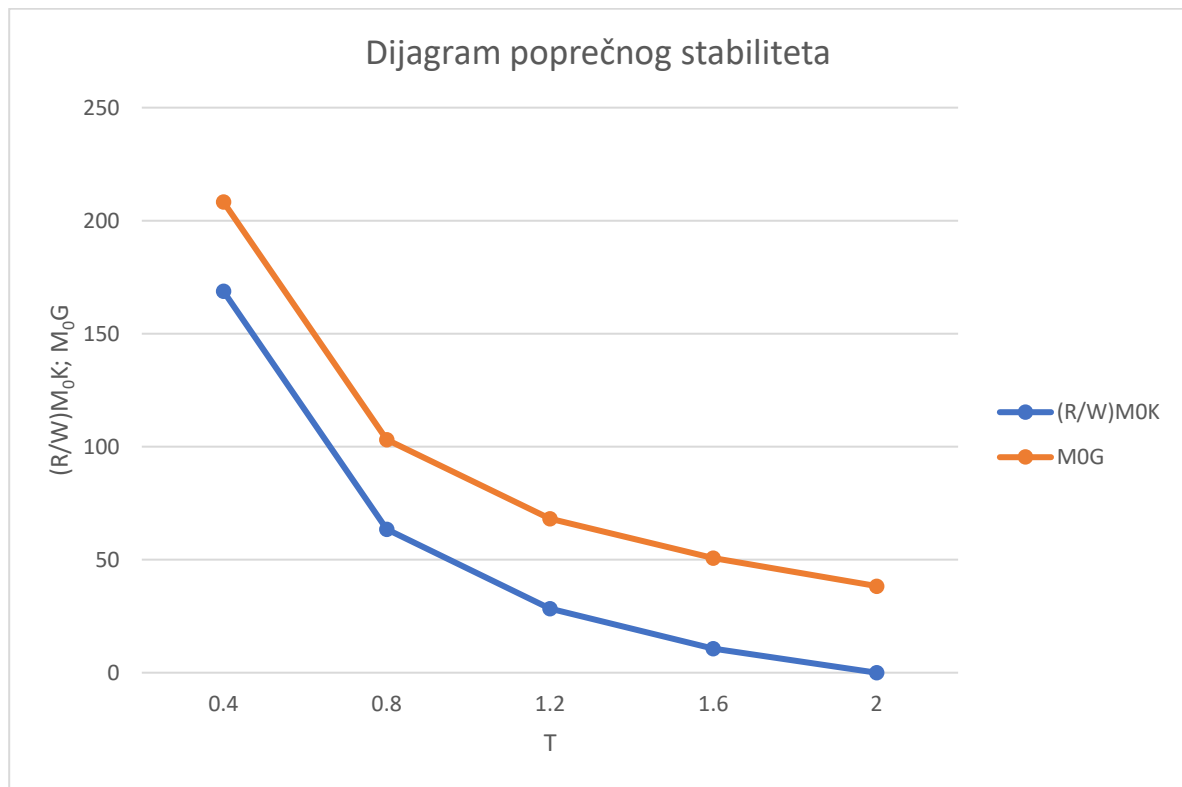
Treća i četvrta faza su najčešće faze s najmanjim stabilitetom. [8]



*Slika 4.12. Faze stabiliteta pri dokovanju na različitim gazovima [8]*

Tablica 1. Proračun poprečnog stabiliteta za praznu teglenicu

T [m]	U [kN]	R [kN]	R/W	M <sub>0</sub> F <sub>0</sub> [m]	KF <sub>0</sub> [m]	M <sub>0</sub> K [m]	(R/W)M <sub>0</sub> K	M <sub>0</sub> G [m]
0.4	9295.22	37180.86	0.8	210.746	0.2	210.946	168.7564912	208.246
0.8	18590.43	27885.65	0.6	105.373	0.4	105.773	63.46368421	103.073
1.2	27885.65	18590.43	0.4	70.249	0.6	70.849	28.3394152	68.149
1.6	37180.86	9295.22	0.2	52.686	0.8	53.486	10.6972807	50.786
2	46476.08	0.00	0	40.042	1	41.042	0	38.342



Dijagram 1. Ovisnost reducirane visine metacentra o gazu prazne teglenice

Analitičko rješenje kritičnog gaza prazne teglenice:

$$\text{Reakcijska sila potklade: } R = W - U = W - C_B \times L \times B \times T \times \rho \times g$$

$$\text{Udaljenost metacentra od osnovice: } M_0K = M_0F_0 + KF_0$$

$$\text{Metacentarska visina: } M_0G = M_0K - KG = M_0F_0 + KF_0 - KG$$

$$\text{Početni metacentarski radijus: } M_0F_0 = \frac{I_B}{V} = \frac{\frac{LB^3}{12}}{C_B L B T} = \frac{B^2}{12 C_B T} = \frac{31^2}{12 \times 0,95 \times T} = \frac{84,29}{T}$$

$$\text{Reducirana udaljenost početnog metacentra od osnovice: } \frac{R}{W} \times M_0K = M_0G$$

$$\frac{W - C_B \times L \times B \times T \times \rho \times g}{W} \times \left( \frac{84,29}{T} + \frac{T}{2} \right) = \frac{84,29}{T} + \frac{T}{2} - 2,7$$

$$\left( 1 - \frac{C_B \times L \times B \times T \times \rho \times g}{W} \right) \times \left( \frac{84,29}{T} + \frac{T}{2} \right) = \frac{84,29}{T} + \frac{T}{2} - 2,7$$

$$\frac{84,29}{T} + \frac{T}{2} - \frac{C_B \times L \times B \times T \times \rho \times g}{W} \times \frac{84,29}{T} - \frac{C_B \times L \times B \times T \times \rho \times g \times T}{2W} = \frac{84,29}{T} + \frac{T}{2} - 2,7$$

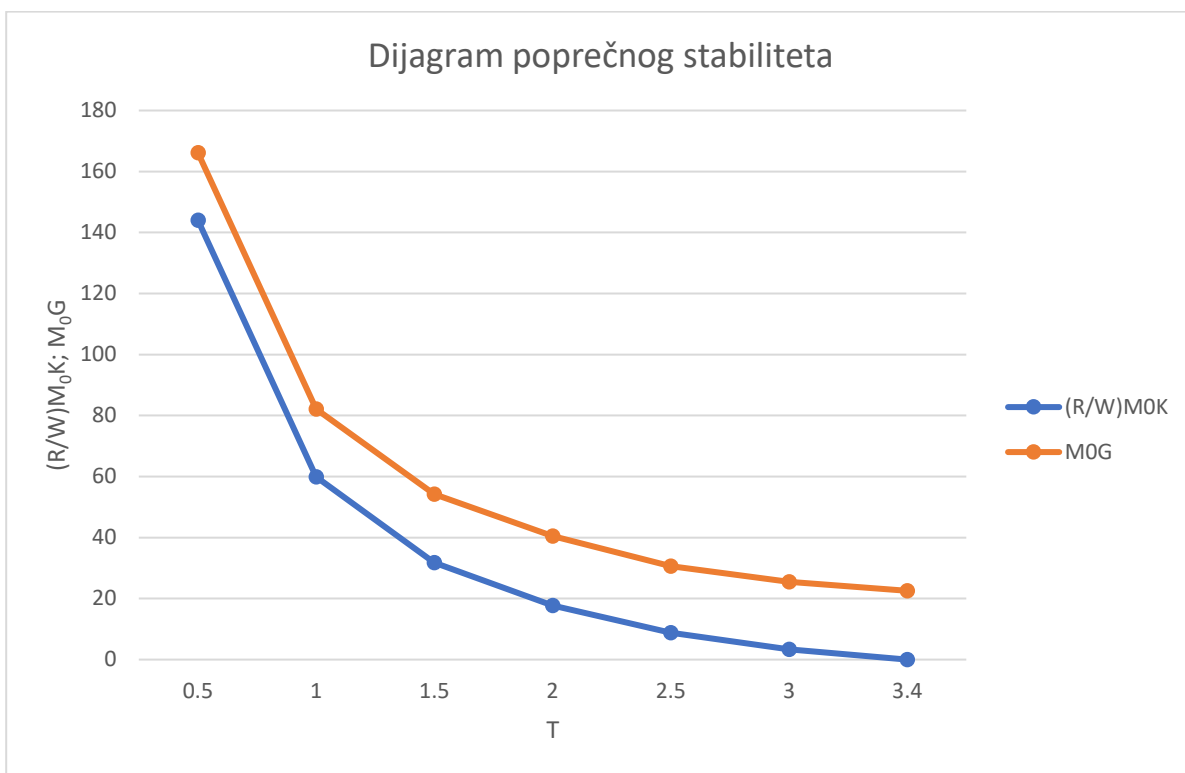
$$T^2 \frac{C_B \times L \times B \times \rho \times g}{2W} + 84,29 \times \frac{C_B \times L \times B \times \rho \times g}{W} - 2,7 = 0$$

$$T^2 \frac{0,95 \times 78,50 \times 31 \times 1,025 \times 9,80665}{2 \times 46.476,08} + 84,29 \times \frac{0,95 \times 78,50 \times 31 \times 1,025 \times 9,80665}{46.476,08} - 2,7 = 0$$

$$0,25T^2 + 42,1 - 2,7 = 0 \rightarrow 0,25T^2 = -42,1 + 2,7 = -39,4 \text{ (iracionalno rješenje)}$$

Tablica 2. Proračun poprečnog stabiliteta za teglenicu punog kapaciteta nosivosti

T [m]	U [kN]	R [kN]	R/W	M <sub>0</sub> F [m]	KF [m]	M <sub>0</sub> K [m]	(R/W)M <sub>0</sub> K	M <sub>0</sub> G [m]
0.5	11619.02	67390.32	0.853	168.596	0.25	168.846	144.016125	166.146
1	23238.04	55771.30	0.706	84.298	0.5	84.798	59.857585	82.098
1.5	34857.06	44152.28	0.559	56.199	0.75	56.949	31.824346	54.249
2	46476.08	32533.26	0.412	42.149	1	43.149	17.767286	40.449
2.5	58095.10	20914.24	0.265	32.033	1.25	33.283	8.810294	30.583
3	69714.12	9295.22	0.118	26.694	1.5	28.194	3.316993	25.494
3.4	79009.34	0.00	0	23.554	1.7	25.254	0	22.554



Dijagram 2. Ovisnost reducirane visine metacentra o gasu teglenice punog kapaciteta nosivosti

Analitičko rješenje kritičnog gasa teglenice punog kapaciteta nosivosti:

$$\text{Reakcijska sila potklade: } R = W - U = W - C_B \times L \times B \times T \times \rho \times g$$

$$\text{Udaljenost metacentra od osnovice: } M_0K = M_0F_0 + KF_0$$

$$\text{Metacentarska visina: } M_0G = M_0K - KG = M_0F_0 + KF_0 - KG$$

$$\text{Početni metacentarski radijus: } M_0F_0 = \frac{I_B}{V} = \frac{\frac{LB^3}{12}}{C_B L B T} = \frac{B^2}{12 C_B T} = \frac{31^2}{12 \times 0,95 \times T} = \frac{84,29}{T}$$

$$\text{Reducirana udaljenost početnog metacentra od osnovice: } \frac{R}{W} \times M_0K = M_0G$$

$$\frac{W - C_B \times L \times B \times T \times \rho \times g}{W} \times \left( \frac{84,29}{T} + \frac{T}{2} \right) = \frac{84,29}{T} + \frac{T}{2} - 2,7$$

$$\left( 1 - \frac{C_B \times L \times B \times T \times \rho \times g}{W} \right) \times \left( \frac{84,29}{T} + \frac{T}{2} \right) = \frac{84,29}{T} + \frac{T}{2} - 2,7$$

$$\frac{84,29}{T} + \frac{T}{2} - \frac{C_B \times L \times B \times T \times \rho \times g}{W} \times \frac{84,29}{T} - \frac{C_B \times L \times B \times T \times \rho \times g \times T}{2W} = \frac{84,29}{T} + \frac{T}{2} - 2,7$$

$$T^2 \frac{C_B \times L \times B \times \rho \times g}{2W} + 84,29 \times \frac{C_B \times L \times B \times \rho \times g}{W} - 2,7 = 0$$

$$T^2 \frac{0,95 \times 78,50 \times 31 \times 1,025 \times 9,80665}{2 \times 79.009,34} + 84,29 \times \frac{0,95 \times 78,50 \times 31 \times 1,025 \times 9,80665}{79.009,34} - 2,7 = 0$$

$$0,1477T^2 + 24,79 - 2,7 = 0 \rightarrow 0,1477T^2 = -24,79 + 2,7 = -22,09 \text{ (iracionalno rješenje)}$$

Kritični gaz kod dokovanja teglenice se obično računa kako bi se odredila potrebna minimalna dubina vode za sigurno pristajanje. Međutim, u slučaju teglenice koja ima veliku širinu i stabilnost, kritični gaz postaje nevažan faktor jer je teglenica otporna na promjene u dubini vode. Njena stabilnost omogućava sigurno pristajanje bez obzira na niske ili visoke nivoe vode. Stoga, kritični gaz nije relevantan u ovom kontekstu jer teglenica ostaje stabilna pri svim gazovima.

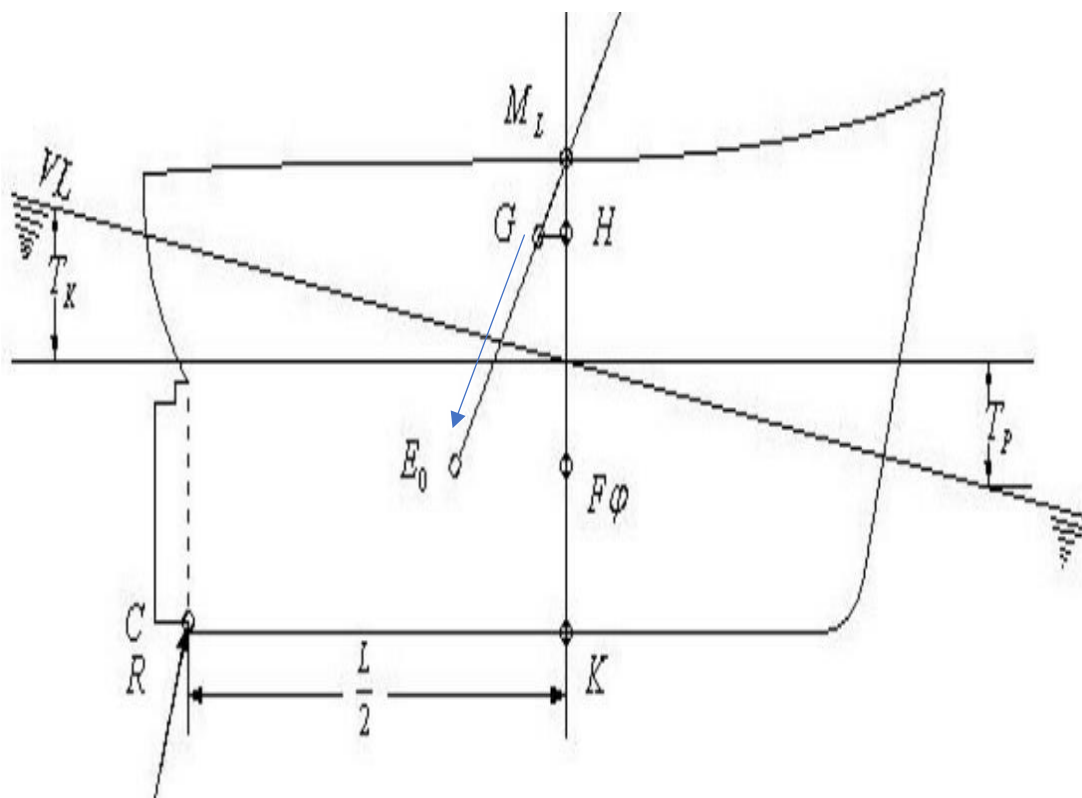
Stabilnost teglenice, posebno u kontekstu njenog kritičnog gaza, igra ključnu ulogu u fazama dokovanja. Prilikom pripreme za dokovanje, kapetan ili operater moraju uzeti u obzir brojne faktore kako bi osigurali siguran i uspješan postupak. Tradicionalno, kritični gaz igra važnu ulogu u određivanju minimalne dubine vode potrebne za pristajanje, što utječe na sigurnost i stabilnost plovila.

Međutim, u slučaju teglenice koja ima širok trup i izuzetnu stabilnost, kao što je već navedeno, kritični gaz postaje manje relevantan. Stabilnost barže omogućava joj da se uspješno dokopa i pristane čak i pri različitim dubinama vode, bez značajnog utjecaja na njenu stabilnost ili sigurnost. Ova inherentna stabilnost olakšava proces dokovanja, smanjujući potrebu za preciznim nadzorom dubine vode tijekom faza pristajanja.

U praksi, ovo znači da se u fazama dokovanja manje pažnje posvećuje kritičnom gasu, a više se fokusira na druge aspekte poput preciznosti manevara, komunikacije s lukom i prilagođavanja okolnih uvjeta. Umjesto da se oslanjaju na minimalni kritični gaz, posade se mogu usredotočiti na optimalno pozicioniranje i kontrolu brzine kako bi uspješno pristale. Stoga, stabilnost barže ne samo da olakšava proces dokovanja, već i promjenom prioriteta u fazama pristajanja odražava njen manje značajan utjecaj na kritični gaz u ovom specifičnom slučaju.

### 4.3. Uzdužni stabilitet teglenice

Sila kojom plovilo pritišće dok je jednaka ukupnoj težini plovila, te se prenosi preko potklada na dok. Nema velikih naprezanja s obzirom da su i kobilica plovila i potklade srazmjerno duge. Često dolazi do pojave većih vrijednosti lokalnih sila uslijed dokovanja plovila s kosom kobilicom. Do ovog slučaja može doći zbog konstrukcije, odnosno oblika broda ili uslijed prodora vode (slika 4.13.). [9]



Slika 4.13. Prikaz sila kod plovila sa zategom [9]

Kada se dokuju zatežna ili pretežna plovila, izvedba potklada ispod kobilice je takva da po cijeloj duljini kobilice plovilo nalegne na potklade. Kod manjih zatega i pretega moguća je pomoć uzdužnog nagiba doka, no to jako često nije izvedivo, pogotovo ne u slučaju prodora vode gdje je prisutna abnormalno velika zatega ili pritega. Kod zatežnog plovila, ono na potklade doka sjeda prvo stražnjim dijelom, odnosno krmenom statvom. Kako se gaz smanjuje, tako se smanjuje i istisnina, plovilo se sve više uspravlja, a reakcijska sila iz potklade ( $R$ ) u uporišnoj točki ( $C$ ) raste. Maksimalna vrijednost



reakcijske sile u točki uporišta nastane netom prije nego što plovilo nalegne cijelom površinom kobilice na potklade. Tu maksimalnu vrijednost reakcijske sile treba izračunati da se vidi postoji li opasnost od stradavanja potklada, iskakanja plovila s njih i oštećenje plovila. [9]

Da bi se plovilo moglo izravnati, potrebno je na njega djelovati pretežnim momentom:

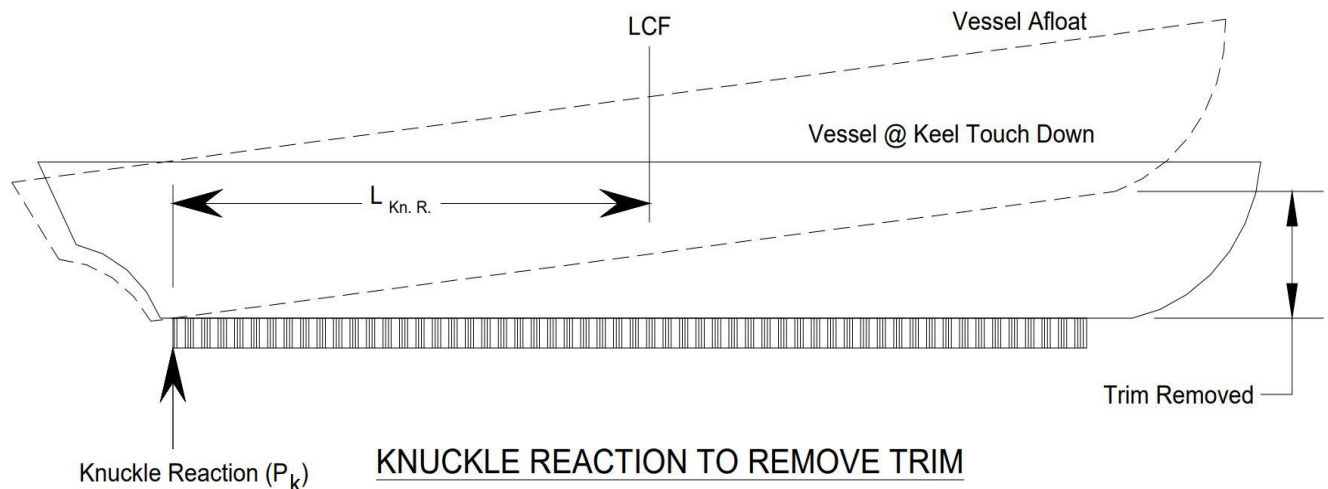
$$M = D \times GH = D \times M_L G \times \Psi, \quad \Psi = \frac{t_p + t_k}{L_O}$$

U slučaju potpunog izravnjavanja plovila na ravnu kobilicu, potreban je moment reakcije:

$$M_r = R \times CK, \text{ odnosno:}$$

$$\text{MOMENT TRIMA} = \text{SILA} \times \text{KRAK} = \text{REAKCIJA POTKLADE} \times L_{kn,r},$$

gdje je  $L_{kn,r}$  – udaljenost između uzdužnog težišta istisnine i prvog bloka potklade ispod krme, što je bolje prikazano na slici 4.14.



Slika 4.14. Reakcija potklade pri zatezi plovila [8]

Iz toga slijedi da je reakcijska sila:  $R = D \times \frac{M_L G}{CK} \times \frac{t_p + t_k}{L}$

S obzirom da je  $CK \cong \frac{L}{2}$  i  $\frac{t_p + t_k}{L_O} = \frac{T_k - T_p}{L_O}$  slijedi da je reakcija potrebna za ravnjanje plovila na ravnu kobilicu:

$$R = D \times \frac{M_{LG}}{\frac{L}{2}} \times \frac{T_k - T_p}{L}$$

$$M_{LG} = \frac{\frac{L^3 B}{12}}{V} = \frac{78,50^3 \times 31}{4.623,65} = 270 \text{ m}$$

$$W = D = 46.476,08 \text{ kN}$$

$$T_k - T_p = \frac{R \times L^2}{2 \times D \times M_{LG}} = \frac{78,50^2 \times R}{2 \times 46.476,08 \times 270} = \frac{6.162,25 \times R}{25.097.083,2} = 0,000245 R$$

Za pretpostavljeni gaz na krmi i na pramcu treba odraditi vrijednost reakcijske sile R.

$$\text{Pretpostavljeni gaz na pramcu: } T_p = 2 - \frac{0,12}{2}$$

$$\text{Pretpostavljeni gaz na krmi: } T_k = 2 + \frac{0,12}{2}$$

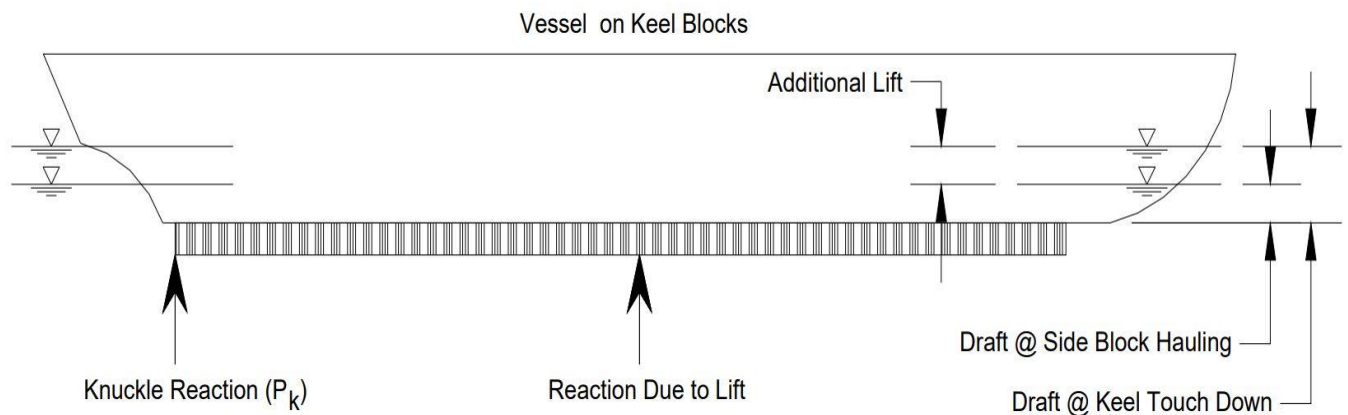
$$T_k - T_p = 2 + \frac{0,12}{2} - \left(2 - \frac{0,12}{2}\right) = 0,12 \text{ m}$$

Reakcijska sila:

$$R = \frac{T_k - T_p}{0,000245} = \frac{0,12}{0,000245} = 489,80 \text{ kN}$$

$$R = D \times \frac{M_{LG}}{\frac{L}{2}} \times \frac{T_k - T_p}{L} = 46.476,08 \times \frac{270}{78,50} \times \frac{0,12}{78,50} = 488,73 \text{ kN}$$

Vrijednost reakcijske sile možemo zaokružiti na 500 kN.



Slika 4.15. Prikaz potpunog nalijeganja plovila na potklade doka [8]

## 5. ZAKLJUČAK

Kritični gaz obično igra ključnu ulogu u procjeni sigurnosti pristajanja broda ili barže jer ukazuje na minimalnu dubinu vode potrebnu da se osigura sigurno putovanje. Međutim, kada je u pitanju barža koja ima veliku širinu i izuzetnu stabilnost, koncept kritičnog gaza postaje manje bitan. Ova stabilnost proizlazi iz njenog oblika i distribucije težine, što je čini otpornom na fluktuacije dubine vode. Čak i pri niskim ili visokim nivoima vode, barža zadržava svoju stabilnost, omogućavajući sigurno pristajanje bez obzira na dubinu. Stoga, u slučaju ovakvih plovila, kritični gaz postaje nebitan jer se fokus stavlja na druge faktore poput manevarskih sposobnosti i okolnih uvjeta. Dakle, u analizi sigurnosti pristajanja barže, važno je uzeti u obzir njezinu inherentnu stabilnost i sposobnost da se nosi s različitim dubinama vode, što čini kritični gaz manje relevantnim faktorom u ovom specifičnom kontekstu.

## LITERATURA

[1] Plutajući\_dok\_AK.pdf

[2] Lukeš, M: "Oprema plutajućeg doka", Završni rad, s Interneta - [file:///C:/Users/dk/Downloads/lukeš\\_marko\\_riteh\\_2018\\_zavrs\\_sveuc.pdf](file:///C:/Users/dk/Downloads/lukeš_marko_riteh_2018_zavrs_sveuc.pdf), srpanj 2018.

[3] Materijali prikupljeni iz arhiva brodogradilišta "Viktor Lenac"

[4] dry-docking-all\_about\_to\_know.ppt

[5] Dokovanje BV.pptx

[6] Tabaczek T, Kulczyk J, Zawiślak M: " Analysis of hull resistance of pushed barges in shallow water", s Interneta - <https://intapi.sciendo.com/pdf/10.2478/v10012-007-0002-4>

[7] "Estimated lightweight vertical center of gravity", s Interneta - <https://www.law.cornell.edu/cfr/text/46/170.200>

[8] Dock Master Training\_manual.pdf

[9] Reakcija potklade.pdf

## POPIS SLIKA

Slika 2.1. Plutajući dok [1] - <https://www.novilist.hr/wp-content/uploads/2020/11/5010472.jpg>

Slika 2.2. Elementi plutajućeg doka [1] - <https://www.morski.hr/content/images/wp-content/uploads/2021/11/a-PALURTAJU-I-DOK-PALLADA-01-1.jpg>

Slika 2.3. U-plutajući dok [1] - <https://media.istockphoto.com/id/92479073/photo/boat-receiving-maintenance-on-dry-dock.jpg?s=612x612&w=0&k=20&c=VbAWnGCiz3-e4Hx63qY6sZuqRvkLyfdv5xp3759kaVA=>

Slika 2.4. Plutajući L-dok pričvršćen za obalu [1]

Slika 2.5. Plutajući L-dok pričvršćen za ponton [1]

Slika 2.6. Monolitni plutajući dok [1]

Slika 2.7. Pontonski plutajući dok [2]

Slika 2.8. Sekcijski plutajući dok [2]

Slika 2.9. Klizni plutajući dok [1]

Slika 2.10. Parcijalno dokovanje broda [1]

Slika 2.11. Plutajući dok za remont -

[https://www.brodotrogir.hr/en/media/k2/items/cache/feb4274796d93ff716e9650163a77fb8\\_L.jpg](https://www.brodotrogir.hr/en/media/k2/items/cache/feb4274796d93ff716e9650163a77fb8_L.jpg)

Slika 2.12. Plutajući dok za transport -

<https://images.maritimeprofessional.com/images/maritime/w4000h3000/photo-turku-repair-76580.jpg>

Slika 3.1. Upitnik [3]

Slika 3.2. Karton [3]

Slika 3.3. Formular bočnih potklada [3]

Slika 3.4. Protokol dokovanja [3]

Slika 4.1. Prikaz gubitka poprečnog stabiliteta plovila [5]

- Slika 4.2. Pomak težišta sustava [4]
- Slika 4.3. Prikaz plovila tokom kritičnog perioda [4]
- Slika 4.4. Nagib plovila pri utjecaju vanjske sile [4]
- Slika 4.5. Pomak težišta sustava pri nagibu plovila [4]
- Slika 4.6. Krivulja odnosa KG i deplasmana plovila [8]
- Slika 4.7. Smanjenje istisnine pri kritičnom periodu [4]
- Slika 4.8. Smanjenje visine metacentra plovila [4]
- Slika 4.9. Pomak metacentra pri nagibu plovila [4]
- Slika 4.10. Prikaz forme trupa za različite vrste teglenica [6]
- Slika 4.11. Vrijednosti koeficijenta punoće istisnine [6]
- Slika 4.12. Faze stabiliteta pri dokovanju na različitim gazovima [8]
- Slika 4.13. Prikaz sila kod plovila sa zategom [9]
- Slika 4.14. Reakcija potklade pri zatezi plovila [8]
- Slika 4.15. Prikaz potpunog nalijevanja plovila na potklade doka [8]

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1. Proračun poprečnog stabiliteta za praznu teglenicu

Tablica 2. Proračun poprečnog stabiliteta za teglenicu punog kapaciteta nosivosti

## **POPIS DIJAGRAMA**

Dijagram 1. Ovisnost reducirane visine metacentra o gazu prazne teglenice

Dijagram 2. Ovisnost reducirane visine metacentra o gazu teglenice punog kapaciteta nosivosti

## **POPIS PRILOGA**

Prilog 1. Opći plan teglenice

## **Sažetak**

U ovom radu su opisani svrha plutajućih dokova, podjela plutajućih dokova i postupak dokovanja. Rad se sastoji od izračunavanja proračuna stabiliteta teglenice prilikom dokovanja. Objašnjene su dvije metode izračuna poprečnog stabiliteta, te pomoću jedne od njih se izvršio proračun poprečnog stabiliteta nakon čega je uslijedio proračun uzdužnog stabiliteta teglenice. Dobiveni rezultati su prikazani računski, tablično i grafički.

Ključne riječi: plutajući dok, dokovanje, teglenica, poprečni stabilitet, uzdužni stabilitet.

## **Summary**

This paper contains informations about floating docks, what they are, what are the types of floating docks and explanation of the docking procedure of the floating docks. The paper contains the calculation on the stability of the barge during the docking procedure. There is an explanation of two methods for calculating the transverse stability of the vessel, one of those methods were used in this papre and after that was the calculation of longitudinal stability of the barge. The results are presented numerically, tabularly and graphically.

Key words: floating dock, docking, barge, transverse stability, longitudinal stability.