Upravljanje plutajućim dokom u specijalnim slučajevima dokovanja brodova

Chiole, Alvise

Doctoral thesis / Disertacija

2019

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:187:287151

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-19**

Image not found or type unknown *Repository / Repozitorij:*

Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository

UNIRI DIGITALNA KNJIŽNICA

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET

ALVISE CHIOLE

UPRAVLJANJE PLUTAJUĆIM DOKOM U SPECIJALNIM SLUČAJEVIMA DOKOVANJA BRODOVA

DOKTORSKA DISERTACIJA

RIJEKA, 2019.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET

ALVISE CHIOLE

UPRAVLJANJE PLUTAJUĆIM DOKOM U SPECIJALNIM SLUČAJEVIMA DOKOVANJA BRODOVA

DOKTORSKA DISERTACIJA

Mentor: dr. sc. Pavao Komadina, prof. emer.
Komentor: dr. sc. Robert Mohović, red. prof.

RIJEKA, 2019.

UNIVERSITY OF RIJEKA
FACULTY OF MARITIME STUDIES

ALVISE CHIOLE

FLOATING DOCK MANAGEMENT IN SPECIAL DRY-DOCKING CASES

DOCTORAL THESIS

RIJEKA, 2019

Mentor: dr. sc. Pavao Komadina, prof. emer.

Komentor: dr. sc. Robert Mohović, red. prof.

Doktorska disertacija obranjena je 5. rujna 2019. na Pomorskom fakultetu u Rijeci, pred Povjerenstvom za obranu u sastavu:

1. dr. sc. Renato Ivče, izv. prof. Pomorskog fakulteta u Rijeci, predsjednik

2. dr. sc. Igor Rudan, red. prof. Pomorskog fakulteta u Rijeci, član i

3. dr. sc. Toni Bielić, red. prof. Pomorskog odjela Sveučilišta u Zadru, član.

SAŽETAK

Ova doktorska disertacija na sveobuhvatan način obrađuje dokovanje brodova kao nezaobilaznu pomorsku aktivnost vezanu za sve vrste brodova, brodica, plovnih objekata i odobalnih tehničkih sredstava. Izrađena je na osnovi primjera iz prakse, na više od dvije tisuće dokovanja koja su sistematizirana, statistički obrađena, istražena i ograničena za brodove do 100 m duljine i deplasmana do 1500 t.

Osim povijesnog razvoja, obrađene su vrste dokova, s prednostima i nedostatcima u eksploataciji, tehnologija sidrenja plutajućeg doka, plan dokovanja, određivanje položaja broda u doku i priprema potklada za različite vrste brodova te poprečnog nagiba i trima.

Disertacija opisuje manevrirana uplovljavanja i isplovljavanja te privez brodova u doku pri različitim smjerovima vjetra i morske struje.

Posebna pažnja je posvećena stabilnosti doka i dokovanog broda ili brodova, kao i sustavu balastiranja bez kojeg bi dokovanje bilo neizvedivo na siguran način.

Najvažniji dio disertacije predstavljaju posebni slučajevi dokovanja, kao što su dokovanje nagnutog broda, trimovanog broda, dokovanje više brodova u uzdužnici doka, dokovanje više brodova izvan uzdužnice doka i djelomično dokovanje brodova.

Za sve navedene slučajeve dani su izračuni stabilnosti i prvi put u našoj literaturi, koja je vrlo rijetka i nedovoljna, izrađeni su konceptualni modeli upravljanja, koji prakticističkim pristupom vode sustav dokovanja na analitički način. Posljedica je brže dokovanje, popraćeno manjim štetama i većom sigurnošću imovine i ljudi prilikom dokovanja.

Posebno je obrađen slučaj djelomičnog dokovanja broda, čija je masa veća od nosivosti doka. Trimovanjem se stvara rezervni uzgon koji smanjuje težinu broda te je moguće dokovanje u hitnim slučajevima, npr. kvarova na vijcima ili kormilu broda.

Ključne riječi: vrste dokova, balastiranje dokova, centralne potklade, posebni slučajevi dokovanja, konceptualni modeli upravljanja dokovanjem.

SUMMARY

This thesis is a comprehensive study of ship docking, in the widest sense of the word, as an unavoidable maritime activity relating to all kinds of ships, watercrafts, floating crafts and off-shore installations. It has been based on examples from practice involving over two thousand dockings which have been systemized, statistically elaborated, closely studied, and limited to ships sized up to 100 m in length and up to 1500 t of displacement.

Apart from the history of development, all types of docks have been elaborated inclusive of their operational advantages and shortcomings, as well as the floating dock anchoring technology, docking plan, determination of vessel's position in dock and preparation of blocks for different types of vessels, their list and trim. The types of port entering and leaving manoeuvring as well as vessel mooring in floating dock subject to different winds and currents are also described. Particular attention has been given to the stability of docks and docked vessels and to the ballasting system without which no safe docking would be possible.

The most important part of the thesis deals with specific docking cases such as docking of a listed ship, trimmed ship, multiple docking alongside dock longitudinal, multiple docking off dock longitudinal, and partial docking of a ship.

Stability calculations have been made for each of the cases and for the first time in our national technical literature, which is sparse and insufficient, conceptual management models have been worked out which enable the docking system analytical management using an application-oriented approach. As a consequence, docking time is reduced, as well as damages, while safety of property and persons during drydocking is increased.

Particular attention has been given to partial drydocking of a ship exceeding in size the dry dock tonnage. Using ship trimming to produce spare buoyancy, the ship weight is reduced, thus enabling drydocking in cases of emergency such as propeller or rudder failures.

Key words: dock types, dock ballasting, central blocks, specific docking cases, dock management conceptual models.

SADRŽAJ

1. UVOD 1

1.1. Obrazloženje teme doktorske disertacije i definicija problema istraživanja 1

1.2. Ciljevi istraživanja, radne teze doktorske disertacije i hipoteza 2

1.3. Dosadašnja istraživanja 3

1.4. Prikaz metoda istraživanja 4

1.5. Struktura rada 4

2. POVIJESNI RAZVOJ I VRSTE DOKOVA 6

2.1. Povijesni razvoj 6

2.2. Vrste dokova 10

2.2.1. Suhi dokovi 10

2.2.2. Plutajući dokovi 14

2.3. Vrste plutajućih dokova 15

2.3.1. Nesimetrični ili dok "L" presjeka 16

2.3.2. Simetrični ili dok "U" presjeka 18

2.4. Vrste samodokujućih sekcijskih i pontonskih dokova 18

2.4.1. Sekcijski dok 18

2.4.2. Dok tipa Clark/Stanfield 19

2.4.3. Dok tipa Havana 20

2.4.4. Dok tipa Rennie 20

2.4.5. Dok s izvlačnim pontonima 21

2.5. Vrste simetričnih dokova s obzirom na način balastiranja 22

2.6. Čvrstoća plutajućeg doka 23

2.6.1. Uzdužna čvrstoća plutajućeg doka 23

2.6.2. Poprečna čvrstoća plutajućeg doka 27

2.7. Tehnologija sidrenja plutajućeg doka 28

3. POSTUPAK DOKOVANJA I IZDOKOVANJA BRODA 36

3.1. Plan dokovanja/izdokovanja 37

3.1.1. Vrste i dijelovi plana dokovanja 37

3.1.2. Sadržaj plana dokovanja *39*

3.2. Potklade i priprema potklada **40**

3.2.1. Vrste potklada *41*

3.2.2. Proračun centralnih potklada *44*

3.2.3. Proračun bočnih podupirača *45*

3.2.4. Priprema potklada za rad na kobilici *48*

3.2.5. Priprema potklada za posebno široke brodove *49*

3.2.6. Priprema potklada za jedrenjake *50*

3.2.7. Priprema potklada za katamarane *52*

3.3. Manevar uplovljavanja i isplovljavanja broda u/iz plutajućeg doka **53**

3.4. Balastiranje/debalastiranje plutajućeg doka **57**

3.4.1. Plovnost plutajućeg doka pri balastiranju *57*

3.4.2. Plan balastiranja/debalastiranja *59*

4. STABILNOST PLUTAJUĆEG DOKA PRI DOKOVANJU **62**

4.1. Stabilnost doka pri dokovanju broda **64**

4.1.1. Proračun stabilnosti za VLT – dok uronjen da bi brod mogao uploviti *71*

4.1.2. Proračun stabilnosti za VL1 – brod upravo naliježe na potklade *74*

4.1.3. Proračun stabilnosti za VL2 – brod je upravo potpuno izronio iz vode *75*

4.1.4. Proračun stabilnosti za VL3 – paluba doka neposredno pred izranjanje iz vode *77*

4.1.5. Proračun stabilnosti za VL'3 – paluba doka neposredno nakon izranjanja iz vode *79*

4.1.6. Proračun stabilnosti za VL4 – dok je izronio do planiranog gaza tijekom boravka broda u doku *80*

4.1.7. Proračun stabilnosti za VL0 – dok je izronjen do uobičajene vodene linije za prazan dok *82*

4.1.8. Uzdužna stabilnost doka pri dokovanju *82*

4.2. Stabilnost broda pri dokovanju **86**

4.2.1. Poprečna stabilnost broda pri dokovanju *86*

4.2.2. Uzdužna stabilnost broda pri dokovanju 89

5. KONCEPTUALNI MODELI UPRAVLJANJA DOKOVANJEM I IZDOKOVANJEM BRODOVA U PLUTAJUĆEM DOKU 90

5.1. Konceptualni model upravljanja općim slučajevima dokovanja i izdokovanja broda (jedan brod, φ = 0, Ψ = 0) 93

5.1.1. Osnovni konceptualni model općeg slučaja dokovanja 94

5.1.2. Opći konceptualni model postupka izdokovanja 97

5.2. Posebni slučajevi dokovanja i konceptualni modeli upravljanja dokovanjem 99

5.2.1. Dokovanje brodova s bočnim nagibom 111

5.2.2. Dokovanje trimovanog broda 119

5.2.3. Dokovanje dvaju ili više brodova u uzdužnici doka 129

5.2.4. Dokovanje više brodova izvan uzdužnice 142

5.2.5. Dokovanje samo jednog kraja broda − djelomično dokovanje broda 151

6. ZAKLJUČAK 159

LITERATURA 161

POPIS TABLICA 171

POPIS SLIKA 172

POPIS GRAFIKONA 175

1. UVOD

U Uvodu doktorske disertacije obrazložena je tema rada i definiran problem istraživanja, opisani su ciljevi istraživanja i radne teze. Također su opisane znanstvene metode koje su korištene pri izradi rada i istraživanja te su navedena dosadašnja istraživanja. Posebno je obrazložena struktura rada i sadržaj pojedinog poglavlja.

1.1. Obrazloženje teme doktorske disertacije i definicija problema istraživanja

Osnovna tema doktorske disertacije je upravljanje plutajućim dokom pri posebnim slučajevima dokovanja te analiza i modeliranje procesa dokovanja/izdokovanja. Naime, u eksploataciji se često javlja potreba za hitnim dokovanjima broda u posebnim stanjima, posebno oštećenih brodova, koji zbog toga mogu biti i djelomično nakrcani, mogu imati poprečni i uzdužni nagib, mogu biti veće težine od kapaciteta doka i sl. Posebni slučajevi dokovanja javljaju se i iz potrebe ekonomičnosti eksploatacije dokova, pa se istovremeno može dokovati više manjih brodova u uzdužnici doka, te dva ili više brodova izvan uzdužnice doka.

Predmet istraživanja su čimbenici koji utječu na sigurnost posebnih, tehnološki zahtjevnijih slučajeva dokovanja te prosudba njihovog međudjelovanja. Pritom se istražuje upravljanje dokovanjem nagnutog broda, trimovanog broda, dokovanje više brodova u uzdužnici, dokovanje dvaju brodova izvan uzdužnice doka te djelomično dokovanje. Nadalje se istražuju manji simetrični plutajući dokovi s bočnim tornjevima tipa "U" za koje se pretpostavlja da čvrstoća takvih dokova ne predstavlja ograničenje ukoliko se koriste u skladu s uobičajenim postupcima dokovanja/izdokovanja, te ako se dokuju brodovi veličine i deplasmana koji odgovara dimenzijama i kapacitetu plutajućeg doka. Druge vrste plutajućih dokova opisuju se samo načelno u okviru povijesnih i općih razmatranja.

Samo dokovanje brodova je složen proces, a dokovanje broda u nekim posebnim slučajevima je zahtjevnije te povezano s većim rizikom. Kako ne bi došlo do oštećenja doka i dokovanog broda, odnosno kako bi se smanjio rizik postupka dokovanja/izdokovanja broda, potrebno je istražiti i analizirati specifične slučajeve dokovanja posebno s obzirom na stabilnost doka i broda. Prije dokovanja potrebno je izraditi proračune uzdužnih i bočnih potklada, sastaviti planove dokovanja/izdokovanja, te balastiranja/debalstiranja doka. Navedeno je posebno značajno za specifične slučajeve dokovanja, što je predmet istraživanja u ovoj doktorskoj disertaciji.

Nakon što su analizirani i definirani pojedinačni utjecaji na stupanj sigurnosti dokovanja/izdokovanja brodova, razmatrana je njihova međuovisnost, te su temeljem provedenog istraživanja predloženi konceptualni modeli koji u praksi dokovanja omogućuju pravilnu provedbu postupka. Ovako postavljeni konceptualni modeli omogućavaju donošenje pravilnih odluka, kako pri uobičajenom načinu dokovanja, tako i u specifičnim slučajevima dokovanja.

1.2. Ciljevi istraživanja, radne teze doktorske disertacije i hipoteza

Osnovni cilj doktorske disertacije je definiranje konceptualnih modela posebnih, tehnološki zahtjevnih slučaja dokovanja u plutajućem doku i postavljanje algoritama odlučivanja tijekom dokovanja. Cilj rada je definiranje algoritama odlučivanja radi izbora tehnologije, potrebne opreme i odgovarajućih postupaka radi postizanja sigurnosti i izbjegavanja oštećenja doka i broda pri dokovanju. U tu svrhu analiziraju se svi čimbenici koji utječu na upravljanje dokom, a komparativnom analizom definira se veličina i način djelovanja. Izrada konceptualnih modela omogućava i povećanje stupnja sigurnosti eksploatacije plutajućeg doka, te posljedično smanjenje rizika postupka. Također, definirani konceptualni modeli mogu poslužiti optimizaciji postupka dokovanja brodova, a korištenjem ovakvih modela u konkretnim slučajevima dobiva se ekspertni sustav odlučivanja pri upravljanju dokovanjem/izdokovanjem pojedinog broda.

Osim navedenog osnovnog cilja rada, dodatni ciljevi su: definiranje djelovanja pojedinih osnovnih čimbenika, prosudba njihove veličina i međudjelovanja, a sve u cilju sigurne eksploatacije plutajućeg doka u slučajevima tehnološki specifičnih dokovanja.

Kako bi se dostigli zadani ciljevi, valja razmotriti sve utjecajne čimbenike pojedinačno, te ih potom postaviti u odnos prema cjelokupnom sustavu dokovanja/ izdokovanja brodova. U tu svrhu postavljene su sljedeće radne teze:

- dokovanje/izdokovanje brodova je složen proces koji treba biti striktno upravljan, a dokovanja brodova u posebnim slučajevima je zahtjevnije i povezano s većim rizikom, te ovom segmentu dokovanja/izdokovanja brodova treba pristupiti detaljnije;
- posebni, tehnološki zahtjevniji slučajevi dokovanja kao što su dokovanje nagnutog broda, trimovanog broda, dokovanje više brodova u uzdužnici, dokovanje dvaju brodova izvan uzdužnice doka, te djelomično dokovanje se međusobno razlikuju, stoga se svaki slučaj treba istražiti zasebno;
- složenost procesa dokovanje/izdokovanje brodova u posebnim slučajevima zahtijeva definiranje algoritama odlučivanja kako bi se osiguralo upravljanje koje će rezultirati primjerenim stupnjem sigurnosti pri dokovanju, odnosno izdokovanju brodova.

Imajući u vidu navedeno može se postaviti istraživačka hipoteza: Stupanj sigurnosti pri posebnim slučajevima dokovanja može se unaprijediti i optimizirati korištenjem metoda upravljanja temeljenim na algoritmima odlučivanja prikazanim kroz konceptualne modele uključujući sve utjecajne čimbenike.

1.3. Dosadašnja istraživanja

Područje istraživanja doktorske disertacije obrađeno je u stručnoj literaturi, a uglavnom tretira pojedinačne probleme tematike istraživanja.

Stručna literatura i znanstveni radovi iz područja brodogradnje obrađuju tehničke aspekte i konstrukciju plutajućih dokova, tehnička rješenja gradnje te proračune plovnosti, čvrstoće i stabilnosti. Literatura opisuje i rješava isključivo brodograđevne aspekte plutajućih dokova.

Posebno je značajan veliki broj literature ruskih autora koji obrađuju tematiku projektiranja gradnje i eksploatacije plutajućih dokova.

Aleksandrov, M. N. u knjizi *Sudovanje ustrojstva*, opisuje postupke i načela gradnje i opremanja brodova i dokova.

Blagoveščenski, S. N. i ostali u djelu *Spravočnik po statike i dinamike korablja*, iznosi analizu stabilnosti plovnih objekata, brodova i plutajućih dokova.

Vojtkunskij, J. I. i ostali u djelu *Spravočnik po teorii korablja,* iznosi osnove čvrstoće i stabilnosti brodova, a kao poseban slučaj plutajućeg doka

Muru, N. P. u udžbeniku *Plavučesti i pstojčivosti sudova*, bavi se teorijom plovnosti broda, a sažeto obuhvaća plutajuće dokove.

Simakov, G. V. i ostali u knjizi *Teoretičeskie i eksperimentalnyie is sledovanija izajmodejstnija sudov s pogoabami*, istražuje stabilnost i čvrstoću brodova u slučajevima raznih havarija. Manji dio je posvećen plutajućim dokovima.

Talijanski autori, među kojima su značajniji Sarchiola B. i Periani P., u djelima *Baccini di Carenaggio* i *Progettazione ed esecuzione delle opere marittime* opisuju uobičajeni postupak dokovanja jednog broda, analizirajući čvrstoću i stabilnost doka i broda.

O modelima upravljanja dokovanjem plutajućim dokovima postoji vrlo malo literature.

Posebno je oskudna literatura i radovi iz područja upravljanja dokovanjem za posebno tehnološki zahtjevnije slučajeve dokovanja.

U ovom radu definiraju se modeli upravljanja dokovanjem za specifične slučajeve s ciljem sigurne eksploatacije plutajućeg doka.

U priručniku *Dockmasters Training Manual* (Heger Drydock Inc., 2005.) opisane su vrste plutajućih i suhih dokova, obilježja i rukovanje navozima i "travel liftovima." Opisuje se uobičajeni postupak dokovanja i izdokovanja, izrada planova dokovanja, postavljanje potklada, postupci balastiranja i debalastiranja te potrebne svjedodžbe i dokumentacija.

U knjizi *Design of Marine Facilities for the Berthing, Mooring and Repair of Vessels* (John W. Gaythwaite, Van Nostrand Reinhold, New York, 2011.) opisana je

oprema vezova, lučke infrastrukture, projektiranje luka i lučke opreme. Dva poglavlja su posvećena suhim i plutajućim dokovima i navozima.

U raznim radovima o suhim i plutajućim dokovima, autori iznose tehničku problematiku projektiranja, održavanja dokova i remonta brodova u suhim i plutajućim dokovima. Primjeri radova::

- Crandall, P. S., *Dockmasters Manual*, Crandall Dry Docks Engineering, Dedham, 1992.,
- Mazurkiewicz, B. K., *Design and Construction of Dry Docks*, Trans Tech Publications, Clausthal, Germany, 2007.,
- House, D. J., *Dry Docking and Shipboard Maintenance*, A Guide for Industry,Witherby & Co. Ltd., London, 2003.,
- Caridis, P., *Inspection repair and maintenance of ship structures*, Whiterby & Co. Ltd., London, 2001.

1.4. Prikaz metoda istraživanja

Pravilan pristup problemu istraživanja i postizanja postavljenog cilja moguć je pravilnim izborom metode istraživanja. Iznesena problematika ovog rada istražuje se interdisciplinarno, interakcijskim povezivanjem i korištenjem više znanstvenih disciplina za prikupljanje potrebnih podataka. Pri izradi disertacije korištena je metoda klasifikacije, a problematika je opisana i iznesena deskriptivnom metodom.

Prilikom izrade rada i istraživanja problema, pojedine znanstvene metode su međusobno nadopunjene i isprepletene. Za analizu i proučavanje dobivenih podataka korištene su statističke metode, a naročito metode ispitivanja korelacije. Za definiranje pojedinih fizikalnih odnosa korištene su matematičke metode.

Analizirane odnose i korelacije te funkcionalne ovisnosti nastojalo se prikazati grafičkim metodama.

Relevantni čimbenici koji utječu na postupak dokovanja i izdokovanja međusobno su analizirani. Definiran je utjecaj i djelovanje na sigurnost dokovanja i izdokovanja. Korištena je metoda modeliranja za izradu konceptualnih modela upravljanja dokovanjem i izdokovanjem, posebno za specijalne slučajeve dokovanja.

1.5. Struktura rada

Doktorska disertacija sastoji se od uvoda, te pet poglavlja i zaključka.

Uvod obuhvaća obrazloženje teme i definiciju problema istraživanja, opis ciljeva istraživanja, navode se dosadašnja istraživanja iz tog područja i znanstvene metode koje su korištene te se prikazuje struktura rada.

U drugom poglavlju prikazuje se povijesni razvoj i vrste dokova. Enciklopedijski su analizirane vrste suhih dokova i tehnologija rada. Detaljno se iznosi podjela plutajućih dokova, posebno simetričnih dokova tipa "U" presjeka, analizira se upravljanje dokovanjem za pojedinu vrstu doka, s posebnim osvrtom na prednosti i nedostatke, i razmatra se postupak dokovanja i izdokovanja broda. Također se analizira čvrstoća i tehnologija sidrenja plutajućeg doka.

U trećem poglavlju analizira se postupak dokovanja i izdokovanja broda. U praksi je dokazano da oko 90 % šteta pri dokovanju i boravku broda u doku nastaje zbog nepravilnog postavljanja broda u doku, a naročito zbog pogrešaka u pripremi potklada i proračuna opterećenja potklada. Problem je posebno značajan u slučaju specifičnih slučajeva dokovanja. Nadalje, razmatra se izrada planova dokovanja za posebne slučajeve dokovanja i planove opterećenja pri balastiranju. Analiziraju se vrste potklada, proračun centralnih potklada, bočnih podupirača, priprema potklada za rad na kobilici, za posebno široke brodove, za jedrenjake i katamarane. Također je opisan manevar uplovljavanja i isplovljavanja broda u/iz plutajućeg doka.

U četvrtom poglavlju analizira se stabilnost plutajućeg doka pri dokovanju. Definirana je stabilnost doka na karakterističnim vodenim linijama, kao i poprečna stabilnost dokovanog broda.

U petom poglavlju definirani su konceptualni modeli upravljanja dokovanjem i izdokovanjem broda. Razmatraju se osnovni konceptualni modeli općeg slučaja dokovanja i izdokovanja, te konceptualni model definiranja vrsta dokovanja, određivanja postupka dokovanja i postupka pozicioniranja broda. Posebno su analizirani konceptualni modeli posegnih slučajeva dokovanja, i to dokovanja nagnutog broda, trimovanog broda, više brodova u uzdužnici doka, dokovanja broda van uzdužnice broda i djelomično dokovanje.

U zaključnom šestom poglavlju izneseni su zaključci istraživanja dobiveni modeliranjem, znanstveni doprinos i primjene rezultata. Osim toga ukazuje se na probleme koje bi trebalo istražiti.

Na kraju rada dan je popis korištene literature, popis slika, grafikona, tabela i dijagrama tokova.

2. POVIJESNI RAZVOJ I VRSTE DOKOVA

U ovom poglavlju opisan je kratki povijesni razvoj svih plutajućih dokova od prvih početaka u Grčkoj i Egiptu, te Kini, Skandinaviji i Arsenalu u Veneciji do današnjih dana.

Ukratko su opisane vrste i princip rada svih dokova. Plutajući dokovi su detaljnije opisani, posebno vrste dokova i tehnologija rada. Posebna pažnja posvećena je simetričnim plutajućim dokovima (tip "U").

Ukratko su iznesene osnove uzdužne i poprečne čvrstoće plutajućeg doka. U posebnom poglavlju opisuje se tehnologija sidrenja plutajućeg doka s prikazima geometrije fleksibilne lančanice.

2.1. Povijesni razvoj

Prema pisanju starogrčkog pisca i gramatičara Athenaeus iz Naucratisa (2. st. p. n. e.) u bizantskoj enciklopediji "Suda" tehnologija dokovanja bila je poznata u Egiptu u doba Ptolomeja IV. Philopatora (221. - 204. p. n. e.). Athenaus je opisao dokovanje u knjizi koja predstavlja enciklopediju i leksikon s preko 30.000 opisanih pojmova.[1]

Na ideju plutajućeg doka došla je grupa pomorskih kapetana s Baltika, koji su odsjekli krmu starog broda „Camel" te krmeni dio zatvorili vratima. Skinuli su svu opremu tako da su punjenjem i pražnjenjem balasta mogli podizati i spuštati brod, slijedom toga je manji brod koji bi ušao preko krme ostao na suhome te se mogao popraviti. Ta posebna vrsta plutajućeg doka patentirana je 1785. god.[2]

U Kini za vrijeme dinastije Song (oko 1040. god.) znanstvenik Shen Kuo (1031. - 1095.) u djelu *Esej knjige snova* opisuje postupak dokovanja dviju carskih galija. U blizini jezera koje je bilo spojeno s morem iskopan je bazen i prolaz do jezera koje je napunjeno vodom. Uvedeni su brodovi, zatrpan je prolaz, a voda ispumpana vijčanim pumpama te su brodovi ostali na suhom. Nakon popravka brodova ponovno je prokopan prolaz, puštena voda te su brodovi ponovno zaplivali.[3]

Sličan se način dokovanja koristio i u Europi. Poznati su ostaci primitivnog suhog doka u Becholmenu u okolici Stockholma (Slika 1).[4]

1 Fabro, E., Carmina Convivalia Attica, Istituti editoriali e poligrafici internazionali, Roma, 1995., str. 79.

2 Babić, L., Pomorski objekti u betonu, Epoha, Beograd, 1968., str. 361.

3 Ebrey, P., The Cambridge Ilustrated History of China, Cambridge University Press, London, 1999., str.125.

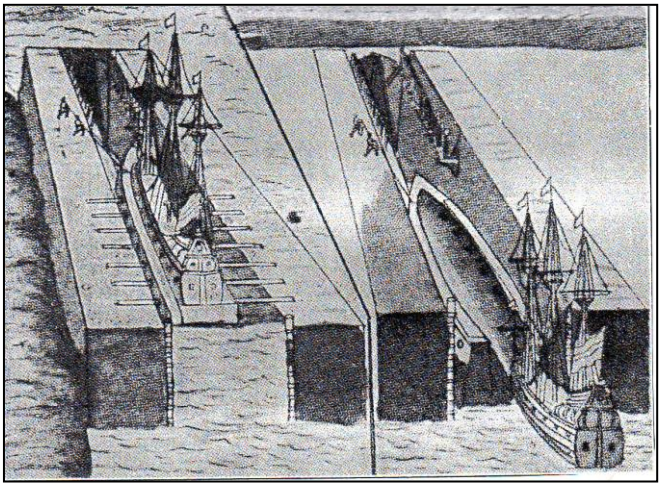
4 Levande I., Stocholm, 1993., str.25.



Slika 1. Suhi dok u Becholmenu u okolici Stockholma

Izvor: Levande, Stockholm, 1993., str. 25.

U djelu *Riparazione di navi* A. Cornell prikazuje princip dokovanja u suhom doku pomoću pontona, zbog nemogućnosti stvaranja nepropusnosti na vratima.[5]



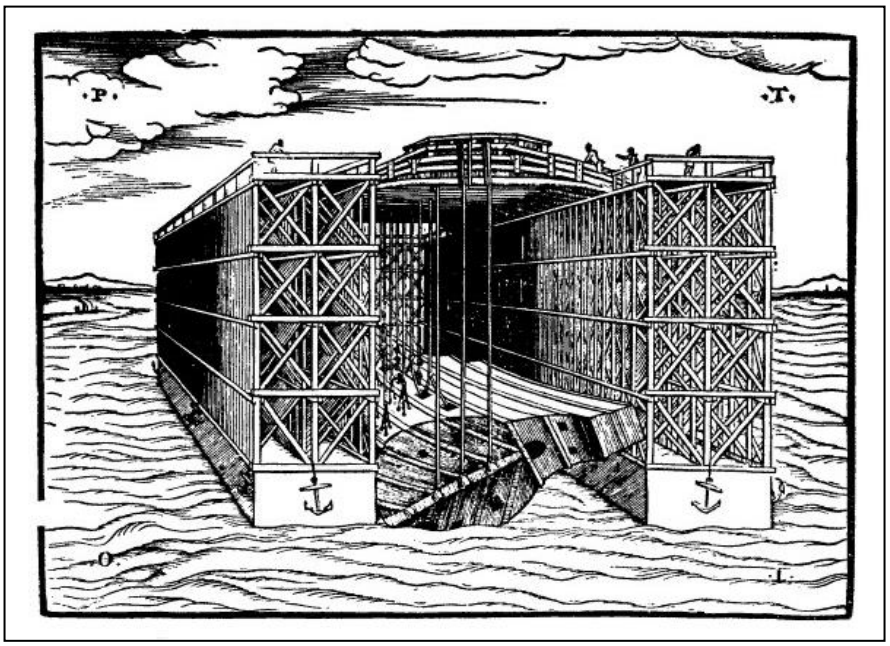
Slika 2. Princip dokovanja u suhom doku pomoću pontona

Izvor: Cornell, A.: Navi, Biblioteca *Marciana*, Venezia, 1697., str. 91.

Prvi opis plutajućeg doka nalazi se u knjižici nepoznatog autora *Descritione dell¨ Artifitiosa Machina* izdane u Veneciji 1560. god. U knjizi se opisuje oštećeni i nagnuti brod između dvaju plutajućih pontona, koji se pomoću uzgona i kolotura postavlja u uspravan položaj radi popravka (Slika 3).[6]

[5] Cornel A., Navi, Biblioteca *Marciana*, Venezia, 1697., str.91.

[6] Sarton, G., Floating Docks in the Sixteenth Century, Isis, 1946., str.153.



Slika 3. Plutajući dok u Veneciji 1560. godina

Izvor: Sarton, G; Floating Docks in the Sixteenth Century, Isis, 1946., str. 153.

Gradnju prvog doka u Europi naručio je engleski kralj Henry VII. u Portsmouthu 1495. god. (Slika 4).[7]



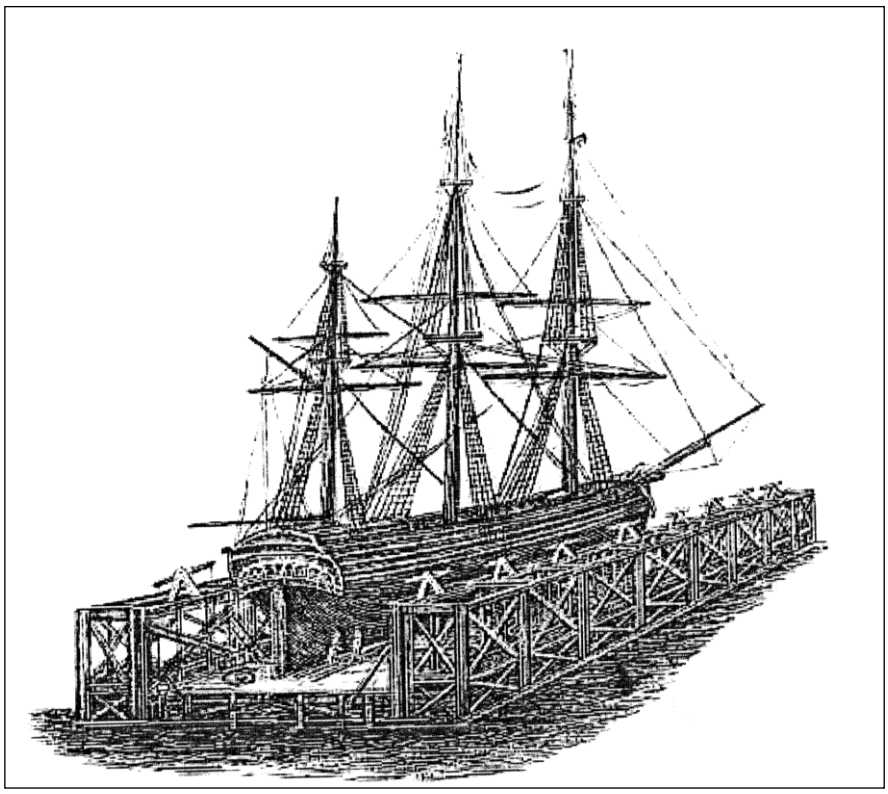
Slika 4. Suhi dok u Portsmouthu

Izvor: Sarton, G.: Floating Docks in the Sixteenth Century, Isis, 1946., str. 157.

Zanimljivo je da je američki predsjednik Abraham Lincoln prijavio 1849. god. u patentnom uredu u Washingtonu svoj patent plutajućeg doka. Lincolnov patent je koristio bočne tankove koji su punjenjem i pražnjenjem podizali i spuštali brod.

[7] Ibidem, str. 157.

Godine 1150 osnovano je u Veneciji poznato brodogradilište *Arsenale* u kojemu su postojala tri drvena plutajuća doka. U njima su se gradile i popravljale mletačke galije za Križarske ratove (Slika 5).[8]



Slika 5. Drveni plutajući dok u brodogradilištu *Arsenale* u Veneciji

Izvor: Coronell: Riparazioni di navi, 1991.

Tokom 17. i 18. st. grade se drveni plutajući dokovi, kasnije željezni odnosno čelični, a u 20 st. posebno u Sovjetskom Savezu, armiranobetonski.

Najveći suhi dok na svijetu nalazi se u brodogradilištu *Harland and Wolf Heavy Industries* u Belfastu, u kome je sagrađen poznati brod *Titanic*. Drugi po veličini se nalazi u *Saint Nazaire Chantiers de L¨Atlantique* u St. Nazareu. Najveći plutajući dok nalazi se u Monacu, a ima dimenzije 354 x 44 x 19 m.[9]

[8] Coronell, A., op.cit., str.91.

[9] House, D., Drydocking and Shipboard Maintenance, Whiterby & Co. Ltd., London, 2003., str.152.

2.2. Vrste dokova

Dok je plovni objekt ili bazen u brodogradilištu ili luci za podizanje brodova iz vode ili stavljanja na suho radi čišćenja, bojanja, popravka i gradnje novih brodova.[10]

Dokovi se prema načinu gradnje i pokretnosti dijele na suhe dokove i plutajuće (plovne) dokove.

2.2.1. Suhi dokovi

Suhi dok je betonski bazen s vratima iz kojeg se može iscrpsti voda tako da se u njemu brod postavi na suho i izvedu potrebni radovi ili gradnja novog broda.

Suhi dok se sastoji od bazena, vrata i uređaja za plavljenje i crpljenje vode.

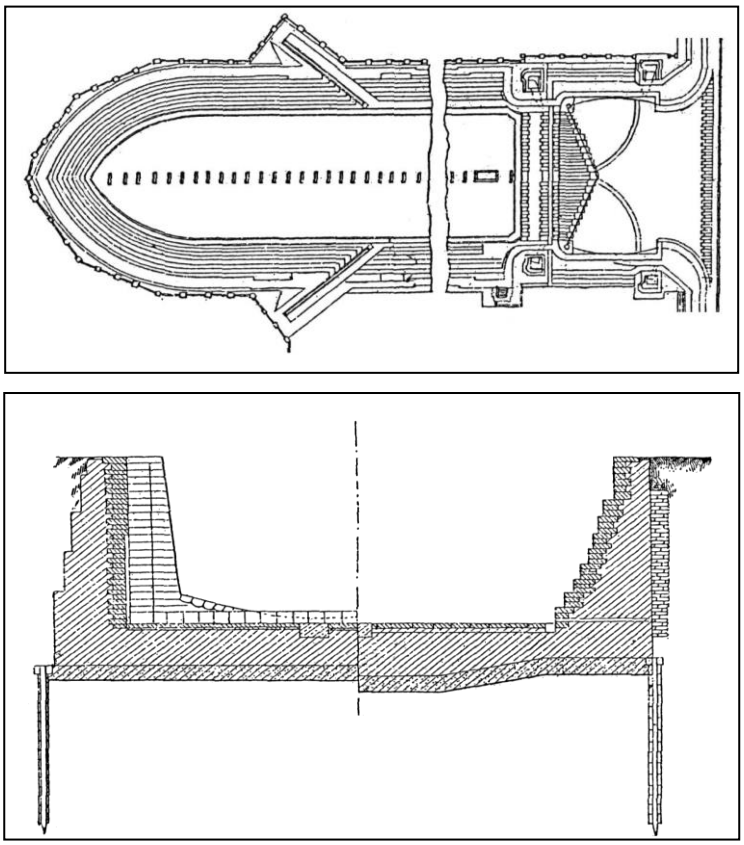
Suhi dokovi imaju znatne prednosti. Među značajnijim je da suhi dok ne ovisi značajno o vremenskim prilikama za obavljanja operacija dokovanja. Na mjestu doka nije potrebna tolika dubina. Dovoljna je dubina za gaz broda i temelj doka, dok je za plutajući dok potrebno dubinu gaza broda uvećati za visinu pontona doka i visinu potklada. Suhi dokovi imaju manje troškove održavanja i traju gotovo neograničeno. Vijek trajanja plutajućeg doka je približno 50 godina.

Uvjeti rada na suhom doku lakši su nego na plutajućem, posebno dovoz materijala i opreme potrebne za rad.

Najznačajniji nedostatak suhog doka je puno veća cijena i trajanje gradnje. Suhi dok je 3 - 4 puta skuplji od plutajućeg. Značajni nedostatak je veća potrošnja energije za ispumpavanje vode iz bazena, posebno u slučaju kad brod ne iskorištava kapacitet bazena. Suhi dok se ne prilagođava svojstvima broda, posebno to vrijedi za oštećene i nagnute brodove.

Suhi dokovi se dijele na dokove za popravak brodova i dokove za gradnju brodova. Bazen doka za popravak brodova je trapeznog oblika, a doka za gradnju brodova pravokutnog. Tlocrt je pravokutnog oblika sa zaobljenjem prema pramcu tako da slijedi formu broda (Slika 6).

[10] Dok, Pomorska enciklopedija, sv. 2, Jugoslavenski leksikografski zavod *Miroslav Krleža*, Zagreb, 1989., str.219.

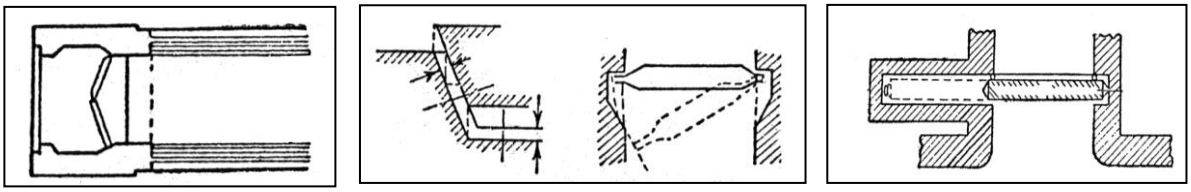


Slika 6. Suhi dok (tlocrt i poprečni presjek)

Izvor: Periani, P.: Progetazione ed edecuzione delle opere maritime, Hoepli, Milano, 2001., str. 76.

Na dijelu koji je u dodiru s morem nalazi se prostor s vratima. Postoje dokovi koji imaju dvoja vrata, po jedna na oba kraja doka.[11] Suhi dokovi obično imaju još jedna vrata, koja se mogu postaviti uzdužno po doku na nekoliko položaja, tako da se može najbolje iskoristiti kapacitet doka. Na takvim je dokovima manevriranje brodom pri ulasku i izlasku znatno jednostavnije i lakše te se često koriste u područjima velikih amplituda morskih mijena. Klizna vrata imaju prednost brzog otvaranja i zatvaranja.

Najviše se primjenjuju plovna vrata trapeznog ili pravokutnog oblika (Slika 7).



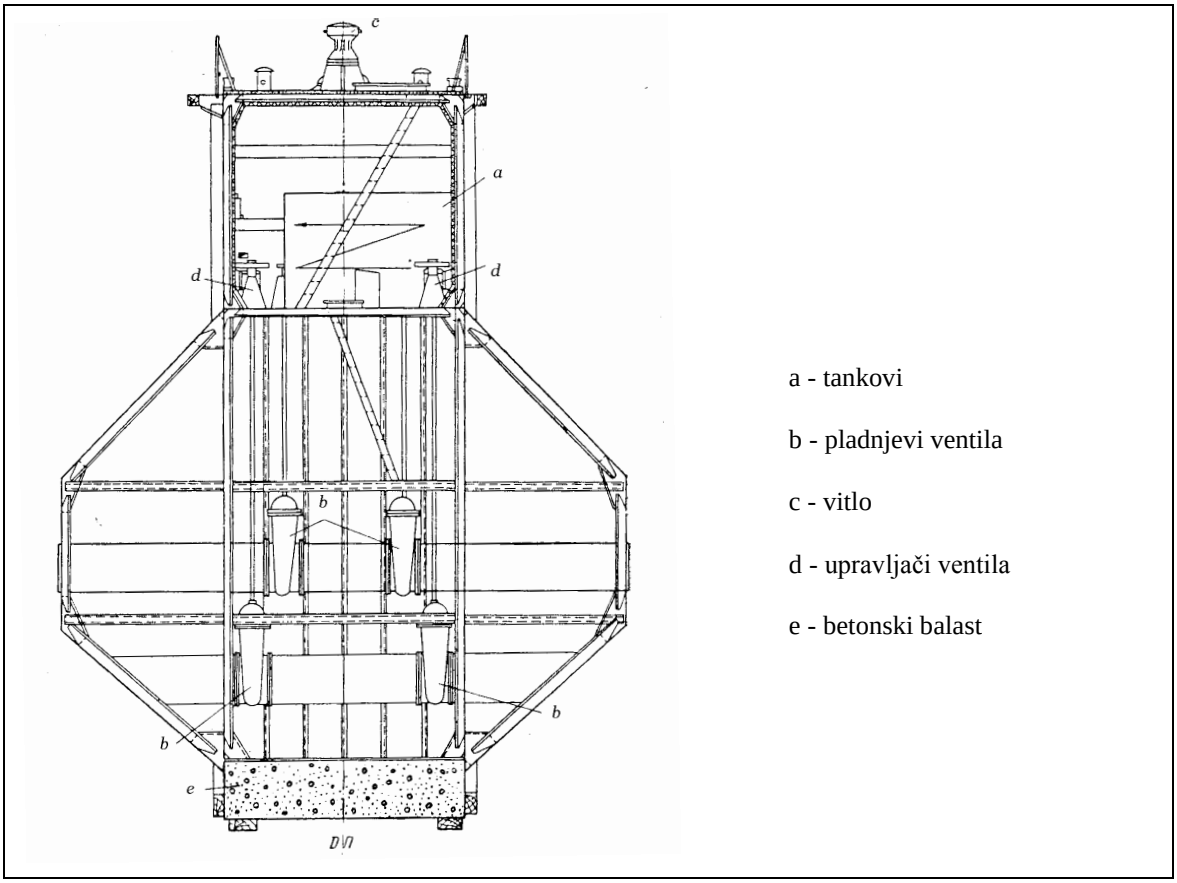
a) okretna krilna vrata b) plutajuća vrata c) klizna vrata

Slika 7. Vrste vrata suhog doka

Izvor: Pavlov, P.: Eksploatacija dokova, Transport, Moskva, 1968., str. 9.

[11] Periani, P., Progetazione ed esecuzione delle opere marittime, Hoepli, Milano, 2001., str, 76.

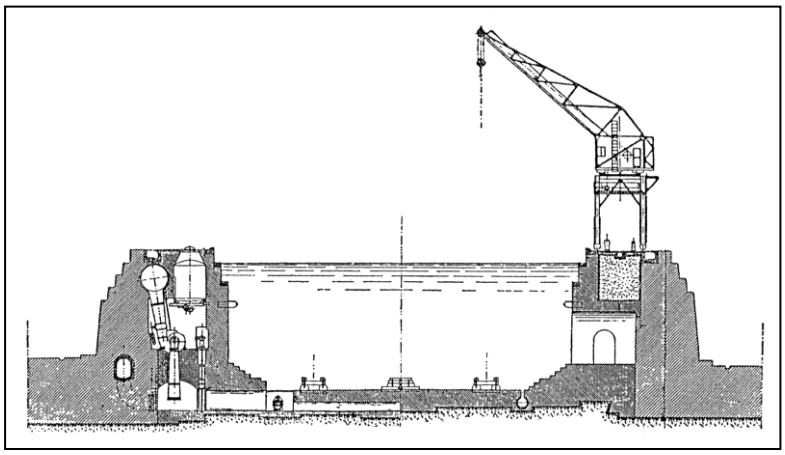
Po obodu vrata se nalazi drvena brtva, lojne pletenice ili posebne tvrde gume, izvedene tako da prianja u utor na ulazu bazena. Djelovanjem hidrostatskog pritiska vode, vrata pritišću o utor na ulazu u dok te time sprečavaju prodor vode. Čelična vrata horizontalno su podijeljena na nekoliko nepropusnih prostora. Na dnu donjeg prostora nalazi se kruti balast, koji daje potrebnu stabilnost vratima. Između donje nepropusne pregrade i gornje nepropusne pregrade nalaze se balastni tankovi. Iznad gornje nepropusne pregrade nalaze se tankovi za uravnoteženje. Vrata završavaju s manevarskom platformom, iz koje se upravlja vratima, a služi kao most za prijelaz s jedne strane doka na drugu (Slika 8).



Slika 8. Plutajuća vrata

Izvor: Pavlov, P.: Eksploatacija dokova, Transport, Moskva, 1968., str. 6.

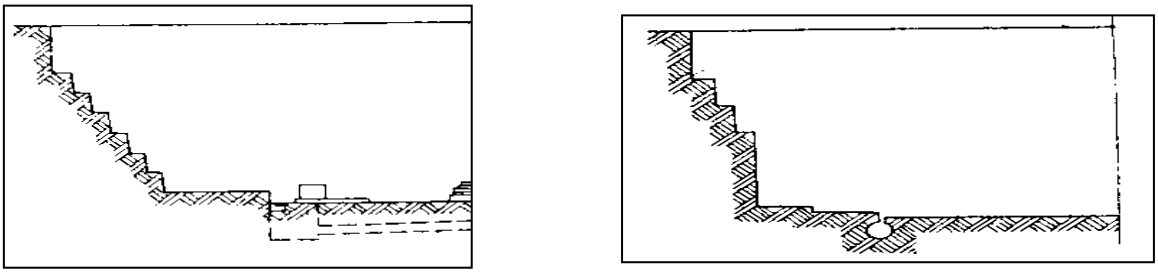
Dno bazena suhog doka je konkavno ili konveksno nagiba od približno 2 - 3 % radi dreniranja vode. U slučaju konveksnog dna voda se sakuplja u centralnom kanalu, a u slučaju konkavnog u dva bočna. Dno bazena je također nagnuto i prema vratima za približno 5 - 8 % radi istjecanja vode. Taj nagib pogoduje (olakšava) dokovanje, jer brod obično ulazi u dok zatežan.



Slika 9. Oprema suhog doka

Izvor: Karnauhov, T.: Eksploatacija dokova, Transport, Moskva, 1998., str. 101.

Na bokovima doka se nalaze betonske stepenice, na kojima se oslanjaju grede za podupiranje broda. Prema broju redova stepenica, suhi dokovi se dijele na francuski i engleski tip (Slika 10).



a) engleski tip doka b) francuski tip doka

Slika 10. Francuski i engleski tip doka

Izvor: Denisov, N.: Dokovi i eksploatacija, Transport, Moskva, 1985., str. 89.

Francuski tip suhog doka ima dva do tri reda stepenica, a engleski tip više redova. Više se primjenjuje francuski tip jer je prilagodljiviji obliku broda i ima mnogo manji volumen pa je pri dokovanju potrebno iscrpiti manje vode.

Sustav uređaja za punjenje i pražnjenje doka sastoji se od odvodnih kanala koji završavaju u zdencu ugrađenom u bok doka. Voda se iz zdenca isisava jakim centrifugalnim sisaljkama vertikalne ili horizontalne izvedbe pokretane danas isključivo elektromotorima.

Za isisavanje vode, koja zbog nepotpune nepropusnosti vrata ulazi u bazen, postoje posebne centrifugalne sisaljke manjeg kapaciteta (sustav za posušivanje).

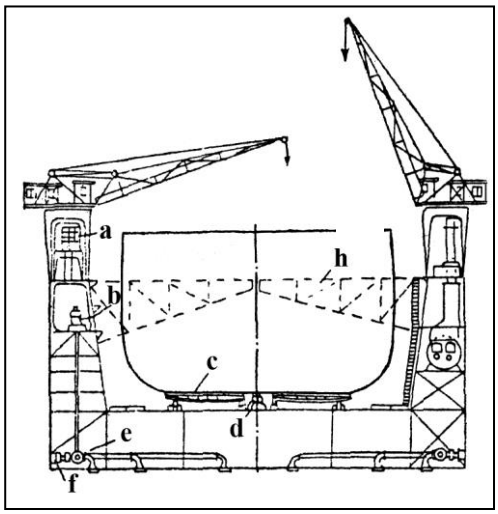
Bazen se plavi preko posebnog sustava kanala za plavljenje. Preko istog sustava kanala kojim se puni ili preko zasuna na vratima. Najčešće se puni preko sustava kanala za pražnjenje radi smanjivanja troškova gradnje. Plavljenje preko vrata se manje koristi, jer voda pada s velike visine te oštećuje beton doka.

2.2.2. Plutajući dokovi

Plutajući dok je plovni objekt posebna oblika koji se plavljenjem svojih nepropusnih odjela može spustiti ispod razine vode tako da u njega može ući brod. Kad se zatim iz odjela izbaci voda dok se uzdigne i digne brod.[12]

Prednosti plutajućeg doka su jeftinija, jednostavnija te brža gradnja. Bolji su uvjeti rada, održavanja i popravljanja. Velika je prednost da se po potrebi može otegliti i preseliti u drugu luku.

Među većim nedostacima plutajućih dokova su skuplji i složeniji transport materijala na dok i veća potrebna dubina uokolo doka. Održavanje plutajućeg doka znatno je skuplje u odnosu na suhi dok. U plutajućim dokovima se mogu dokovati brodovi duži od duljine doka tako da pramčani ili krmeni dio broda strši preko palube doka. Jednostavno se mogu dokovati nagnuti brodovi, kao i brodovi s velikim razlikama gazova na pramcu i krmi (pretega-zatega) nastalih uslijed raznih oštećenja. Glavni dijelovi plutajućeg doka su centralni keson ili ponton, često zvan i paluba doka, bočni tankovi ili tornjevi, sustav za plavljenje i ispumpavanje vode i oprema doka (Slika 11).



Slika 11. Oprema plutajućeg doka

Izvor: Smirnov, G.: Luke i lučka infrastruktura, Moskva, 1984., str. 115.

Ponton doka je uzdužno i poprečno podijeljen pregradama koje stvaraju sustav tankova, slično brodskom dvostrukom dnu. Centralni ponton i bočni tornjevi moraju imati dovoljni volumen za stvaranje uzgona koji će dignuti dok i brod na njemu. Na pontonu odnosno palubi nalaze se centralne (d) i bočne potklade (c), na kojima leži brod. Određeni broj bočnih potklada je podesivo (klizne potklade), a namještaju se ručno ili hidraulički. Bočni tankovi ili tornjevi mogu biti paralelopipednog ili trapeznog oblika koji omogućuju stabilnost pri uronjavanju i izranjanju doka. Tornjevi su također kao i centralni ponton

[12] Pomorska enciklopedija, op. cit., str. 220.

podijeljeni uzdužnim i poprečnim pregradama tvoreći tako sustav tankova. Na vrhu tornjeva nalaze se upravljački most (a) iz kojih se kontroliraju svi sustavi plutajućeg doka. Tornjevi su međusobno povezani pokretnim mostovima (h) stepenica te uzdužnim i poprečnim stepenicama radi kretanja radnika prilikom remonta.

Uređaj za plavljenje i drenažu doka sastoji se od pumpi (b), cjevovoda (f), ventila i sustava za upravljanje. Sisaljke su centrifugalne na elektromotorni pogon. Sisaljka (e) je smještena na dno tornjeva, a elektromotor (b) odmah ispod palube tornjeva. Sekcijski dokovi imaju obično za svaku sekciju sisaljku s pogonom. Sisaljke su spojene s usisnim kolektorima, od kojih se granaju cjevovodi prema pojedinim tankovima. Cijelim se sustavom upravlja daljinski, s upravljačkog mosta (električno-hidraulički).

Osim glavnog drenažnog sustava postoji i manji za izbacivanje vode koja preostaje nakon isključivanja velikih sisaljki u tankovima (sustav za posušivanje tankova).

Ostalu opremu na doku čine cjevovodi za pitku vodu, komprimirani zrak, acetilen i kisik te vatrogasni cjevovod, kao i uređaji za sidrenje i privez. Dokovi imaju često autonomnu električnu centralu na dizelski motorni pogon.

2.3. Vrste plutajućih dokova

Plutajući dokovi mogu se podijeliti prema namjeni, obliku i strukturi gradnje, materijalu gradnje i autonomnosti.

Prema namjeni se plutajući dokovi dijele na dokove za velike remonte i remonte oštećenih brodova, dokove malih kapaciteta, transportne i specijalne dokove.

Dokovi za remont oštećenih brodova su pojačane konstrukcije, tako da mogu izdržati velika naprezanja strukture zbog neravnomjernog djelovanja težine doka i broda te uzgona.

Transportni dokovi se koriste za prijevoz brodova jezerima, rijekama i kanalima malih dubina. Ti dokovi imaju vlastiti pogon i energetski su autonomni i imaju niske potklade. Na tehnološkim osnovama transportnih dokova razvili su se suvremeni brodovi za prijevoz teških tereta (flo-flo tehnologijom). Specijalni dokovi se grade za dokovanje posebnih vrsta brodova kao što su podmornice, posebne vrste ratnih brodova, istraživački brodovi i sl.

Prema obliku i strukturi gradnje plutajući dokovi se dijele na nesimetrične ili dok "L" presjeka i simetrične ili dok "U" presjeka.

Ovisno o materijalu gradnje plutajući dokovi se mogu podijeliti na čelične, armiranobetonske i kompozitne.

U početku su se plivajući dokovi gradili od drva. Danas više ne postoje.

Većina postojećih dokova je čelična. Prednosti su brža i jednostavnija gradnja.

Udio čelika za gradnju se kreće od 30 do 50 % nosivosti doka.[13]

Za armiranobetonske dokove potrošnja čelika iznosi 250 - 300 kg/m^3 betona, a količina betona iznosi 35 do 60 % nosivosti. Armiranobetonski plivajući dokovi mogu se graditi kao monolitni ili sekcijski. Jeftiniji su od čeličnih i održavanje im je jeftinije. Nedostaci su im veće težine, a zbog toga i troškovi pogona.[14]

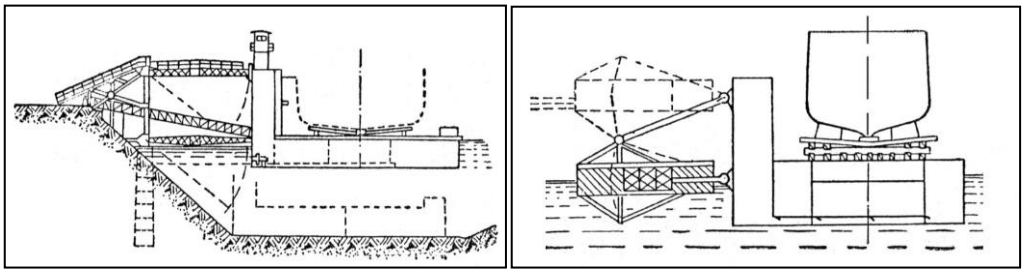
Kompozitni dokovi se grade s armiranobetonskim pontonima i čeličnim tornjevima ili čeličnim pontonima i armiranobetonskim tornjevima.

S obzirom na autonomnost plutajući dokovi se dijele na autonomne i neautonomne. Autonomni dokovi imaju vlastite dizelske generatore električne energije, kao i sustave za komprimirani zrak, acetilen, pitku vodu itd. Neautonomni dokovi imaju sve navedene sustave povezane s kopnom, pa su zbog toga troškovi eksploatacije značajnije manji.

2.3.1. Nesimetrični ili dok "L" presjeka

Nesimetrični ili "L" dokovi sastoje se od pontona i samo jednog bočnog tornja.

"L" dok u uronjenom stanju ima vrlo malu stabilnost, pa je zbog povećanja stabilnosti povezan s krajem zglobnim vezovima ili ima poseban ponton. Ponton za povećanje stabilnosti se balastira tako da održava plutajući dok u ravnoteži (Slika 12).



a) b)

Slika 12. Plutajući dok "L" tipa

Izvor: Pavlov, P.: Eksploatacija dokova, Transport, Moskva, 1968., str. 10.

Prednosti "L" dokova su jednostavniji manevar ulaska broda u dok zbog otvorene strane, lakša struktura te manji troškovi gradnje, lakša doprema materijala i prilaz ljudima.

Nedostaci "L" dokova su otežano preseljenje zbog sustava za uravnoteženje, a zbog toga zauzimaju i veći prostor.

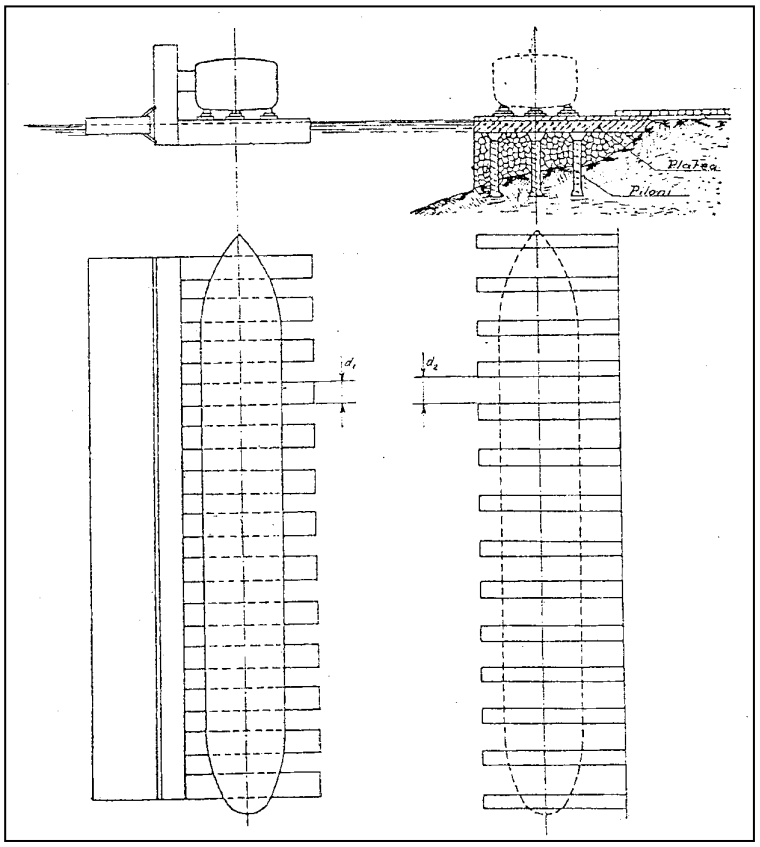
Posebnu vrstu "L" doka čini češljasti glavni pontonski dok.

[13] Aleksandrov, M. N., Sudovye ustrojstva, Leningrad, Sudostroenie, 2005., str. 105.

[14] Ibidem, str. 117.

2.3.1.1. Češljasti glavni pontonski dok

Češljasti pontonski dok[15] sastoji se od jednog vertikalnog tornja i pontona u obliku češlja koji se sastoji od horizontalnih tankova na odgovarajućoj udaljenosti. Dok ima bočnu platformu za uravnoteženje koja se sastoji od tankova odvojenih pregradama, tako da se mogu naplaviti i isprazniti pomoću centrifugalnih pumpi smještenih u tornju. Na horizontalnim pontonima (češljevima) nalaze se potklade (Slika 13).



Slika 13. Češljasti glavni pontonski dok

Izvor: Pressi, H.: Seewasserstranken und Seehafen, Munchen, 1982., str. 795.

Postupak dokovanja je sljedeći: naplave se češljasti pontoni doka, brod se smjesti na potklade te se pražnjenjem pontona brod digne izvan vode. Tada se dok s platformom za uravnoteženje dotegli uz obalu na kojoj su češljasta udubljenja u razmacima (d_2) malo većim od razmaka češljastih pontona doka (d_1).

Kad češljasti pontoni upadnu u odgovarajuće razmake na obali, dok se naplavi te brod ostane na potkladama na obali. Dok se izvuče i može koristiti za sljedeće dokovanje, a brod ostaje na potkladama na obali za vrijeme trajanja radova. Nakon završenih radova postupak izdokovanja je obrnut.

[15] Češljasti glavni pontonski dok se još naziva i „prijenosni dok“ ili „plutajući navoz“.

Prednosti češljastih pontonskih dokova su:

1. mogućnost dokovanja šireg broda od doka
2. dok nije zauzet za vrijeme radova
3. više prostora oko trupa broda
4. mogućnost bočnog postavljanja broda na potklade i
5. manja cijena koštanja.

2.3.2. Simetrični ili dok "U" presjeka

Simetrični dokovi se sastoje od pontona s potkladama i bočnih vertikalnih tornjeva. Zbog svoje konstrukcije simetrični dokovi imaju poprečni presjek u obliku slova "U". Simetrični dokovi se mogu podijeliti u dvije osnovne grupe, i to u monolitne i sekcijske (pontonske) koji se mogu samodokovati (samodokujući sekcijski pontonski dokovi).

2.3.2.1. Monolitni simetrični dok

Kod monolitnog simetričnog doka su horizontalni ponton i vertikalni tornjevi kruto spojeni i čine jedinstvenu cjelinu. Takav dok ima veliku uzdužnu i poprečnu čvrstoću, pa je dokovani brod uvijek ravnomjerno opterećen.

Veliki nedostatak monolitnih dokova je što se zbog redovitog održavanja moraju dokovati u drugim većim plutajućim ili suhim dokovima.

2.3.2.2. Samodokujući sekcijski i pontonski dokovi

U nastojanju da se smanje troškovi redovitog održavanja i popravka dokova razvile su se više vrsta samodokujućih dokova. Sve vrste rade na principu da se dio, tj. određena sekcija ili ponton mogu odvojiti i dokovati na samom doku.

Mogu se podijeliti na dvije osnovne grupe: samodokujući sekcijski i samodokujući pontonski dokovi.

2.4. Vrste samodokujućih sekcijskih i pontonskih dokova

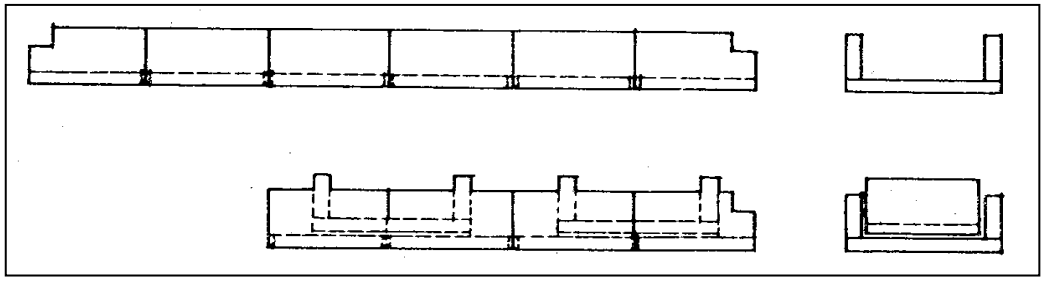
Vrste samodokujućih dokova su sekcijski dok i dok tipa *Clark/Stanfield*. Samodokujući pontonski dokovi su dok tipa *Havana* i dok tipa *Rennie*.

Posebna vrsta dokova su izvlačni pontonski dokovi.

2.4.1. Sekcijski dok

Sekcijski “boks” dok je poprečno podijeljen na više sekcija tako da duljina jedne sekcije bude malo manja od korisne širine doka, stoga se može samodokovati. Na taj način se sekcija po sekcija može odvojiti, dokovati i održavati (Slika 14). Sve sekcije su

povezane posebnim zavrtnjima iznad razine vode.



Slika 14. Sekcijski dok

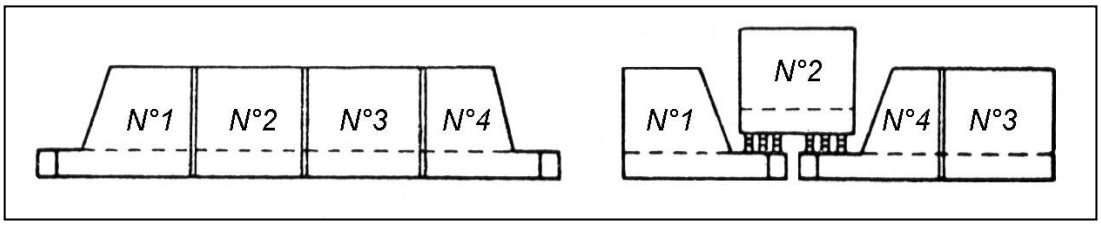
Izvor: Skica autora

Poseban je oprez potreban pri rastavljanju sekcija. Zato se koriste posebne naprave koje omogućuju simetrično otpuštanje zavrtaja, a time i ravnomjerna opterećenja. Sekcijski dok ima svoju manju uzdužnu čvrstoću pa se pri balastiranju koriste vizirne naprave, pomoću kojih se prati je li dok ravan bez iskrivljenja kako bi se kontroliralo ravnomjerno ispumpavanje tankova.

2.4.2. Dok tipa Clark/Stanfield

Dok tipa Clark/Stanfield spada u samodokujuće sekcijske dokove, sastavljen od triju sekcija. Sekcije su međusobno čvrsto spojene po poprečnom presjeku zavrtnjima. Tako se postiže velika uzdužna čvrstoća kao i kod monolitnog doka.

Pojedina sekcija se može odvojiti, tako da dvije sekcije mogu posebnim razmještajem dokovati jednu (Slika 15).



Slika 15. Plutajući dok tipa Clark/Stanfield

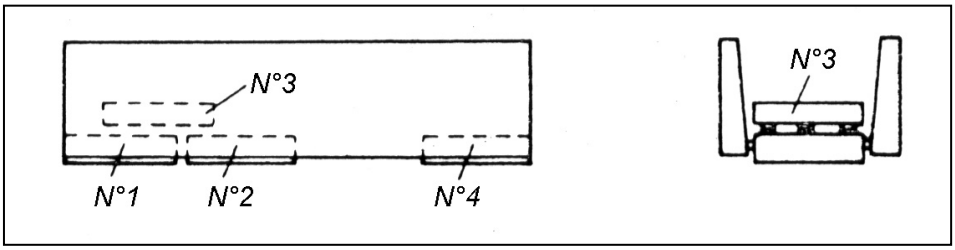
Izvor: Skica autora

Zbog velike uzdužne čvrstoće dokovi ovog tipa se grade za prihvat velikih brodova. Već 1924. god. je u Southamptonu izgrađen dok nosivosti 60 000 t.[16]

[16] Pevzner, L. B., Balošov, B. V., Tolčinskij, I. P., K rasčeti navala Plavučega doka na paly, Traly koordinacionyh sovšanij po gidrotehnike, Leningrad, 2005.., str. 55.

2.4.3. Dok tipa Havana

Dok tipa *Havana* spada u samodokujuće pontonske dokove (Slika 16).



Slika 16. Dok tipa *Havana*

Izvor: Skica autora

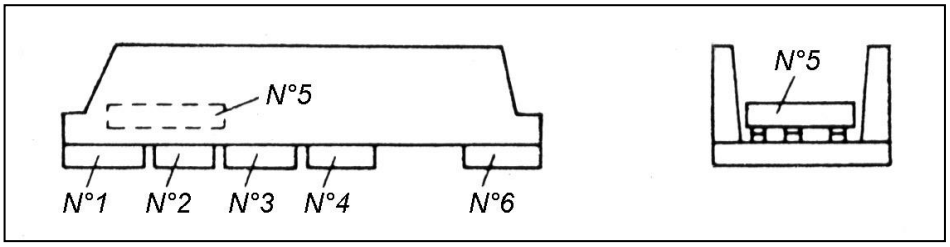
Bočni tornjevi idu neprekidno preko čitave dužine doka, a po visini do dna pontona. Ponton je podijeljen na više sekcija koje se nalaze između tornjeva i za njih su spojene zavrtnjima.

Širina pojedinih sekcija pontona nije veća od korisne širine doka, tako da se mogu odvojiti i uzdužno samodokovati. Dok tipa *Havana* ima nedostatak što se rastavljanje od tornjeva mora obavljati podvodno.

Taj tip doka ima veliku uzdužnu čvrstoću zbog neprekinutih tornjeva.[17]

2.4.4. Dok tipa Rennie

Dok se naziva po imenu njegova konstruktora. Pontonsko dno je podijeljeno u sekcije, a bočni tornjevi su također uzdužno neprekinuti. Razlika u odnosu na prethodni tip doka je što leže na pontonima. Sekcije pontona su pričvršćene za tornjeve vijcima (Slika 17).



Slika 17. Dok tipa *Rennie*

Izvor: Skica autora

Odvajanje pojedinih sekcija pontona vrlo je jednostavno. Dok se uroni tako da je paluba pontona iznad razine vode i odviju se vijci na prirubnicama. Tada se dok ponovno digne, tako da se odvojena sekcija-pontona može provući ispod bočnih tornjeva. Sekcija se zaokrene za 90 °, smjesti se uzdužno u dok i dokuje kao kod tipa *Havana*.

[17] Aleksandrov, M. N., op.cit., 98.

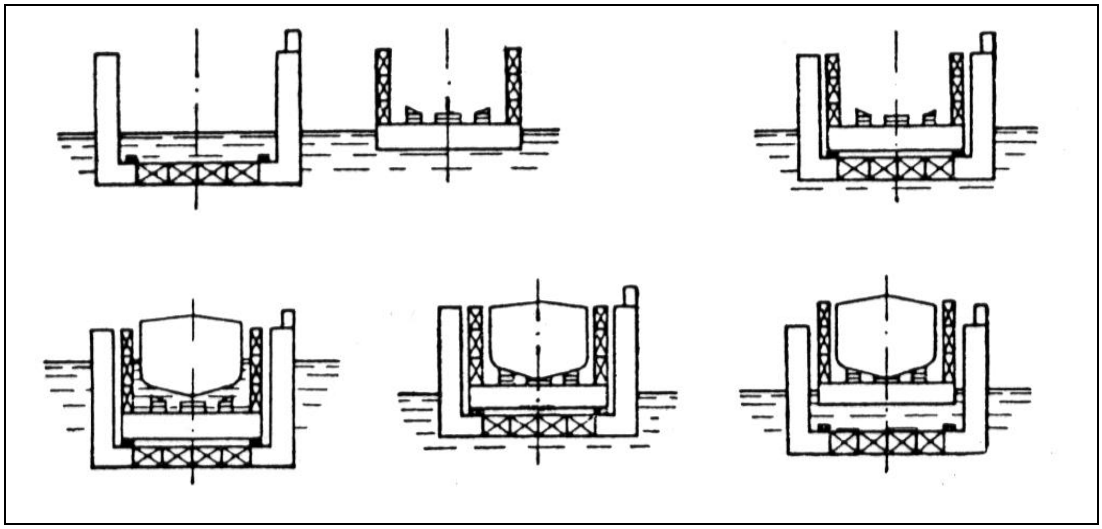
Prednost doka tipa *Rennie* je da se cijeli postupak odvajanja obavlja van mora. Bočni tornjevi su također van mora pa je njihovo održavanje jednostavno. Nedostatak tog tipa doka je manja visina bočnih tornjeva, zbog toga je manja uzdužna čvrstoća. Lošije se ponašaju na moru i ograničena je mogućnost tegljenja. Zbog jednostavnog odvajanja sekcija pontona grade se vrlo mnogo i to uglavnom za srednje nosivosti do 30 000 t.[18]

2.4.5. Dok s izvlačnim pontonima

Za vrijeme obavljanja remonta cijelo vrijeme je dok zauzet brodom, stoga se ne može koristiti za druga dokovanja. Da bi se povećala iskoristivost plutajućeg doka projektirani su dokovi s izvlačnim pontonima. Osim doka izgrađen je još jedan ili više pontona na kome se nalaze potklade za smještaj broda.

Izvlačni pontoni nemaju sustav za ispumpavanje već samo ventile za naplavljivanje i ispuštanje vode. Također, nema bočne tornjeve već samo rešetkastu konstrukciju koja daje potrebnu uzdužnu čvrstoću.

Postupak dokovanja započinje potapanjem pontonskog doka do potrebne dubine za smještaj broda. Pri potapanju ventili na pontonu su otvoreni tako da se on naplavljuje. Nakon toga počinje dizanje doka i pontona s brodom na njemu. Ventili na pontonu su otvoreni tako da voda istječe. Kad je ponton van vode, zatvore se ventili i dok se ponovno spusti tako da ponton zapliva s brodom na sebi (Slika 18).



Slika 18. Dok s izvlačnim pontonima

Izvor: Skica autora

Tada se ponton i brodo otegle na obalu brodogradilišta određenog za remont. U međuvremenu je dok slobodan za druga dokovanja.

Nedostaci dokova s izvlačnim pontonom su što zahtijevaju veći akvatorij zbog

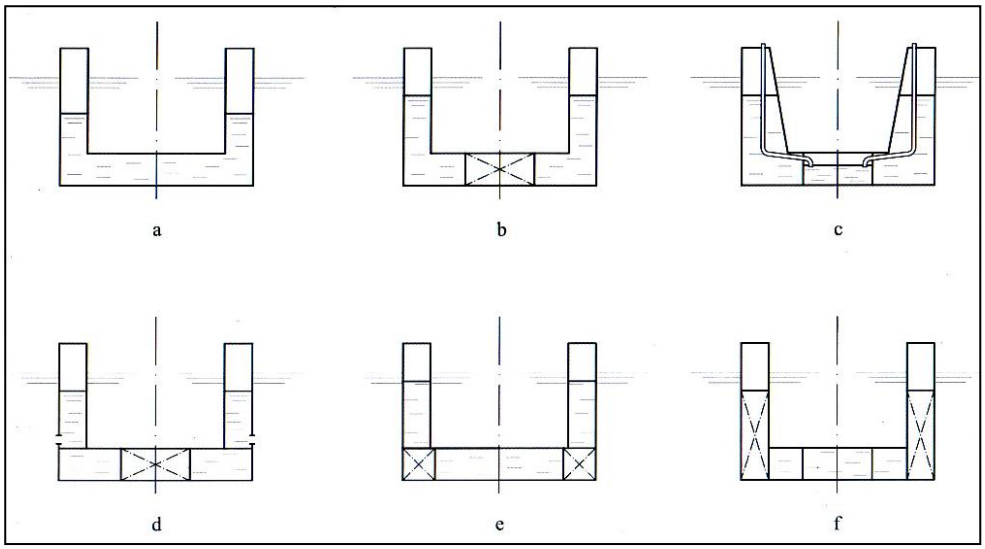
[18] Ibidem, str. 76.

manevriranja. Također je potrebna i veća dubina za visinu pontona i potklada. Za kratke remonte dokovanja izvlačno pontonsko dokovanje se ne isplati.[19]

2.5. Vrste simetričnih dokova s obzirom na način balastiranja

Radi održavanja dovoljne stabilnosti posebno kod uronjavanja i izronjavanja doka, ponton doka je uzdužnim i poprečnim pregradama podijeljen na više tankova. Podjela doka omogućuje i smanjenje vremena potrebnog za ispumpavanje.

U zavisnosti od načina balastiranja dokovi se dijele na dokove bez suhih tankova, dokove sa suhim tankovima i dokove sa samostalnim slivom (Slika 19).



Slika 19. Vrste dokova s obzirom na način balastiranja

Izvor: Skica autora

Najjednostavniju vrstu dokova čine dokovi s jednom uzdužnom pregradom (a). Za ispumpavanje je potreban veliki rad jer je potrebno savladati veliki stupac vode. Takav dok ima potrebnu stabilnost i grade se za manje kapacitete.

Dokovi sa više uzdužnih pregrada imaju veliku stabilnost (b) (c) i potreban je manji rad pri ispumpavanju vode. Zbog više razine vode (slika 19) između pregrada postoje suhi tankovi koji se nikad ne naplavljuju (d). Stabilnost doka je povećana zbog smanjenja slobodnih površina. Dok sa suhim tankovima se često koristi.

Dickoff je projektirao dok kojim je još više smanjio rad pri ispumpavanju vode. Ponton je podijeljen uzdužnim pregradama i odvojen od vertikalnih tornjeva spojenih izljevima s morem. Nedostatak je te vrste dokova što imaju malu stabilnost zbog slobodnih površina koje se javljaju u dvama tankovima (jedan iznad drugog) i neposredne veze tornjeva s morem.

[19] Pevzner, L. B., Balašov, B. V.,op.cit., str.105.

Poboljšanu vrstu doka projektirao je Flamm[20] (d) produžujući palubu pontona preko tornjeva te ih tako razdvajajući. Dok ima veliku stabilnost i potreban je mali rad pri ispumpavanju vode.

2.6. Čvrstoća plutajućeg doka

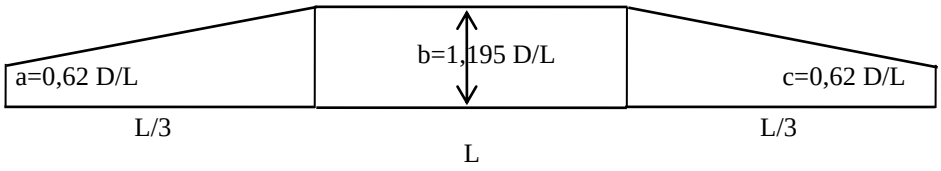
Čvrstoća je uz plovnost i stabilnost jedno od osnovnih svojstava plutajućih objekata. Problem čvrstoće dokova posebno dolazi do izražaja kod velikih dokova na kojima se dokuju veliki brodovi. Kod manjih plutajućih dokova s bočnim tornjevima tipa "U" kakvi se istražuju u ovoj disertaciji problem čvrstoće doka se u pravilu ne javlja. Naime, ukoliko se manji dokovi koriste u skladu s uobičajenim postupcima dokovanja/ izdokovanja, te ako se dokuju brodovi veličine i deplasmana koji odgovara dimenzijama i kapacitetu plutajućeg doka, njihova čvrstoća zadovoljava uobičajene zahtjeve sigurnosti uz dovoljan faktor sigurnosti.

Imajući u vidu navedeno, kako čvrstoća doka pri dokovanju nije u fokusu ovog istraživanja, u ovom poglavlju problem uzdužne i poprečne čvrstoće doka razmotrit će se samo načelno.

2.6.1. Uzdužna čvrstoća plutajućeg doka

Proračun uzdužne čvrstoće je vrlo složen jer brod na doku nije kruto tijelo i ima svoju uzdužnu čvrstoću. Međutim, u praktične svrhe pri dokovanju može se smatrati da dokovani brod nema uzdužne čvrstoće i računa se s približnim rasporedom težina.

Za približan proračun može se smatrati da opterećenje na potkladama na udaljenosti 2/3 duljine broda od pramca i krme iznosi 1,195 D/L , a na potkladama na pramcu i krmi 0,62 D/L.[21]



Grafikon 1. Približno opterećenje broda u doku

Izvor: Izradio autor

[20] Oswald Flamm (1861.-1935.), njemački profesor brodogradnje na Tehničkom fakultetu u Hamburgu, poznat po projektiranju podmornica.

[21] Sarchiola, G., Baccini di carenaggio, Instituto navale, Genova, 1949., str. 45.

Dijagram uzdužnog opterećenja doka sastoji se iz sljedećih elemenata (Grafikon 2):

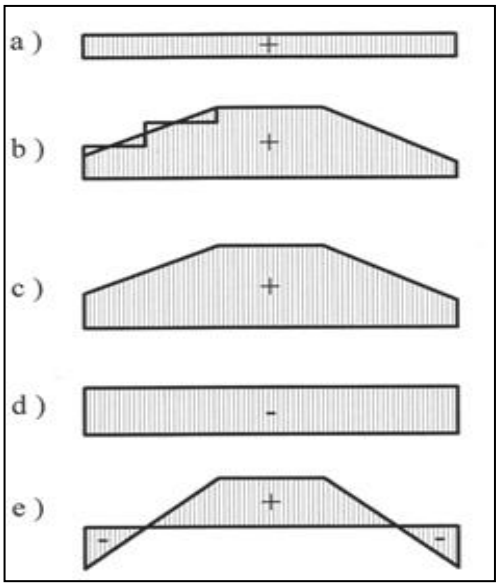
a) Vlastita težina doka i opreme. Radi pojednostavljenja smatra se da je jednoliko raspoređena po duljini.

b) Težina vode u balastnim tankovima doka. Treba računati na nejednoliko crpljenje vode tako da razlika razine vode u pramčanim i krmenim tankovima iznosi približno 30 % pa u sredini doka nastaje veće opterećenje.

c) Težina broda (prema aproksimaciji).

d) Uzgon doka i broda.

e) Ukupno opterećenje doka , tj. e = a + b + c - d .



Grafikon 2. Uzdužno opterećenja doka

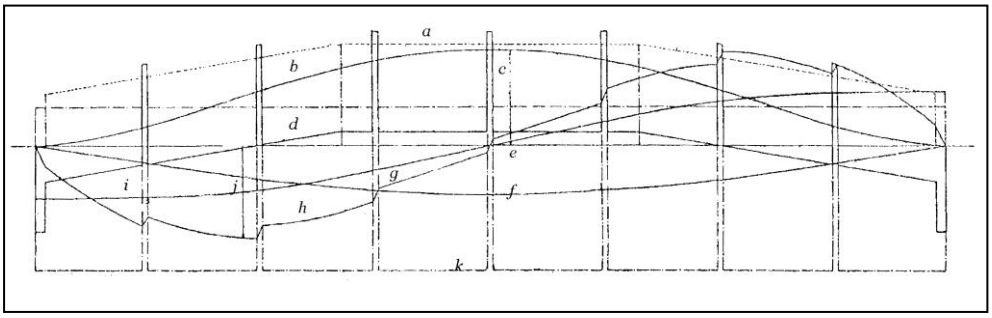
Izvor: Izradio autor

Proračun uzdužne čvrstoće se najjednostavnije izvodi grafički . U određenom mjerilu (1 cm = x cm) nanese se duljina doka kao apscisa (Grafikon 3).

Na ordinatu se redom ucrtavaju:

- krivulja težine broda i krivulja težine doka (1 cm = y kN)
- krivulja uzgona se nanosi ispod apscise, kao negativna ordinata (1 cm = y kN)
- krivulja opterećenja se dobiva kao razlika krivulje težine broda i doka u odnosu na krivulju uzgona
- krivulja poprečnih sila dobiva se integriranjem krivulje opterećenja (1 cm = x kN)

- krivulja momenata savijanja dobiva se integriranjem krivulje poprečnih sila (1 cm = kN/m) .



Grafikon 3. Grafički proračun uzdužne čvrstoće

Izvor: Izradio autor

Iz krivulje momenata savijanja i krivulja poprečnih sila mogu se interpretirati maksimalni moment savijanja i maksimalna poprečna sila.[22]

Osnovni element uzdužne čvrstoće plutajućeg doka čine tornjevi, dok pontoni, posebno kod sekcijskih dokova imaju značajno manji utjecaj.

U praksi dokovanja određivanje momenata otpora odgovarajućih sekcija je jednostavan i brz način provjere uzdužne čvrstoće.

Moment otpora „W“ odgovarajuće sekcije tornja dobije se dijeljeći moment inercije sekcije „I“ i udaljenosti do neutralne osi (d). Odstupanje referentne od neutralne osi, moment inercije s obzirom na referentnu os, te momenata inercije u odnosu na neutralnu os može se odrediti sljedećim izrazima:

$$\Delta = \frac{\sum sd}{\sum s}(m),$$

gdje su:

Δ — odstupanje referentne od neutralne osi (m)

$\sum Sd$ — suma momenata sekcija (m^3)

$\sum S$ — suma površina sekcija (m^2),

$$Ix = \sum Sd^2 + \sum i$$

gdje su:

Ix — moment inercije s obzirom na referentnu os (m^4)

$\sum Sd^2$ — suma momenata inercije sekcija (m^4)

$\sum i$ — suma vlastitih momenata inercije (m^4).

[22] Uršić, J., Stabilitet broda 1. i 2., Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1964., str. 72.

$$Iu = Ix - \sum S \Delta^2$$

gdje su:

Iu — moment inercije s obzirom na neutralnu os (m^4)

Ix — moment inercije s obzirom na referentnu os (m^4)

$\sum S$ — suma površina sekcija (m^2)

Δ —odstupanje referentne od neutralne osi (m).

Momenti otpora W_1 i W_2 gornjih i donjih tornjeva s obzirom na neutralnu os, dobiju se dijeljenjem momenta inercije (tromosti) Iu s udaljenostima Z_1' i Z_2' (Slika 20).

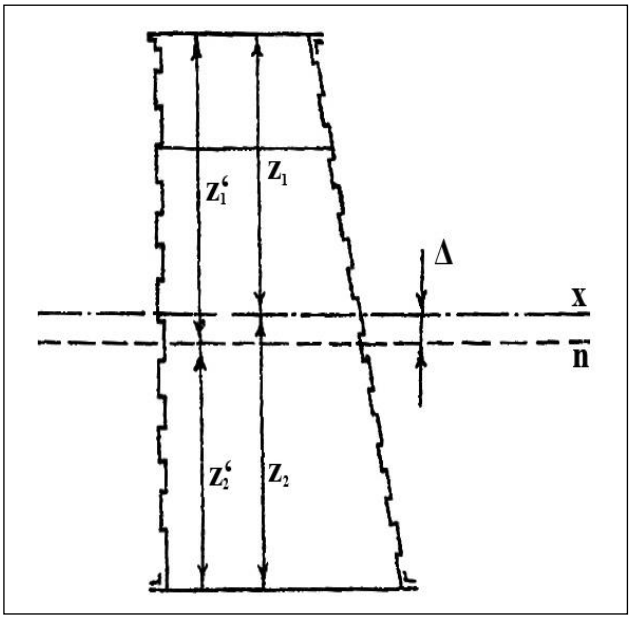
$$W_1 = Iu/ Z_1' \qquad W_2 = Iu/ Z_2'$$

gdje su:

W_1 i W_2 — momenti otpora (m^3)

Iu —moment inercije (m^4)

Z_1 i Z_2 —udaljenosti do neutralne osi (m).



Slika 20. Momenti otpora tornjeva doka

Izvor: Izradio autor

Maksimalno naprezanje strukture palube i dna tankova definiraju Navierove jednadžbe:

$$\delta_1 = \frac{M_{s\max}}{W_2} \qquad\qquad \delta_2 = \frac{M_{s\max}}{W_1}$$

gdje su:

δ_1 i δ_2 — najveća naprezanja palube i dna tornjeva (kN/m^2)

Ms — najveći moment savijanja (kNm)

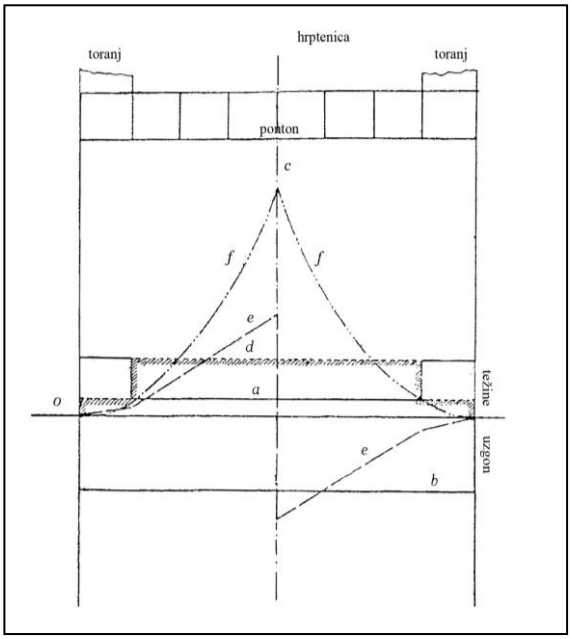
W_1 i W_2 — momenti otpora (m^3).

Proračun maksimalnog naprezanja strukture tornjeva se obvezno izvodi u slučaju dokovanja više brodova po uzdužnici doka, u slučaju dokovanja trimovanog broda, broda s teretom, te u slučaju da je dok bez jednog pontona koji se samodokuje.

2.6.2. Poprečna čvrstoća plutajućeg doka

Provjera poprečne čvrstoće doka značajnija je od uzdužne jer se pravilnim balastiranjem i debalastiranjem može izbjeći preveliko naprezanje strukture doka i broda.

Moment savijanja i poprečnih sila određuje se jednostavno grafički u određenom mjerilu (Grafikon 4). Na apscisu se nanosi poprečni presjek doka, a na ordinatu krivulje težina doka i broda, krivulja uzgona ispod apscise, te krivulja opterećenja.



Grafikon 4. Poprečna čvrstoća plutajućeg doka

Izvor: Izradio autor

Integriranjem krivulja opterećenja dobiva se krivulja poprečnih sila, a integriranjem te krivulje dobiva se krivulja momenata savijanja.

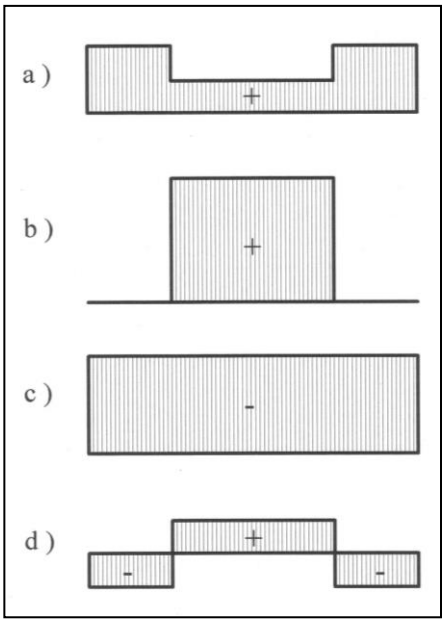
Dijagram poprečnog opterećenja doka sastoji se od (Grafikon 5):

a) težine doka, opreme i balastne vode (kN)

b) težine broda (kN)

c) sile uzgona doka (kN)

d) ukupnog opterećenja doka (kN).



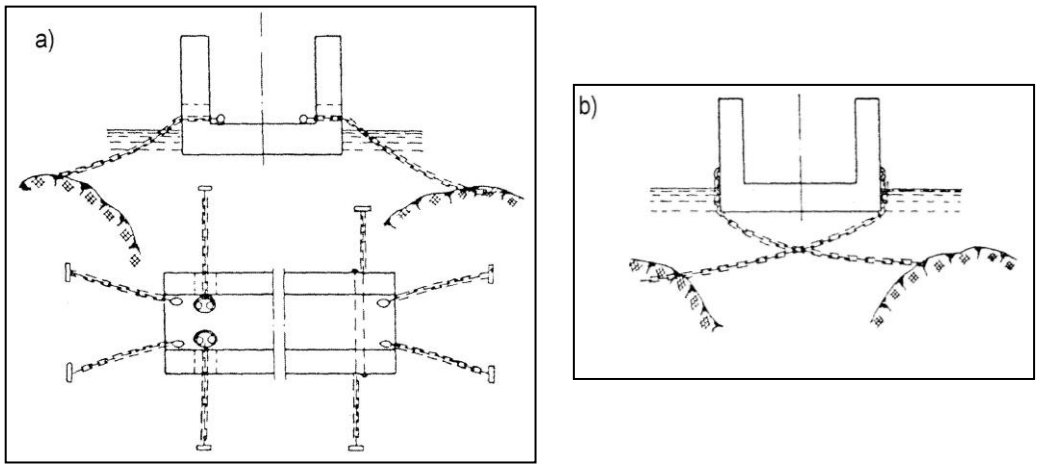
Grafikon 5. Poprečno opterećenje doka

Izvor: Izradio autor

2.7. Tehnologija sidrenja plutajućeg doka

Položaj plutajućih dokova u prostoru može se osigurati na više načina. Pritom se može koristi sustav sidrenja, prihvat doka na vertikalne stupove (pilote) pobodene u dno, prihvat doka uz obalu korištenjem zglobnih greda i dodatnih bočnih sidrenih lanaca. Vrlo često se primjenjuje i kombinacija navedenih sustava.

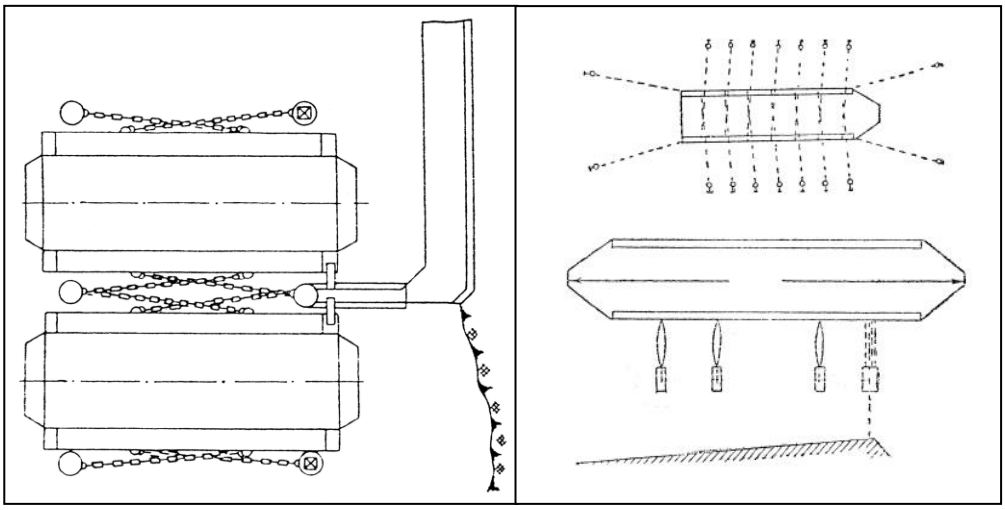
Ukoliko se položaj plutajućih dokova u prostoru osigurava sustavom sidrenja, što je najčešće, sidrenje plutajućeg doka može se izvesti bočnim ili ukriženim sidrenim lancima. Prvi način zahtijeva jednostavniji manevar sidrenja doka, manje troškova, ali je potreban znatno veći akvatorij. Drugi način, ukrižano polaganje sidrenih lanaca zahtijeva složeniji manevar sidrenja i veće troškove. Prednosti su manje dimenzije akvatorija, mogućnost sidrenja uz obalu i slobodan pristup uz dok, te mogućnost sidrenja doka uz dok.



Slika 21. Osnovne metode polaganja sidrenih lanaca

Izvor: Izradio autor

Na plutajućem doku izvedene su točke zahvata sidrenih lanaca. Kutovi djelovanja i duljina ispusta sidrenih lanaca ovise o prevladavajućem smjeru i veličini sila iz okruženja (sile vjetra, valova, morskih struja, utjecaja kretanja brodova i dr.).



Slika 22. Načini smještaja doka uz operativnu obalu

Izvor: Izradio autor

Sustavi sidrenja sastoje se uobičajeno od sidrenih lanaca i spojne opreme te neke vrste "sidra". Pritom se mogu koristiti brodska ili specijalizirana sidra, betonski sidreni blokovi ili neki od načina fiksne točke priveza na dnu (dobivaju se pobijanjem namjenskih naprava u dno).

Sustav sidrenja koji se primjenjuje treba zadovoljite u pogledu vanjskih sila koje na određenoj mikrolokaciji mogu djelovati na sustav dok-brod. Navedeno se odnosi na prekidnu čvrstoću sidrenih lanaca i spojnih elemenata, ali i na silu zadržavanja sidrenih elemenata. Pri dimenzioniranju sustava sidrenja valja uzeti u obzir i dovoljan faktor sigurnosti.

Pri sidrenju plovnih objekata, sustav sidrenja odnosno djelovanje sidrenih lanaca razmatra se kroz geometriju fleksibilne lančanice. Prihvaćanjem doka sidrenim lancima na sidrene elemente one se suprotstavljaju rezultantnoj sili koja predstavlja skup svih vanjskih djelovanja na sustav dok-brod, a koja plutajući dok nastoji pomaknuti iz trenutnog položaja.

Da bi se odredila pravilna duljina i težina sidrenog lanca koja zajedno sa sidrenom elementom mora izdržati silu *H*, uz aproksimaciju da je težina lanca po dužnom metru njegove horizontalne projekcije uvijek jednaka, sidreni lanac analizira se kao fleksibilna lančanica.[23] Jednadžba fleksibilne lančanice može se pisati kao:

$$H\ y - V_B\ x - \frac{q\ x^2}{2} = 0\ ,$$

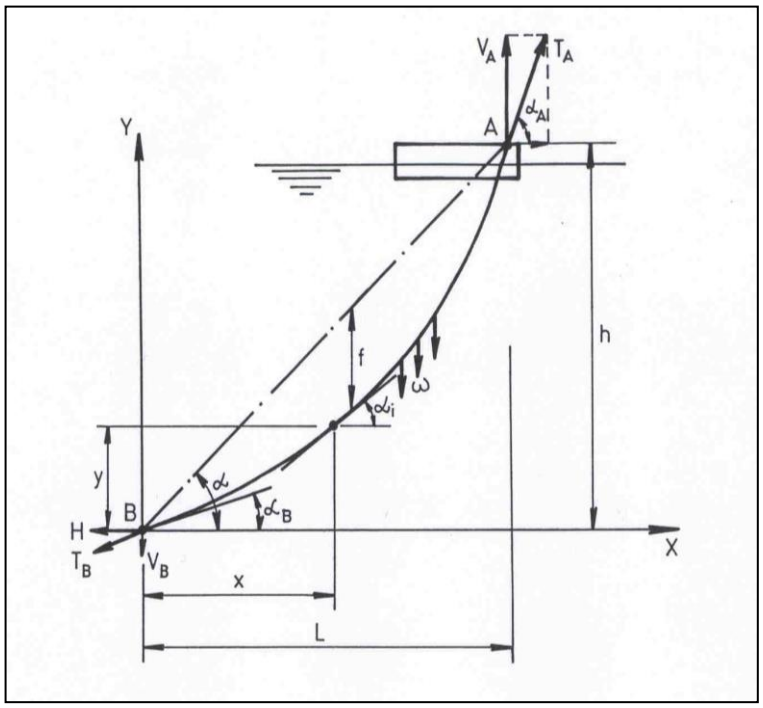
odakle slijedi:

$$y = \frac{V_B\ x}{H} + \frac{q\ x^2}{2H}$$

gdje su:

H	—	ukupna sila koja djeluje na brod (N)
V_B	—	vertikalna komponenta sile na sidrenom elementu (N)
q-	—	težina 1 m horizontalne projekcije sidrenog lanca (N)
x,y	—	koordinate točke u pravokutnom koordinatnom sustavu (m).

[23] Tsinker, G.P., Floating Ports, Design and Construction Practices, Gulf Publishing Company Book Division, Houston, 1986.



Slika 23. Prikaz geometrije fleksibilne lančanice

Izvor: Tsinker, G.P., Floating Ports, Design and Construction Practices, Gulf Publishing Company Book Division, Houston, 1986.

Iz stanja ravnoteže sidrenog lanca slijedi:

$$V_A = V_B + q \cdot L^2$$

i dalje:

$$V_A \cdot L = H \cdot h + \frac{q \cdot L^2}{2 \cdot H},$$

odakle pak slijede izrazi za vertikalne komponente sila u točkama A i B:

$$V_A = \frac{H \cdot h}{L} + \frac{q \cdot L}{2} \qquad V_B = \frac{H \cdot h}{L} - \frac{q \cdot L}{2}.$$

Uvrste li se ove vrijednosti u obrazac za određivanje koordinate *y*, *y* se može pisati kao:

$$y = \left(\frac{h}{L} - \frac{q \cdot L}{2 \cdot H} \right) \cdot x + \frac{q \cdot x^2}{2 \cdot H}.$$

Maksimalna sila na sidrenom lancu bit će u točki A, odnosno u točki njegova prihvata na objektu (plutajućem doku) i iznosi:

$$F_A = \sqrt{H^2 + V_A^2}.$$

U slučaju da je kut β (kut između tangente na sidreni lanac u točki B i morskog dna) vertikalna komponenta sile u točki B bit će jednaka nuli, dok će duljina sidrenog lanca *L* biti

jednaka L_{opt}. Prema tome vrijedi izraz:

$$L_{opt} = \sqrt{\frac{2 \cdot H \cdot h}{q}} .$$

Uobičajeno kut β može varirati od 3° do 6° što znači da će za ovaj uvjet duljina sidrenog lanca biti manja.

Nadalje, ako je f progib sidrenog lanca, prema jednadžbi lančanice proizlazi:

$$f = \frac{q \cdot L^2}{8 \cdot H}$$

isto tako:

$$H = \frac{q \cdot L^2}{8 \cdot f} .$$

Jednadžba sidrenog lanca u koordinatnom sustavu (x, y) može biti prikazana i na sljedeći način:

$$y = x \cdot tg\alpha - \frac{4 \cdot f}{L^2} \cdot x \cdot (L - x) ,$$

gdje je:

$$\frac{dy}{dx} = tg\,\alpha_i = tg\alpha - \frac{4 \cdot f}{L^2} (L - 2 \cdot x)$$

ili:

$$tg\,\alpha_i = \frac{h}{L} - \frac{q}{2 \cdot H} \cdot (L - 2 \cdot x) .$$

Iz prethodne jednadžbe proizlaze sljedeći izrazi:

$$tg\alpha = \frac{h}{L} + \frac{q \cdot L}{2 \cdot H}$$

i

$$tg\beta = \frac{h}{L} - \frac{q \cdot L}{2 \cdot H} .$$

Minimalna duljina projekcije sidrenog lanca na morsko dno (npr. za kut $\beta \leq 6°$) može se odrediti prema sljedećem obrascu:

$$L_{\min} = - \frac{H \cdot tg\beta}{q} + \sqrt{\frac{H^2 \cdot tg^2 \beta}{q^2} + \frac{2 \cdot H \cdot h}{q}} .$$

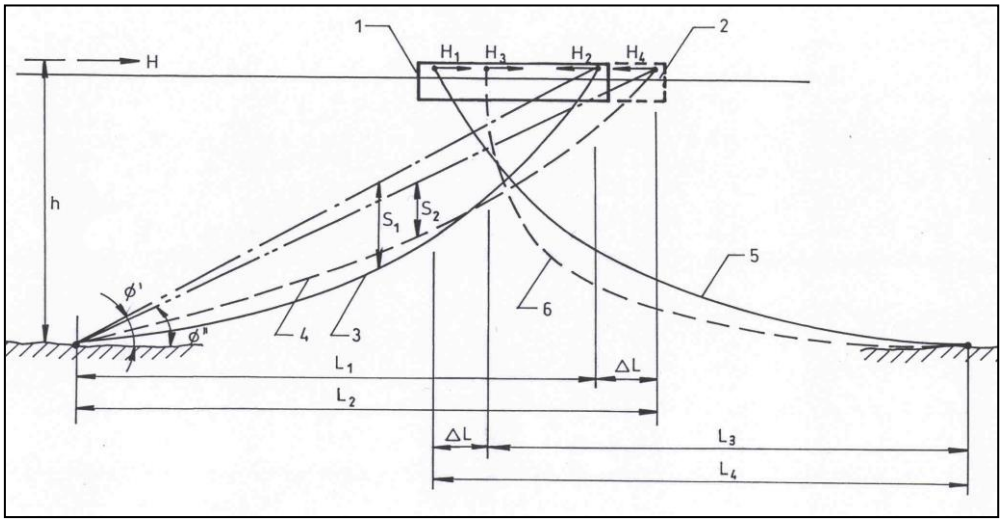
Vertikalne komponente sila u točki prihvata sidrenog lanca na objektu V_A i škopcu sidrenog elementa V_B su:

$$V_A = H \cdot tg\alpha_A \qquad V_B = H \cdot tg\alpha_B.$$

Ukoliko se dozvoli određeni kut između horizontalne ravnine i tangente na lančanicu u njenom hvatištu na sidrenom elementu moguće je smanjiti duljinu sidrenog lanca. Međutim u ovom slučaju raste sila podizanja V_B (vertikalna komponenta sile na sidrenom elementu) što može biti ograničavajući faktor u odnosu na silu zadržavanja sidrenog elementa. Također, o ovom kutu ovisi sila prednaprezanja, a time i krutost cijelog sidrenog sustava.

Kada je sidreni sustav sastavljen od sidrenih lanaca koji se nalaze simetrično s jedne i druge strane objekta kao što je to slučaj pri sidrenju plutajućih dokova, bilo korištenjem sustava bočnih ili ukriženih sidrenih lanaca, tada se sustav sidrenja razmatra kroz geometriju dvostrane fleksibilne lančanice.

U ovom slučaju osim sile zadržavanja sustava valja odrediti i moguće pomake plutajućeg doka koji moraju biti u prihvatljivim granicama. Veličina pomaka plutajućeg doka ovisiti će o početnom prednaprezanju u sustavu sidrenja i veličini vanjske sile.



Slika 24. Prikaz geometrije dvostrane fleksibilne lančanice pri djelovanju vanjske horizontalne sile

Izvor: Tsinker, G.P., Floating Ports, Design and Construction Practices, Gulf Publishing Company Book Division, Houston, 1986.

Na slici brojevi pojedinih pozicija sustava sidrenja imaju sljedeća značenja:

1 — inicijalni položaj pontona

2 — novi položaj pontona (pomaknut iz početnog položaja)

3 — inicijalni položaj odobalnog sidrenog lanca

4 — novi položaj odobalnog sidrenog lanca

5 — inicijalni položaj obalnog sidrenog lanca

6 — novi položaj obalnog sidrenog lanca

U slučaju kada nema vanjske sile, sile H_1 i H_2 bit će izjednačene. Sila H_1 je horizontalna komponenta sile početnog prednaprezanja desnog sidrenog lanca, a sila H_2 horizontalna komponenta početnog prednaprezanja lijevog sidrenog lanca.

U trenutku kada počne djelovati vanjska sila, prije navedena ravnoteža sila u sustavu je poremećena te se ponton pomiče u smjeru djelovanja vanjske sile za udaljenost ΔL,

$$\Delta L = L_2 - L_1 .$$

Analizirajući sustav sidrenja mogu se postaviti sljedeće relacije u pogledu horizontalnih projekcija udaljenosti L:

$$L_1 = L_3 \qquad L_2 = L_1 + \Delta L \qquad L_4 = L_3 - \Delta L .$$

Objekt će se prestati pomicati kada nastane novo stanje ravnoteže:

$$H + H_3 = H_4 .$$

U izrazu je H vanjska sila, a H_3 i H_4 su sile na desnom i lijevom sidrenom lancu za slučaj opterećenja sustava vanjskim silama. Ove sile mogu se odrediti iz sljedećih izraza:

$$H_4 = H_2 + H/2$$

$$H_3 = H_1 - H/2 .$$

Pri određivanju duljine pomaka ΔL potrebno je najprije odrediti duljinu lanca ℓ_o:

$$\ell_o = L_1\left(\sec\Phi' + \frac{8}{3}\frac{s_1}{L_1^{\,2}\sec^3\Phi'}\right),$$

gdje su:

s_1 — progib sidrenog lanca kada je $H = 0$,

L_1 — horizontalna udaljenost između hvatišta sidrenog lanca kada je $H = 0$,

Φ' — kut između horizontalne ravnine i pravca koji prolazi kroz točke hvatišta sidrenog lanca kada je $H = 0$.

Izrazi za *sec Φ′* i s_1 mogu se prikazati i u sljedećem obliku:

$$\sec\Phi' = \frac{(L_1^{\,2} + h^2)^{0,5}}{L_1}$$

i

$$s_1 = \frac{\omega\, L_1^{\,2}}{8H_2}\,.$$

Koristeći ove izraze, izraz za ℓ_o koristeći vrijednosti L_1, H_2, L_2 i H_4 može se pisati kao:

$$\ell_o = L_1\left[\frac{(L_1^{\,2} + h^2)^{0,5}}{L_1} + \frac{\omega^2\, L_1^{\,5}}{24H_2^{\,2}(L_1^{\,2} + h^2)^{1,5}}\right]$$

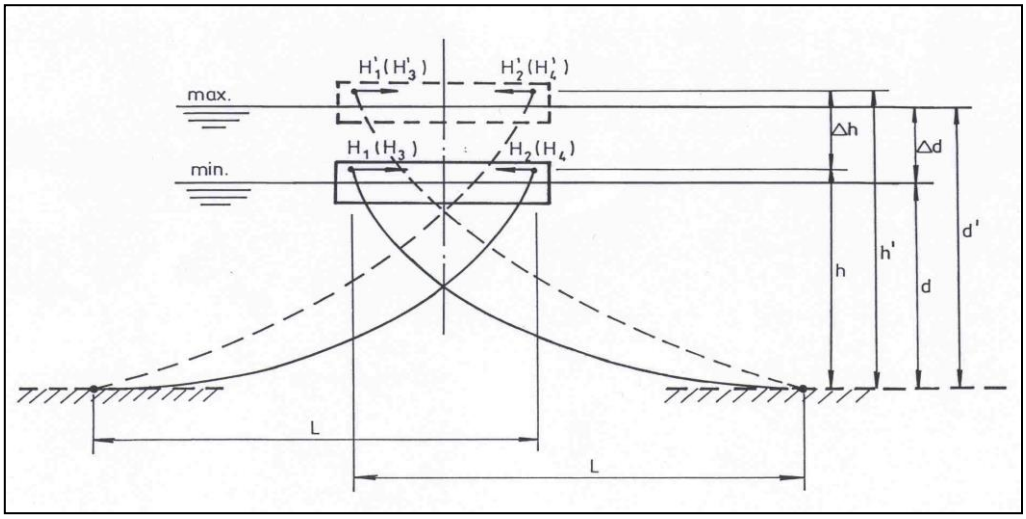
i

$$\ell_o = L_2\left[\frac{(L_2^{\,2} + h^2)^{0,5}}{L_2} + \frac{\omega^2\, L_2^{\,5}}{24H_4^{\,2}(L_2^{\,2} + h^2)^{1,5}}\right].$$

Numeričkim rješavanjem ovih jednadžbi vrijednost L_2 može se odrediti iteracijom. Nakon što je određena vrijednost L_2 udaljenost pomaka pontona može se odrediti iz izraza za određivanje pomaka ΔL.

Geometrija sustava sidrenja se mijenja i u slučaju promjene razine vode. Stoga pri proračunu i dimenzioniranju sustava sidrenja i ovu činjenicu valja uzeti u obzir, posebno u onim područjima gdje je kolebanje razine vode veće.

Na priloženoj slici prikazana je geometrija dvostrane lančanice pri promjeni razine vode.



Slika 25. Prikaz geometrije dvostrane fleksibilne lančanice pri promjeni razine vode

Izvor: Tsinker, G.P., Floating Ports, Design and Construction Practices, Gulf Publishing Co., Houston, 1986.

3. POSTUPAK DOKOVANJA I IZDOKOVANJA BRODA

Pod dokovanjem broda se podrazumijeva punjenje tankova doka balastom da bi se postigao odgovarajući uron kako bi iznad njegove radne palube opremljene potkladama sigurno uplovio brod koji se namjerava dokovati.

Pripremni postupak i dokovanje ovise o dimenzijama broda koji se dokuje. Zapovjednik doka i zapovjednik broda utvrđuju uvjete dokovanja koje brod mora ispunjavati pri ulasku u plutajući dok. Na odgovarajući način, gdje je to primjenjivo, ovi podaci koriste se i pri planiranju i izvedbi izdokovanja broda.

Prije početka dokovanja ispunjava se obrazac koji sadrži tehničke podatke o brodu, deplasmanu, trenutnom gazu, poprečnoj stabilnosti, rasporedu balasta po tankovima, količinama i rasporedu goriva po tankovima, te o rasporedu ostalih masa po brodu. Također je neophodno definirati potrebe broda za električnom energijom i vodom.

Zapovjednik broda treba zapovjedniku doka pored ostalih nacrta i dokumenata doka dati na uvid i Plan dokovanja kako bi se proučila forma trupa broda, smještaj izdanaka na trupu te ostale značajne podatke (smještaj opreme, posebno usisnih košara, priključaka na oplati, dubinomjera, brzinomjera, čepovima tankova, ljuljnih kobilica, stabilizatora, itd.). Kod određivanja položaja objekta u doku u uzdužnom smislu, osnovni zahtjev odnosi se na položaj sustavnog težišta broda (Xg) u odnosu na težište doka. Najbolje je kada se poklapaju, osobito u slučajevima kada je deplasman broda blizu graničnoj nosivosti doka.

Dokovanje broda organizira i nadzire zapovjednik doka koji sa zapovjednikom broda, a po potrebi i sa voditeljem objekta utvrđuje uvjete (engl. *docking condition*), koje brod ili objekt treba zadovoljiti za ulazak u dok, prema tehničkim uputama za eksploataciju doka.

Uzimajući u obzir navedene čimbenike zapovjednik doka sastavlja Plan dokovanja odnosno po potrebi i izdokovanja broda koji uključuje razmještaj i obilježja potklada, plan balastiranja/debalastiranja, proračun čvrstoće (za veće dokove), te proračune stabilnosti za sve faze dokovanja/izdokovanja broda.

Prije početka dokovanja broda potrebno je potklade razmjestiti sukladno Planu dokovanja. Potklade pritom trebaju zadovoljavati u pogledu njihove čvrstoće i ostalih specifičnih obilježja koja ovise o formi broda, položaju otvora i izdanaka i sl.

Nakon uplovljenja, centriranja i odgovarajućeg priveza izvodi se debalastiranje doka kako bi brod u potpunosti bio na suhom zbog izvođenja predviđenih remontnih radova na trupu.

Pripremne radnje, koje pored ostalog uključuju uranjanje doka na određeni gaz, (ovisno o gazu broda koji se dokuje) valja izvršiti prije početka manevra prilaza broda. Dok uranja naplavljivanjem balastnih tankova. Zapovjednik doka rukovodi operacijama dokovanja sa centralnog upravljačkog mjesta. Tijekom urona doka valja pratiti pokazivače

gaza, te pokazivanja inklinometra (prati se uzdužni i poprečni nagib), te naprezanja doka. Za ulazak objekta u dok koriste se pritezna vitla na doku s konopom, te bitve. Po ulasku, objekt se pozicionira u uzdužnom i poprečnom smislu na poziciju koja je dogovorena u planu dokovanja. Brod se unutar doka pozicionira pomoću priteznih konopa koji se dodaju s doka i postavljaju na brodske bitve na pramcu i krmi broda.

Brod se uzdužno pozicionira obzirom na položaj oznake nadvođa (prethodno je određena uzdužna pozicija sustavnog težišta u odnosu na oznaku nadvođa) u odnosu na oznaku glavnog rebra doka. Poprečno pozicioniranje se izvodi prema oznakama na centralnim podkladama. Po završetku pozicioniranja izvodi se izron doka pražnjenjem balastnih tankova. Korekcije pozicije broda unutar doka se izvode do trenutka lijeganja kobilice broda na centralne podklade. Tijekom dizanja doka stalno se prati stanje doka, kao i broda te izvode potrebne korekcije uzdužnog, poprečnog nagiba i naprezanja. Ovisno o formi podvodnog dijela objekta podižu se bočne podklade koje ga osiguravaju od nekontroliranog nagiba broda jer brod izranjanjem postepeno gubi stabilnost.

Sličan postupak se na odgovarajući način provodi i pri izdokovanju broda. Za izdokovanje broda koristi se postojeći Plan dokovanja, ali se balastiranje i spuštanje doka provodi suprotnim redoslijedom od debalastiranja pri podizanju doka. Plan treba mijenjati ukoliko je tijekom dokovanja broda došlo do bitnih promjena u masi i/ili strukturi dokovanog broda. Prije spuštanja doka brod treba privezati za dok, a nakon što brod zapluta uz dovoljnu dubinu ispod kobilice do potklada, započinje manevar isplovljenja broda iz doka. Tijekom spuštanja broda u more nadzire se vodonepropusnost trupa.

3.1. Plan dokovanja/izdokovanja

Plan dokovanja sadrži sve podatke o brodu i doku potrebne za sigurno dokovanje. Posebno su važni podaci o slobodnom prostoru za skidanje osovine i propelera, položaju centralnih i bočnih potklada te otvorima na trupu broda.

U praksi se priprema više vrsta planova dokovanja sa odgovarajućim sadržajem.

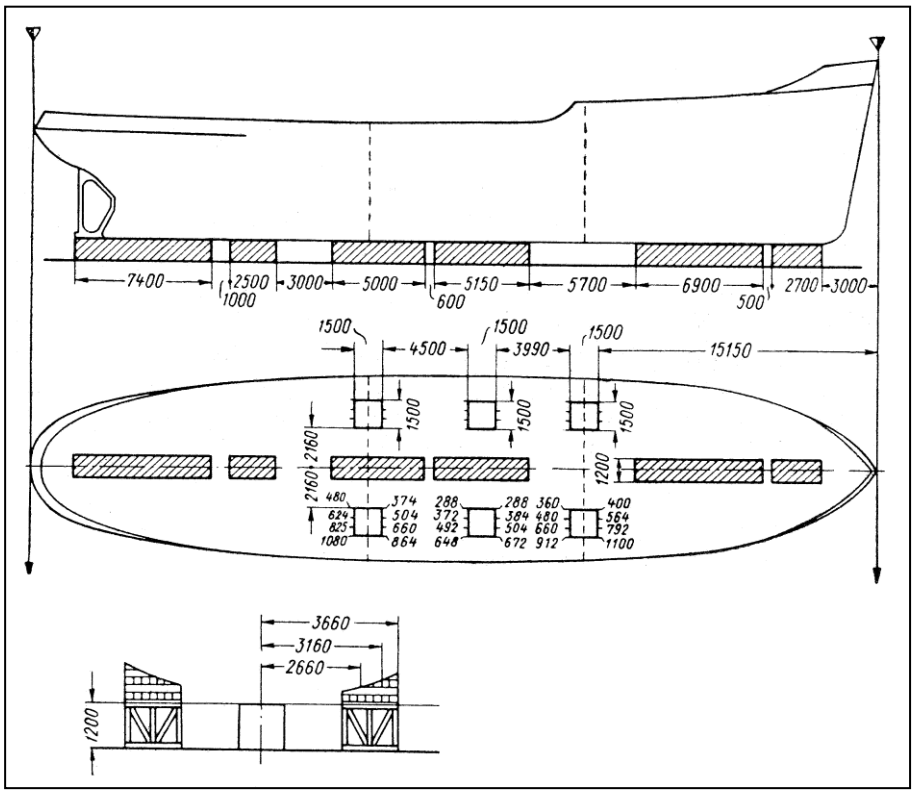
3.1.1. Vrste i dijelovi plana dokovanja

Plan dokovanja je osnovni dokument na osnovi kojeg se izvodi dokovanje broda. Kod izrade plana potrebno je uzeti u obzir sve karakteristike broda, posebno konstrukciju broda, čvrstoću oplate, pregrade, raspored težina broda po duljini i širini, mjesta otvora na trupu broda i izbočenih dijelova. Pogreške u planu mogu uzrokovati ozbiljna oštećenja trupa.

S obzirom na upotrebu u praksi se izrađuje nekoliko vrsta planova dokovanja. Opći ili glavni plan dokovanja sadrži sve potrebne podatke o brodu, a posebno razmještaj i dimenzije potklada koje će se koristiti pri dokovanju.

Na osnovu plana dokovanja određuje se položaj broda u doku i razmještaj centralnih i bočnih potklada. Pri određivanju položaja broda u doku u uzdužnom smislu,

osnovni zahtjev odnosi se na položaj težišta broda u odnosu na sustavno težište plutajućeg doka. U optimalnom slučaju položaj tih dvaju težišta bi se trebao poklapati. Ukoliko postoji razlika treba nastojati da bude što manja, posebno u slučaju kad je deplasman dokovanog broda blizu nosivosti doka. Simetrale plutajućeg doka i dokovanog broda moraju se poklapati.[24]



Slika 26. Opći plan dokovanja

Izvor: Plan dokovanja m/b *Merag*, *Brodogradilište Cres d.d.*, 2005.

Na takvom planu se prikazuje detaljna geometrija potklada s određenim udaljenostima od krmene okomice broda, kao i udaljenostima od uzdužnice doka. Posebno su naznačene udaljenosti čeličnog dijela potklada i drvenih podloga i umetaka. U slučaju dokovanja više brodova u uzdužnici doka ili bočno izrađuju se parcijalni planovi za pojedini brod, s dimenzijama potklada, udaljenostima od simetrale doka i od dokovanih brodova. U posebnu tablicu se naznačuje vremenski plan dizanja pojedinog broda.[25]

Osim općeg plana dokovanja često se izrađuje plan opterećenja strukture doka i broda, posebno u slučaju dokovanja više brodova zajedno. Posebno se izračunavaju opterećenja pojedinih kritičnih dijelova strukture broda, ispod strojarnice i tankova goriva. U slučaju potrebe definiraju se dimenzije i položaj dodatnih potklada i podupirača.

[24] Smonenko, A. S., Gruzovye ustrojstva suhogruznyh sudov, Leningrad, Sudostroenie, 1999., str. 69.

[25] Dockmaster Training Manual, Heger Dry Dock Inc., 2005., str. 2-12.

U praksi dokovanja izrađuju se parcijalni operativni planovi koji definiraju smještaj potklada i podupirača na mjestima gdje će se obavljati zahtjevni radovi popravka, kao što su vađenje osovina, propelera i kormila te radovi na posebnim propulzorima, npr. Voith-Schneiderovim, Shottelovim ili Water-jet propulzorima. Na tom se planu definira slobodan prostor za rad i dimenzionira prostor za smještaj dijelova koji se popravljaju.

3.1.2. Sadržaj plana dokovanja

Prije ulaska broda u dok zapovjedništvo predaje tehničkom sektoru brodogradilišta dokumente i nacrte potrebne za dokovanje odnosno izradu plana dokovanja. Među navedenu dokumentaciju spadaju:

- generalni plan broda
- nacrt razvoja limova
- nacrt dvodna i sustava balasta
- protupožarni plan
- knjiga stabilnosti
- popis otvora i izdanak na brodskom trupu
- spisak radova
- plan tereta (u slučaju dokovanja broda s djelomičnim teretom).

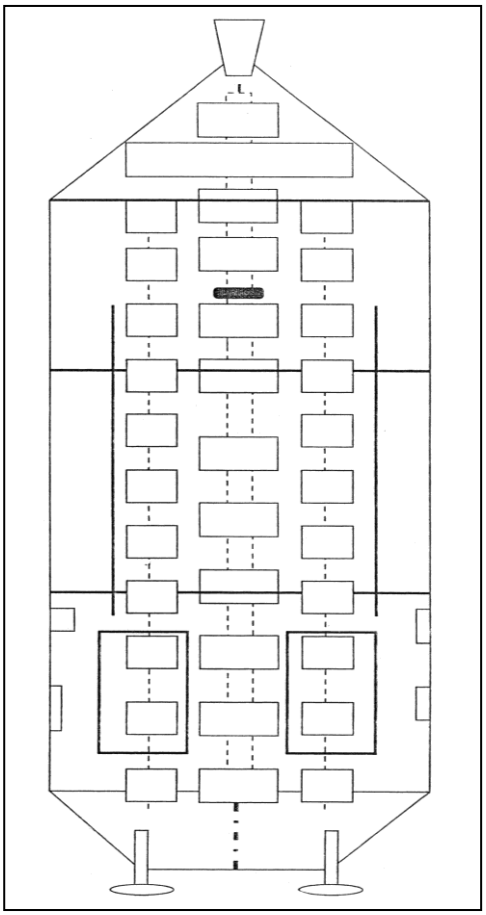
Jedan od osnovnih ciljeva plana dokovanja je prikaz razmještaja i dimenzija potklada.[26]

Plan dokovanja se crta u trima dimenzijama i sastoji se od sljedećih elemenata:

- gl. podaci o plutajućem doku kao što je nosivost, dimenzije, korisna površina pontona, koordinate sustavnog težišta, smještaj dizalica, i dr
- raspored centralnih, uzdužnih i bočnih potklada, s naznačenim udaljenostima od uzdužnice broda i krmene okomice
- dimenzije potklada, posebno visina i tlačna površina
- raspored bočnih podupirača
- osnovni podaci o brodu, posebno ime broda, IMO broj, luka upisa, vlasnik
- osnovne dimenzije broda posebno dužinu preko svega (L_{OA}), dužinu između perpedikulara (L_{PP}), širinu (B), nosivost (DWT), deplasman (D), tonaža (bruto, neto) gazovi na pramcu (T_P) i krmi (T_K)

[26] Caridis, P., Inspection Repair and Maintenance of Ship Structures, Whiterby & Co. Ltd, London, 2001., str. 58.

- na uzdužnom presjeku broda smještaj poprečnih predgrada, tankova sa težinama, temelji strojeva, osovina i kormila
- na tlocrtu i uzdužnom presjeku naznačen položaj čepova tankova, ljuljnih kobilica, odašiljača dubinomjera i brzinomjera, usisa ventila, usisa rashladnika strojeva i raznih ispusta.



Slika 27. Osnovni elementi plana dokovanja

Izvor: Izradio autor

U napomenama se navodi najveći dozvoljeni poprečni nagib i trim doka te tlačna površina i srednji specifični pritisak za potklade.

3.2. Potklade i priprema potklada

U plutajućem doku brod leži na potkladama. Broj potklada treba biti toliki da izdrži masu broda, odnosno da sila reakcije potklada ne bude prevelika što bi moglo izazvati popuštanje i oštećenje brodske konstrukcije.

Potklade treba rasporediti tako da sila reakcije potklada djeluje na najčvršću strukturu broda. Najgušće su postavljene ispod kobilice broda, jer se na njih preko strukture trupa prenosi veći dio mase broda.[27] Postavljaju se ispod jakih strukturnih

[27] Smonenko, A. S., op.cit., str. 73.

elemenata konstrukcije broda, kao što su kobilica, uzdužne i poprečne pregrade. Ukoliko brod nema uzdužnih pregrada, potklade se postavljaju ispod uzdužnjaka dna, na križanju s punim ili nepropusnim rebrenicama. Broj i raspored potklada ovisi o veličini i masi broda i o strukturi brodskog trupa.

3.2.1. Vrste potklada

Prema mjestu postavljanja potklada, dijele se na:

- centralne, postavljene uzdužno ispod kobilice broda
- uzdužne, jedan, dva ili više redova ispod dna s obje strane simetrale broda
- bočne, jedan red uzduž uzvoja lijevo i desno.

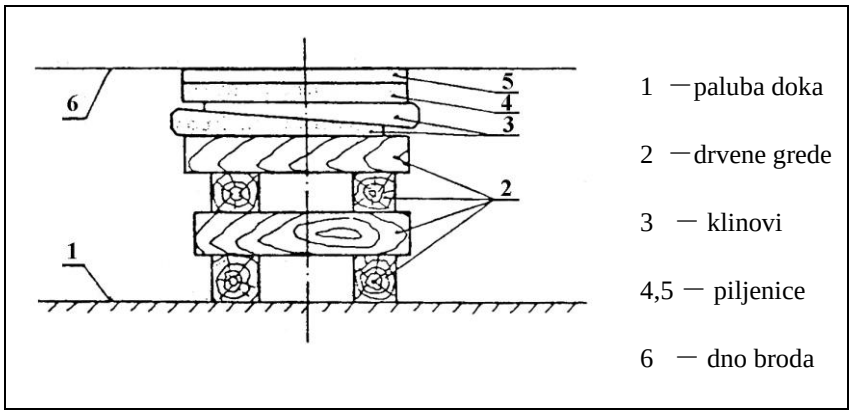
Centralne potklade služe za nasjedanje kobilice broda za vrijeme dokovanja. Na njih se oslanja brod i one preuzimaju njegovu težinu a mogu biti drvene, betonske, čelične ili kombinirane. Visoke su od 1,0 do 1,5 m.

Bočne potklade služe za bočno podupiranje broda. Razmaknute su tri do pet metara. Opremljene su mehaničkim uređajem pomoću kojeg se uvlače ispod bokova broda nakon što brod sjedne na centralne potklade. Uređajem se rukuje s palube tornjeva doka.

Sve vrste potklada moraju biti tako napravljene da su dovoljno čvrste i da se mogu lako rastaviti, a izvedene su od drva, betona i drva te čelika i drva.

Drvene potklade se upotrebljavaju za dokovanje malih brodova. Često se koriste u slučaju dokovanja više brodova kad se radi boljeg iskorištavanja kapaciteta doka, dokuju manji brodovi i jahte bočno od većeg broda.

Drvene potklade sastoje se od unakrsno postavljenih greda (2) od palube pontona doka (1) do dna broda (6).



Slika 28. Drvena potklada

Izvor: Izradio autor

Na gornjoj gredi postavljaju se klinovi (3), a na njih piljenica od mekog drva (5) (jelovine) na kojoj leži dno broda.

Pomoću klinova se prilagođava visina potklade i kompenzira popuštanje zbog težine broda. Klinovi na potkladama moraju biti samokočivi, tj. koeficijent trenja klizanja mora biti veći od tg α. Za hrastove klinove se radi sigurnosti uzima nagib 1/6, tj. tg α = 0,16667 (gdje je α kut klina).

Tablica (1) pokazuje vrijednosti koeficijenata trenja za hrastovinu iz koje je vidljivo da su koeficijenti trenja mirovanja i klizanja veći od „tg α". Prema Coulombovom zakonu su takvi klinovi samokočivi.[28]

Tablica 1. Koeficijenti trenja za hrastovinu

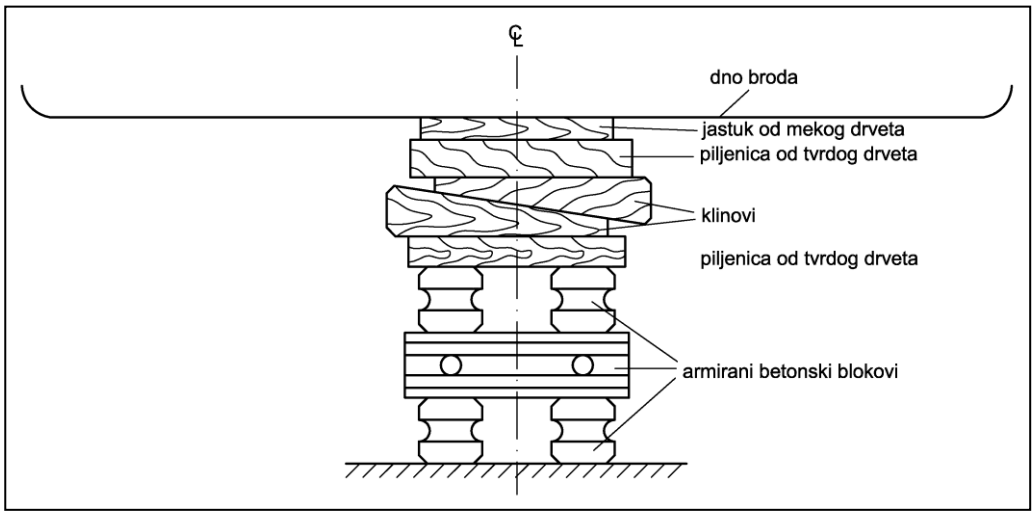
Međusobni položaj vlakanaca	**Vlakanca teku paralelno**		**Vlakanca se križaju**		**Jedna vlakanca osovljena su na druga**
	Suha	**Namazana**	**Suha**	**Ovlažena**	**Suha**
Koeficijent trenja mirovanja ili prianjanja μ_0	0,62	0,11 - 0,44	0,54	0,71	0,43
Koeficijent trenja gibanja ili klizanja μ	0,48	0,075 - 0,16	0,34	0,25	0,19

Izvor: Rossi, G.: Il costruttore navale, Hoepli, Milano, 1992., str. 55.

Potklade kombinirane od betona i drva sastoje se od ukriž postavljenih blokova armiranog betona i hrastovih greda, te piljenica od tvrdog drveta, a od mekog drva na dodiru s brodskim dnom.

Kombinirana betonsko-drvena potklada prikazana je na slici 29.

[28] Rossi, G., Il costruttore navale, Hoepli, Milano, 1992., str. 59.



Slika 29. Kombinirana betonsko-drvena potklada

Izvor: Izradio autor

Prednost kombinacije betonsko-drvene potklade je što beton ne popušta pod težinom, te nije potrebno prilagođavati visinu za razliku od drvenih potklada. Osim toga, betonski blokovi su trajniji od drvenih greda.

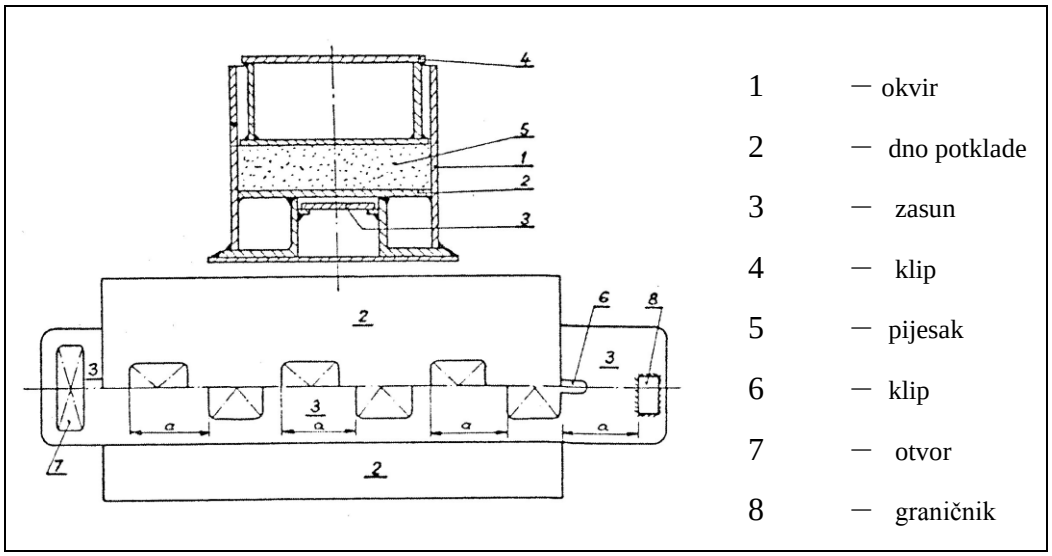
U plutajućim dokovima se najčešće upotrebljavaju kombinirane potklade od čelika i drva.

Donji dio napravljen je od rešetkasto spojenih profila čelika u obliku krnje piramide. Čelični donji dio razlikuje se u ovisnosti o nosivosti pojedinog doka.

Centralne potklade visoke su približno 1,0 do 1,5 m. Pri određivanju visine potklada treba udovoljiti uvjetu da ima dovoljno mjesta za obavljanje radova na podvodnom dijelu broda. Centralne potklade moraju uvijek biti uspravne. U nekim slučajevima da bi se izbjeglo nagibanje (dokovanja trimovanog broda i nagnutog broda) povezuje se više potklada, pet do šest, pomoću zatvorene željezne šipke. Tlak na centralnim potkladama ne smije biti veći od 5 N/cm². Ovaj uvjet se postigne ako se veći dio potklada postavi ispod svakog drugog rebra. Svaka potklada je tada opterećena s približno 500 do 600 kN. Dimenzije greda su 1,5 do 2,5 m, a presjeci 200 > 200 mm ili 300 > 300 mm.[29]

Posebna vrsta potklade su pješčane potklade. Upotrebljavaju se kada je potrebno brzo osloboditi područje broda oko kobilice zbog obavljanja radova, posebno kod djelomičnog dokovanja broda (Slika 30).

[29] Rossi, G., op.cit., str.81.



Slika 30. Pješčana potklada

Izvor: Izradio autor

Postupak oslobađanja pješčanih potklada je vrlo jednostavan. Potrebno je izbiti klinove za osiguranje te izvući zasune. Pijesak iscuri iz potklade, a klip se zajedno s brodom spusti, te je opterećenje broda prešlo na drugi oslonac.

Pješčane potklade ne mogu se postavljati na svim dijelovima broda. Ako su blizu mora ili ako otvori nisu dobro zabrtvljeni parafinom, pijesak se može navlažiti te neće iscuriti nakon otvaranja zasuna.

3.2.2. Proračun centralnih potklada

Pri eksploataciji plutajućih dokova, za bolje iskorištavanje palube doka, kao i uzgona, izvodi se istovremeno dokovanje nekoliko brodova različitih dimenzija i istisnine. prilikom smještaja brodova na doku treba voditi računa o uvjetima sigurnog dokovanja, redoslijedu dokovanja i postavljanja broda na potklade, mogućnost centriranja brodova i izvršenja radova na trupu broda uključivši rad na kormilima, osovinama i propelerima. Udaljenost između bočnih oplata brodova ne smije biti manja od ≈ 1,2 m, a između brodova po duljini ≈ 2,0 m.[30] Kod određivanja mjesta broda na palubi doka uzdužno, treba voditi računa da je sustavno težište broda blizu težišta doka, ukoliko se istovremeno dokuje dva ili više brodova njihove simetralne ravnine moraju se poklapati s osima centralnih i bočnih potklada, a težište sustava brodova mora biti smješteno u blizini težišta doka.

Na planu dokovanja označavaju se položaji centralnih potklada po duljini broda, te bočnih potklada po duljini i širini broda. Obavezno se navode glavne linije broda i minimalna visina potklada.

[30] Zagorski, P., Tehnika bezopasnosti u doku, Morski transport, Moskva, 1978., str.52.

Ukupna uporna površina potklada uz ravnomjerno opterećenje određuje se izrazom:

$$S = \frac{G_B \cdot 10^4}{q},$$

gdje su:

S — ukupna površina potklada (cm²)

G_B — težina broda (KN)

q — dopušteni pritisak na potkladu ($q \approx 20$ N/cm²).

Broj centralnih potklada određuje se izrazom:

$$n = \frac{S}{a \cdot c},$$

gdje su:

a — duljina potklade (cm)

c — širina kobilice broda preko koje se prenosi pritisak na potkladu (cm)

Razmak između pojedinih potklada je:

$$l = \frac{L_{pot}}{n-1},$$

gdje su:

l — razmak između potklada (cm)

L_{pot} — duljina broda za potklade (cm)

n — broj potklada.

3.2.3. Proračun bočnih podupirača

Na opterećenje bočne potklade djeluje težina broda, moment poprečnog nagiba, te opterećenje od djelovanja vjetra. Praksa dokovanja je pokazala da se bočne potpore trebaju postaviti na najširem dijelu broda, a ne na pramčanom i krmenom dijelu.

Tlačna površina bočnih potpora određuje se po istom izrazu kao i za centralne. Potreban broj bočnih potklada određuje se izrazom:

$$n_{BP} = \frac{G_B}{S \cdot q},$$

gdje su:

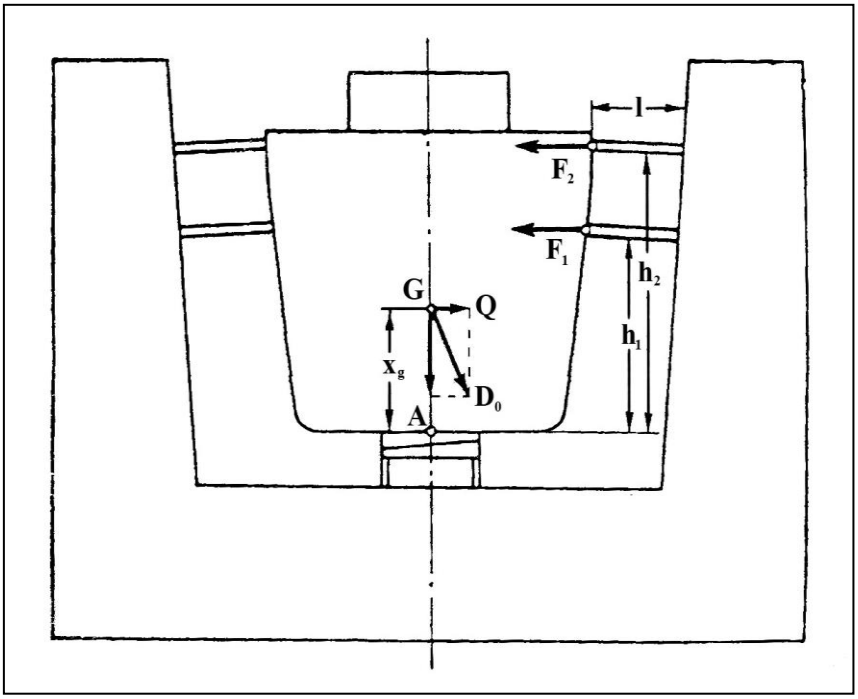
G_B — težina broda (N)

n_{BP} — broj bočnih podupirača

S — površina podupirača (cm^2)

Q — pritisak (N/cm^2).

Prevrtanje broda sprečavaju bočne potklade i podupirači. Slika 31 prikazuje proračun potklada i podupirača.



Slika 31. Proračun potklada i podupirača

Izvor: Izradio autor

Ukoliko je duljina i poprečni presjek svih podupirača jednak, može se smatrati da je reakcija podupirača proporcionalna udaljenosti do gornje ravnine potklada, tj.

$$\frac{F_1}{h_1} = \frac{F_2}{h_2} \quad \text{odakle} \quad F_1 = F_2 \frac{h_1}{h_2}.$$

Jednadžba ravnoteže broda, tj. zbroj svih momenata oko osi koja prolazi kroz točku „A“, jednaka je nuli, odnosno:

$$Q \cdot \overline{KG} - F_1 \cdot n_1 \cdot h_1 - F_2 \cdot n_2 \cdot h_2 = 0$$

ili

$$Q \cdot \overline{KG} - F_2 \frac{h_1}{h_2} n_1 \cdot h_1 - F_2 \cdot n_2 \cdot h_2 = 0,$$

gdje su:

Q — sila kojom brod djeluje na bočne podupirače (N)

$\overline{KG}$ — ordinata sustavnog težišta broda (m)

F — sila podupirača na bok broda (N)

N — broj podupirača

H — visina od potklade do podupirača (m).

Iz gornje jednadžbe slijedi:

$$Q \cdot \overline{KG} - F_2 \frac{n_1 \cdot h_1^2 + n_2 \cdot h_2^2}{h_2} = 0$$

odakle slijedi reakcija podupirača gornjeg reda:

$$F_2 = \frac{Q \cdot \overline{KG} \cdot h_2}{n_1 \cdot h_1^2 + n_2 \cdot h_2^2}.$$

Broj podupirača bira se tako da veličina reakcija (F_2) ne prelazi 5 kN.[31]

Za svaki brod duljina podupirača ima određenu veličinu koja ovisi o mjestu postavljanja po duljini broda. Promjer podupirača određuje se iz uvjeta uzdužne otpornosti na savijanje. Odnos l/d definira otpornost podupirača na savijanje i ovisi o promjeru, jer veličina „l“ ima određenu veličinu za pojedini brod.

Tablica 2.: Koeficijent dopuštenog naprezanja na savijanje (φ) ovisno o elastičnosti podupirača (λ)

λ	φ	λ	φ
0	1	80	0,48
10	0,99	90	0,38
20	0,97	100	0,31
30	0,93	110	0,25
40	0,87	120	0,22
50	0,80	130	0,18
60	0,71	140	0,16
70	0,60	150	0,14

Izvor: Nikolai, B.: Postavljanje broda u plutajući dok, Transport, Moskva, 1983., str. 42.

[31] Zagorski, P., op.cit., str. 72.

Tablica 2. prikazuje koeficijente dopuštenog naprezanja na savijanje ovisno elastičnosti podupirača.

Naprezanja koja nastaju u podupiraču od reakcije (F_2) jednake su:

$$N = \frac{F_2}{\frac{\pi d^2}{4}} \quad \text{odnosno} \quad \frac{4F_2}{\pi d^2} \quad \text{odnosno} \quad \frac{4F_2}{\pi d^2} \leq \varphi\delta ,$$

gdje su:

N — pritisak koje nastaje u podupiraču (N/cm^2)

δ — dopušteni pritisak na gredu koje mora biti manje od 100 kN/cm^2

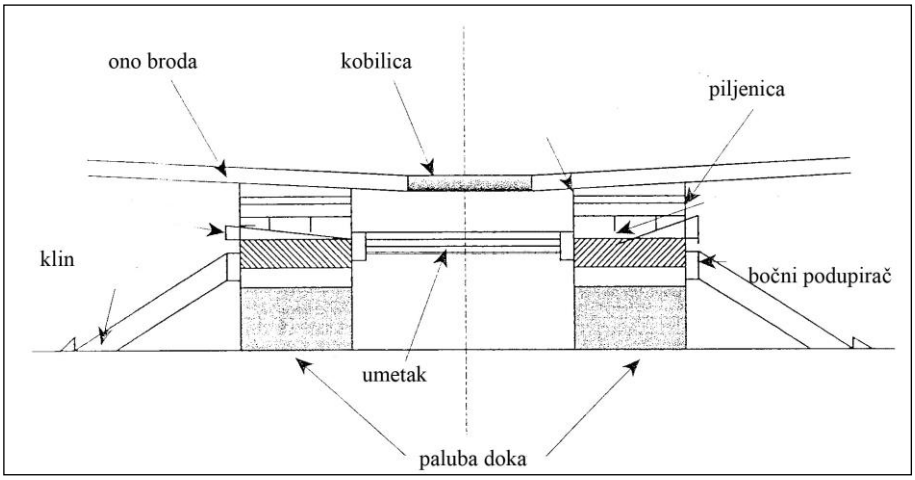
φ — koeficijent dopuštenog naprezanja na savijanje.

Ukoliko ovaj uvjet nije ispunjen, potrebno je povećati promjer podupirača. Broj podupirača u svakom redu određuje se ovisno o duljini broda.

3.2.4. Priprema potklada za rad na kobilici

Na palubi pontona plutajućeg doka nalaze se centralne potklade, bočne potklade i slobodne potklade.

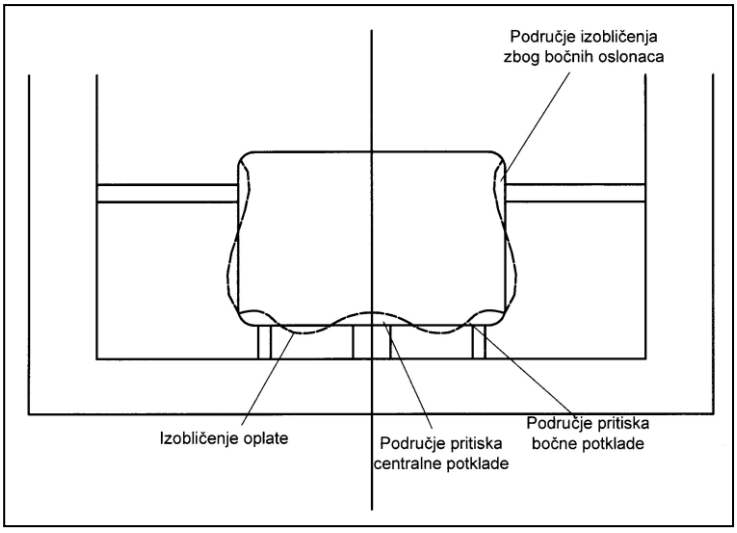
U slučaju obavljanja radova u blizini kobilice potrebno je dio centralnih potklada pomaknuti bočno, kako bi se oslobodio prostor za rad. Udaljenost centralnih potklada iznosi 40 do 80 cm, radi rasporeda opterećenja od deplasmana broda. O pravilnom opterećenju treba voditi računa i pri premještanju centralnih potklada kod rada na kobilici broda.



Slika 32. Smještaj potklada pri radu na kobilici broda

Izvor: Izradio autor prema House D. 2003.

Oko mjesta koje treba popraviti napravi se potreban prostor za rad. Pomaknute centralne potklade se osiguravaju bočnim podupiračima. Oni su od željeznih kutnih ili „T“ profila, koji se zavare na potkladu i palubi pontona plutajućeg doka. Između potklada se zavaruje željezni umetak, koji sprečava naginjanje i urušavanje potklada. Pomaknute potklade treba postaviti u skladu s planom dokovanja ispod nosivih elemenata trupa i dvodna broda kao što su rebrenice, poprečne i uzdužne pregrade. Posebno treba paziti da se ne prekriju otvori za usis ili ispust iz broda.



Slika 33. Moguće deformacije na oplati broda zbog reakcije potklada i podupirača

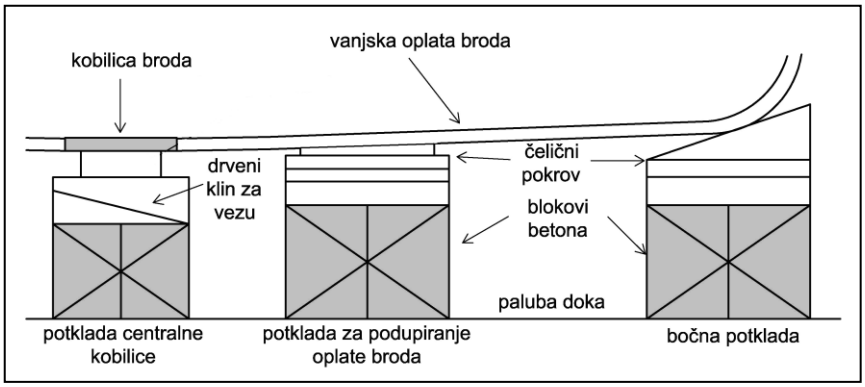
Izvor: Izradio autor

Posebno su zahtjevna dokovanja specijalnih brodova i plovnih objekata, kao što su platforme za eksploataciju nafte, za istraživanje podmorja i vađenje minerala, gliboderima i dr. U praksi dokovanja se često događa da je potrebno dokovati i popravljati brodove sa posebnim propulzorima, kao što su azimutni propulzori pa se brod postavlja na povišenim potkladama od 4 do 5 m visine. Potklade moraju biti povezane u uzdužnom i poprečnom smjeru zavarenim željeznim profilima kako bi se spriječilo klizanje i prevrtanje.

3.2.5. Priprema potklada za posebno široke brodove

Među posebno široke brodove spadaju veliki tankeri, brodovi za prijevoz kontejnera, brodovi za prijevoz rasutih tereta, razne platforme i dr. Pri dokovanju takvih brodova, potrebno je osim centralnih i bočnih potklada, postaviti više redova bočnih potklada. Posebno treba obratiti pažnju na moguće deformacije brodskog trupa zbog velike težine i širine broda.[32] Ti brodovi su vrlo široki pa obično nije potrebno postavljanje bočnih greda-podupirača. Uzdužni redovi potklada postavljaju se od pramca do krme ispod uzdužnih predgrada. Zbog velike mase i poprečnih momenta savijanja dodaju se bočne potklade, koje se ponekad prilagođavaju formi broda.

[32] House, D., op.cit., str.105.



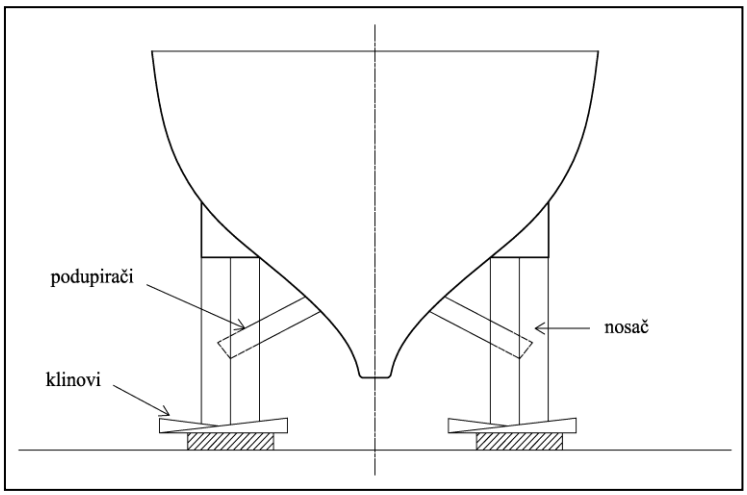
Slika 34. Raspored uzdužnih i centralnih potklada za posebno široke brodove

Izvor: Izradio autor prema House D., 2003.

3.2.6. Priprema potklada za jedrenjake

Jedrenjaci su brodovi finih linija, relativno velike dužine u odnosu na širinu, pa je priprema potklada za dokovanje puno složenija nego kod običnih trgovačkih brodova. Težinu broda prenose na ponton doka centralne potklade i razne vrste bočnih potpora, čija je glavna uloga sprečavanje prevrtanja broda.

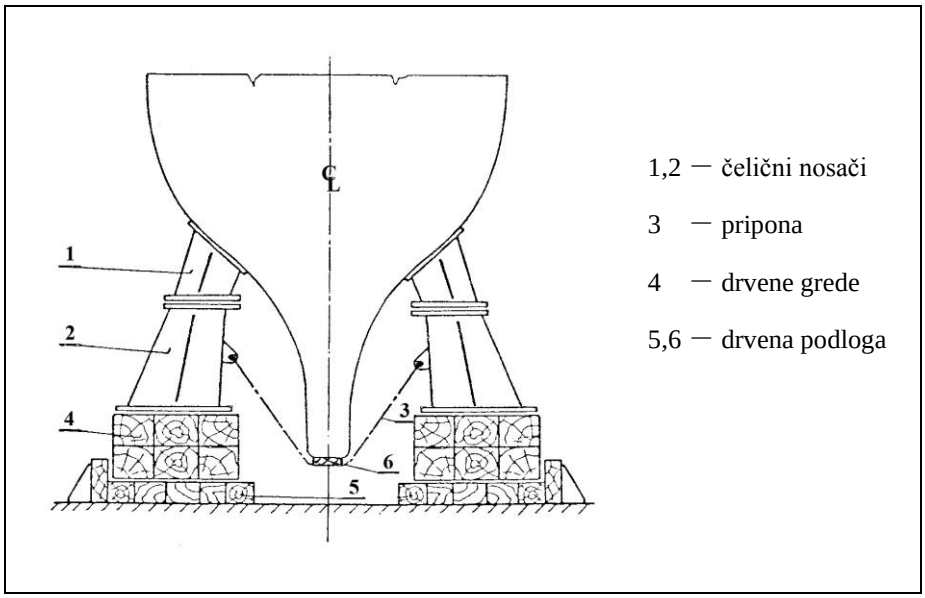
Radi smanjivanja troškova dokovanja, posebno vremena potrebnog za dokovanje, nastojalo se u praksi standardizirati osnovne tipove potklada za jedrenjake.



Slika 35. Standardizirana potklada za jedrenjake

Izvor: Izradio autor

U slučaju dokovanja manjih brodova, a posebno radova na kobilici, koji su česti u praksi dokovanja, potrebno je izraditi odgovarajuće potklade. Slika 36. prikazuje takvu potkladu, koja se sastoji od temelja napravljenog od hrastovih greda i nosača od metalnih profila i drvene piljevine, koja prianja na trup broda.

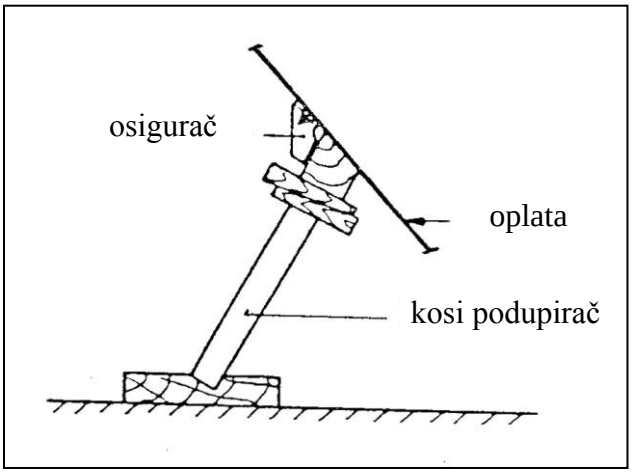


Slika 36. Potklada za jedrenjake u slučaju radova na kobilici

Izvor: Izradio autor

Dodirna površina se oblaže slojem gume ili filca kako bi se izbjegla oštećenja trupa, posebno skupih jedrenjaka i jahti. Na nekim mjestima brodskog trupa potrebno je postaviti dodatne podupirače, da bi se spriječilo pomicanje trupa i smanjilo opterećenje na potkladama.

Slika 37. prikazuje jednostavan oblik podupirača, sastavljen od željezne cijevi promjera oko 300 mm te drvenih podloga i klinova.

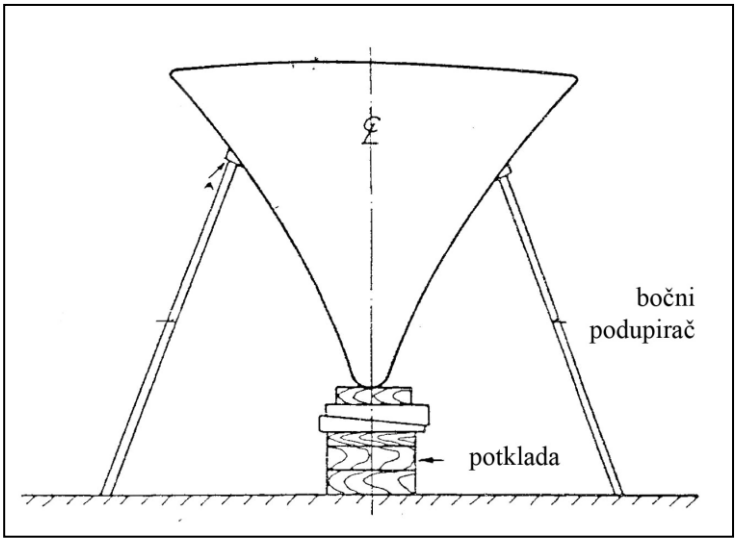


Slika 37. Podupirači za jedrenjake

Izvor: Izradio autor

Na krmenom dijelu broda, zbog oblika trupa ne mogu se postaviti bočne potklade pa se često postavljaju kosi podupirači. Za manje brodove one su od drvenih greda promjera 200 do 300 mm. Za veće brodove koriste se podupirači od čeličnih cijevi s drvenim osloncima, koje se postavljaju i na pramčanom i krmenom dijelu jedrenjaka. Slika

38 prikazuje jednu varijantu izvedbe kosih podupirača na pramčanom i krmenom dijelu jedrenjaka.



Slika 38. Podupirači za jedrenjake na pramcu i krmi

Izvor: Izradio autor

3.2.7. Priprema potklada za katamarane

Posljednjih dvadesetak godina katamarani se grade u velikom broju naročito u Australiji i drugim zemljama, posebno SAD, Kini, Kanadi, Norveškoj, Njemačkoj i Maleziji. Koriste se za prijevoz putnika i Ro-Ro tereta. Izrazita prednost katamarana osim velike brzine je mali broj članova posade potreban za upravljanje. Odnos broja posade i putnika kreće se približno 24 članova posade na 800 putnika i 30 članova posade na 1000 putnika.[33]

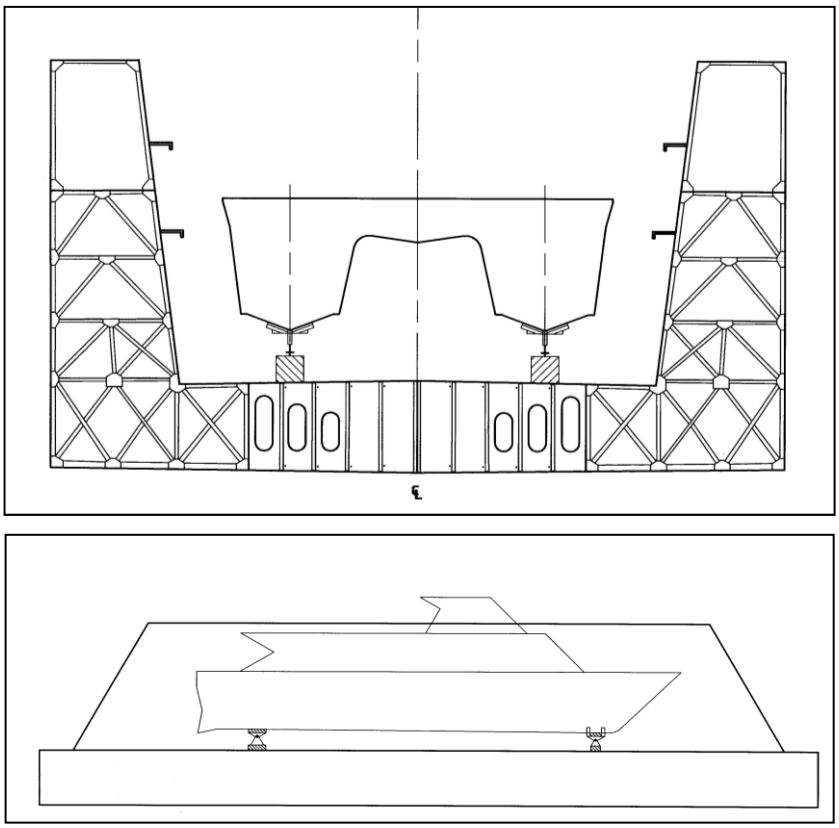
Brodogradilišta obično s katamaranima isporučuju posebne kolijevke i potklade od kombinacija čelične konstrukcije i drvenih greda namijenjene pojedinom katamaranu.

Međutim, u praksi se događa da treba dokovati katamaran bez navedenih kolijevki, pa je potrebno izraditi odgovarajuće potklade u plutajućem doku.

Pritom treba posebno voditi računa o rasporedu masa na katamaranu, opterećenih mjesta kao što su temelji strojeva, tankovi goriva i vode i dr.

Katamarani su građeni od aluminija, konstrukcijski su laki te može lako doći do oštećenja i deformacija trupa zbog nepravilnog postavljanja potklada. Slika 39 prikazuje potklade i način postavljanja katamarana u plutajući dok.

[33] Owen, P., High Speed Craft, The Nautical Institute, London, 2005., str. 8.



Slika 39. Potklade i način postavljanja katamarana u plutajući dok

Izvor: Izradio autor

Na trupu katamarana lijevo i desno označena su mjesta za postavljanje potklada. Ako nisu, potrebno ih je odrediti analizirajući brodske linije i raspored temelja strojeva iz generalnog plana broda. Često se koriste zglobni konstruktivni elementi koji se prilagođavaju linijama trupa, te u potpunosti preuzimaju težinu katamarana.

3.3. Manevar uplovljavanja i isplovljavanja broda u/iz plutajućeg doka

Nakon što su obavljene sve prethodne radnje, te ako su meteorološki i oceanološki čimbenici unutar dozvoljenih graničnih uvjeta može započeti manevar uvođenja broda u dok prije njegova podizanja u doku ili izvođenja broda iz doka nakon dokovanja.

Manevre prilaza i dokovanja brodova, kao i manevre izdokovanja i isplovljenja brodova iz doka treba izvoditi uz dovoljnu razinu maritimne sigurnosti. Brodovi se mogu dokovati na način da pramcem ili krmom ulaze u dok što ponajprije ovisi o planiranim zahvatima na brodu. Uporaba tegljača je predviđena za pojedine kategorije brodova te uvijek kada vremenski uvjeti i obilježja broda tijekom manevra to iziskuju, odnosno uvijek kada to zapovjednik broda i peljar smatraju potrebnim. Pramčani porivnik te porivnici okomiti na uzdužnicu broda na krmenom dijelu mogu se koristiti jedino u izvanrednim situacijama unutar doka te također ne mogu biti odgovarajuća zamjena za predviđeni tegljač na tom dijelu broda tijekom manevra.

Pri planiranju način provedbe pojedinog manevra treba definirati potreban broj i

obilježja tegljača što će ovisiti o veličini broda, njegovima manevarskim sposobnostima (ima li brod jedan ili dva vijka, azimutne porivnike, jesu li ugrađeni pramčani ili krmeni porivnici, te je li sustav porpulzije operativan), kao i o meteorološkim i oceanološkim uvjetima u akvatoriju. Broj kao i pozicije prihvata tegljača trebaju biti usuglašeni između zapovjednika broda i peljara. Način korištenja tegljača ovisit će i tome da li je dok protočan ili ne.

Uplovljavanje i isplovljavanje, te dokovanje i izdokovanje broda iz plutajućeg doka je složen manevar koji zahtijeva sveobuhvatnu pripremu i visoku razinu sigurnosti. Meteorološke i oceanološke prilike mogu imati značajan utjecaj na izvođenje manevra prilaza, dokovanja, odnosno manevra izdokovanja te isplovljavanja iz doka. Meteorološki elementi koji imaju najznačajniji utjecaj na tijek manevriranja su vjetar, valovi, morske struje te vidljivost.

Manevar se izvodi uz prisustvo peljara na zapovjedničkom mostu broda koji kordinira sve faze dokovanja, odnosno izdokovanja sa zapovjednikom broda, te zapovjednikom doka.

Prije početka manevra prilaza doku potrebno je pripremiti sve privezne konope te oba sidra moraju biti spremna za obaranje. Prije uplovljavanja broda u dok izvode se potrebne pripreme za dokovanje (postavljaju nove potklade i provjerava te priprema ostala oprema neophodna za dokovanje). Također je potrebno utvrditi stanje brodskih tankova i stonova. Brodski teretni uređaj mora biti položen i osiguran morskim vezomu, a palubna grotla i međupalublju zatvorena kako bi se povećala čvrstoća broda u uzdužnom smjeru.

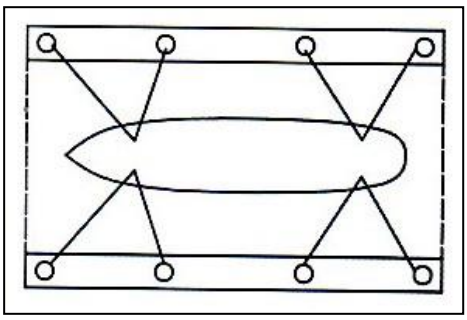
Tijekom ulaska broda u dok prihvaćaju se privezni (pritezni) konopi koji služe za uvlačenje broda u dok, a nakon što je brod ušao u dok privezuje se na pramcu i krmi na oba boka. Privez broda u doku tijekom operacije dokovanja služi isključivo za centriranje broda s obzirom na potklade te nisu potrebni posebni proračuni sigurnosti veza. Pritom se koristi privezna oprema broda. Često se, posebno u slučaju jakog vjetra, dodaju konopi s doka na brod uz pomoć brodica, radi sigurnijeg i učinkovitijeg pritezanja broda.

Nakon prihvata lijevog i desnog pramčanog konopa na priteznom vitlu tornjeva doka, brod se postepeno uvlači u plutajući dok. Postepeno se s broda na dok dodaju bočni konopi i špringovi za zaustavljanje kretanja broda.

Posada doka mora obratiti posebnu pažnju na vjetar ili struju u pramac ili krmu doka. U slučaju jakog pramčanog vjetra lijevi i desni pramčani konopi bit će prenategnuti, a krmeni manje, pa ih je dovoljno samo pritegnuti bez naprezanja. Najveći učinak pri centriranju broda daju pramčani i krmeni konopi koji djeluju približno bočno jer sprečavaju zaošijavanje broda, odnosno pramca i krme zbog djelovanja vjetra ili morske struje. Radi postizanja što boljeg učinka, točke djelovanja bočnih konopa se postavljaju što više prema pramcu odnosno krmi broda.

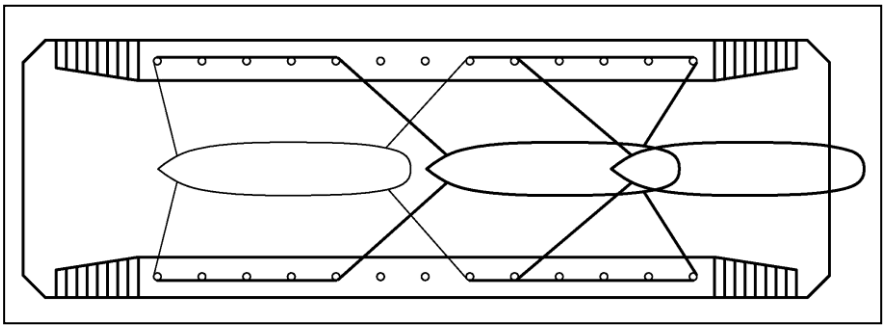
Veliki broj plutajućih dokova nalazi se u lukama velikih amplituda morskih mijena i jakih morskih struja. U slučaju da je dok usidren u smjeru djelovanja morske struje,

dolazi do jakog osciliranja broda u doku lijevo – desno zbog stvaranja podtlaka između boka broda i tornja doka.



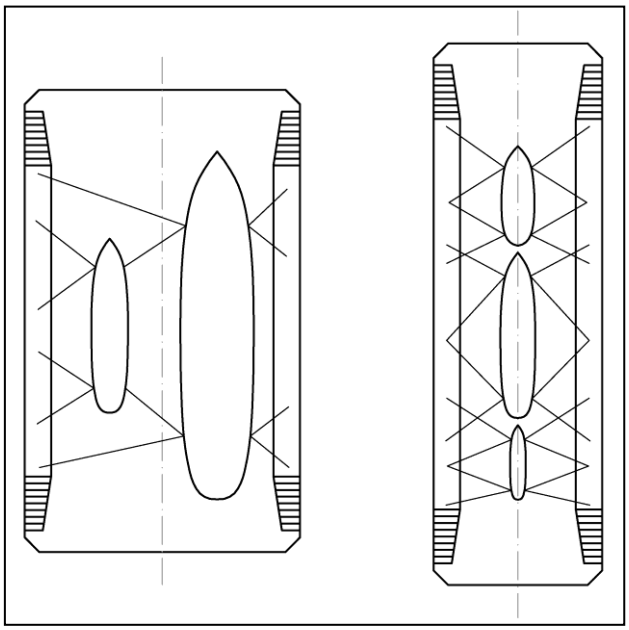
Slika 40. Privez broda u doku

Izvor: Izradio autor



Slika 41. Smještaj manjih brodova u plutajući dok pomoću vitla na tornjevima doka

Izvor: Izradio autor



Slika 42. Shema priveza više brodova u plutajućem doku

Izvor: Izradio autor

Nakon centriranja broda započinje podizanje doka, a kad brod sjedne na centralne potklade, najprije se povuku bočne potklade, te se mogu otpustiti privezni/pritezni konopi.

Manevar izdokovanja i isplovljenja broda potrebno je pomno isplanirati kako bi se postigla potrebna razina sigurnosti. Za manevar izdokovanja i isplovljenja broda vrijede načelno sve već navedene napomene.

Nakon izvršenja svih pripremnih radnji dok se balastira i spušta do gaza koji omogućuje da brod slobodno zapluta unutar doka, te se tako omogući sigurno isplovljenje broda. Neposredno prije i nakon odvajanja broda od potklada gibanje broda mora biti što manje, što će najviše ovisiti o stanju mora. Nakon balastiranja i spuštanja doka odnosno nakon što brod počne slobodno plivati započinje manevar isplovljenja broda iz doka.

U slučaju dokovanja više brodova uzdužno ili poprečno, najprije se pozicionira brod s većim gazom, što bliže sustavnom težištu doka. Ostali brodovi se pozicioniraju po pramcu i krmi većeg broda, vodeći računa o što simetričnijem rasporedu, kako bi dok imao što manji trim i opterećenje strukture.

Pri djelomičnom dokovanju broda podiže se samo oštećeni dio broda. Centriranje i smještaj brodova izvodi se pomoću pramčanih i krmenih priteznih vitala na brodu i vitala za centriranje na palubi doka.

U postupku dokovanja sudjeluje ronilac koji nadzire nasjedanje broda na potklade i postavlja klinove između potklada i oplate broda. Do trenutka dodira kobilice broda i centralnih potklada doka, stalno se prati i ispravlja trim i nagib broda, radom balastnih pumpi i ventila balasta.

Ovisno o podvodnoj formi broda, povlače se bočne potklade, koje osiguravaju brod od naginjanja, jer podizanjem doka brod gubi stabilnost. Broj i veličina centralnih i bočnih

potklada određuju se posebnim proračunom i sastavni su dio plana dokovanja.

Radi sigurnosti potrebno je stalno praćenje sustava dok – brod. Nadzor se provodi vizualno i pomoću instrumenata na zapovjedničkom mostu plutajućeg doka.

Manevar isplovljavanja iz plutajućeg doka teče obrnutim putem od uplovljavanja. U slučaju dokovanja više brodova, tegljač prvo izvuče manje brodove koji prije zaplutaju, a posljednji se izvlači veći brod. Brodovi se pomoću priteznih vitla na tornjevima doka potegnu do pozicije na kojoj prihvaćaju tegljača.

Potreban broj tegljača tijekom manevra isplovljenja broda iz doka ovisi o manevarskim obilježjima broda, kao i meteorološkim i oceanološkim prilikama. Međutim, pritom valja biti vrlo oprezan, osobito s pramčanim porivnikom jer je njegova učinkovitost upitna zbog uobičajeno malog gaza na pramcu. U slučaju da se manevar isplovljenja izvodi s brodom specifičnih obilježja (npr. velike nadvodne površine) ukazat će se potreba korištenja i većeg broja tegljača nego što je uobičajeno za brodove istih duljina. Također kod izdokovanja i isplovljenja broda porivni sustav broda u pojedinim slučajevima nije spreman za uporabu, a to će onda za pojedine kategorije brodova iziskivati uporabu tegljača (za brodove za koje kada su s pogonom nije predviđena upotreba tegljača) te dodatni broj tegljača u odnosu na isti brod s porivom.

3.4. Balastiranje/debalastiranje plutajućeg doka

Za brodove čiji deplasman prelazi 75 % nosivosti plutajućeg doka potrebno je izraditi proračun balastiranja/debalastiranja doka. Proračun se radi za nekoliko položaja doka u pojedinim fazama dizanja i spuštanja plutajućeg doka.[34]

Cilj proračuna je dobivanje takvog rasporeda balasta po pontonima da trim doka bude jednak nuli, a moment savijanja sustava dok-brod manji od dopuštenog. Pri raspoređivanju balasta, posebno kod dokova s većim brojem pontona, treba težiti da razlika opterećenja po svakom pontonu bude što manja.

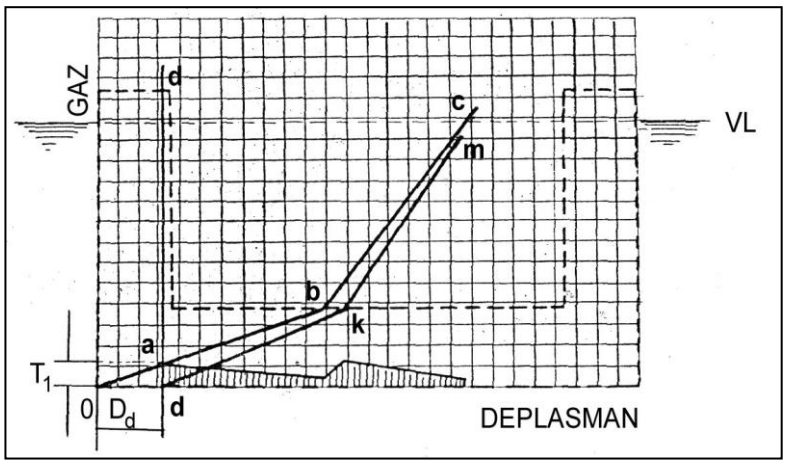
3.4.1. Plovnost plutajućeg doka pri balastiranju

Brzo i pregledno definiranje stupnja plovnosti plutajućeg doka za vrijeme dokovanja prikazuje se grafički. Na ordinati dijagrama nanosi se gaz doka, a na apcisi odgovarajući deplasman doka.

Grafikon 6 prikazuje dijagram plovnosti za prazan dok. Najčešće se izrađuje dijagram za prazan dok i za dok s dokovanim brodom. Od točke ishodišta (0) crta se linija deplasmana doka, koja do točke (b) pravolinijski raste, proporcionalno težini vode u tankovima pontona. Od točke (b) do točke najvećeg urona (c) raste nagib pravca jer zbog

[34] Simakov, G. V., Mrčenko D. V., Šhinekl I., Teoretičeskie i eksperimentalnyie isledovanija vzajmodeistvija, Izdačateljstvo Leningradskogo universiteta, Leningrad, 1979, str. 78.

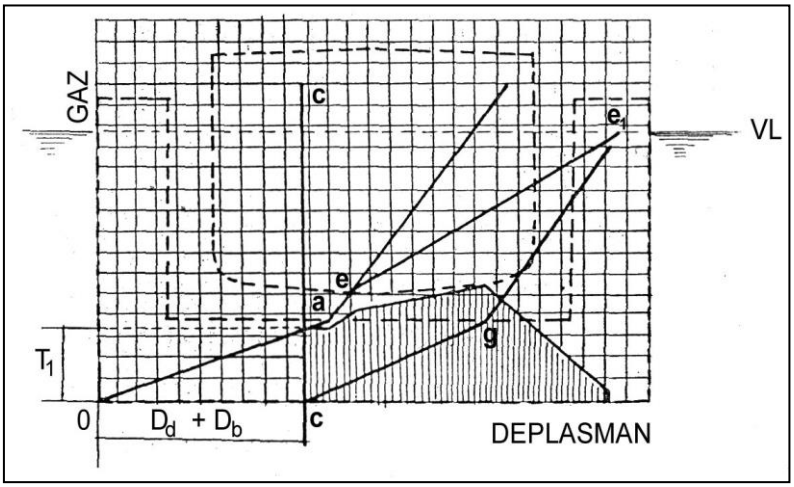
urona doka paluba pontona je pod vodom pa deplasman doka (D_0) postaje prividno manji.[35]



Grafikon 6. Plovnost praznog doka

Izvor: Smorodinski, A.: Morski porti i hidrotehnički radovi, Transport, Moskva, 1982., str. 439.

Gaz praznog doka dobije se ako se na apscisi nanese deplasman doka, te iz krajnje točke (b) podigne okomica do sjecišta sa pravcem $\overline{Ob}$. Pravac $\overline{dkm}$ pokazuje porast težine vode u tankovima s obzirom na gaz doka. Površina između pravaca $\overline{abc}$ i $\overline{dkm}$ prenijeta na apscisu pokazuje potreban rad za isisavanje balastne vode da dok izroni prazan na gaz (T_1).



Grafikon 7. Plovnost doka s brodom

Izvor: Smorodinski, A.: Morski porti i hidrotehnički radovi, Transport, Moskva, 1982., str. 439.

Grafikon 7 prikazuje dijagram plovnosti za dok s brodom. Točka (c) se dobije nanoseći na apcisi zbroj deplasmana doka (D_d) i broda (D_B). Okomica iz te točke (c) na pravac $\overline{Oa}$ daje gaz doka (T_1) sa dokovanim brodom. Kad brod sjedne na potklade, tj. iz

[35] Smorodinski, A., Morski porti i hidrotehnički radovi, Transport, Moskva, 1972., str.439.

točke (e) nanosi se pravac , deplasmana broda $\overline{ee_1}$. Površina između pravaca $\overline{aee_1}$ i pravaca $\overline{ege_1}$ prenesena na apcisu definira potreban rad za podizanje doka sa dokovanim brodom. Pravac $\overline{VL}$ prikazuje maksimalni gaz plutajućeg doka.

3.4.2. Plan balastiranja/debalastiranja

Osnovne djelujuće sile pri dokovanju broda su težina broda, težina plutajućeg doka i sila uzgona. Masa doka navedena je u dokumentaciji o doku raspoređena po pojedinom pontonu. Masa portalnih dizalica doka računa se na mjestima standardnog učvršćenja za vrijeme potapanja doka. Ukoliko nema podataka o rasporedu masa po pontonima u praksi je dovoljno rasporediti masu doka po pontonima proporcionalno volumenu pontona. Masa broda navedena je u planu dokovanja.[36]

U praksi se u planu balastiranja dijagram rasporeda masa broda smatra dovoljno preciznim ako je prikazan u obliku stepenastih krivulji ili trapeza razne veličine ordinata za brodove koji imaju razne koeficijente punoće.

Masa neispumpanog balasta ovisi o nagibu broda i nivou balastne vode i određuje se izrazom:

$$P_b = n \cdot L_p \cdot B_p (h_P - \frac{k}{2})$$

gdje su:

P_b — masa balasta (t)

n — broj pontona

L_p — duljina pontona (m)

B_p — širina pontona (m)

h_p — nivo balasta u balastnom tanku pontona

k — nagib doka (°).

Masa broda se shematski raspoređuje po pontonima u tablici u odnosu na duljinu reda potklada. Za pojednostavljenje proračuna dopušta se da dio mase broda koji ne prelazi 2 % ukupne mase može dodati masi susjednog pontona.

Ukoliko pramac ili krma broda prelaze sredinu pontona smatra se da taj ponton prima opterećenje broda. Ukoliko ne prelazi sredinu, taj ponton se ne uzima u izračun, a

[36] ***, Steel Floating Dry Docks, Rules for Building and Cassing, American Bureau of Shipping, New York, 1990., str. 125.

opterećenje se prenosi na susjedni ponton.[37]

Razmak (η) između težišta i sredine reducirane duljine (L_B) određuje se izrazom:

$$\eta = \frac{x_B}{L_B},$$

gdje su:

x_B — apscisa sustavnog težišta (m)

L_B — duljina broda (m).

Potrebna sila uzgona određuje se izrazom:

$$G_{D+B} = G_D + G_B,$$

gdje su:

G_{D+B} — težina doka s brodom (kN)

G_D — težina doka (kN)

G_B — težina broda (kN).

Uzgon po jedinici dužine za neprekinuti dok određuje se izrazom:

$$q = \frac{G_{D+B}}{L_D},$$

gdje su:

L_D — dužina doka (m).

Za pontonski dok:

$$q = \frac{G_D}{L_D - \sum l_n}$$

gdje su:

q — sila uzgona po dužini doka (kN/m)

$\sum l_n$ — zbroj svih duljina pojedinih pontona (m).

[37] Pavlov, P., Eksploatacija dokova, Transport, Moskva, 1968., str. 83.

Masa kompenzirajućeg balasta određuje se izrazom:

$$G_{BAL} = U - G_B - G_D - G_{NB},$$

gdje su:

U — uzgon doka s brodom prikazan u tonama

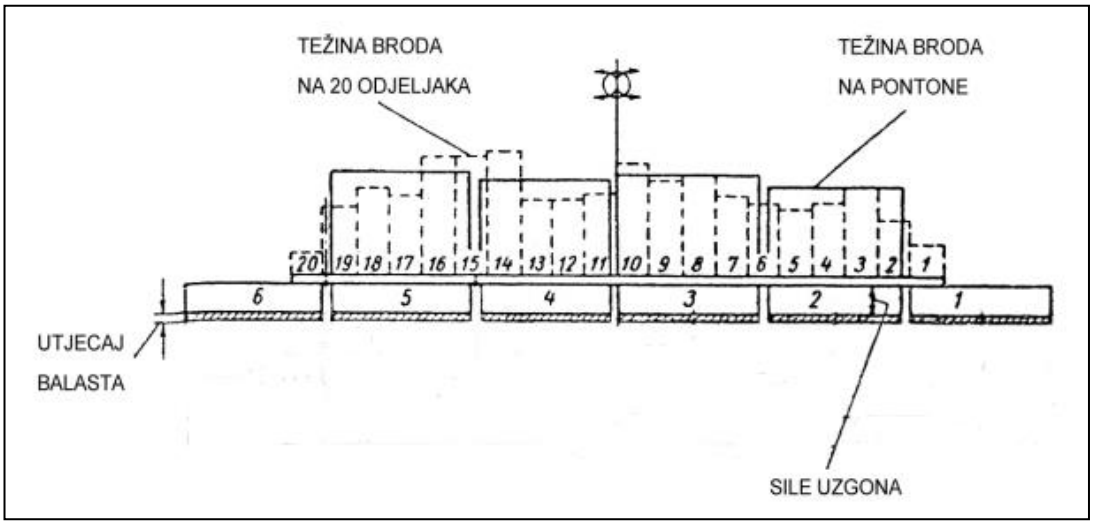
G_B — masa broda (t)

G_D — masa doka (t)

G_{NB} — masa balasta u doku (t).

Proračun balastiranja po navedenim izrazima radi se za nekoliko položaja balastiranja doka i to:

- u trenutku kada kobilica dotakne potklade
- za visinu vode do nivoa potklada
- u konačnom gazu doka s brodom.



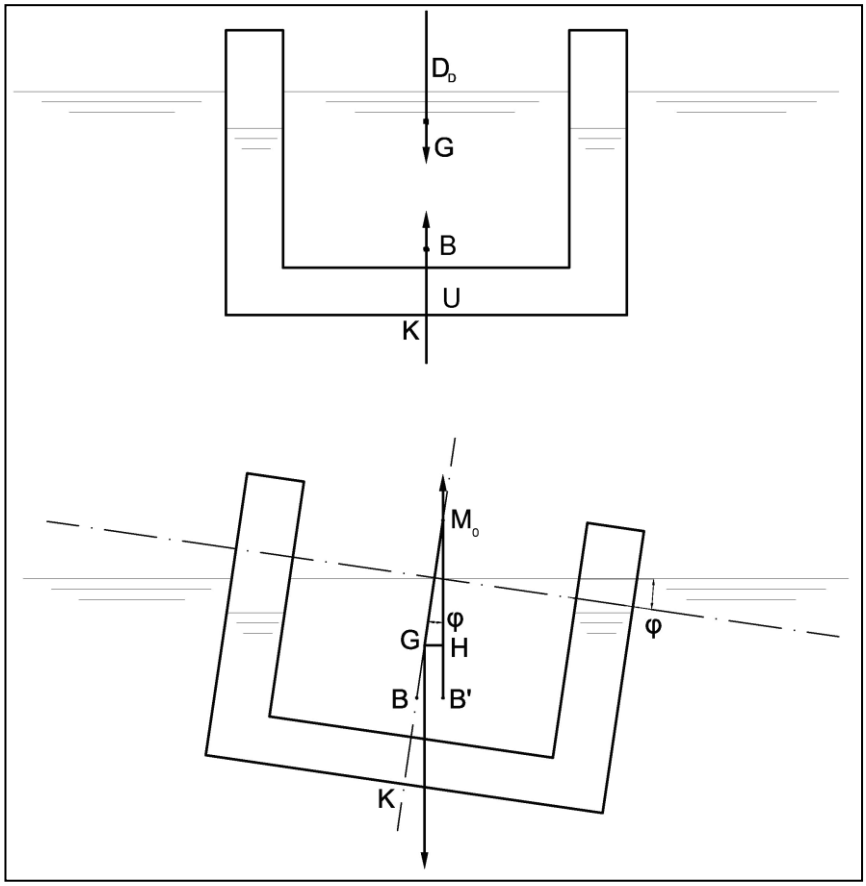
Grafikon 8. Raspored težina i sila uzgona

Izvor: Izradio autor

4. STABILNOST PLUTAJUĆEG DOKA PRI DOKOVANJU

Stabilnošću se smatra sposobnost plutajućeg doka koja mu omogućava odupiranje djelovanju vanjskim sila i povratak u prvobitni položaj nakon prestanka djelovanja tih sila. Vanjskim silama koje naginju dok mogu se smatrati djelovanje vjetra i valova, nesimetrično dokovanje brodova, nepravilno balastiranje i debalastiranje, i sl. Osnovne postavke pri razmatranju stabilnosti broda vrijede i primjenjuju se i na stabilnost plutajućeg doka. Uobičajeni postupci dokovanja izvode se u kontroliranim uvjetima te se stoga razmatra statička stabilnost plutajućeg doka u neoštećenom stanju. Zbog malih kutova nagibanja razmatra se samo početna poprečna stabilnost.

Dok je stabilan u slučaju pozitivne metacentarske visine jer se tada javlja pozitivan povratni moment *Mst* koji se odupire nagibanju i vraća dok u uspravan položaj nakon prestanka djelovanja sila koje ga nagibaju (Slika 43).



Slika 43. Elementarne točke stabilnosti plutajućeg doka

Izvor: Izradio autor

Moment stabilnosti *Mst* odnosno početni moment stabilnosti Mst_0 određuje se koristeći izraz:

$$M_{st} = D_D \cdot \overline{GH} \qquad M_{st\,0} = D_D \cdot \overline{M_0 G_V} \cdot \sin\varphi$$

gdje su:

D_D — deplasman doka (t)

$\overline{GH}$ — poluga stabilnosti (m)

$\overline{M_0 G_V}$ — poč. popr. metac. visina ispravljena za utjecaj slobodnih površina (m)

φ — kut nagiba doka (°).

Kako bi se osigurala stabilnost plutajućeg doka, posebno u kritičnim fazama njegova podizanja ili spuštanja, odnosno kako bi se smanjio utjecaj slobodnih površina, pontoni su podijeljeni uzdužnim pregradama.

U slučaju nepostojanja uzdužnih pregrada moment tromosti površine vodene linije gotovo je jednak momentu tromosti slobodnih površina balastne vode, te je dok u tim slučajevima u pravilu manje stabilan. Uzdužne pregrade smanjuju utjecaj slobodnih površina i to s kvadratom broja tankova odnosno odjela po širini doka.

Izrazi za stabilnost plutajućeg doka mogu se primijeniti i za stabilnost s brodom u doku. U tom slučaju se vrijednostima za deplasman, volumen, moment tromosti vodene linije i slobodnih površina doka trebaju dodati odgovarajuće vrijednosti za brod.

Tijekom spuštanja ili podizanja doka stabilnost se mijenja. Posebno valja voditi računa o onim stadijima promjene gaza doka odnosno razine vode u odnosu na dok u kojima se javljaju male promjena gaza ali se javljaju velike razlike u tromosti površine vodene linije (npr. slučaj u kojem je paluba doka tek izronila iz vode ili u slučaju kada je paluba doka upravo uronila). U prvom slučaju se naglo povećava stabilnost doka, a u drugom slučaju se naglo smanjuje stabilnost doka.

Slično vrijedi i u slučajevima kada se tankovi pune ili prazne balastnom vodom. Iako promjena količine vode u tankovima može biti vrlo mala, u jednom trenutku se može naglo pojaviti utjecaj slobodnih površina tekućina u tankovima i time smanjiti stabilnost doka, dok u drugom trenutku može naglo nestati utjecaj slobodnih površina tekućina u tankovima, te se time povećava stabilnost doka.

U oba opisana slučaja može se raditi o manjim promjenama deplasmana doka, a značajno se mogu mijenjati parametri stabilnosti. Dakako posebno je značajna promjena koja smanjuje stabilnost doka.

4.1. Stabilnost doka pri dokovanju broda

Kako bi se osigurala zadovoljavajuća stabilnost plutajućeg doka pri dokovanju potrebno je prije dokovanja proračunati karakteristične faze dokovanja, odnosno proračunati stabilnost doka za karakteristične vodene linije.

Pri postupku dokovanja odnosno podizanja doka i broda, osim poznavanja stabilnosti uronjenog doka prije dokovanja broda pri vodnoj liniji VL_T (potklade trebaju biti uronjene za gaz broda uz dodatak određene dubine ispod kobilice (UKC) do potklada kako bi se omogućio siguran ulazak broda u dok), potrebno je proračunati i stabilnost doka za sljedeće karakteristične faze dokovanja.

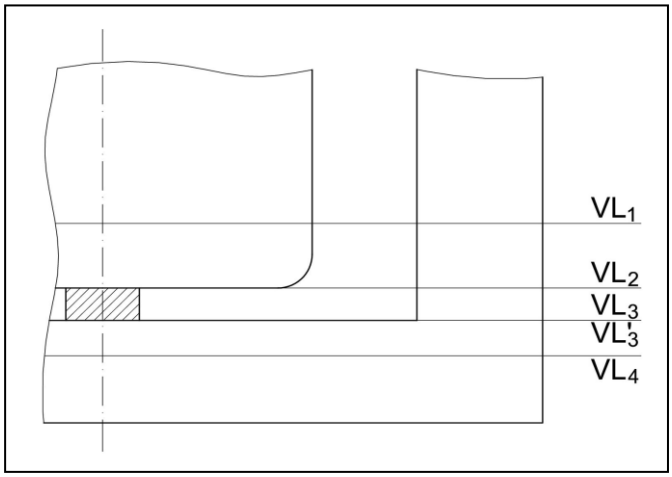
I. – brod upravo naliježe na potklade, VL_1

II. – brod je upravo potpuno izronio iz vode, VL_2 (razina vode do vrha potklada)

III. – paluba doka neposredno pred izranjanje iz vode, VL_3

IV. – paluba doka neposredno nakon što je izronila iz vode, VL'_3

V. – dok je izronio do planiranog gaza tijekom boravka broda u doku, VL_4.



Slika 44. Karakteristične vodene linije pri dokovanju/izdokovanju broda

Izvor: Izradio autor

Pri postupku izdokovanja, odnosno spuštanja doka i broda potrebno je proračunati i stabilnost doka za sljedeće karakteristične faze spuštanja doka.

I. – dok je na gazu tijekom boravka broda u doku, VL_4

II. – paluba doka neposredno prije uranjanja u vodu, VL'_3

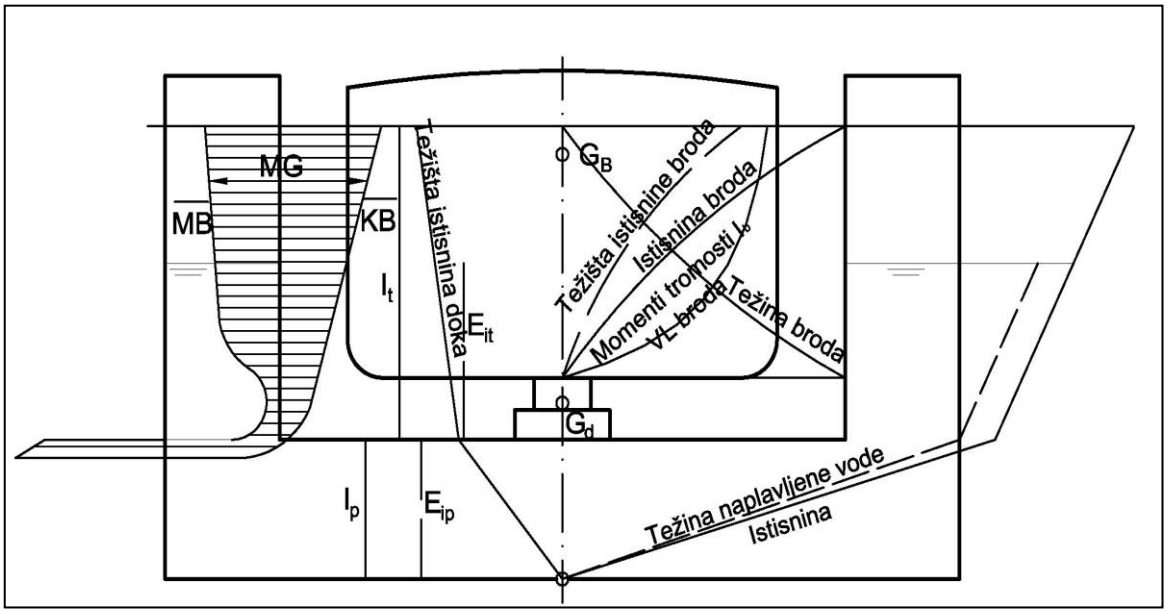
III. – paluba doka neposredno nakon uranjanja u vodu, VL_3

IV. – brod je upravo dotaknuo vodu, VL_2 (razina vode do vrha potklada)

V. – brod je upravo zaplutao, VL_1.

Ukoliko tijekom boravka broda u doku nije došlo do većih promjena mase broda i/ili promjena u masi doka, stabilnost sustava dok-brod, na pojedinim karakterističnim vodenim linijama, odgovara onoj za te vodene linije pri dokovanju broda.

Osim poznavanja stabilnosti za navedene vodene linije potrebno je odrediti i stabilnost praznog izronjenog doka na uobičajenoj vodenoj liniji VL_0.



Slika 45. Prikaz karakterističnih krivulji pojedinih elemenata stabilnosti sustava dok-brod za različite vodene linije

Izvor: Izradio autor prema: Uršić, 1966.

Na prethodnoj slici prikazane su karakteristične krivulje pojedinih elemenata stabilnosti sustava dok-brod u funkciji različitih vodnih linija. U dijagramu su prikazane krivulje istisnine doka i broda, mase odnosno težine broda, masa odnosno težina naplavljene vode, težišta istisnine doka i broda, sustavno težište doka G_D i broda G_B, te metacentarski radijus, težište istisnine i početnu poprečnu metacentarska visina sustava dok-brod.

Osim grafički stabilnost sustava dok-brod moguće je odrediti i proračunski, koristeći ulazne podatke iz dijagramnog lista ili tablica s hidrostatskim podacima plutajućeg doka, te podatke koje su vezani uz brod koji se dokuje.

Pri proračunu stabilnosti sustava dok-brod za svaku od navedenih karakterističnih vodenih linija potrebno je proračunati početnu poprečnu metacentarsku visinu.

Metacentarska visina se može odrediti izrazom:

$$\overline{M_0G_V} = \overline{KM_0} - \overline{KG_V},$$

gdje su:

$\overline{M_0G_V}$ — poč. poprečna metac. visina ispravljena za utjecaj slobodnih površina (m)

$\overline{KM_0}$ — udaljenost početnog poprečnog metacentra od osnovke (m)

$\overline{KG_V}$ — udalj. sust. težišta od kobilice s uključ. ispr. za utjecaj slob. površina (m).

Pritom se $\overline{KM_0}$ vadi iz tablica s hidrostatskim podacima odnosno iz dijagramnog lista doka na temelju deplasmana odnosno srednjeg gaza doka.

Udaljenost sustavnog težišta od kobilice s uključenim ispravkom za utjecaj slobodnih površina tekućina u tankovima $\overline{KG_V}$ određuje se prema izrazu:

$$\overline{KG_V} = \overline{KG} + \overline{GG_V} .$$

Udaljenost sustavnog težišta od osnovke $\overline{KG}$ određuje se iz računa centracije sustava dok-brod prema izrazu:

$$\overline{KG} = \frac{\Sigma Mv}{D} .$$

Ispravak za utjecaj slobodnih površina tekućina u tankovima $\overline{GG_V}$ određuje se prema izrazu:

$$\overline{GG_V} = \frac{\Sigma I}{D} .$$

U prethodnom izrazu ΣI predstavlja sumu momenata tromosti slobodnih površina tekućina u tankovima, a moment tromosti slobodnih površina tekućina u tankovima I određuje se prema izrazu:

$$I = i \cdot \rho ,$$

gdje su:

I — moment tromosti slobodnih površina tekućina u tankovima (tm)

i — volumetrički moment slobodnih površina tekućina u tankovima (m^4)

ρ — gustoća vode (t/m^3).

Za pravilne četvrtaste oblike tankova, volumetrički moment slobodnih površina tekućina u tankovima i određuje se prema izrazu:

$$i = \frac{l \cdot b^3}{12} ,$$

gdje su:

l — duljina tanka (m)

b — širina tanka (m).

Imajući u vidu navedeno za balastne tankove u pontonima može se koristiti izraz:

$$i_P = \frac{l \cdot b_P{}^3}{12},$$

a za balastne tankove u tornjevima izraz:

$$i_T = \frac{l \cdot b_T{}^3}{12},$$

gdje su:

i_P — volumetrički moment slob. površina tekućina u balas. tankovima pontona (m^4)

i_T — volumetrički moment slobodnih površina tekućina u balastnim tankovima tornjeva (m^4)

l — duljina tanka (m)

b_P — širina balastnih tankova pontona (m)

b_T — širina balastnih tankova tornjeva (m).

Ponton obično ima uzdužne pregrade, pa se za određivanje ukupnog volumetričkog momenta slobodnih površina u tankovima pontona može pisati izraz:

$$\Sigma i_P = n \cdot \frac{l \cdot b_{Pn}{}^3}{12},$$

gdje su:

n — broj tankova

b_{Pn} — širina pojedinog balastnog tanka pontona (m).

Metacentarska visina se prema Atwoodu može odrediti i izravno prema izrazu:

$$\overline{M_0 G_V} = \overline{BM_0} - \overline{BG_V},$$

gdje su:

$\overline{M_0G_V}$ — početna poprečna metacentarska visina ispravljena za utjecaj slobodnih površina (m)

$\overline{BM_0}$ — udaljenost početnog poprečnog metacentra od težišta istisnine (m)

$\overline{BG_V}$ — udaljenost sustavnog težišta ispravljenog za utjecaj slobodnih površina od težišta istisnine (m).

Udaljenost težišta istisnine od početnog poprečnog metacentra $\overline{BM_0}$ dobiva se prema izrazu:

$$\overline{BM_0} = \frac{I_{VL}}{V},$$

gdje su:

I_{VL} — moment tromosti površine vodene linije ($m^{4.}$)

V — volumen uronjenog dijela doka (m^3).

Moment tromosti površine vodene linije za različite karakteristične gazove tijekom dokovanja broda može se sastojati od zbroja momenta tromosti površine vodene linije pontona i momenta tromosti površine vodene linije tornjeva, samo od momenta tromosti površine vodene linije pontona i samo od momenta tromosti površine vodene linije tornjeva.

Moment tromosti površine vodene linije pontona određuje se prema izrazu:

$$I_{VLP} = \frac{L \cdot B^3}{12},$$

gdje su:

I_{VLP} — moment tromosti površine vodene linije pontona (m^4)

L — duljina pontona (m)

B — širina pontona (m).

Moment tromosti površine vodene linije tornjeva čini vlastiti moment tromosti vodene linije pojedinog tornja te položajni utjecaj na ukupni moment tromosti vodene linije tornjeva. Imajući u vidu navedeno moment tromosti površine vodene linije tornjeva može se odrediti prema izrazu:

$$I_{VLT} = 2 \cdot \left[\frac{L \cdot b^3}{12} + L \cdot b \cdot \left(\frac{B}{2} - \frac{b}{2} \right)^2 \right],$$

gdje su:

I_{VLT} — moment tromosti površine vodene linije tornjeva (m^4)

L — duljina tornjeva (m)

B — ukupna širina doka (m)

b — širina jednog tornja (m).

Moment tromosti površine vodene linije tornjeva može se odrediti i kao razlika momenta tromosti površine vodene linije pontona i momenta tromosti površine vodene linije korisne širine doka (pontona) prema izrazu:

$$I_{VLT} = \frac{L \cdot B^3}{12} - \frac{L \cdot B_1^{\ 3}}{12} \quad \text{odnosno} \quad I_{VLT} = \frac{L \cdot (B^3 - B_1^{\ 3})}{12} ,$$

gdje su:

I_{VLT} — moment tromosti površine vodene linije tornjeva (m^4)

L — duljina tornjeva (m)

B — ukupna širina doka (m)

B_1 — korisna širina doka (m).

Volumen uronjenog dijela doka za različite karakteristične gazove tijekom dokovanja broda može se sastojati od zbroja volumena pontona i volumena uronjenog dijela tornjeva ili samo od volumena uronjenog dijela pontona. Dakle ukupni volumen uronjenog dijela pontona može se dobit prema izrazu:

$$V_D = V_P + V_T,$$

gdje su:

V_D — volumen uronjenog dijela doka (m^3)

V_P — volumen uronjenog dijela pontona (m^3)

V_T — volumen uronjenog dijela tornjeva (m^3).

Udaljenost težišta istisnine od sustavnog težišta dok-brod ispravljenog za utjecaj slobodnih površina $\overline{BG_V}$ može se odrediti prema izrazu:

$$\overline{BG_V} = \overline{KG_V} - \overline{KB}.$$

Udaljenost sustavnog težišta od osnovke $\overline{KG}$ određuje se kako je već naglašeno računom centracije, a zatim se ispravlja za utjecaj slobodnih površina tekućina u

tankovima $\overline{GG_V}$.

Ukupni deplasman sustava dok-brod za različite karakteristične gazove tijekom dokovanja broda može se sastojati od zbroja mase doka (masa doka bez balasta i masa balasta u balastnim tankovima) i mase broda.

Ukupni deplasman sustava dok-brod može se odrediti prema izrazu:

$$D = D_D + D_B .$$

Deplasman doka bez broda može se odrediti prema izrazu:

$$D_D = D_0 + p_V$$

pa se može pisati:

$$D = D_0 + p_V + D_B$$

gdje su:

D — ukupni deplasman sustava dok-brod (t)

D_D — masa doka (t)

D_0 — masa doka bez balasta (t)

p_V — masa balasta u balastnim tankovima (t)

D_B — masa broda (t).

Masa vode u balastnim takovima može se odrediti uz pomoć kalibriranih tablica balastnih tankova, ili ukoliko je poznat volumen vode u pojedinom balastnom tanku, prema izrazu:

$$p_V = V_T \cdot \rho$$

gdje su:

p_V — masa vode u tankovima (t)

V_T — volumen vode u tankovima (m^3)

ρ — gustoća vode (t/m^3).

Balast može biti smješten u balastnim tankovima pontona i balastnim tankovima tornjeva, a kako se u raznim fazama dokovanja stanje mijenja praktično je deplasman doka prikazati na sljedeći način:

$$D_D = D_0 + p_{VP} + p_{VT}.$$

U navedenom izrazu p_{VP} predstavlja masu balasta u balastnim tankovima pontona, a p_{VT} masu balasta u balastnim tankovima tornjeva.

Ukoliko je poznat volumen uronjenog dijela doka deplasman doka može se odrediti i prema izrazu:

$$D_D = V_D \cdot \rho,$$

gdje su:

D_D — deplasman doka (t)

V_D — volumen podvodnog dijela doka (m^3)

ρ — gustoća vode (t/m^3).

Udaljenost težišta istisnine od osnovke $\overline{KB}$ može se dobiti iz tablica s hidrostatskim podacima, odnosno iz dijagramnog lista doka na temelju deplasmana odnosno srednjeg gaza doka, ili prema izrazu:

$$\overline{KB} = \frac{\Sigma MV_D}{\Sigma V_D},$$

gdje su:

$\overline{KB}$ — udaljenost težišta istisnine od osnovke (m)

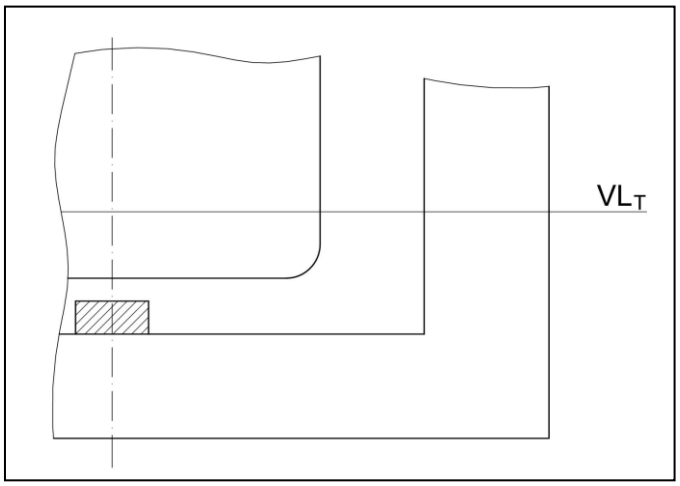
ΣMV_D — suma momenata istisnine doka (volumena uronjenog dijela doka) u odnosu na osnovku (m^4)

ΣV_D — istisnina doka (volumena uronjenog dijela doka) (m^3).

Nakon načelnog prikaza određivanja stabilnosti sustava dok-brod konkretizirati će se i prikazati specifičnosti proračuna stabilnosti za karakteristične vodene linije pri postupku dokovanja broda. Pritom se proračunavaju položaji sustavnog težišta sustava dok-brod, težišta istisnine za ponton, tornjeve i brod. Ovi proračuni su vrlo značajni za provjeru stabilnosti plutajućeg doka u svakoj fazi dokovanja.

4.1.1. Proračun stabilnosti za VLT — dok uronjen da bi brod mogao uploviti

Prije početka postupka dokovanja odnosno podizanja doka i broda potrebno je dok uroniti na dovoljnu dubinu kako bi brod mogao uploviti u dok. Dok je potrebno uroniti tako da vrh potklada uroni za gaz broda i dodatno za određeni slobodni prostor ispod kobilice do vrha potklada. Vrijednost ovog slobodnog prostora ispod kobilice (UKC) ovisi o mnogim čimbenicima koji ovise o veličini odnosno dimenzijama broda te meteorološkim i oceanološkim uvjetima, a s tim u vezi i mogućim vertikalnim gibanjima broda pri uplovljavanju u dok.



Slika 46. Proračun stabilnosti za VL_T – dok uronjen da bi brod mogao uploviti

Izvor: Izradio autor

Nakon što se odredi potreban uron doka za prihvat konkretnog broda, prije početka potapanja doka, potrebno je za taj gaz odnosno za tu vodnu liniju VL_T proračunati stabilnost doka.

Pri spuštanju praznog doka djeluje masa doka D_0 i masa naplavljenje vode p_V. Kada je dok na vodnoj liniji VL_T, ukupna masa doka i balasta jednaka je deplasmanu doka.

Stabilnost doka uronjenog na neku vodnu liniju VL_T provjerava se proračunom početne poprečne metacentarske visine ispravljene za utjecaj slobodnih površina, prema izrazu:

$$\overline{M_0G_V} = \overline{BM_0} - \overline{BG_V}.$$

Pri proračunu metacentarskog radijusa koristi se prije navedeni izraz $\overline{BM_0} = \frac{I_{VL}}{V}$.

Pri proračunu momenta tromosti površine vodene linije I_{VL} za vodnu liniju VL_T uzima se u obzir samo moment tromosti površine vodene linije tornjeva jer je paluba doka (pontona) pod vodom. Moment tromosti površine vodene linije u konkretnom slučaju računa se samo za tornjeve prema izrazu:

$$I_{VL_t} = \frac{L \cdot (B^3 - B_1^3)}{12}.$$

Volumen doka u ovom slučaju predstavlja zbroj volumena pontona V_P i volumena uronjenog dijela tornjeva V_T. tj. $V = V_P + V_T$.

Za konkretan slučaj odredi se i udaljenost od težišta istisnine doka do sustavnog težišta doka ispravljenog za utjecaj slobodnih površina BG_V prema prije definiranom izrazu:

$$\overline{BG_V} = \overline{KG_V} - \overline{KB}.$$

Pri proračunu KG potrebno je računom centracije obuhvatiti samo masu doka bez broda. Masa doka sastoji se od mase doka bez balasta i mase balasta u balastnim tankovima. U ovom slučaju uranjanja doka tankovi pontona ispunjeni su u potpunosti, dok su tankovi tornjeva ispunjeni djelomično, osim ako dok u tornjevima ima horizontalnu pregradu, kada se može dogoditi da razina vode u tornjevima dođe do nje. Navedeno je važno zbog određivanja visine težišta pojedinih balastnih tankova iznad osnovke. U ovom slučaju za tankove pontona težište je na polovini visine palube doka (pontona) od osnovke. Težište u tankovima tornjeva je približno na polovini visine balastne vode u tanku, a za tankove tornjeva s pregradom na polovini visine tanka.

Masa balasta jednaka je umnošku volumena balasta u tanku i gustoće balastne vode. Kako su tankovi pravilnih oblika, volumen balasta u tankovima se može odrediti na jednostavan način, a da je pritom i približno točan. Dakako, za točno određivanje mase i težišta potrebno je koristiti kalibrirane tablice balastnih tankova.

U konkretnom slučaju KG proračunava se prema izrazu:

$$\overline{KG} = \frac{\sum Mv}{D_D} = \frac{D_0 \cdot KG_0 + p_{VP} \cdot Kg_{VP} + p_{VT} \cdot Kg_{VT}}{D_0 + p_{VP} + p_{VT}}.$$

Tako određen položaj sustavnog težišta doka potrebno je ispraviti za utjecaj slobodnih površina tekućina u tankovima, ako one postoje. U konkretnom slučaju slobodne površine mogu se javiti samo u tankovima tornjeva ako su djelomično ispunjeni. U ovom slučaju utjecaj slobodnih površina tekućina u tankovima treba računati prema sljedećim izrazima:

$$i_T = \frac{l \cdot b_T^{\,3}}{12} \qquad I_T = i_T \cdot \rho \qquad \overline{GG_V} = \frac{\Sigma I_T}{D}$$

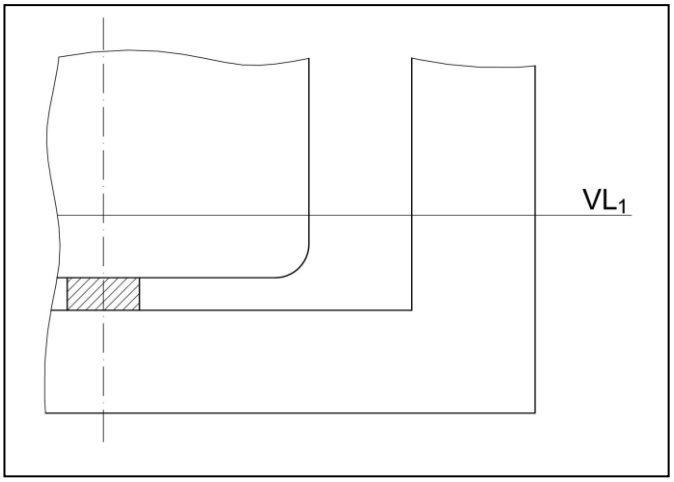
Udaljenost težišta istisnine od osnovke za konkretan gaz doka $\overline{KB}$ može se, kako je već navedeno, odrediti iz tablica s hidrostatskim podacima odnosno iz dijagramnog lista doka na temelju deplasmana odnosno srednjeg gaza doka, ili prema navedenom izrazu kao kvocijent sume momenata volumena uronjenog dijela doka u odnosu na osnovku i volumena uronjenog dijela doka. Navedeni izraz za konkretan slučaj može se pisati kao:

$$\overline{KB} = \frac{\sum MV_D}{V_D} = \frac{V_P \cdot Kb_P + V_T \cdot Kb_T}{V_P + V_T}.$$

Visina težišta istisnine pontona od osnovke Kb_P nalazi se na polovini visine palube pontona od osnovke. Težište istisnine uronjenog dijela tornjeva nalazi na polovici visine uronjenog dijela tornja od palube pontona, a udaljenost tog težišta od osnovke bit će jednaka zbroju visine palube pontona od osnovke h i polovine visine uronjenog dijela tornjeva h_T.

4.1.2. Proračun stabilnosti za VL1 – brod upravo naliježe na potklade

Nakon što brod uđe u dok te se pozicionira započinje proces podizanja doka pražnjenjem balastne vode prema planu debalastiranja. Sa stanovišta stabilnosti sustava dok-brod potrebno je proračunati stabilnost za vodnu liniju VL_1 koja se javlja u trenutku kada brod upravo naliježe na potklade. Proračun stabilnosti odnosno specifičnosti ulaznih parametara gotovo su iste prije navedenim samo što će u ovom slučaju volumen uronjenog dijela pontona kao i masa balastne vode biti nešto manja jer je dok izronio za promjenu gaza koja je jednaka vrijednosti dubine ispod kobilice broda do vrha potklada nakon što je brod ušao u dok.



Slika 47. Proračun stabilnosti za VL_1– brod upravo naliježe na potklade

Izvor: Izradio autor

Početna poprečna metacentarska visina ispravljena za utjecaj slobodnih površina za vodnu liniju VL_1 određuje se prema izrazu:

$$\overline{M_0G_V} = \overline{BM_0} - \overline{BG_V}.$$

Pri proračunu metacentarskog radijusa koristi se prije navedeni izraz $\overline{BM_0} = \frac{I_{VL}}{V}$, a u konkretnom slučaju za vodnu liniju VL_1 uzima se također u obzir samo moment tromosti površine vodene linije tornjeva jer je paluba doka (pontona) pod vodom, a proračunava se prema izrazu:

$$I_{VL_t} = \frac{L \cdot (B^3 - B_1^{\,3})}{12}.$$

Volumen doka u ovom slučaju predstavlja također zbroj volumena pontona V_P i volumena uronjenog dijela tornjeva V_T, tj. $V = V_P + V_T$. Kako je već naglašeno ova vrijednost je nešto manja jer je dok u odnosu na VL_T nešto izronio. U konkretnom slučaju smanjuje se volumen uronjenog dijela tornjeva V_T.

Udaljenost od težišta istisnine doka do sustavnog težišta doka ispravljenog za

utjecaj slobodnih površina BG_V za konkretan slučaj određuje se prema prije definiranom izrazu:

$$\overline{BG_V} = \overline{KG_V} - \overline{KB}.$$

Pri proračunu visine sustavnog težišta iznad osnovke KG za VL_1 vrijede sva prije navedena razmatranja pri analizi proračuna stabilnosti za VL_T. Dakako valja uzeti u obzir da je masa balasta u tornjevima nešto manja, a težište niže.

U konkretnom slučaju KG proračunava se prema izrazu:

$$\overline{KG} = \frac{\sum Mv}{D_D} = \frac{D_0 \cdot KG_0 + p_{VP} \cdot Kg_{VP} + p_{VT} \cdot Kg_{VT}}{D_0 + p_{VP} + p_{VT}}.$$

Položaj sustavnog težišta doka potrebno je ispraviti za utjecaj slobodnih površina tekućina u tankovima, ako one postoje, prema sljedećim izrazima:

$$i_T = \frac{l \cdot b_T^{\,3}}{12} \quad I_T = i_T \cdot \rho \quad \overline{GG_V} = \frac{\Sigma I_T}{D}.$$

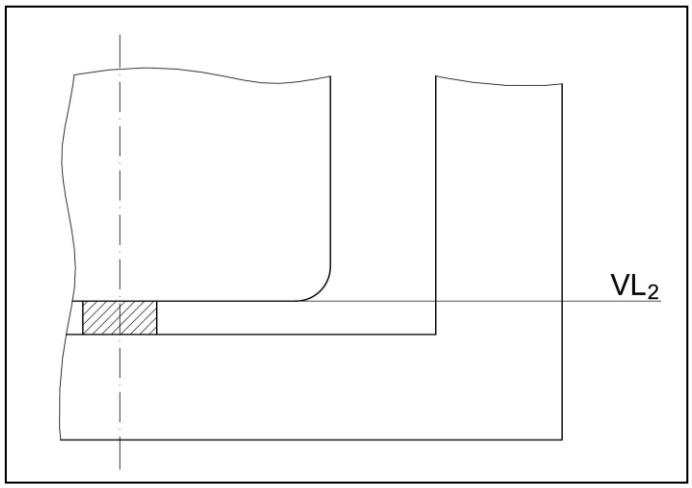
I u ovom slučaju vrijede sva načelna razmatranja kao i za VL_T, a udaljenost težišta istisnine $\overline{KB}$ od osnovke za konkretan gaz doka može se odrediti prema izrazu:

$$\overline{KB} = \frac{\sum MV_D}{V_D} = \frac{V_P \cdot Kb_P + V_T \cdot Kb_T}{V_P + V_T}.$$

Tijekom daljnjeg podizanja doka stalno se smanjuje volumen podvodnog dijela broda i raste vrijednost mase odnosno težine broda kojom brod djeluje na dok sve dok vodena linija ne dođe do vrha potklada kada na dok djeluje cjelokupna masa odnosno težina broda.

4.1.3. Proračun stabilnosti za VL2 – brod je upravo potpuno izronio iz vode

Sljedeći stadij za koga treba proračunati stabilnost sustava dok-brod je onaj za vodnu liniju VL_2 koja se javlja u trenutku kada je brod upravo potpuno izronio iz vode. Ova situacija se javlja kada razina vode dosegne vrh potklada, a brod potpuno gubi uzgon. U ovom slučaju deplasman sustava dok-brod jednak je zbroju mase doka i mase broda.



Slika 48. Brod je upravo potpuno izronio iz vode

Izvor: Izradio autor.

Početna poprečna metacentarska visina ispravljena za utjecaj slobodnih površina za vodnu liniju VL_2 određuje se prema izrazu:

$$\overline{M_0G_V} = \overline{BM_0} - \overline{BG_V}.$$

Pri proračunu metacentarskog radijusa koristi se prije navedeni izraz $\overline{BM_0} = \frac{I_{VL}}{V}$, a u konkretnom slučaju za vodenu liniju VL_2 uzima se također u obzir samo moment tromosti površine vodene linije tornjeva jer je paluba doka (pontona) pod vodom, a proračunava se prema izrazu:

$$I_{VLt} = \frac{L \cdot (B^3 - B_1^3)}{12}.$$

Volumen doka u ovom slučaju predstavlja također zbroj volumena pontona V_P i volumena uronjenog dijela tornjeva V_T, tj. $V = V_P + V_T$. Ova vrijednost je opet nešto manja u odnosu na onu za VL_1 jer je dok još izronio. Dakle dodatno se smanjuje volumen uronjenog dijela tornjeva V_T.

Udaljenost od težišta istisnine doka do sustavnog težišta doka ispravljenog za utjecaj slobodnih površina BG_V za konkretan slučaj također se određuje prema prije definiranom izrazu:

$$\overline{BG_V} = \overline{KG_V} - \overline{KB}.$$

Pri proračunu KG potrebno je računom centracije obuhvatiti masu doka i masu broda. Masa doka sastoji se od mase praznog doka i mase balasta u balastnim tankovima. U ovom slučaju uranjanja doka obično su ispunjeni tankovi pontona (djelomično ili u potpunosti), dok su tankovi tornjeva obično ispražnjeni što ovisi o masi dokovanog broda. U ovom slučaju za tankove pontona težište je na polovini visine palube doka (pontona) od osnovke ukoliko su tankovi puni odnosno na polovini visine balastne vode u tankovima

ako su djelomično puni. Visina težišta dokovanog broda od osnovke određuje se kao zbroj visine vrha potklada od osnovke doka *h* i visine sustavnog težišta broda od kobilice KG_B.

U konkretnom slučaju KG proračunava se prema izrazu:

$$\overline{KG} = \frac{\sum Mv}{D_D} = \frac{D_0 \cdot KG_0 + p_{VP} \cdot Kg_{VP} + D_B \cdot (h + KG_B)}{D_0 + p_{VP} + D_B}.$$

Položaj sustavnog težišta doka potrebno je ispraviti za utjecaj slobodnih površina tekućina u tankovima, ako one postoje, prema sljedećim izrazima:

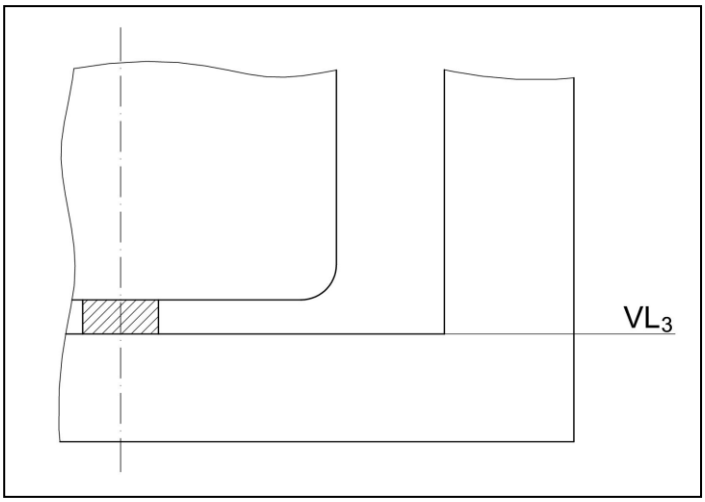
$$i_T = \frac{l \cdot b_T^{\,3}}{12} \quad I_T = i_T \cdot \rho \quad \overline{GG_V} = \frac{\Sigma I_T}{D}.$$

I u ovom slučaju vrijede sva načelna razmatranja kao i za VL_T i VL_1, a udaljenost težišta istisnine od osnovke za konkretan gaz doka $\overline{KB}$ može se odrediti prema izrazu:

$$\overline{KB} = \frac{\sum MV_D}{V_D} = \frac{V_P \cdot Kb_P + V_T \cdot Kb_T}{V_P + V_T}.$$

4.1.4. Proračun stabilnosti za VL3 – paluba doka neposredno pred izranjanje iz vode

Sljedeći stadij proračuna stabilnosti sustava dok-brod vezan je uz vodnu liniju VL_3, a javlja se u trenutku neposredno pred izranjanje palube doka iz vode. U ovoj situaciji stabilnost doka je najmanja (najmanja je metacentarska visina) jer površina vodene linije pontona i dalje ne doprinosi momentu tromosti vodene linije (doprinosi i dalje samo moment tromosti površine vodene linije tornjeva), a masa balastne vode u pontonu je manja u odnosu na prethodnu vodenu liniju, što posredno utječe na povećanu visinu sustavnog težišta sustava dok-brod.



Slika 49: Paluba doka neposredno pred izranjanje iz vode

Izvor: Izradio autor.

Početna poprečna metacentarska visina ispravljena za utjecaj slobodnih površina za vodnu liniju VL_3 određuje se prema izrazu:

$$\overline{M_0G_V} = \overline{BM_0} - \overline{BG_V}.$$

Pri proračunu metacentarskog radijusa koristi se prije navedeni izraz $\overline{BM_0} = \frac{I_{VL}}{V}$, a u konkretnom slučaju za vodnu liniju VL_3 uzima se također u obzir samo moment tromosti površine vodene linije tornjeva jer je paluba doka (pontona) pod vodom, a proračunava se prema izrazu:

$$I_{VLt} = \frac{L \cdot (B^3 - B_1^3)}{12}.$$

Volumen uronjenog dijela doka u ovom slučaju predstavlja samo volumen pontona V_P, bez doprinosa volumena uronjenog dijela tornjeva V_T, tj. $V = V_P$.

Udaljenost od težišta istisnine doka do sustavnog težišta doka ispravljenog za utjecaj slobodnih površina BG_V za konkretan slučaj određuje se također prema prije definiranom izrazu:

$$\overline{BG_V} = \overline{KG_V} - \overline{KB}.$$

I u ovom slučaju pri proračunu KG potrebno je računom centracije obuhvatiti masu doka i masu broda. Masa doka sastoji se od mase praznog doka i mase balasta u balastnim tankovima pontona. U ovom slučaju za tankove pontona težišta se od osnovke nalazi na polovini visine balastne vode u tankovima. Visina težita dokovanog broda od osnovke također se određuje kao zbroj visine vrha potklada od osnovke doka *h* i visine sustavnog težišta broda od kobilice KG_B.

U konkretnom slučaju KG proračunava se prema izrazu:

$$\overline{KG} = \frac{\sum Mv}{D_D} = \frac{D_0 \cdot KG_0 + p_{VP} \cdot Kg_{VP} + D_B \cdot (h + KG_B)}{D_0 + p_{VP} + D_B}.$$

Položaj sustavnog težišta doka potrebno je ispraviti za utjecaj slobodnih površina tekućina u tankovima, prema sljedećim izrazima:

$$i_T = \frac{l \cdot b_T^{\,3}}{12} \quad I_T = i_T \cdot \rho \quad \overline{GG_V} = \frac{\Sigma I_T}{D}.$$

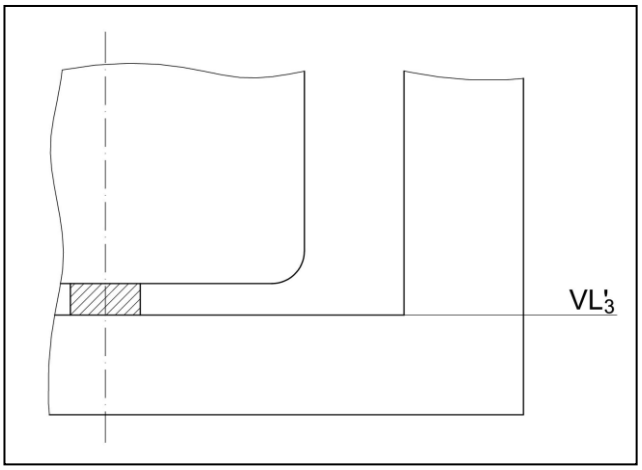
Udaljenost težišta istisnine od osnovke $\overline{KB}$ za ovaj konkretan gaz doka može se odrediti prema izrazu:

$$\overline{KB} = \frac{\sum MV_D}{V_D} = \frac{V_P \cdot Kb_P}{V_P}.$$

Međutim, zbog činjenice da se VL_3 gotovo poklapa s palubom doka, visina težišta istisnine pontona od osnovke Kb_P nalazi se na polovini visine palube pontona od osnovke odnosno na polovini gaza doka, pa se može pisati da je $\overline{KB}$ =1/2 T.

4.1.5. Proračun stabilnosti za VL'3 – paluba doka neposredno nakon izranjanja iz vode

Sljedeći stadij proračuna stabilnosti sustava dok-brod vezan je uz karakterističnu vodenu liniju VL'_3, koja se javlja u trenutku neposredno nakon izranjanja palube doka iz vode. U ovoj situaciji stabilnost doka naglo raste jer površina vodene linije pontona po cijeloj širini doka počinje doprinositi momentu tromosti vodene linije. Naime, gaz doka je minimalno promijenjen, dakle iskrcana je vrlo mala količina balastne vode, a značajno je porastao metacentarski radijus.



Slika 50. Paluba doka neposredno nakon izranjanja iz vode

Izvor: Izradio autor

Početna poprečna metacentarska visina ispravljena za utjecaj slobodnih površina za vodnu liniju VL'_3 određuje se prema izrazu:

$$\overline{M_0G_V} = \overline{BM_0} - \overline{BG_V} \ .$$

Pri proračunu metacentarskog radijusa koristi se prije navedeni izraz $\overline{BM_0} = \frac{I_{VL}}{V}$, a u konkretnom slučaju za vodenu liniju VL'_3 uzima se u obzir moment tromosti površine cijele vodene linije po širini pontona jer je paluba pontona izronila iz vode. U ovom slučaju moment tromosti površine vodene linije doka (pontona) proračunava se prema izrazu:

$$I_{VL_t} = \frac{L \cdot B^3}{12} \ .$$

Volumen uronjenog dijela doka u ovom slučaju predstavlja samo volumen pontona V_P, bez doprinosa volumena uronjenog dijela tornjeva V_T, tj. $V = V_P$.

Udaljenost od težišta istisnine doka do sustavnog težišta doka ispravljenog za utjecaj slobodnih površina BG_V za konkretan slučaj određuje se također prema prije definiranom izrazu:

$$\overline{BG_V} = \overline{KG_V} - \overline{KB}.$$

U konkretnom slučaju za VL'3 vrijede sve načelne napomene kao i za VL3, a visina sustavnog težišta od osnovke KG proračunava se prema izrazu:

$$\overline{KG} = \frac{\sum Mv}{D_D} = \frac{D_0 \cdot KG_0 + p_{VP} \cdot Kg_{VP} + D_B \cdot (h + KG_B)}{D_0 + p_{VP} + D_B}.$$

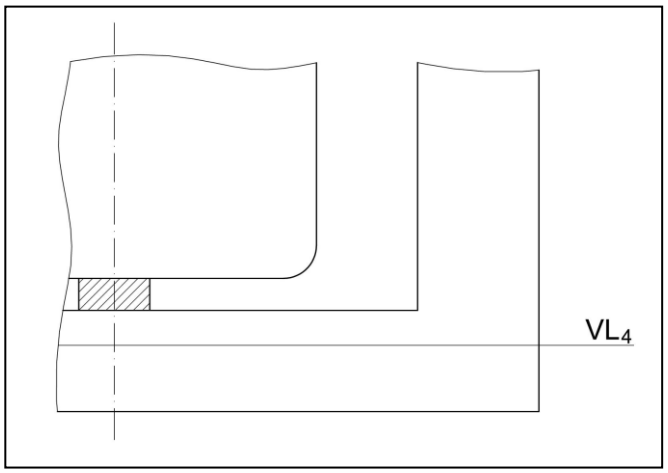
Položaj sustavnog težišta doka potrebno je ispraviti za utjecaj slobodnih površina tekućina u tankovima, prema sljedećim izrazima:

$$i_T = \frac{l \cdot b_T^{\,3}}{12} \quad I_T = i_T \cdot \rho \quad \overline{GG_V} = \frac{\Sigma I_T}{D}.$$

Udaljenost težišta istisnine od osnovke $\overline{KB}$ za ovaj konkretan gaz nalazi se na polovini visine palube pontona od osnovke, odnosno na polovini gaza doka, pa se također može pisati da je $\overline{KB}$ =1/2 T.

4.1.6. Proračun stabilnosti za VL4 – dok je izronio do planiranog gaza tijekom boravka broda u doku

Posljednji karakteristični gaz odnosno vodena linija za koju valja proračunati stabilnost sustava dok-brod je vodena linija VL4 koja se javlja u trenutku kada je dok izronio do planiranog gaza tijekom boravka broda u doku. U ovoj situaciji ima najmanje balasta u balastnim tankovima pontona pa se KG povećava, međutim i metacentarski radijus raste jer se smanjuje volumen podvodnog dijela doka. Povećanje odnosno smanjenje stabilnosti sustava dok-brod u ovom slučaju ovisit će o konkretnom međudjelovanju ova dva čimbenika.



Slika 51. Dok je izronio do planiranog gaza tijekom boravka broda u doku

Izvor: Izradio autor

Početna poprečna metacentarska visina ispravljena za utjecaj slobodnih površina za vodnu liniju VL_4 određuje se prema izrazu:

$$\overline{M_0G_V} = \overline{BM_0} - \overline{BG_V}.$$

Pri proračunu metacentarskog radijusa koristi se prije navedeni izraz $\overline{BM_0} = \frac{I_{VL}}{V}$, a u konkretnom slučaju za vodnu liniju VL_4 uzima se također u obzir moment tromosti površine cijele vodene linije po širini pontona, a moment tromosti površine vodene linije doka (pontona) proračunava se prema izrazu:

$$I_{VLt} = \frac{L \cdot B^3}{12}.$$

Volumen uronjenog dijela doka u ovom slučaju predstavlja samo volumen uronjenog dijela pontona V_P.

Udaljenost od težišta istisnine doka do sustavnog težišta doka ispravljenog za utjecaj slobodnih površina BG_V za konkretan slučaj određuje se također prema prije definiranom izrazu:

$$\overline{BG_V} = \overline{KG_V} - \overline{KB}.$$

U ovom slučaju za VL_4 pri proračunu visine sustavnog težišta sustava dok-brod od osnovke KG potrebno je računom centracije obuhvatiti masu doka i masu broda. Masa doka može se sastoji samo od mase praznog doka ili mase praznog doka i mase balasta u balastnim tankovima pontona. U ovom slučaju, ako postoji balastna voda u tankovima, njeno težište se od osnovke nalazi se na polovini visine balastne vode u tankovima. Za visinu težišta dokovanog broda vrijedi obrazloženje navedeno za vodene linije VL_2, VL_3 i VL'_3. Visina sustavnog težišta od osnovke KG za VL_4, ukoliko ima balastne vode u tankovima pontona proračunava se prema izrazu:

$$\overline{KG} = \frac{\sum Mv}{D_D} = \frac{D_0 \cdot KG_0 + p_{VP} \cdot Kg_{VP} + D_B \cdot (h + KG_B)}{D_0 + p_{VP} + D_B},$$

a ukoliko nema balastne vode u tankovima pontona, proračunava se prema izrazu:

$$\overline{KG} = \frac{\sum Mv}{D_D} = \frac{D_0 \cdot KG_0 + D_B \cdot (h + KG_B)}{D_0 + D_B}.$$

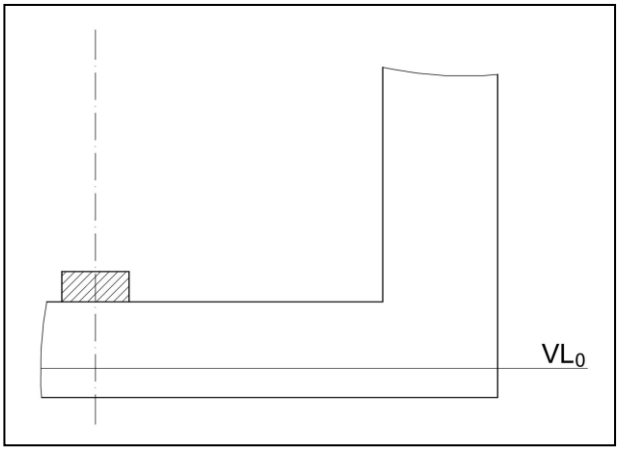
Ukoliko u tankovima pontona ima balastne vode, položaj sustavnog težišta doka potrebno je ispraviti za utjecaj slobodnih površina tekućina u tankovima, prema sljedećim izrazima:

$$i_T = \frac{l \cdot b_T^{\,3}}{12} \quad I_T = i_T \cdot \rho \quad \overline{GG_V} = \frac{\Sigma I_T}{D}.$$

Udaljenost težišta istisnine od osnovke $\overline{KB}$ za ovaj konkretan gaz nalazi se na polovini gaza doka, pa se može pisati da je $\overline{KB}$ =1/2 T.

4.1.7. Proračun stabilnosti za VL0 – dok je izronjen do uobičajene vodene linije za prazan dok

Kako je već naglašeno, osim poznavanja stabilnosti za razne vodene linije pri postupcima dokovanja i izdokovanja brodova, potrebno je odrediti i stabilnost praznog izronjenog doka na uobičajenoj vodnoj liniji VL_0.



Slika 52. Dok je izronjen do uobičajene vodene linije za prazan dok

Izvor: Izradio autor

Proračun stabilnosti u ovom slučaju je gotovo isti proračunu prikazanom za VL_4 razlika može biti u tome, što u ovom slučaju dio balasta ostaje u tankovima pontona, dok se u prethodnom slučaju balast najčešće isprazni, posebno ako se dokuju brodovi deplasmana približno jednakih kapacitetu doka.

4.1.8. Uzdužna stabilnost doka pri dokovanju

Pri dokovanju dok, osim bez bočnog, najpovoljnije je da bude i bez uzdužnog nagiba. Međutim, na uzdužnu stabilnost doka odnosno njegov trim pri dokovanju utječe i uzdužni moment koji stvara masa dokovanog broda. Stoga pri uzdužnom pozicioniranju broda u doku valja voditi računa i o uzdužnoj stabilnosti sustava dok-brod. Ovaj problem posebno dolazi do izražaja u slučaju istovremenog dokovanja više brodova u uzdužnicu doka. Kako ne bi došlo do promjene trima doka tijekom dokovanja potrebno je dokovani brod postaviti sa sustavnim težištem točno iznad težišta vodene plovne linije doka (F), a pri dokovanju više brodova rezultanta sutavnih težišta treba biti iznad točke F.

Trim sustava dok-brod odnosno novi gazovi doka na njegovim krajevima mogu se odrediti na dva načina, izravno proračunom trima ili proračunom promjene trima.

Trim (t) nastao uslijed dokovanja broda deplasmana (D_B) u uzdužnici doka na udaljenosti (d) od sustavnog težišta plutajućeg doka (G_0) može se odrediti kako slijedi:

$$tg\psi = \frac{t}{L} = \frac{\overline{G_oG}}{\overline{M_LG_O}} \quad G_oG = \frac{D_B \cdot d}{(D_D + D_B)}.$$

Odakle slijedi:

$$tg\psi = \frac{t}{L} = \frac{D_B \cdot d}{(D_D + D_B)\cdot \overline{M_LG_O}} \text{ odnosno } t = L \cdot \frac{D_B \cdot d}{(D_D + D_B)\cdot \overline{M_LG_O}}$$

gdje su:

ψ — uzdužni kut nagiba doka (°)

t — trim doka (m)

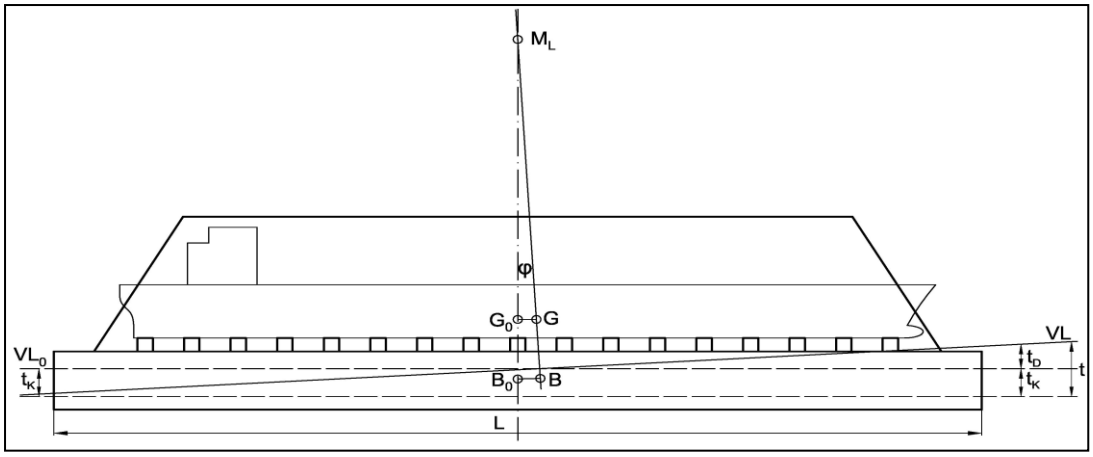
L — udaljenost između pramčane i krmene zagaznice doka (m)

D_B — deplasman dokovanog broda (t)

d — udaljenost dokovanog broda od sustavnog težišta doka (m)

D_D — deplasman doka (t)

$\overline{M_LG_O}$ — uzdužna metacentarska visina doka (m).



Slika 53. Pomak sustavnog težišta i trim doka uslijed dokovanja broda

Izvor: Izradio autor

Kako je težište vodene plovne linije plutajućeg doka u pravilu na sredini doka nove gazove na pramcu i krmi plutajućeg doka mogu se odrediti prema izrazima:

$$Tp_1 = Ts_1 \pm \frac{t}{2};\ \text{+ za pretegu, - za zategu}$$

$$Tk_1 = Ts_1 \mp \frac{t}{2};\ \text{- za pretegu, + za zategu,}$$

gdje su:

Tp_1 — novi gaz doka na pramcu doka (m)

Tk_1 — novi gaz doka na krmi doka (m)

Ts_1 — novi srednji gaz doka (m)

T — trim doka (m).

Novi srednji gaz doka određuje se iz dijagramnog lista ili tablica sa hidrostatskim podacima na temelju novog deplasmana s uračunatom masom dokovanog broda ili na način da se proračuna uron, odnosno promjena gaza plovnog doka (ΔT) uslijed utjecaja mase dokovanog broda.

$$\Delta T = \frac{D_B}{TPC}$$

gdje su:

ΔT — uron plovnog doka (cm)

D_B — deplasman dokovanog broda (t)

TPC — tone po centimetru zagažaja doka (t/cm).

Promjena gaza doka (ΔT) može se odrediti i korištenjem izraza:

$$\Delta T = \frac{D_B}{L \cdot B \cdot \rho},$$

gdje su:

ΔT — promjena gaza doka (m)

D_B — deplasman dokovanog broda (t)

L — dužina pontona (m)

B — širina pontona (m)

ρ — gustoća vode u kojoj se nalazi dok (t/m^3).

Osim na navedeni način novi trim sutava dok-brod moguće je odrediti prema uobičajenom izradu za određivanje trima:

$$t = \frac{(D_D + D_B) \cdot l}{Mj}.$$

Dakako prije toga potrebno je računom centracije odrediti položaj sustavnog težišta sustava dok-brod:

$$\overline{XG_1} = \frac{\sum Mu}{D_D + D_B} = \frac{D_D \cdot XG_D + D_B \cdot XG_{BD}}{D_D + D_B}$$

te proračunati polugu uzdužne stabilnosti doka:

$$l = XG_1 - XB_1,$$

gdje su:

t — trim doka (m)

l — poluga uzdužne stabilnosti doka (m)

Mj — jedinični moment pretege doka (tm/m)

D_D — deplasman doka (t)

D_B — deplasman dokovanog broda (t)

$\overline{XG_1}$ — udaljenost težišta sustava dok-brod od referentne osi doka (m)

$\overline{XG_D}$ — udaljenost sustavnog težišta doka od referentne osi doka (m)

$\overline{XG_{BD}}$ — udaljenost sustavno težišta broda od referentne osi doka (m)

$\overline{XB_1}$ —udaljenost težišta istisnine doka od referentne osi doka s uračunanim utjecajem dokovanog broda (m).

Nakon što je određen trim doka s dokovanim brodom, novi gazovi na pramcu i krmi plutajućeg doka određuju se na prije prikazani način.

Promjena trima plutajućeg doka nastala dokovanjem broda na udaljenosti (d) od težišta vodene plovne linije (F), ukoliko je poznat jedinični moment trima doka Mj, može se odrediti iz izraza:

$$tu = \frac{Mt}{Mj},$$

gdje su:

tu — promjena trima doka (m)

Mt — moment trima (tm)

Mj — jedinični moment trima (tm/m).

Moment trima u tom slučaju dobiva se iz izraza:

$$Mt = D_B \cdot d,$$

gdje su:

Mt — moment trima (tm)

D_B — deplasman dokovanog broda (t)

d — udalj. sustavnog težišta dokovanog broda od tež. vodene plovne linije F (m).

Iz navednog slijedi da se promjena trima plutajućeg doka određuje prema izrazu:

$$tu = \frac{D_B \cdot d}{Mj}.$$

I ovdje vrijedi napomena da je težište vodene plovne linije plutajućeg doka u pravilu na sredini doka pa se novi gazovi na pramcu i krmi plutajućeg doka mogu odrediti prema izrazima:

$$Tp_1 = Tp' \pm \frac{tu}{2}; \quad \text{+ za pretegu, - za zategu}$$

$$Tk_1 = Tk' \mp \frac{tu}{2}; \quad \text{- za pretegu, + za zategu,}$$

gdje su:

Tp_1 — novi gaz doka na pramcu doka (m)

Tk_1 — novi gaz doka na krmi doka (m)

Tp' — gaz na pramcu doka uvećan za uron plovnog doka ΔT (m)

Tk' — gaz na krmi doka uvećan za uron plovnog doka ΔT (m)

tu — promjena trim doka (m).

Uron plovnog doka ΔT određuje se koristeći prije navedeni izraz.

4.2. Stabilnost broda pri dokovanju

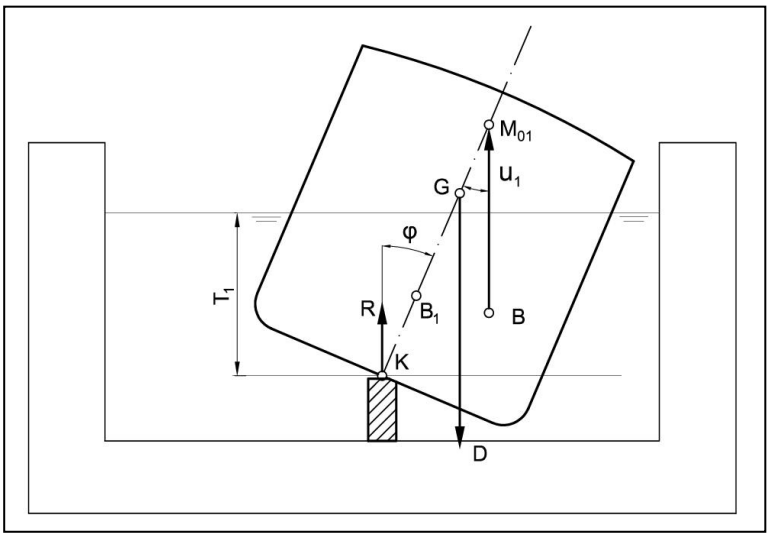
Osim razmatranja stabilnosti sustava dok-brod pri dokovanju ili izdokovanju broda, odnosno pri podizanju i spuštanju doka značajno je znati i karakteristike stabilnosti broda koji će se dokovati. Pretpostavka je da brod koji će se dokovati ima odgovarajuću stabilnost koja je uobičajena sa stanovišta zadovoljenja kriterija stabilnosti. Pritom je potrebno razmatrati poprečnu (početnu poprečnu) i uzdužnu stabilnost broda.

4.2.1. Poprečna stabilnost broda pri dokovanju

Bez obzira što brod ima zadovoljavajuću stabilnost i zadovoljava kriterije stabilnosti prije ulaska u dok, tijekom podizanja broda u doku, u jednom trenutku kada se

dokovanom brodu smanji uzgon do određene mjere, odnosno kada sila reakcija potklada na brod dosegne određenu vrijednost početna poprečna metacentarska visina broda MoG postaje 0, a zatim čak i negativna. Stoga iako je brod koji ulazi u dok uspravan, nakon određenog podizanja, u jednom trenutku može doći do nagibanja broda uslijed negativne metacentarske visine.

Imajući u vidu navedenu, potrebno je prije dokovanja proračunati stabilnost za ovaj kritični trenutak podizanja broda odnosno kritični gaz pri kojem će metacentarska visina postati 0. U postupku dokovanja, prije nego li se dostigne ovaj kritični gaz potrebno je postaviti, odnosno ukliniti bočne potklade kako se brod ne bi nagnuo.



Slika 54. Stabilnost nagnutog broda pri dokovanju

Izvor: Izradio autor

Za praktične potrebe i s obzirom na cilj ovoga rada dovoljno je računati s momentima mase.

$$D = U_1 + R,$$

gdje su:

D — deplasman broda (t)

U_1 — uzgon broda (t)

R — reakcija potklada (t).

Kako je brod nagnut za kut „φ“ moment stabilnosti jednak je sumi momenata s obzirom na kobilicu (K) te se za početne kutove nagiba može prikazati izrazom:

$$Mst_0 = U_1 \cdot \overline{KM_{01}} \sin\varphi - D \cdot \overline{KG} \sin\varphi .$$

Vodeći računa da pozitivni momenti uspravljaju brod, a da ga negativni nastoje nagnuti te uzimajući u obzir izraz:

$$U_1 = D - R,$$

slijedi:

$$Mst_0 = (D - R)\,\overline{KM_{01}} \sin\varphi - D \cdot \overline{KG} \sin\varphi$$

$$Mst_0 = (D \cdot \overline{KM_{01}} - R \cdot \overline{KM_{01}} - D \cdot \overline{KG}) \sin\varphi$$

$$\overline{M_{01}G} = \overline{KM_{01}} - \overline{KG}$$

$$Mst_0 = \left(D \cdot (\overline{KM_{01}} - \overline{KG}) - R \cdot \overline{KM_{01}}\right) \sin\varphi$$

$$Mst_0 = (D \cdot \overline{M_{01}G} - R \cdot \overline{KM_{01}}) \sin\varphi ,$$

te konačno:

$$Mst_0 = D\,(\overline{M_{01}G} - \frac{R}{D}\overline{KM_{01}})\sin\varphi \ ,$$

gdje su:

D — deplasman broda (t)

R — reakcija potklada (t)

U_1 — uzgon broda umanjen za reakciju potklada (t)

$\overline{KM_{01}}$ — udalj. početnog metacentra od kobilice za trenutni gaz broda u doku (m)

$\overline{M_{01}G}$ — početna metacentarska visina za trenutni gaz broda u doku (m)

φ — kut nagiba broda (°).

Veličina u zagradi ($\overline{M_{01}G} - \frac{R}{D}\overline{KM_{01}}$) predstavlja smanjenu odnosno reduciranu metacentarsku visinu ($\overline{M_0G}_{RED}$).

Stoga uvjet stabilnosti postaje:

$$\overline{M_{01}G} > \frac{R}{D}\overline{KM_{01}} .$$

Pri dokovanju broda razina vode sve više opada, te se brod podiže i izranja iz vode. Uslijed toga se uzgon (U_1) stalno smanjuje, a reakcija potklada (R) se stalno povećava. Kod određene razine vode dolazi do kritične razine, odnosno

$$\overline{M_{01}G} = \frac{R}{D}\overline{KM_{01}} \ .$$

Kako je već navedeno, u postupku dokovanja prije nego li se dostigne kritični gaz broda za koji vrijedi navedeni izraz potrebno je postaviti odnosno ukliniti bočne potklade kako se brod u doku ne bi nagnuo.

4.2.2. Uzdužna stabilnost broda pri dokovanju

Prije ulaska broda u dok, najbolje bi bilo da su brodovi na ravnoj kobilici. Stoga su uzdužna stabilnost, odnosno trim broda prije ulaska broda u dok značajan čimbenik koji valja uzeti u obzir u postupku dokovanja.

Međutim, u praksi brodovi često imaju određeni trim, pritom su najčešće zatežni. Isto vrijedi i za brodove sa zakošenom kobilicom. U tom slučaju pri dokovanju i podizanju doka brodovi najprije nasjednu na krmene potklade, a zatim se podižu dalje dok ne nasjednu čitavom duljinom na potklade. Ova faza dokovanja je i najosjetljivija.

Ako se želi da trimovani brod istovremeno nasjedne na potklade svojom duljinom, onda prije početka dokovanja dok treba trimovati. Međutim, ovakav postupak kod nekih dokova nije dozvoljen, a ukoliko se prakticira nisu dozvoljeni veći uzdužni nagibi doka.

U svakom slučaju pri dokovanju je idealno da brod bude na ravnoj kobilici ili eventualno lagano zatežan. Dokovanje brodova većim trimom se ne prakticira, a u slučaju potrebe dokovanja oštećenog broda koji ne može regulirati trim radi se o posebnom slučaju dokovanja.

5. KONCEPTUALNI MODELI UPRAVLJANJA DOKOVANJEM I IZDOKOVANJEM BRODOVA U PLUTAJUĆEM DOKU

Osnovni cilj ove disertacije je definiranje konceptualnih modela upravljanja dokovanjem u posebnim slučajevima. Konceptualni modeli se odnose na slučajeve dokovanja nagnutog broda, dokovanja trimovanog broda, dokovanja više brodova u uzdužnici i van uzdužnice doka, te djelomično dokovanje broda.

Imajući u vidu razmatranja i analize obrađene u prethodnim poglavljima moguće je definirati konceptualne modele upravljanja pri dokovanju i izdokovanju broda u plutajućem doku.

Konceptualni modeli sadrže komponente koje nisu jasno definirane u smislu teoretskih kategorija. Kreiranje konceptualnih modela predstavlja početnu fazu modeliranja te predstavlja temelj za postepeno građenje modela prema višim teoretskim konstrukcijama sustava. Konceptualni model valja graditi uvijek prije konstrukcije drugih vrsta modela. Ovakav model predstavlja prvi opis sustava, a služi kao baza poznavanja ne samo dinamičkog aspekta sustava već i cjelokupnog poznavanja sustava. U kasnijoj fazi izrade modela ova vrsta modela može biti objektivizirana (tj. temeljena na objektima).

Pri definiranju načela za modeliranje sustava valja odrediti sve utjecajne čimbenike, njihove međuzavisnosti i modalitete koji djeluju u sustavu manevriranja brodom, a koji su značajni za postavljanje konkretnog modela. Pri razvijanju modela najprije valja definirati ulazne podatke, zakonitosti odvijanja određenih specifičnih procesa te granične uvjete. Uz ovo vrlo je važno definiranje izlaznih podataka kao i evaluacija dobivenih rezultata.

Imajući u vidu opseg i temu ove disertacije, definirat će se konceptualni model upravljanja pri dokovanju i izdokovanju broda u plutajućem doku, a pojedini njegovi dijelovi bit će objektivizirani.

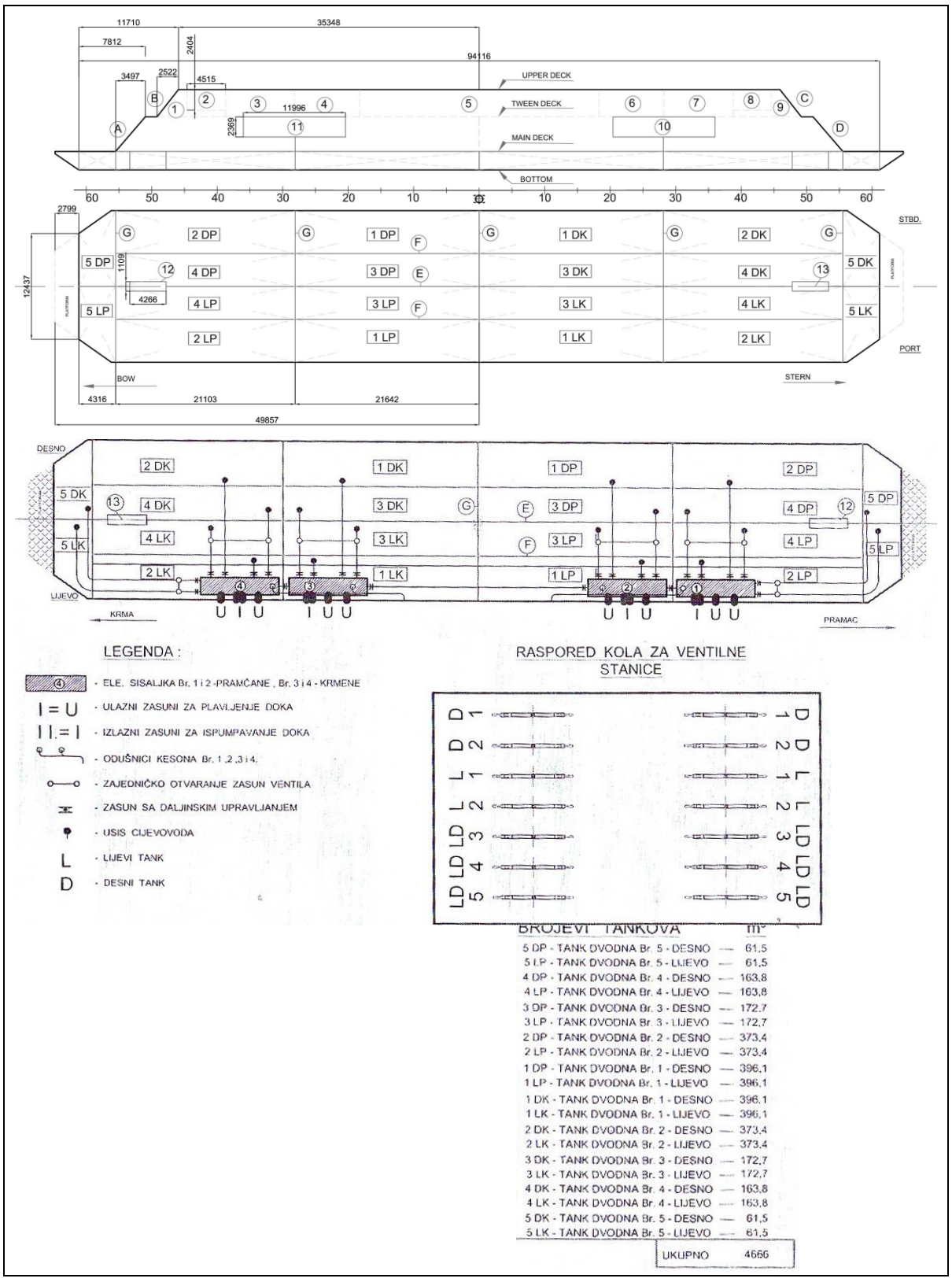
Kako je cilj ove doktorske disertacije osim teoretskog razmatranja problema dokovanja brodova u manjim plutajućim dokovima i moguća praktična primjena modela u eksploataciji plutajućih dokova, radi jednostavnosti, zasebno će se prikazati osnovni modeli dokovanja i izdokovanja broda. Također, iako je osnovni cilj definirati konceptualne modele upravljanja dokovanjem u posebnim slučajevima predloženi model sadrži opće dokovanje i izdokovanje u posebnim slučajevima.

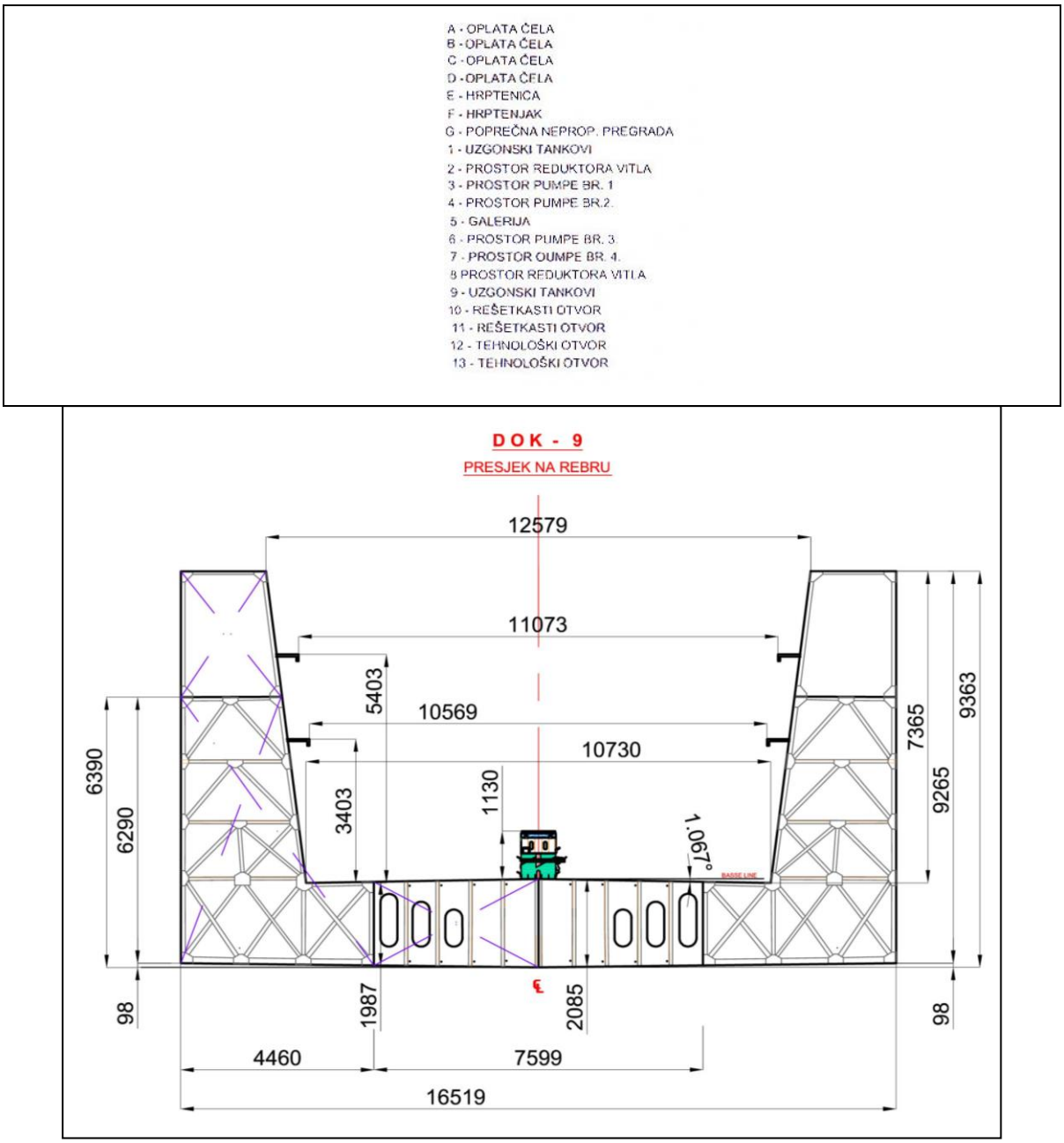
Prikazani konceptualni model sastoji se od definiranja vrste dokovanja, određivanja parametara dokovanja, određivanja parametara stabilnosti za sve slučajeve, te postupka dokovanja s modelom pozicioniranja broda u doku. Iz modela se mogu isčitati kritične točke procesa dokovanja, potrebu izvođenja određenih mjerenja i usporedbe s dozvoljenim graničnim uvjetima iz knjiga dijagrama stabilnosti plutajućeg doka.

Konceptualni modeli upravljanja dokovanjem i izdokovanjem brodova u plutajućem doku manjih dimenzija koji su osnovna tema ove disertacije temeljeni su na

analizi podataka stvarnih dokovanja brodova u Br odogradilištu Cres na plovnom doku 9.

Dok je izgrađen 1913. godine u brodogradilištu u Puli za dokovanje podmornica. Nosivost doka je 1000 t. Ukupna duljina iznosi 107 m, najveća širina 16,5 m, a širina na potkladama 11,0 m. Dok je podijeljen na 8 tankova pontona i 8 tankova tornjeva ukupnog kapaciteta 4686 t. Tehničke podatke doka prikazuje slika 55.





Slika 55. Dok 9 — dimenzije i kapacitet tankova

Izvor: Izradio autor

Istraživanje je provedeno na podacima o dokovanjima brodova koji su dokovani u razdoblju od 1984. do kraja 2014. godine. U ovom razdoblju izvedeno je 2107. dokovanja od čega 1107 uobičajenih dokovanja (52,5 %) i 1000 dokovanja koji se mogu svrstati u posebne slučajeve dokovanja (47,5 %). Struktura posebnih slučajeva dokovanja po vrsti prikazana je u tablici 3.

Tablica 3. Posebni slučajevi dokovanja

Dokovanja	Broj	Analizirani slučajevi	Udio u posebnim slučajevima	Udio u analiziranim

			dokovanja	dokovanjima
			%	%
Nagnuti broj	112	99	11,2	22,6
Trimovani brod	205	95	20,5	21,6
Više brodova u uzdužnici doka	537	160	53,7	36,4
Više brodova izvan uzdužnice	143	82	14,3	18,7
Djelomično dokovanje	3	3	0,3	0,7
Ukupno	**1000**	**439**	**100**	**100,0**

Izvor: Statistički podaci *Brodogradilišta Cres d.d.*

Struktura dokovanih brodova po vrstama prikazana je u tablici 4, iz koje je vidljivo da je dokovano ukupno 390 različitih brodova.

Tablica 4. Struktura dokovanih brodova od 1984. do 2014. godine

Vrsta brodova	Broj	Postotak %
Teretni (suhi teret)	52	13,3
Tankeri	18	4,6
Brodovi za prijevoz cementa	5	1,3
Tegljači	19	4,9
Putnički	42	10,8
Ribarski	92	23,6
Katamarani	14	3,6
Jedrenjaci	31	7,9
Jahte	61	15,6
Specijalni	18	4,7
Trajekti	38	9,7
Ukupno	**390**	**100**

Izvor: Statistički podaci *Brodogradilišta Cres d.d.*

5.1. Konceptualni model upravljanja općim slučajevima dokovanja i izdokovanja broda (jedan brod, $\varphi = 0$, $\Psi = 0$)

U ovom poglavlju prikazat će se osnovni konceptualni modeli uobičajenog dokovanja i izdokovanja broda. Ovi modeli predstavljaju temelj za kasnije detaljnije

definiranje konceptualnih modela upravljanja dokovanjem brodova, posebno onih u posebnim slučajevima.

Modeli su temeljeni na uobičajenom postupku dokovanja u manjim plutajućim dokovima, uzimajući u obzir analize podataka i prakse navedenih 2107 dokovanja, te uobičajenih teoretskih postavki vezanih uz stabilnost plutajućih dokova. U konceptualnim modelima definirana su i vidljiva mjesta provjera i donošenja bitnih odluka pri odvijanju procesa dokovanja. Također, modeli se zasnivaju na pretpostavci da su meteorološki i oceanološki uvjeti za početak postupka dokovanja, odnonso izdokovanja, unutar dozvoljenih granica.

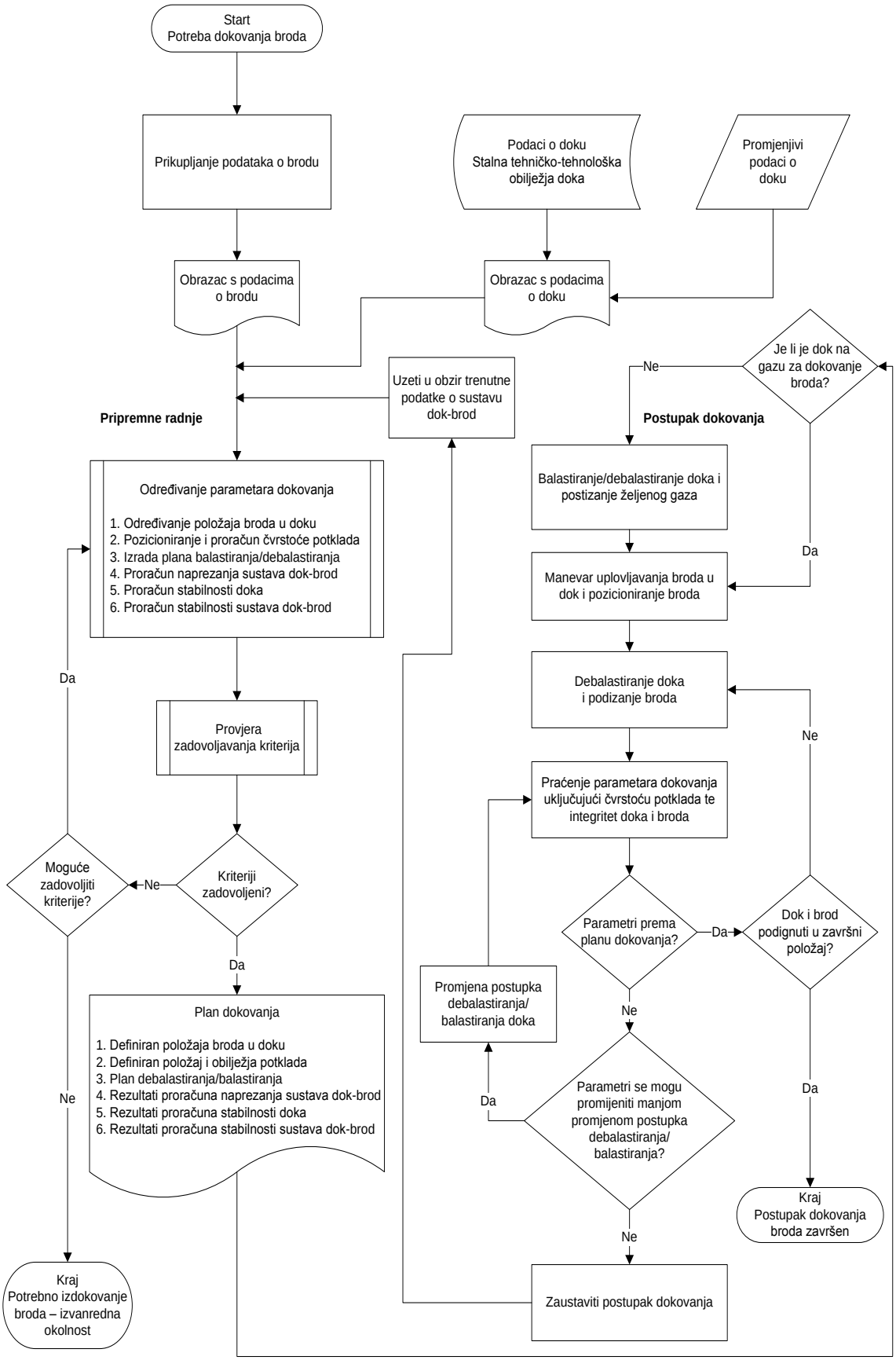
5.1.1. Osnovni konceptualni model općeg slučaja dokovanja

U slučaju potrebe dokovanja nekog broda postupak započinje prikupljanjem svih relevantnih podataka o brodu kojeg treba dokovati. Ukoliko brod svojim dimenzijama i deplasmanom ne prelazi maksimalnu nosivost doka, na temelju prikupljenih podataka ispunjava se obrazac s podacima o brodu. Potrebno je ispuniti i obrazac s podacima o doku koji se ispunjava koristeći podatke o stalnim tehničko-tehnološkim obilježjima doka i prikupljenim promjenjivim podacima o doku.

Nakon analize podataka iz obrazaca s podacima o brodu i podacima o doku, potrebno je pristupiti postupku određivanja parametara dokovanja, koji se sastoji od određivanja potrebnog položaja broda u doku, definiranja pozicije potklada i proračuna njihove čvrstoće, izrade plana balastiranja i debalastiranja, proračuna naprezanja sustava dok-brod (ili korištenja neke druge metode provjere, jesu li zadovoljeni uvjeti čvrstoće sustava dok-brod), te proračuna stabilnosti doka, kao i proračuna stabilnosti sustava dok-brod. Za svaku od navedenih radnji, odnosno proračuna potrebno je provjeriti jesu li zadovoljeni kriteriji što predstavlja prvo mjesto provjere u realizaciji postupka dokovanja.

U slučaju da kriteriji dokovanja nisu zadovoljeni, potrebno je provjeriti je li kriterije moguće zadovoljiti. Ukoliko ih je moguće zadovoljiti, potrebno je eventualno definirati novi položaj broda u doku, mijenjati broj i raspored potklada, te promijeniti redoslijed debalastiranja/balastiranja tankova doka, što će utjecati na zadovoljavanje kriterija vezanih uz naprezanja sustava dok-brod, odnosno stabilnosti doka i stabilnosti sustava dok-brod.

Osnovni konceptualni model uobičajenog dokovanja prikazan je u sljedećem dijagramu toka.



Slika 56. Osnovni konceptualni model općeg dokovanja

Izvor: Izradio autor

Ako nije moguće zadovoljiti kriterije dokovanja, dokovanje broda nije moguće, stoga se neće ni započeti, ili ako je postupak dokovanja u tijeku, potrebno je prekinuti dokovanje, te započeti postupak izdokovanja broda, što predstavlja izvanrednu okolnost.

Ukoliko su kriteriji dokovanja zadovoljeni pristupa se izradi plana dokovanja, ili ako je dokovanje u tijeku, njegovoj izmjeni. Plan dokovanja sadrži sljedeće: položaj broda u doku, položaj i obilježja potklada, plan debalastiranja/balastiranja, rezultate proračuna naprezanja sustava dok-brod, rezultate proračuna stabilnosti doka i stabilnosti sustava dok-brod.

Nakon što je Plan dokovanja broda sastavljen, te ako su meteorološke i oceanološke prilike povoljne postupak, dokovanja može započeti.

Ako prije početka dokovanja dok nije na odgovarajućem gazu, balastiranjem odnosno debalastiranjem doka potrebno je postići željeni gaz, kako bi mogao započeti postupak uplovljavanja broda u dok. Ukoliko je dok bio na željenom gazu postupak uplovljavanja broda u dok može započeti odmah.

S obzirom na vrstu i veličinu broda, te vremenske prilike primjenjuje se odgovarajući manevar uplovljavanja broda u dok, korištenjem jednog ili više tegljača i/ili korištenjem brodskih sidara. Brod se pozicionira sukladno planu dokovanja.

Nakon što je brod pozicioniran započinje debalastiranje doka i podizanje broda. Tijekom ovog postupka ronilac po potrebi ubacuje odgovarajuće klinove kako bi se postigao ujednačeni raspored opterećenja na potkladama, te prati stanje potklada i integritet doka i broda.

Tijekom cijelog postupka debalastiranja doka i podizanja broda potrebno je kontinuirano pratiti parametre dokovanja uključujući čvrstoću potklada i integritet doka i broda.

U slučaju da parametri dokovanja nisu u skladu s planom dokovanja, nastoji se manjom promjenom postupka debalastiranja odnosno po potrebi i balastiranja uspostaviti usklađenje i nastaviti dokovanje.

U slučaju da se parametri dokovanja broda ne mogu mijenjati manjim promjenama u postupku dokovanja potrebno je zaustaviti dokovanje, te uzevši u obzir trenutne podatke o sustavu dok-brod, pristupiti ponovnom određivanju parametara dokovanja. Ukoliko se uspiju dobiti parametri dokovanja broda koji zadovoljavaju kriterije, radi se izmjena Plana dokovanja, a postupak dokovanja se nastavlja. Ukoliko to nije moguće, kako je već prethodno navedeno, potrebno je započeti postupak izdokovanja broda, što se u ovom slučaju smatra izvanrednom okolnošću, te ga u svakom pojedinom slučaju valja zasebno analizirati.

Ako su za vrijeme podizanja broda parametri dokovanja broda prema planu dokovanja, a brod još nije podignut u završni položaj, postupak debalastiranja i podizanja broda se nastavlja.

Ukoliko je brod podignuti u završni položaj, postupak dokovanja je završen.

5.1.2. Opći konceptualni model postupka izdokovanja

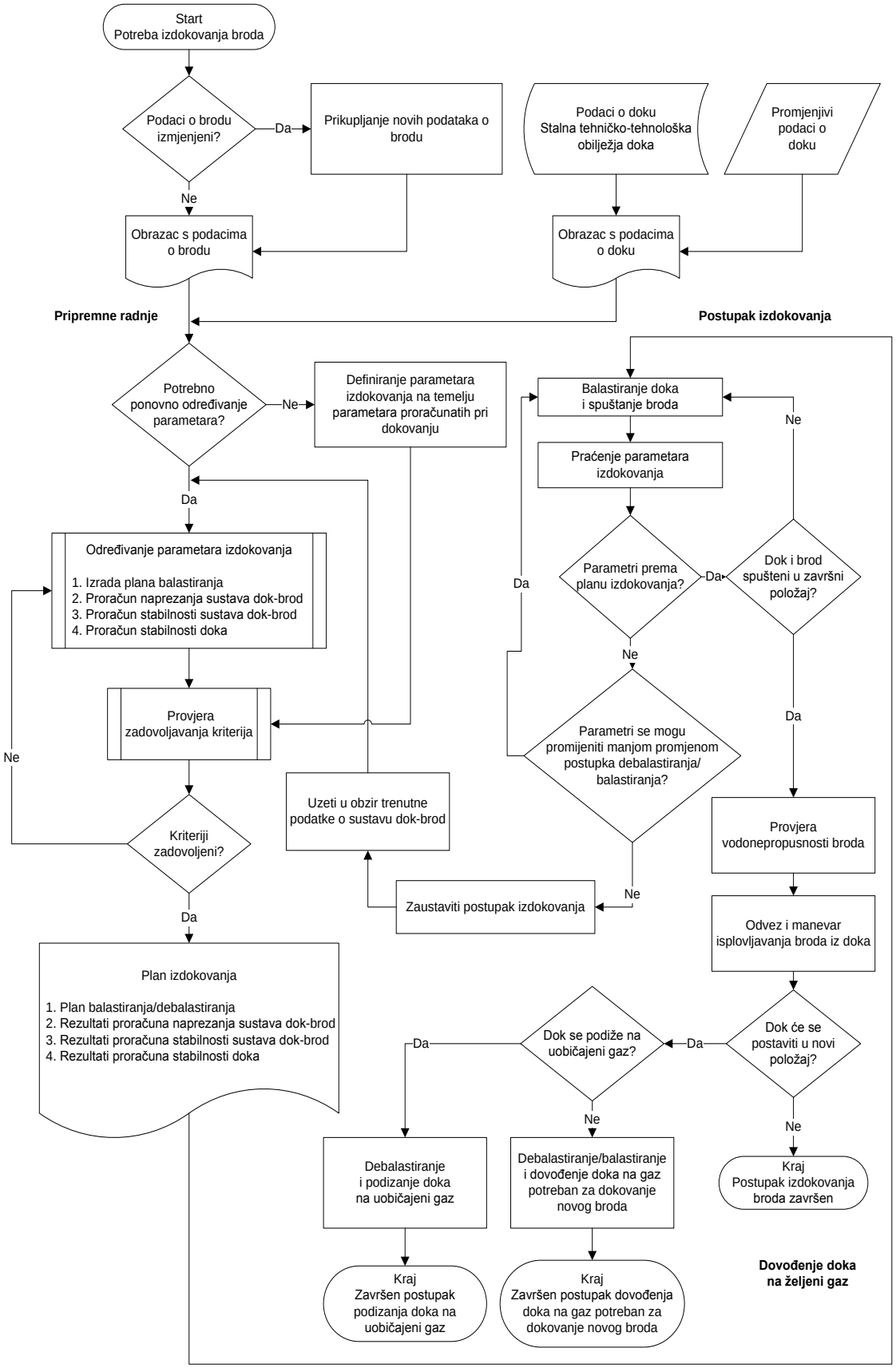
Pri izdokovanju broda postupak započinje provjerom jesu li tijekom boravka broda na doku podaci o brodu značajni za izdokovanje promijenjeni. Ukoliko nisu, obrazac s podacima o brodu, koji je korišten za dokovanje, može se koristiti i za izdokovanje. Ukoliko su podaci izmijenjeni, potrebno je prikupiti nove podatke te ažurirati obrazac s podacima o brodu, kako bi se mogao koristiti pri izdokovanju. Istovremeno se koriste podaci o stalnim tehničko-tehnološkim obilježjima doka, a potrebno je prikupiti i promjenjive podatke o doku. Nakon što su prikupljeni ovi podaci sastavlja se obrazac s podacima o doku, koji će se koristiti za izdokovanje broda.

Nakon analize podataka iz obrazaca o podacima o doku potrebno je zaključiti je li potrebno ponovno određivanje parametara ili ne. Ukoliko je potrebno, treba odraditi postupak određivanja parametara izdokovanja, a zatim i provjeru kriterija. Ukoliko kriteriji nisu zadovoljeni potrebno je ponovo definirati parametre izdokovanja promjenom Plana balastiranja. Ako nije potrebno ponovno određivanje parametara izdokovanja, koriste se parametri definirani pri dokovanju.

Kada su parametri izdokovanja zadovoljeni, pristupa se izradi plana izdokovanja koji se sastoji od sljedećeg: Plana balastiranja/debalastiranja, rezultata proračuna naprezanja sustava dok-brod, rezultata proračuna stabilnosti sustava dok-brod i rezultata proračuna stabilnosti doka.

Nakon što je Plan izdokovanja broda sastavljen te ako su meteorološke i oceanološke prilike povoljne postupak izdokovanja može započeti.

Opći konceptualni model postupka izdokovanja prikazan je u sljedećem dijagramu toka.



Slika 57. Opći konceptualni model postupka izdokovanja

Izvor: Izradio autor

Postupak izdokovanja započinje balastiranjem doka i spuštanjem broda uz praćenje parametara izdokovanja. Ako parametri odstupaju od plana izdokovanja, mogu se promijeniti manjom promjenom postupka debalastiranja ili eventualno balastiranjem, postupak izdokovanja broda se nastavlja. U protivnom se postupak izdokovanja broda zaustavlja, uzimaju se u obzir trenutni podaci o sustavu dok-brod te se određuju novi parametri izdokovanja broda.

Kada se dobiju zadovoljavajući parametri izdokovanja broda, radi se izmjena Plana izdokovanja broda, a postupak izdokovanja broda se nastavlja. Ukoliko nije moguće dobiti parametre izdokovanja broda koji bi zadovoljili kriterije radi se o izvanrednoj okolnosti koju valja analizirati i naći rješenje za izdokovanje broda u svakom pojedinačnom slučaju zasebno.

Ako su postupkom izdokovanja broda, dok i brod spušteni u završni položaj, najprije se provjerava nepropusnost broda, posebno zamijenjeni dijelovi, kao što su cijevi, ventili te varovi na izmijenjenim dijelovima oplate broda. Nakon ove provjere brod se odvezuje i započinje manevar isplovljenja broda iz doka.

Za vrijeme manevra isplovljenja broda, u ovisnosti o meteorološkim i oceanološkim prilikama, koristi se jedan ili više tegljača, a ponekad i brodski poriv. Nakon izlaska iz doka brod se priveže na predviđeno mjesto na operativnoj obali brodogradilišta.

Nakon izdokovanja broda, često se odmah dokuje novi brod. Tada se balastiranjem i/ili debalastiranjem dok dovodi na gaz potreban za dokovanje novog broda. Ako se ne dokuje novi brod, dok se debalastiranjem dovodi na uobičajeni gaz praznog doka. Ovim završnim radnjama je postupak izdokovanja broda završen.

Prikazani konceptualni modeli mogu se u slučaju potrebe dalje konkretizirati i objektivizirati, te ih koristiti kao svojevrsni ekspertni sustav.

5.2. Posebni slučajevi dokovanja i konceptualni modeli upravljanja dokovanjem

Kako je već navedeno u uvodu ovog poglavlja u ovoj disertaciji analizirani su i obrađeni opće dokovanje i posebni slučajevi dokovanja brodova u manjem plutajućem doku kao što su: dokovanje nagnutog broda, dokovanja trimovanog broda, dokovanja više brodova u uzdužnici i van uzdužnice doka, te djelomično dokovanje broda.

Dokovanje brodova u navedenim posebnim slučajevima je složenije od uobičajenih dokovanja, te za njih treba provesti posebnu pripremu i proračune, a sam tijek dokovanja, vodeći računa o specifičnostima samog postupka, s posebnom pažnjom. Sve specifičnosti pojedinog posebnog slučaja dokovanja obuhvaćene su i u konkretnim konceptualnim modelima.

Svi konceptualni modeli dokovanja izvode se iz općeg dokovanja jednog broda u uzdužnicu doka i sastoje se od modela definiranja vrste dokovanja, modela određivanja parametara dokovanja, modela određivanja parametara stabilnosti i dijela modela vezanog

uz proračun stabilnosti pojedinog posebnog slučaja, te postupka dokovanja s modelom pozicioniranja broda u doku.

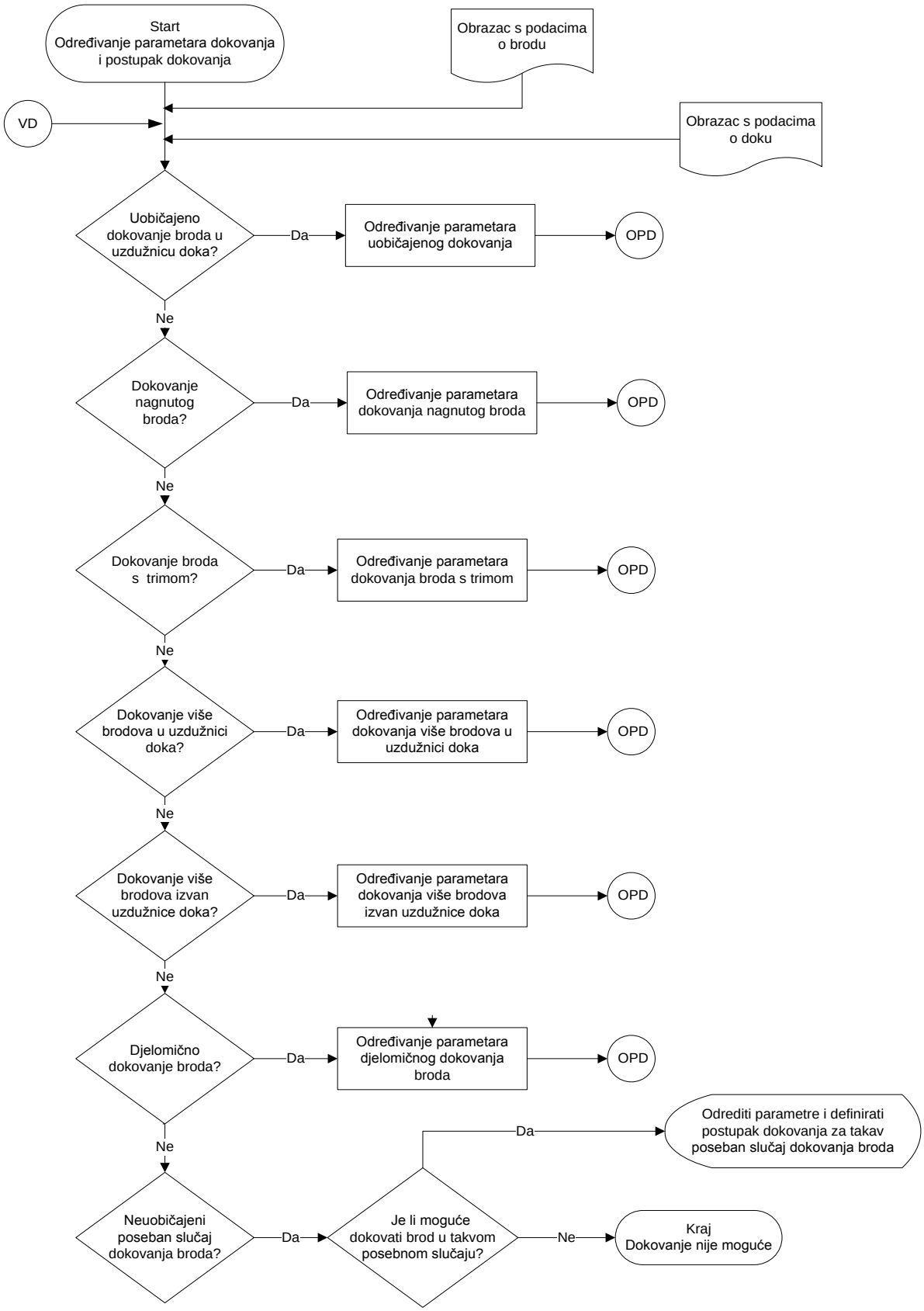
Pri analizi utjecaja pojedinih elemenata posebnih slučajeva dokovanja rađena je i korelacijska analiza koristeći *Pearsonovu* korelaciju elemenata što je jedan od načina analize velikog broja podataka. Korelacijskom analizom se utvrđuje koje su pojave i čimbenici međusobno povezani. Korelacija može biti pozitivna i negativna, pozitivna je kad rast (ili pad) jedne varijable prati rast (ili pad) druge varijable, a negativna kad rast jedne varijable prati pad druge varijable i obratno. Korelacijska analiza nije dala značajnije rezultate.

Prvi dio konceptualnog modela čini dio modela koji se odnosi na definiranje i odabir vrste dokovanja.

Dakle u slučaju potrebe dokovanja, kako je već navedeno, potrebno je odrediti parametre dokovanja te definirati postupak dokovanja. Da bi se mogla odrediti vrsta dokovanja potrebno je imati podatke o brodu i doku (obrazac s podacima o brodu i obrazac s podacima o doku). Nakon analize podataka zaključuje se o vrsti dokovanja, nakon čega je potrebno odrediti parametre za određenu vrstu dokovanja.

U slučaju da se ne radi o općem dokovanju kao ni ostalih pet vrsta posebnih slučajeva dokovanja, moguće je da se radi o nekom drugom neuobičajenom posebnom slučaju dokovanja. Ako je pritom, u takvom posebnom slučaju brod moguće dokovati, potrebno je odrediti parametre i definirati postupak dokovanja za takav poseban slučaj dokovanja broda, no ovaj slučaj se ne razmatra u ovom radu. U slučaju da ni u takvom posebnom slučaju dokovanja brod nije moguće dokovati, dokovanje broda neće se ni razmatrati.

Prvi dio konceptualnog modela koji se odnosi na definiranje vrste dokovanja prikazan je u sljedećem dijagramu toka.



Slika 58. Konceptualni model definiranja vrste dokovanja

Izvor: Izradio autor

Drugi dio konceptualnog modela odnosi se na određivanje parametara dokovanja.

Za određivanje parametara dokovanja potrebni su iscpni podaci o brodu (obrazac s podacima o brodu i u prilogu Brodski plan za dokovanje). U slučaju posebnih slučajeva dokovanja potrebni su i dodatni specifični podaci o brodu. Osim navedenog za određivanje parametara dokovanja potrebni su i iscrpni podaci o doku (obrazac s podacima o doku i to stalni podaci i promjenjivi podaci (trenutno stanje). Temeljem navedenih podataka najprije se određuje položaj broda u doku, a zatim i ostali parametri značajni za dokovanje.

Pri definiranju položaja broda u doku valja definirati položaj uzdužnice broda u odnosu na uzdužnicu doka, te položaj sustavnog težišta broda u doku za svaki razmatrani slučaj (uobičajeno dokovanje ili posebni slučajevi dokovanja).

Nakon što je položaj definiran potrebno je zaključiti je li definirani položaj broda u doku moguć. Ukoliko nije, dokovanje nije moguće, a ukoliko je, postupak određivanja parametara dokovanja nastavlja se određivanjem položaja i proračunom čvrstoće potklada.

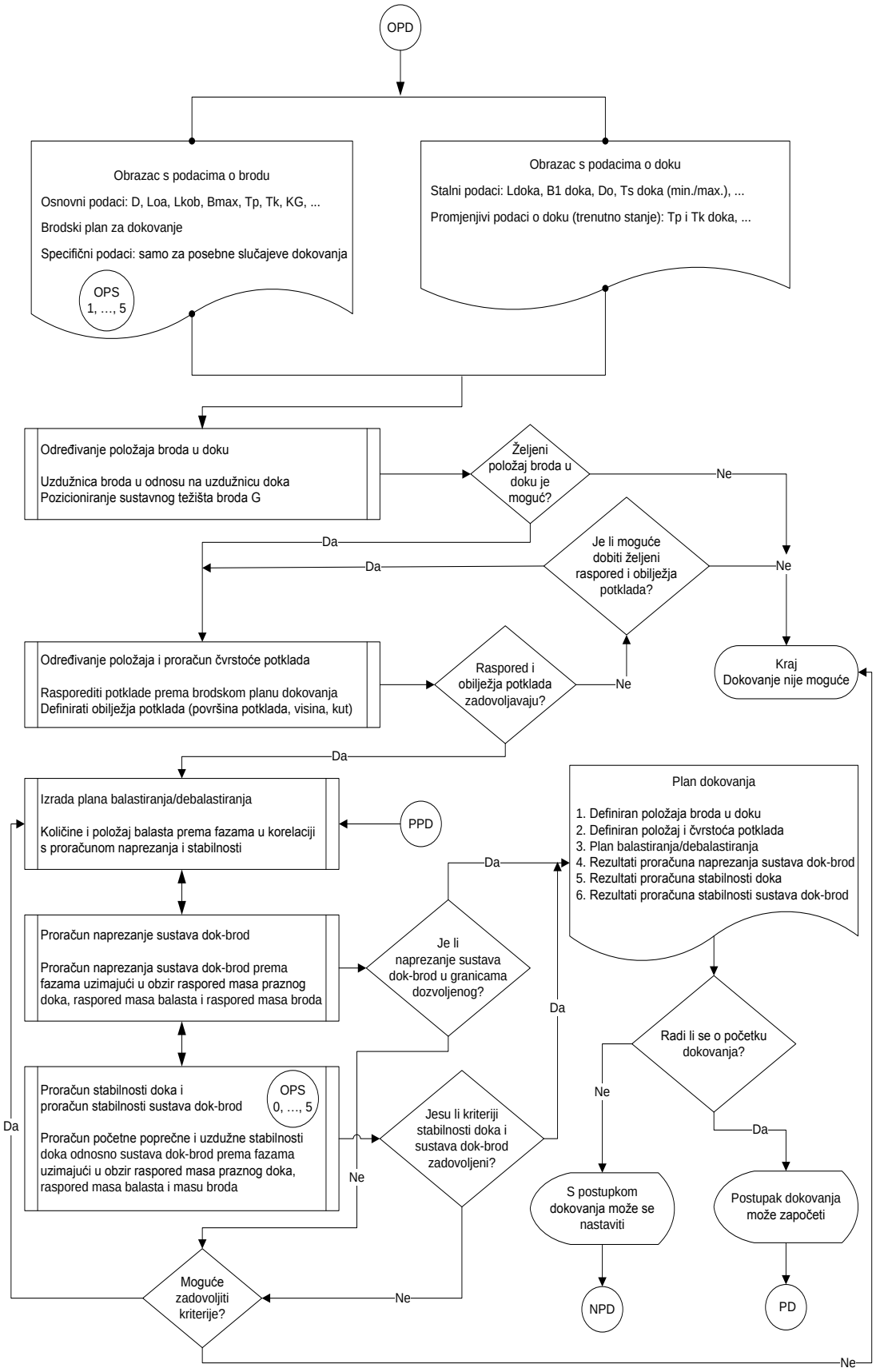
Ovaj postupak pretpostavlja raspoređivanje potklada prema Brodskom planu za dokovanje i definiranje obilježja potklada, odnosno definiranje površine, visine i kuta potklada, te razmak između pojedinih potklada. Posebno se proračunava površina i broj bočnih podupirača.

Ukoliko raspored i obilježja potklada zadovoljavaju nastavlja se postupak određivanja parametara dokovanja izradom Plana balastiranja/debalastiranja. Ukoliko raspored i obilježja potklada ne zadovoljavaju, potrebno je provjeriti da li je uopće moguće postići zadovoljavajući raspored i obilježja potklada. Ukoliko je to moguće, nakon ispravka plana rasporeda i obilježja potklada postupak određivanja parametara dokovanja nastavlja se, kako je već navedeno, izradom Plana balastiranja/ debalastiranja. Ukoliko nije moguće dobiti željeni raspored i obilježja potklada, dokovanje nije moguće.

Nakon što se dobiju zadovoljavajući raspored i obilježja potklada izrađuje se Plan balastiranja i debalastiranja, koji sadrži količine i položaje balasta prema fazama u korelaciji s proračunom stabilnosti i naprezanja.

Proračun naprezanja sustava dok-brod prema fazama sadrži raspored masa praznog doka, raspored masa balasta i raspored masa broda. Proračun stabilnosti doka i proračun stabilnosti sustava dok-brod sadrži proračun poprečne i uzdužne stabilnosti doka, odnosno sustava dok-brod prema fazama, uzimajući u obzir raspored masa praznog doka, raspored masa balasta i masu broda.

Drugi dio konceptualnog modela koji se odnosi na određivanje parametara dokovanja (OPD) prikazan je u sljedećem dijagramu toka.



Slika 59. Konceptualni model određivanja parametara dokovanja

Izvor: Izradio autor

Ukoliko su kriteriji naprezanja sustava dok-brod, te kriteriji stabilnost doka i sustava dok-brod zadozvoljeni sastavlja se Plan dokovanja. U Planu dokovanja prikazan je položaj broda u doku, položaj i čvrstoća potklada, te sadrži Plan balastiranja/ debalastiranja, rezultate proračuna naprezanja sustava dok-brod i rezultate proračuna stabilnosti doka i stabilnosti sustava dok-brod.

U slučaju da naprezanje sustava dok-brod i stabilnost doka i sustava dok-brod nisu u granicama dozvoljenog, a ukoliko je moguće zadovoljiti kriterije, nakon promjene Plana balastiranja/debalastiranja i zadovoljenja kriterija, sastavlja se Plan dokovanja, ukoliko kriterije nije moguće zadovoljiti promjenom Plana balastiranja/ debalastiranja, dokovanje nije moguće.

Ovisno o tome da li se radi o početku dokovanja, s postupak dokovanja može se započeti (PD), a ukoliko se radi o promjeni Plana dokovanja tijekom postupka već započetog dokovanja, s postupkom dokovanja može se nastaviti (NPD).

Treći dio konceptualnog modela odnosi se na određivanje parametara stabilnosti doka odnosno sustava brod-dok pri dokovanju broda. Ovaj dio modela koncipiran je na način da se za svaku vrstu dokovanja, tj. uobičajeno dokovanje i pet posebnih slučajava dokovanja: dokovanje nagnutog broda, dokovanja trimovanog broda, dokovanja više brodova u uzdužnici i van uzdužnice doka, te djelomično dokovanje broda, zasebno određuju parametri stabilnosti (OPS 0, OPS 1, OPS 2, OPS 3, OPS 4 i OPS 5).

Dio konceptualnog modela u kojem se određuju parametri stabilnosti započinje preuzimanjem odnosno izradom/redefiniranjem Plana dokovanja u kojem se određuju količine balasta prema fazama dokovanja u korelaciji s proračunima naprezanja i stabilnosti. Zatim se posebno proračunava početna poprečna i uzdužna stabilnost doka za faze dokovanja, odnosno vodene linije pri kojima nema utjecaja broda (VL_T, VL_1, VL_0), a posebno za faze dokovanja, odnosno vodene linije pri kojima postoji utjecaj broda (VL_2, VL_3, VL'_3, VL_4).

Pri proračunu početne poprečne i uzdužna stabilnosti doka za faze dokovanja bez utjecaja broda stabilnost se proračunava uzimajući u obzir masu i težište praznog doka, te raspored i mase balasta. Pritom je za svaku vodnu liniju VL_T, VL_1, i VL_0 potrebno proračunati deplasman doka (masa praznog doka i balasta, DD (D0 + BAL)), visinu sustavnog težišta doka KG, ispravak za utjecaj slobodnih površina u balastnim tankovima GGv, ispravljenu metacentarsku visinu za utjecaj slobodnih površina MoGv, udaljenost sustavnog težišta doka od krmene okomice XG, srednji gaz doka Ts, gaz doka na prednjem kraju Tp, gaz doka na stražnjem kraju Tk i trim doka, a zatim i provjeriti da li su zadovoljeni kriteriji stabilnosti doka ($M_0G_V > 0$, trim ≈ 0 i kut nagiba doka $\varphi \approx 0$).

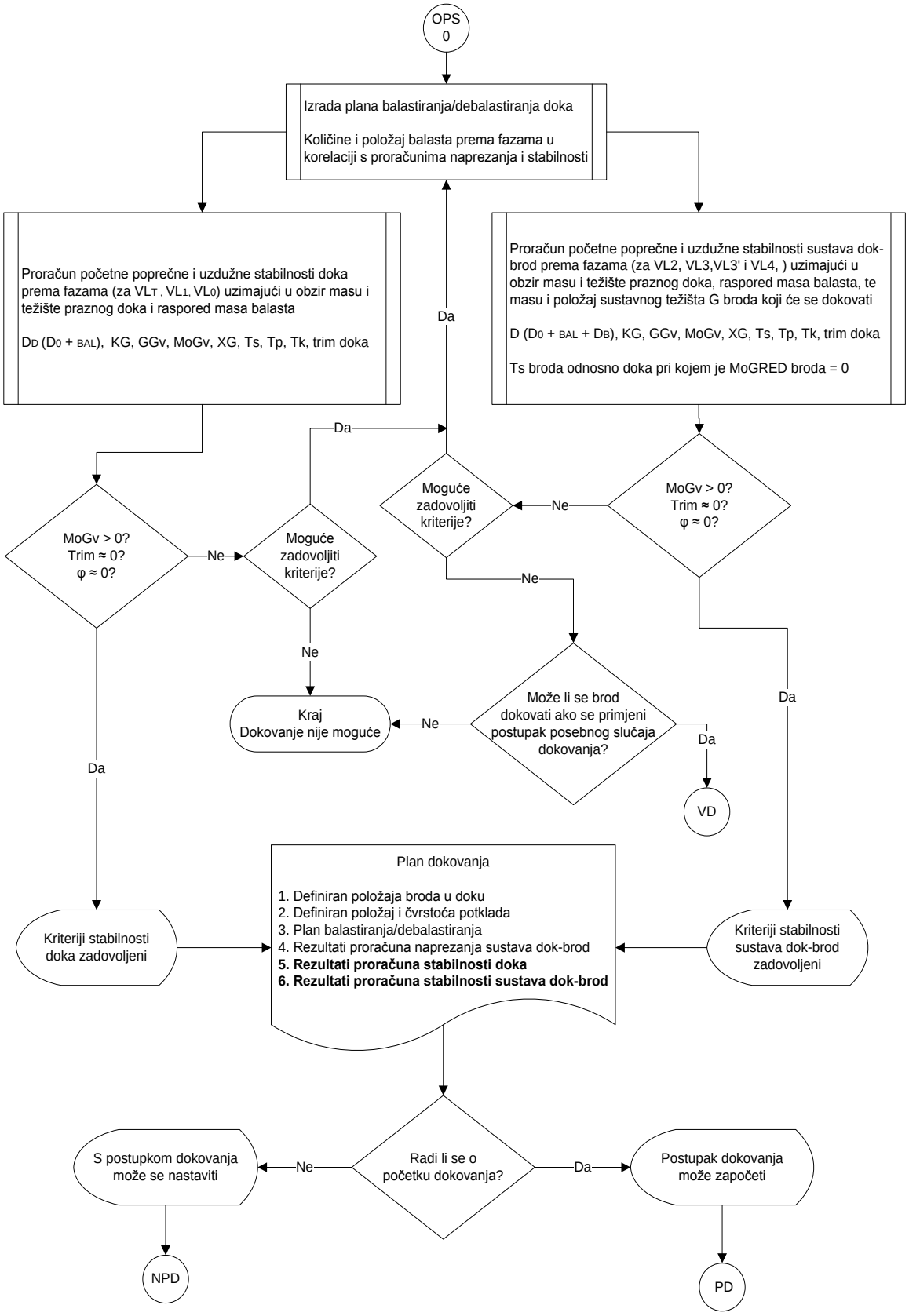
Ukoliko su kriteriji stabilnosti doka zadovoljeni njihove konkretne vrjednosti upisuju se u Plan dokovanja za pojedinu fazu dokovanja za dok. Ukoliko kriteriji stabilnosti nisu zadovoljeni potrebno je izvršiti analizu i vidjeti da li je kriterije uopće moguće zadovoljiti. Ukoliko je kriterije moguće zadovoljiti potrebno je redefinirati Plan balastiranja odnosno debalastiranja doka, nakon čega treba ponoviti prethodno opisani postupak. Ukoliko kriterije nije moguće zadovoljiti dokovanje nije moguće.

Pri proračunu početne poprečne i uzdužna stabilnosti doka za faze dokovanja s utjecajem broda (sustav dok-brod), stabilnost se proračunava uzimajući u obzir masu i težište praznog doka, raspored masa balasta, te masu i položaj sustavnog težišta G broda koji će se dokovati. Pritom je za svaku vodnu liniju VL_2, VL_3, VL'_3 i VL_4 potrebno je proračunati deplasman sustava dok-brod (masa praznog doka, balasta i deplasman broda, DD (D_0 + BAL + D_B)), visinu sustavnog težišta sustava dok-brod KG, ispravak za utjecaj slobodnih površina u balastnim tankovima GGv, ispravljenu metacentarsku visinu za utjecaj slobodnih površina MoGv, udaljenost sustavnog težišta doka od krmene okomice XG, srednji gaz doka Ts, gaz doka na prednjem kraju Tp, gaz doka na stražnjem kraju Tk i trim doka, a zatim i provjeriti da li su zadovoljeni kriteriji stabilnosti sustava dok-brod ($M_0G_V > 0$, trim ≈ 0 i kut nagiba doka $\varphi \approx 0$). Povrh navedenog potrebno je odrediti Ts broda odnosno doka pri kojem je MoG_{RED} broda = 0.

Ukoliko su kriteriji stabilnosti sustava dok-brod zadovoljeni njihove konkretne vrijednosti upisuju se u Plan dokovanja za pojedinu fazu dokovanja. Ukoliko kriteriji stabilnosti sustava dok-brod nisu zadovoljeni potrebno je izvršiti analizu i vidjeti da li je kriterije uopće moguće zadovoljiti. Ukoliko je kriterije moguće zadovoljiti potrebno je redefinirati Plan balastiranja odnosno debalastiranja doka, nakon čega treba ponoviti prethodno opisani postupak. Ukoliko brod nije moguće dokovati ni ako se primjeni postupak nekog posebnog slučaja dokovanja, dokovanje nije moguće. Ukoliko je pak brod moguće dokovati ako se primjeni postupak nekog posebnog slučaja dokovanja, potrebno je odrediti koju vrstu posebnog slučaja dokovanja treba primijeniti (VD), te ponoviti postupak određivanja parametara dokovanja.

Nakon što je kompletiran Plan dokovanja ovisno o tome da li se radi o početku dokovanja ili nastavku dokovanja, postupak dokovanja može započeti (PD) ili se s postupkom dokovanja može nastaviti (NPD).

Dio konceptualnog modela koji se odnosi na određivanje parametara stabilnosti pri općem slučaju dokovanja broda u uzdužnici doka (OPS 0) prikazan je u sljedećem dijagramu toka.



Slika 60. Dio konceptualnog modela određivanja parametara stabilnosti pri općem slučaju dokovanja broda u uzdužnici doka

Izvor: Izradio autor

Oni dijelovi konceptualnog modela koji se odnose na određivanje parametara stabilnosti pri posebnim slučajevima dokovanja bit će prikazani u odgovarajućem poglavlju u kojem se analizira svaki poseban slučaj dokovanja.

Četvrti dio konceptualnog modela odnosi se na definiranje postupka dokovanja broda. Postupak uobičajenog dokovanja broda u uzdužnicu doka i posebni slučaji dokovanja razlikuju se u prvom redu u načinu pozicioniranja broda u doku. Stoga je ovaj dio modela koncipiran na način da je dijagram toka postupka dokovanja jednak za sve vrste dokovanja, a specifičnost postupka pozicioniranje broda u doku definira se zasebno, te se nakon ispravnog pozicioniranja broda u doku postupak nastavlja.

Određene specifičnosti pri raznim vrstama dokovanja postoje i pri repozicioniranju bočnih potklada tijekom odvijanja dokovanja broda, a eventualno i pri postavljanju i praćenju bočnih podupirača. Međutim, vrlo često su u svim vrstama dokovanja ovi postupci slični, nerijetko se primjenjuju gotovo svi i bez obzira na vrstu dokovanja, pa stoga u modelu ovaj postupak nije posebno razmatran za svaku vrstu dokovanja. Dakako, ovi postupci su opisani i analizirani u pojedinom postupku dokovanja.

Određivanja postupka dokovanja započinje utvrđivanjem gaza za dokovanje broda. Ukoliko dok nije na gazu predviđenom za dokovanje pojedinog broda, balastiranjem odnosno debalastiranjem doka postiže se željeni gaz potreban za sigurno uplovljavanje broda u dok.

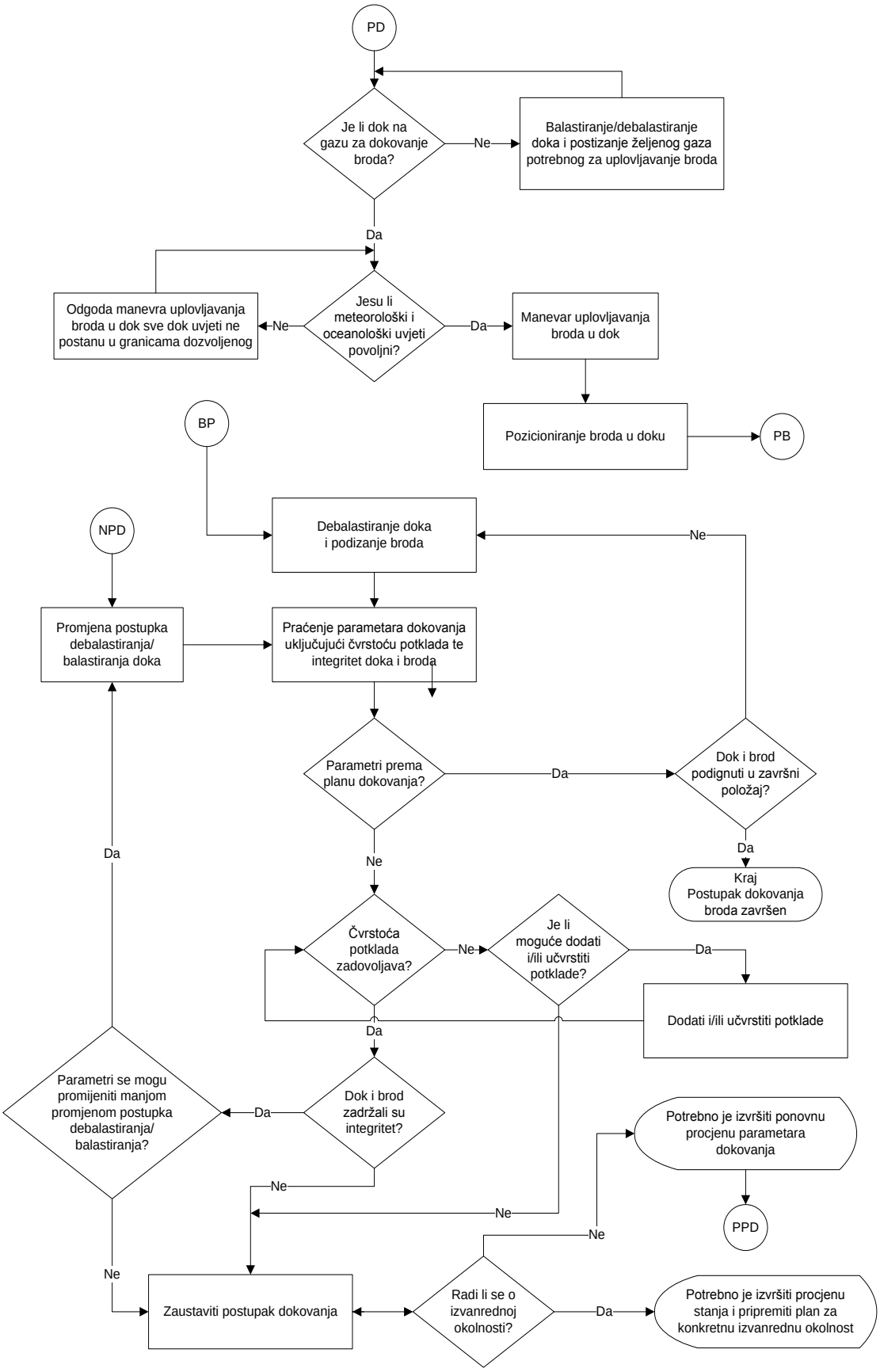
Istovremeno treba razmotriti meteorološke i oceanološke uvjete u akvatoriju. Ukoliko su uvjeti nepovoljni, manevar uplovljavanja broda u dok odgađa se dok uvjeti ne postanu u granicama dozvoljenog. Ukoliko su meteorološki i oceanološki uvjeti povoljni započinje manevar uplovljavanja broda u dok.

Nakon što je brod uplovio u dok, započinje se s postupkom njegova pozicioniranja u doku (PB), a u skladu s Planom dokovanja.

Nakon što je brod pravilno pozicioniran, započinje se s postupkom debalastiranja doka i podizanja broda. Pritom se kontinuirano prate parametri dokovanja uključujući čvrstoću potklada, te integritet doka i broda.

Ukoliko su parametri prema Planu dokovanja, postupak debalastiranja doka i podizanja broda se nastavlja sve dok se dok i brod ne podignu u završni položaj. U tom slučaju postupak dokovanja je završen.

Četvrti dio konceptualnog modela koji se odnosi na definiranje postupka dokovanja (PD) prikazan je u sljedećem dijagramu toka.



Slika 61. Konceptualni model određivanja postupka dokovanja

Izvor: Izradio autor

Ukoliko parametri dokovanja nisu u skladu s Planom dokovanja potrebno je utvrditi razloge, te pritom provjeriti čvrstoću potklada i integritet doka i broda.

Ukoliko nakon provjere čvrstoća potklada zadovoljava, a dok i brod su zadržali svoj integritet, potrebno je procijeniti da li je moguće manjom promjenom postupka debalastiranja/balastiranja mijenjati parametre dokovanja, te zadovoljiti Plan dokovanja. Ukoliko da, potrebno je promijeniti postupak debalastiranja/balastiranja doka, te nastaviti s postupkom dokovanja uz praćenje parametara dokovanja. Ukoliko to nije moguće potrebno je zaustaviti postupak dokovanja.

Mađutim, ukoliko čvrstoća potklada ne zadovoljava potrebno ih je dodati ili učvrstiti. Ukoliko nije moguće dodati ili učvrstiti potklade, potrebno je zaustaviti daljnji postupak dokovanja. Ukoliko dok i/ili brod nisu zadržali integritet, također je potrebno zaustaviti postupak dokovanja.

Ako se nakon zaustavljanja postupka dokovanja utvrdi da se radi o izvanrednoj okolnosti potrebno je izvršiti procjenu stanja i pripremiti plan za konkretnu izvanrednu okolnost. Ukoliko se utvrdi da se ne radi o izvanrenoj okolnosti potrebno je izvršiti ponovnu procjenu parametara dokovanja (PPD).

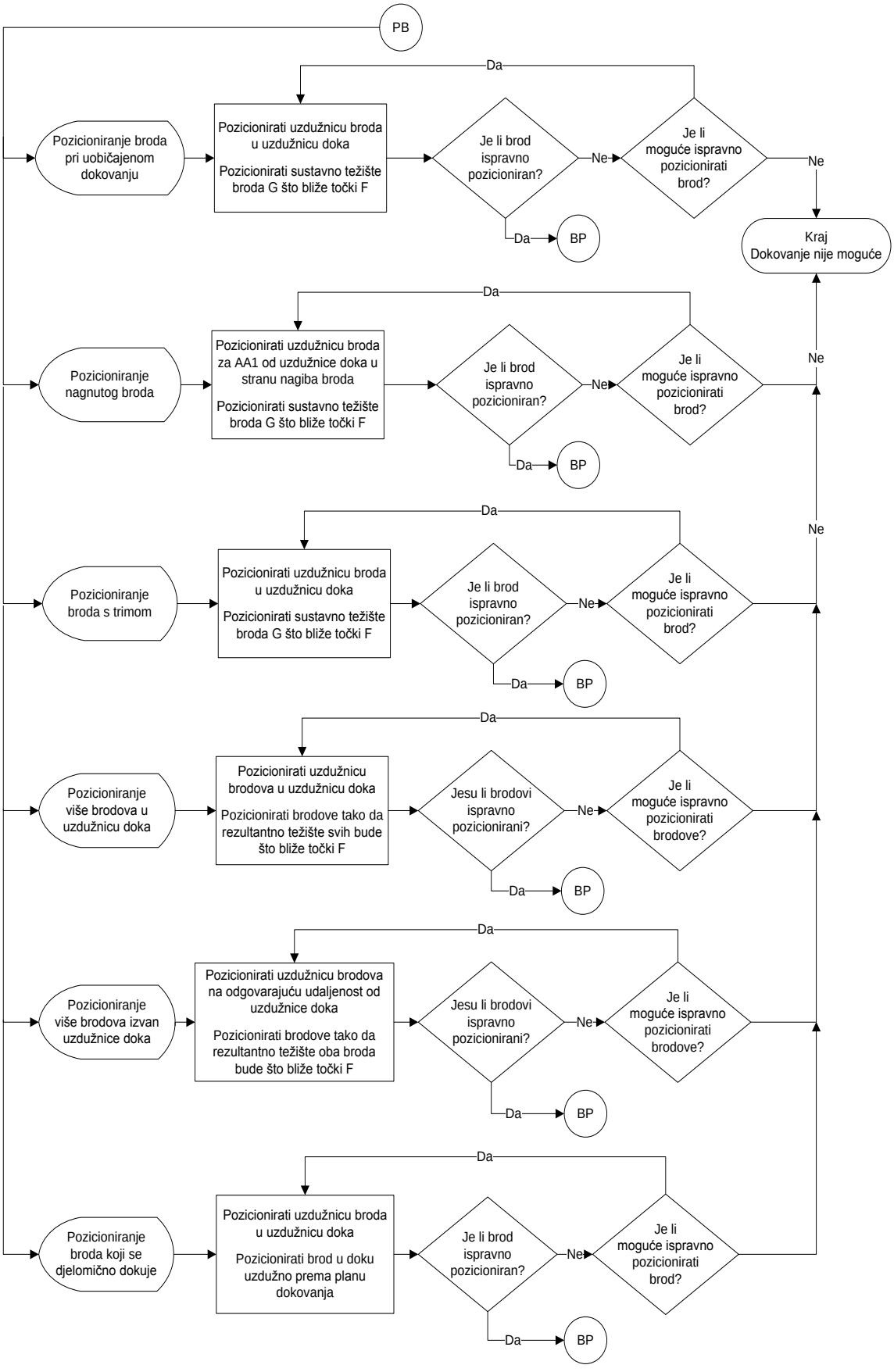
Kako je već navedeno model je koncipiran na način da se specifičnosti postupaka pozicioniranje broda u doku definiraju zasebno. Postupak i pozicioniranje broda u doku ovisiti će o tome da li se radi o pozicioniranja broda pri uobičajenom dokovanju broda u uzdužnici doka ili o nekom posebnom slučaju dokovanja. Stoga je pri korištenju ovog dijela konceptualnog modela potrebno najprije odabrati vrstu dokovanja, a zatim slijediti dijagram toka.

Postupak pozicioniranja broda pri uobičajenom dokovanju podrazumijeva pozicionirati uzdužnicu broda u uzdužnicu doka, a sustavno težište broda G što bliže težištu vodene plovne linije, točki F.

Nakon pozicioniranja broda postupak se nastavlja provjerom je li brod ispravno pozicioniran. Ukoliko je brod ispravno pozicioniran (BP), postupak dokovanja može se nastaviti debalastiranjem i podizanjem broda uz praćenje parametara dokovanja. Ukoliko brod nije ispravno pozicioniran, potrebno je provjeriti je li moguće brod ispravno pozicionirati. Ukoliko da, potrebno je brod repozicionirati u željeni položaj i nastaviti s postupkom provjere ispravnog pozicioniranja broda. Ukoliko ispravno pozicioniranje broda nije moguće, ni dokovanje broda nije moguće.

Navedena provjera ispravnosti pozicioniranja broda u doku jednaka je za sve slučajeve dokovanja, pa se neće ponavljati.

Dio konceptualnog modela koji se odnosi na postupak pozicioniranja broda pri uobičajenom dokovanju broda u uzdužnici doka i pri posebnim slučajevima dokovanja broda (PB) prikazan je u sljedećem dijagramu toka.



Slika 62. Dio konceptualnog modela s postupkom pozicioniranja broda

Izvor: Izradio autor

Postupak pozicioniranja nagnutog broda pri dokovanju podrazumijeva pozicionirati uzdužnicu broda za udaljenost AA_1 od uzdužnice doka u stranu nagiba broda, a sustavno težište broda G što bliže točki F.

Postupak pozicioniranja trimovanog broda pri dokovanju podrazumijeva pozicionirati uzdužnicu broda u uzdužnicu doka, a sustavno težište broda G što bliže težištu vodene plovne linije, točki F.

Postupak pozicioniranja više brodova u uzdužnicu doka pri dokovanju podrazumijeva pozicionirati uzdužnice brodova u uzdužnicu doka, te pozicionirati brodove tako da rezultantno težište mase svih brodova bude što bliže težištu vodene plovne linije, točki F.

Postupak pozicioniranja više brodova izvan uzdužnice doka pri dokovanju podrazumijeva pozicionirati uzdužnice brodova na odgovarajuću udaljenost od uzdužnice doka, te pozicionirati brodove tako da rezultantno težište oba broda bude što bliže težištu vodene plovne linije, točki F.

Postupak pozicioniranja broda koji se djelomično dokuje podrazumijeva pozicionirati uzdužnicu broda u uzdužnicu doka, te pozicionirati brod u doku uzdužno prema planu dokovanja.

5.2.1. Dokovanje brodova s bočnim nagibom

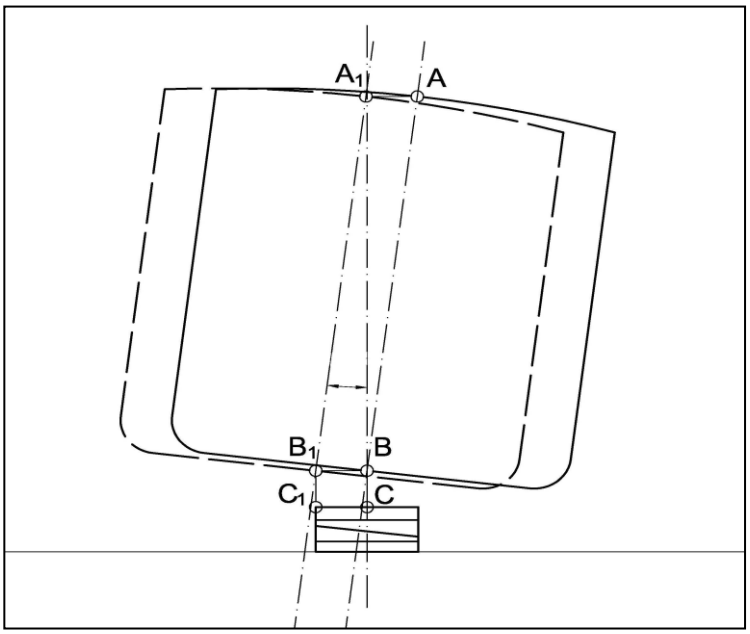
Iako brodovi prije ulaska u dok trebaju biti uspravni ponekad je potrebno dokovati brod s poprečnim nagibom, npr. u slučaju ostatka tereta u skladištima, nemogućnosti ispumpavanja balasta, oštećenja na oplati, itd.

U normalnim uvjetima simetrala plutajućeg doka odnosno potklada i uzdužnica broda moraju se poklapati. U slučaju nagnutog broda kobilica broda ne dodiruje potklade na simetrali već sa strane.

Za vrijeme dizanja doka brod zadržava početni kut nagiba dok ne dotakne centralnu potkladu, nakon čega se počinje uspravljati. U slučaju pogrešnog centriranja nagib se može povećati te oštetiti oplatu, a moguće je i klizanje broda s potklada.

Sa stanovišta proračuna stabilnosti nema značajnih razlika u odnosu na uobičajeni proračun, osim što valja uzeti u obzir činjenicu da je brod nagnut. Međutim, za pravilno postavljanje broda na potklade, odnosno da se pri dokovanju podudari simetrala broda i doka potrebno je pomaknuti brod u stranu nagiba za duljinu $\overline{AA}_1$ (Slika 63).[38]

[38] Pavlov,P.;op.cit., str. 45.



Slika 63. Prikaz veličine pomaka centriranja broda s poprečnim nagibom

Izvor: Izradio autor

Veličina ispravka određuje se iz trokuta ABA_1, iz kojeg slijedi:

$$\overline{AA_1} = \overline{BB_1} = \overline{CC_1}$$

$$\overline{AA_1} = H\sin\varphi$$

gdje su:

$\overline{AA_1}$ — potreban pomak zbog nagiba broda (m)

$H = \overline{AB}$ — visina od kobilice do palube broda (m)

φ — kut nagiba broda (°).

Potreban pomak zbog nagiba broda određuje se prije početka dizanja doka kako bi se izbjegla dodatna centriranja i duži boravak broda u doku. Za vrijeme dokovanja broda s nagibom posebnu pažnju treba posvetiti opterećenjima strukture i slobodnim površinama u tankovima, koje mogu povećati kut nagiba i poremetiti stabilnost broda.

I pri dokovanju nagnutog broda valja istaknuti da nije ispunjen uvjet jednakosti masa i uzgona jer je brod poduprt na potkladi tako da osim sile uzgona i težine na njega djeluje i reakcija potklade. Stoga kako je to već navedeno u zasebnom poglavlju treba proračunati kritičnu razinu vode tijekom podizanja doka pri kojoj početna poprečna metacentarska visina broda postaje 0. Naime, u ovom posebnom slučaju dokovanja je vrlo značajno na vrijeme poduprijeti brod kako se ne bi dodatno nagnuo ili proklizao na potkladama.

Pri razmatranju postupka dokovanja nagnutih brodova analizirano je ukupno 99 dokovanja što čini 88,4 % uzorka nagnutih brodova. Referentni podaci značajni za zaključivanje o interakciji broda i doka te utjecaja na stabilnost kao i postupka dokovanja prikazani su u sljedećoj tablici.

Tablica 5. Referentni podaci za dokovane brodove iz uzorka − dokovanje brodova s bočnim nagibom

Red. broj	Brod	D (t)	L_{OA} (m)	B (m)	T_S (m)	T_P (m)	T_K (m)	φ (°)	$\overline{AA_1}$ (m)	$\overline{M_{01}G}$ (m)
1.	Kalmar	399	46,30	10,70	3,00	3,80	4,50	4,50	0,48	1,30
2.	Gorenjska	915	61,20	9,90	3,60	2,50	4,70	5,00	0,50	0,70
3.	Monsun	131	32,70	5,50	1,90	1,10	2,80	3,50	0,60	0,40
4.	V. Nazor	430	54,20	8,50	1,90	1,40	2,40	6,50	0,85	1,10
5.	Novalja	362	49,70	10,70	3,30	3,00	3,60	7,50	0,80	0,80
6.	Lopar	113	27,00	6,40	2,30	1,50	3,00	8,00	0,95	0,40
7.	Norma	115	30,20	4,90	1,60	1,20	2,00	10,00	1,20	0,45
8.	Knez	74	20,40	5,70	2,10	1,40	2,80	7,50	0,95	0,50
9.	Arkaj	74	20,30	5,70	2,40	1,70	3,00	6,00	0,85	0,65
10.	Loznati	383	51,60	8,04	1,60	0,80	2,90	4,50	0,50	1,10
11.	Komiža	376	42,00	10,70	3,60	3,50	3,70	7,00	0,55	1,25
12.	Trp	70	25,20	5,80	2,30	1,30	3,30	8,50	0,85	0,60
13.	Postira	335	44,60	8,10	2,50	1,80	2,90	5,50	0,40	1,60
14.	Devin	67	23,40	6,05	1,90	1,10	2,70	4,50	0,45	0,80
15.	Luci	41	18,40	5,06	1,10	0,80	1,50	10,00	1,30	0,40
16.	Vira	356	49,50	10,70	3,10	3,00	3,30	8,50	0,95	0,90
17.	Hvar	500	74,40	10,40	2,40	1,10	3,70	5,50	0,85	1,50
18.	Osijek	574	57,70	8,80	1,90	0,90	2,90	6,50	0,65	1,70
19.	Smile	60	24,20	6,50	1,20	0,80	1,60	4,00	0,50	0,45
20.	Brestova	215	38,00	8,60	2,30	2,10	2,40	7,00	0,55	0,85
21.	Skušica	29	17,50	4,60	1,30	0,90	1,60	7,00	0,90	0,25
22.	Sea	17	18,50	5,10	1,60	0,80	1,90	8,50	0,65	0,15
23.	Kimen	608	57,00	9,20	2,70	1,40	3,90	7,00	0,95	1,10
24.	Valun	499	55,40	8,30	2,30	1,10	3,40	9,50	0,80	1,30

Red. broj	Brod	D (t)	L_{OA} (m)	B (m)	T_S (m)	T_P (m)	T_K (m)	φ (°)	$\overline{AA_1}$ (m)	$\overline{M_{01}G}$ (m)
25.	Kantar	28	17,60	4,70	1,30	0,80	1,70	8,50	0,70	0,55
26.	Takovo	347	44,70	8,20	2,10	1,40	2,80	10,50	0,75	1,30
27.	Adria	317	43,80	8,40	2,40	1,30	3,40	8,50	0,90	1,40
28.	Panonia	78	21,00	4,10	2,00	1,50	2,50	7,00	0,95	0,25
29.	Darinka	98	7,10	6,20	2,60	2,50	3,20	11,50	1,10	0,75
30.	Nerezine	98	27,80	6,50	2,20	1,50	2,90	5,50	0,65	0,50
31.	Skarda	113	27,60	6,50	2,40	1,60	3,20	6,00	0,50	0,30
32.	Val	24	16,90	4,50	0,90	0,50	1,40	6,00	0,55	0,45
33.	Antinea	27	21,00	5,20	1,60	0,60	2,10	9,50	0,60	0,21
34.	Nautika	69	23,70	6,10	1,90	1,10	2,70	10,50	0,75	0,45
35.	Loda	383	45,30	10,10	2,90	2,70	3,00	5,50	0,45	1,10
36.	Konobe	216	34,00	7,90	2,00	1,50	3,50	10,50	1,10	0,90
37.	Thor	603	33,00	8,00	3,40	2,20	4,60	5,50	0,85	1,20
38.	Vagrant	51	31,00	5,60	2,80	1,50	4,10	7,50	0,50	1,50
39.	Zubatac	8	20,50	5,70	2,60	1,40	3,30	6,50	0,45	0,40
40.	Morana	29	17,30	4,80	0,80	0,50	1,10	11,50	0,95	0,20
41.	Mornar	32	21,50	5,20	1,70	0,90	2,50	7,50	0,60	0,40
42.	Marnare	52	22,20	5,10	2,00	1,40	2,60	6,00	0,65	1,20
43.	Aspalatos	214	37,20	8,00	1,90	1,10	2,70	7,00	0,55	0,60
44.	Bura	48	21,00	5,60	1,10	0,50	1,70	8,50	0,70	0,40
45.	Golub	75	20,50	5,80	2,80	2,10	3,50	9,00	0,65	0,60
46.	Oliva	219	32,80	7,90	3,20	2,50	3,80	4,00	0,85	0,90
47.	Ždrilo	81	26,40	6,10	2,60	1,60	3,50	7,00	0,90	0,55
48.	Lampuga	37	19,00	4,50	1,80	0,90	2,60	10,50	1,10	0,30
49.	Droga I	89	47,10	8,20	2,50	1,10	3,80	9,00	0,85	0,65
50.	Iris	61	32,10	6,50	1,30	0,70	1,90	11,50	0,95	0,45
51.	Plomin	132	26,10	7,10	2,80	1,90	3,60	9,50	1,10	0,70
52.	Tuzla	347	44,70	8,20	2,10	1,40	2,80	8,50	0,60	0,81
53.	Zora	194	31,90	7,20	1,70	0,90	2,50	10,50	0,95	0,45

Red. broj	Brod	D (t)	L_{OA} (m)	B (m)	T_S (m)	T_P (m)	T_K (m)	φ (°)	$\overline{AA_1}$ (m)	$\overline{M_{01}G}$ (m)
54.	Activ	51	51,20	6,80	2,60	0,90	4,20	6,50	0,60	1,80
55.	Vicky	310	61,50	9,10	3,20	2,10	4,20	11,50	1,10	1,40
56.	Pionir	32	27,80	6,10	1,80	1,10	2,50	10,50	0,95	0,60
57.	Gin	380	39,00	7,20	4,10	3,50	4,60	5,50	0,60	1,80
58.	Dinko I	143	41,20	7,80	2,80	2,10	3,50	7,50	0,65	0,90
59.	Školjka	20	16,10	4,30	1,00	0,50	1,50	7,00	0,70	0,70
60.	Zaton	292	47,40	8,10	1,90	1,30	2,50	6,50	0,65	1,20
61.	Clay	610	71,20	9,10	2,80	1,50	4,10	8,50	0,55	1,80
62.	Merag	499	57,40	8,40	3,20	2,10	4,20	5,00	0,65	1,20
63.	Ecomar	292	34,10	6,20	2,70	1,90	3,50	10,50	0,55	1,30
64.	Laho	52	31,20	5,40	1,80	0,90	2,60	5,50	1,00	0,80
65.	Komarča	74	20,40	5,70	2,50	1,90	3,10	4,00	0,55	0,90
66.	Božava	361	22,50	9,10	3,30	3,10	3,50	4,00	0,40	0,95
67.	Gil	380	39,10	7,40	3,40	2,20	4,50	7,00	0,75	1,50
68.	Izvor	328	41,90	7,50	2,90	2,50	3,20	6,50	0,55	1,40
69.	Sv. Vid	62	33,50	6,50	2,00	1,10	2,90	4,00	0,35	0,70
70.	Zingara	58	29,50	5,80	1,60	0,70	2,40	8,50	0,70	1,10
71.	Porozina	335	44,60	8,10	2,50	2,10	2,90	5,50	0,40	1,60
72.	B. Chica	65	28,00	5,10	1,20	0,50	1,90	8,00	0,65	0,60
73.	Ozalj	191	37,60	7,00	2,00	1,90	2,10	5,00	0,50	1,10
74.	Šoltanka	426	48,00	9,00	1,60	0,90	2,20	4,50	0,45	2,30
75.	Bella	65	33,00	5,50	1,60	0,80	1,50	3,50	0,40	0,70
76.	Žigljen	210	40,10	10,50	3,20	2,90	3,50	5,50	0,30	1,30
77.	Zavižan	205	34,80	7,80	3,30	2,90	3,70	5,50	0,35	1,60
78.	Maurus	190	25,60	7,20	2,60	2,30	2,60	4,50	0,40	1,50
79.	Argovia	35	15,50	4,50	1,60	0,40	1,20	8,50	0,55	0,60
80.	Pelješčanka	426	48,00	9,00	1,70	1,10	2,20	4,50	0,35	2,30
81.	Tijat	191	37,60	7,00	2,00	1,60	2,40	8,00	0,45	1,20
82.	Hobotnica	15	16,00	4,00	1,00	0,90	1,10	6,50	0,50	1,20

Red. broj	Brod	D (t)	L_{OA} (m)	B (m)	T_S (m)	T_P (m)	T_K (m)	φ (°)	$\overline{AA_1}$ (m)	$\overline{M_{01}G}$ (m)
83.	Ero	310	48,10	7,90	2,40	2,10	2,60	5,00	0,40	1,10
84.	Premuda	347	44,70	8,20	1,90	1,70	2,20	5,00	0,45	1,20
85.	Furia	25	21,00	5,20	1,20	0,60	1,70	9,50	0,60	0,70
86.	M. Držić	99	28,00	6,30	2,00	1,90	2,10	8,00	0,75	1,50
87.	Polaris	132	28,80	7,40	2,20	1,50	2,90	8,00	0,65	0,90
88.	Lara	121	37,70	6,90	1,70	1,60	1,80	4,50	0,40	0,90
89.	Ilok	191	37,60	7,00	1,90	1,70	2,20	5,00	0,40	1,20
90.	Mara	810	80,50	10,45	2,50	1,20	3,80	7,50	0,65	1,40
91.	Elizabeta	31	16,50	7,50	0,90	0,50	1,20	8,00	0,55	0,80
92.	Alfarah	27	17,50	6,50	0,90	0,50	1,30	9,00	0,75	0,40
93.	Maestral	173	30,10	7,40	1,90	1,30	2,60	9,00	0,65	0,85
94.	Privlaka	196	77,20	9,70	2,70	2,20	3,10	7,00	0,70	1,10
95.	Sally	710	81,20	10,50	3,40	2,50	4,20	11,00	1,10	1,40
96	Kazimir	18	12,80	4,70	1,30	0,50	2,10	5,50	0,55	0,75
97	Trogir	347	44,70	8,20	2,40	1,90	2,80	8,00	0,40	1,10
98	Školjka	20	16,10	4,30	1,60	0,60	1,50	6,50	0,55	0,60
99	Čutin	74	23,30	6,30	1,90	1,20	2,50	4,50	0,50	1,10

Izvor: Statistički podaci *Brodogradilišta Cres d.d.*

Analizirajući vrijednosti iz priložene tablice može se zaključiti da su od ukupno 99 analiziranih dokovanja nagnutih brodova, u 15% slučajeva kutovi nagiba iznosili od 1° do 5°, 68% brodova bilo je nagnuto od 5° do 10°, a nagibi preko 10° odnosili su se na 11% brodova. Najveći kut nagiba broda iznosio je 11,5° odnosno pomak na potkadi 1,3 m. Najmanji kut nagiba iznosio je 4° odnosno pomak na potkladi 0,4 m.

Praksa izvršenih dokovanja je pokazala da je najsigurnije centriranje pomoću bočnih greda. Grede onemogućuju pomicanje broda dok ne sjedne na potkladu. Grede se postavljaju kad je kobilica broda što bliža potkladi. Postupak se kontrolira pomoću ronioca.

Pri dokovanju nagnutog broda potrebno je pojačati potklade i dodatno učvrstiti suprotnu stranu, radi sprečavanja klizanja i rušenja potklada za vrijeme izravnavanja broda.

Iskustvo dokovanja nagnutih brodova je pokazalo da što je veći kut nagiba broda povećava se vjerojatnost rušenja naročito bočnih potklada. Stoga dokovanje nagnutog broda nagiba većeg do 15° nije preporučljivo.

Dio konceptualnog modela određivanja parametara stabilnosti pri dokovanju nagnutog broda

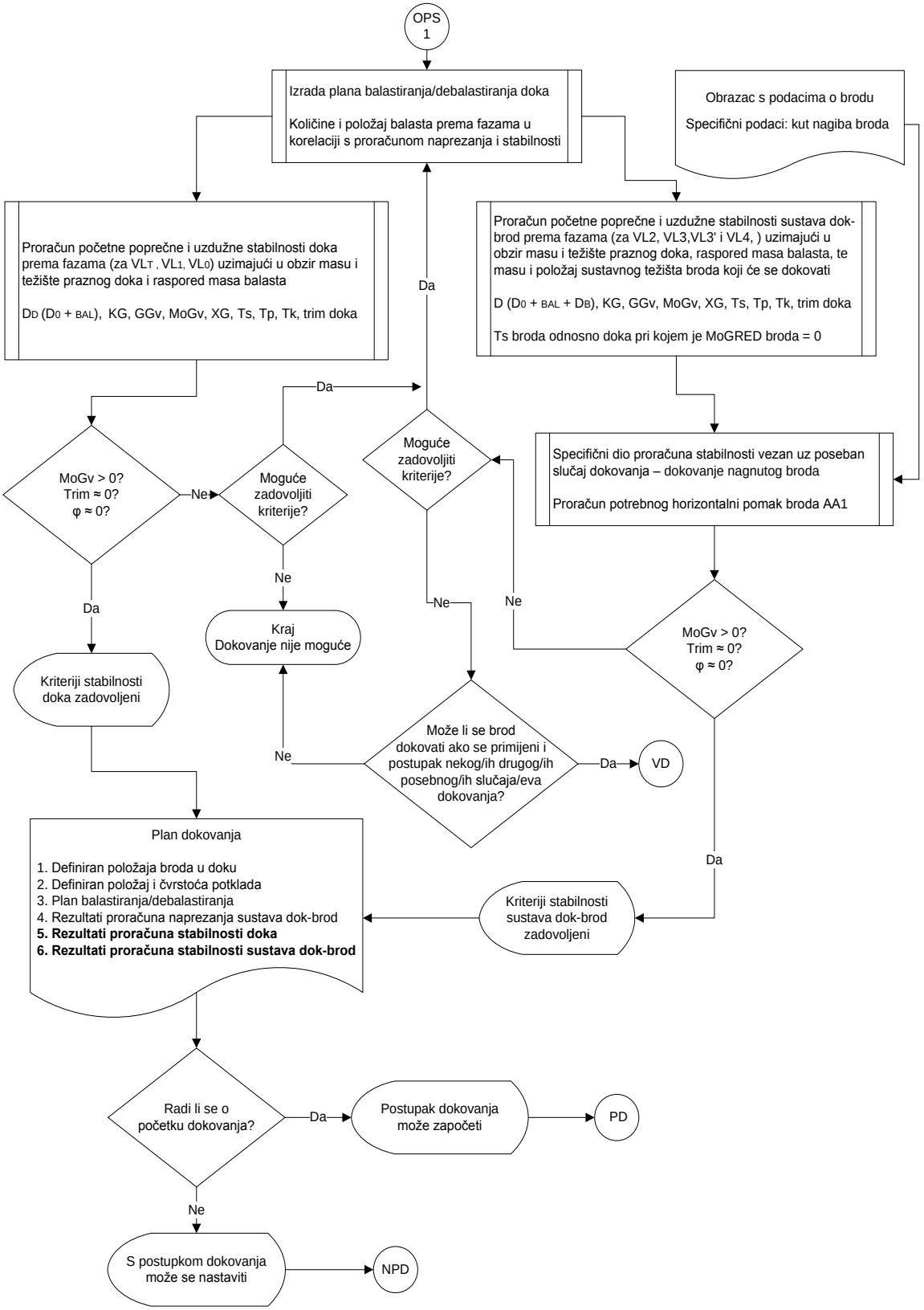
Konceptualni model određivanja parametara stabilnosti dokovanja nagnutog broda započinje izradom Plana balastiranja/debalastiranja doka s definiranjem količina i položaja balasta prema fazama dokovanja u korelaciji s proračunom naprezanja i stabilnosti.

Određivanje parametara stabilnosti pri dokovanju nagnutog broda u dijelu konceptualnog modela (OPS 1) u dijelu koji se odnosi na postupak proračuna početne poprečne i uzdužna stabilnosti doka i izradu Plana dokovanja za faze dokovanja bez utjecaja broda, za vodene linije VL_T, VL_1, i VL_0, istovjetan je onome u konceptualnom modelu za uobičajeno dokovanje broda (OPS 0), te se neće ponovno opisivati. Pritom su kriteriji stabilnosti doka sljedeći: MoGv > 0, trim ≈ 0 i kut nagiba doka φ ≈ 0.

Određivanje parametara stabilnosti pri dokovanju nagnutog broda u dijelu konceptualnog modela (OPS 1) u dijelu koji se odnosi na postupak proračuna početne poprečne i uzdužna stabilnosti doka i izradu Plana dokovanja za faze dokovanja s utjecajem broda (sustav dok-brod), za vodene linije VL_2, VL_3, VL'_3, VL_4, načelno je istovjetan onome u konceptualnom modelu za uobičajeno dokovanje broda (OPS 0), te se neće ponovno opisivati, osim u djelu koji se odnosi na specifičnosti postupka.

Naime, u ovom posebnom slučaju dokovanja broda specifični ulazni podatak je kut nagiba broda kojeg treba precizno izmjeriti, a specifični dio proračuna stabilnosti vezan je uz proračun potrebnog horizontalnog pomaka uzdužnice broda iz uzdužnice doka $_1$ za $\overline{AA}$ koji je potrebno pomaknuti brod, a s ciljem da se podizanjem doka brod uspravi. Pritom su kriteriji stabilnosti sustava dok-brod sljedeći: MoGv > 0, trim ≈ 0 i kut nagiba doka φ ≈ 0.

Dio konceptualnog modela koji se odnosi na određivanje parametara stabilnosti pri dokovanju nagnutog broda (OPS 1) prikazan je u sljedećem dijagramu toka.



Slika 64. Dio konceptualnog modela određivanja parametara stabilnosti pri dokovanju nagnutog broda

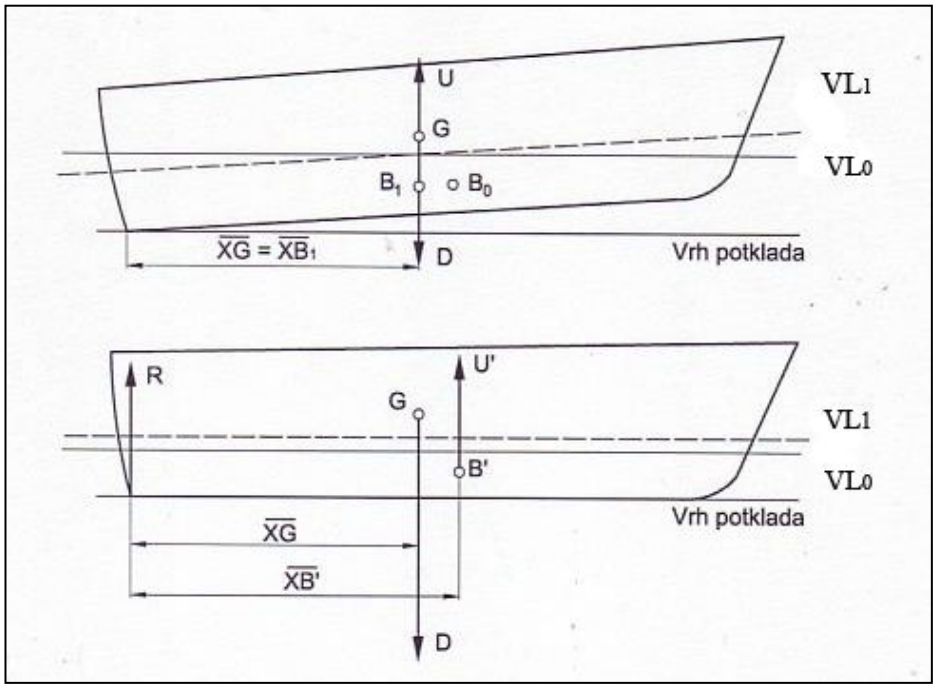
Izvor: Izradio autor

5.2.2. Dokovanje trimovanog broda

U slučaju dokovanja trimovanog broda odnosno s kosom kobilicom posebno je značajno postići poklapanje sustavnog težišta broda i težišta vodene plovne linije doka kako bi se osigurala uzdužna stabilnost sustava dok-brod.

Pri podizanju doka brod s krmenim trimom (zatega) najprije će dotaknuti potklade krmom, te će postepeno prenijeti opterećenje od krajnje potklade na ostale. Dizanjem doka brod će se lagano zakretati oko točke doticanja i postepeno sjesti na sve potklade.

U slučaju dokovanja trimovanog broda potrebno je proračunati sile reakcije na dodirnoj potkladi, kako ne bi došlo do oštećenja broda odnosno loma potklade i oštećenja doka. Slika 65. prikazuje zatežan brod neposredno prije dodira krmene potklade doka. Uzgon U jednak je deplasmanu broda (D_b) i leži u istoj okomici na vodnu liniju „VL_0“.



Slika 65. Dokovanje trimovanog broda

Izvor: Izradio autor prema Uršić, 1966.

Slika 65 prikazuje brod neposredno prije nego što je cijelom duljinom kobilice nasjeo na potklade doka. Tada je sila reakcije „R“ najveća. Radi ispunjavanja uvjeta ravnoteže suma svih sila i svih momenata mora biti jednaka „0“.[39]

Stoga slijedi:

$$D_B = U' + R \quad R = D_B - U'.$$

Suma momenata s obzirom na hvatište sile reakcije (R) je:

[39] Uršić, J.; op.cit., str. 206.

$$U' \overline{XB} - D\overline{XG} = 0,$$

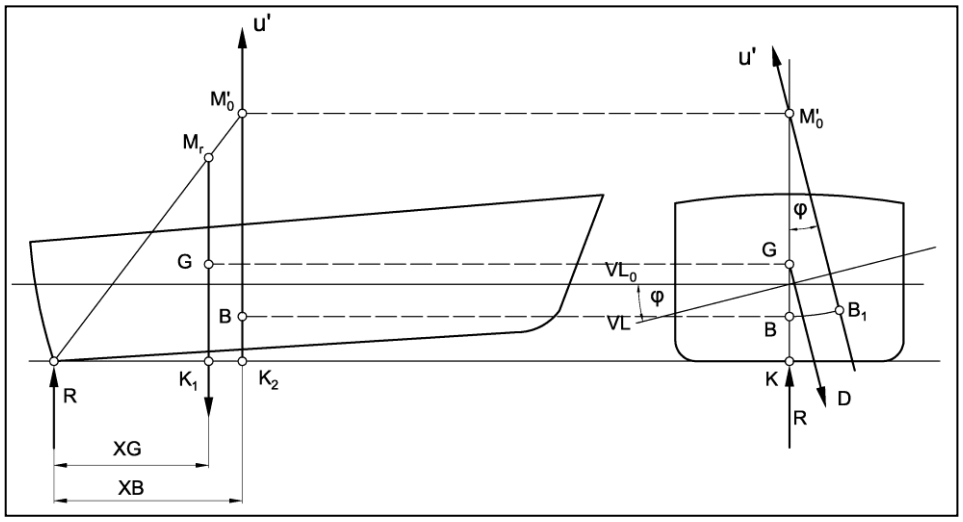
odnosno:

$$\overline{XB} = \overline{XG}\frac{D}{U'},$$

gdje su:

$\overline{XB}$ — apscisa hvatišta sile uzgona, tj. udaljenost od dodirne točke na podkladi do hvatišta sile uzgona (m)

$\overline{XG}$ — apscisa sustavnog težišta broda, tj. udaljenost od dodirne točke na podkladi do sustavnog težišta broda (m).



Slika 66. Stabilnost pri dokovanju trimovanog broda

Izvor: Izradio autor prema Uršić, 1966.

Da bi zatežan brod koji pluta na vodnoj liniji VL_0 došao na ravnu kobilicu mora se stvoriti promjena trima koja odogovara trenutnom trimu broda.

$$Mt = tu \cdot M_j,$$

gdje su:

Mt — moment pretege (t)

tu — promjena trima (m)

Mj — jedinični moment pretege (tm/m).

Iz uvjeta ravnoteže slijedi:

$$D \cdot \left(\overline{XB} - \overline{XB_0}\right) = \frac{D\overline{M_L G}}{L} \cdot t,$$

odnosno

$$\overline{XB} - \overline{XB_0} = \frac{\overline{M_L G}}{L} \cdot t.$$

Udaljenost težišta vodene linije VL_0 od krmene okomice (l_k) jednak je udaljenosti težišta paralelnog sloja vode za koji se brod mora spustiti od vodene linije VL na VL'. Moment $R \cdot l_k$ od uzgona paralelnog sloja (ΔU) i reakcije (R) na krmenoj potkladi mora biti jednak momentu pretege (M_t).

$$R \cdot l_K = D \cdot \left(\overline{XB} - \overline{XB_0}\right) = \frac{D \cdot \overline{M_L G}}{L} \cdot t$$

pa slijedi:

$$R = \frac{D \cdot \overline{M_L G}}{L} \cdot \frac{t}{l_K}.$$

Iz dimenzija broda je poznato da je približno $l_K = \frac{L}{2}$ i $t = T_p - T_k$

te slijedi:

$$R = 2\frac{D \cdot \overline{M_L G}}{L^2}\left(T_p - T_k\right),$$

gdje su:

R — reakcija na potkladi (t)

D — deplasman broda (t)

$\overline{M_L G}$ — uzdužna metacentarska visina (m)

L — duljina broda (m)

T_k — gaz na krmi (m)

T_p — gaz na pramcu (m).

Osim određivanja sile reakcije R na krmenoj potkladi radi sigurnosti dokovanja potrebno je ispitati i poprečnu stabilnost broda. Na priloženoj slici prikazan je i utjecaj uzdužne stabilnosti na poprečnu stabilnost pri dokovanju.

Jednadžbe ravnoteže momenata s obzirom na točku K u poprečnom i uzdužnom smjeru prema slici 66 su:

$$Mst_0 = U' \cdot \overline{KM'_O} \sin\varphi - D \cdot \overline{KG} \sin\varphi$$

$$D \cdot \overline{XG} = U' \cdot \overline{XB}$$

iz druge jednadžbe slijedi:

$$U' = \frac{D \cdot \overline{XG}}{\overline{XB}}$$

$$Mst_0 = \frac{D \cdot \overline{XG}}{\overline{XB}} \overline{KM'_0} \sin\varphi \ - D \cdot \overline{KG} \sin\varphi$$

$$Mst_0 = D \cdot \left(\frac{\overline{XG}}{\overline{XB}} \overline{KM'_O} - \overline{KG} \right) \sin\varphi.$$

Prema slici 66 iz sličnosti trokuta M_rRK_1 i trokuta M'_0RK_2 slijedi:

$$\frac{\overline{XG}}{\overline{XB}} = \frac{\overline{K_1M_R}}{\overline{K_2M'_O}},$$

odnosno

$$Mst_0 = D \cdot \left(\frac{\overline{KM_R}}{\overline{KM'_O}} \cdot \overline{KM'_O} - \overline{KG} \right) \sin\varphi$$

$$Mst_0 = D \cdot \left(\overline{KM_R} - \overline{KG} \right) \sin\varphi$$

$$Mst_0 = D \cdot \overline{M_RG} \sin\varphi \ .$$

Veličina $\overline{MG_R}$ predstavlja reduciranu metacentarsku visinu koja se grafički može dobiti presijecanjem spojnice metacentra (M_0`) i točke sile reakcije (R) sa smjerom djelovanja sile deplasmana broda (D_b). Ako se točka (M_R) nalazi iznad sustavnog težišta broda (G) brod je stabilan, a ako se nalazi ispod sustavnog težišta (G) brod je labilan, te može doći do naginjanja i prevrnuća.[40]

Pri razmatranju postupka dokovanja trimovanih brodova dokovano je ukupno 205 brodova što čini 20,5 % uzorka posebnih slučajeva dokovanja. Od ukupno 205 dokovanja trimovanih brodova analizirano je 95 dokovanje bez ponavljanja brodova. Referentni podaci značajni za zaključivanje o interakciji broda i doka, te utjecaja na stabilnost kao i postupka dokovanja prikazani su u sljedećoj tablici.

[40] Uršić, op.cit., str. 103.

Tablica 6. Referentni podaci za dokovane brodove iz uzorka − dokovanje trimovanih brodova

Redni broj	Brod	D (t)	L_{OA} (m)	B (m)	T_S (m)	T_P (m)	T_K (m)	T_{RIM} (m)	R (t)
1.	Kalmar	399	46,30	10,70	3,00	3,80	4,50	8,30	16,20
2.	Gorenjska	915	61,20	9,90	3,60	2,50	4,70	7,20	17,40
3.	Osijek	574	57,70	8,80	1,90	0,90	2,90	3,90	11,20
4.	Zavižan	205	34,80	7,80	3,30	2,90	3,70	6,60	8,50
5.	Plavnik	430	54,20	8,50	1,90	1,40	2,40	3,80	7,50
6.	Gundulić	125	24,80	7,90	2,00	1,90	2,10	4,00	4,30
7.	Loznati	383	51,60	8,00	1,60	0,80	2,90	3,70	6,50
8.	Komiža	376	42,00	10,70	3,60	3,50	3,70	7,20	12,50
9.	Darinka	98	51,00	6,20	2,60	2,50	3,20	5,70	4,10
10.	Pernat	400	49,00	7,50	2,70	1,50	3,80	5,30	7,50
11.	Tunolovac	60	19,70	6,50	1,90	1,20	2,50	3,70	1,80
12.	Hvar	540	74,40	10,40	2,40	1,10	3,70	4,80	9,80
13.	Vira	356	49,50	10,70	3,10	3,00	3,30	6,30	11,20
14.	Ćutin	74	23,30	6,30	1,90	1,20	2,50	3,70	3,50
15.	Trn	35	18,10	4,90	1,60	1,10	2,10	3,10	2,70
16.	Pionir	82	31,10	6,10	2,30	1,80	2,80	4,60	2,80
17.	Osoršćica	75	20,50	5,70	1,80	1,20	2,50	3,70	1,80
18.	Brestova	215	38,00	8,60	2,30	2,10	2,40	4,50	7,50
19.	Gradac	397	42,00	10,70	2,90	2,80	3,10	5,90	5,20
20.	Skušica	29	17,50	4,60	1,30	0,90	1,60	2,50	2,10
21.	Kimen	608	57,00	9,20	2,70	1,40	3,90	5,30	9,50
22.	Valun	499	55,40	8,30	2,30	1,10	3,40	4,50	8,70
23.	Arkaj	74	20,30	5,70	2,40	1,70	3,00	4,70	1,80
24.	M. Polo	100	30,20	4,90	1,90	1,80	2,10	3,90	1,70
25.	Albacore	82	26,00	6,40	2,50	1,80	3,20	5,00	2,40
26.	Maknare	52	28,20	5,10	2,00	1,40	2,60	4,00	4,50
27.	Crnjica	65	32,00	6,20	2,80	2,50	3,10	5,60	4,70
28.	Colombaio	51,5	43,20	5,50	3,30	2,90	3,60	6,50	6,50
29.	Ravnice	215	34,50	6,80	2,00	2,50	3,10	5,60	4,20

Redni broj	Brod	D (t)	L_{OA} (m)	B (m)	T_S (m)	T_P (m)	T_K (m)	T_{RIM} (m)	R (t)
30.	Graditelj	128	30,00	5,50	2,00	1,50	2,50	4,00	3,90
31.	Thor	603,1	33,00	8,00	3,40	2,20	4,60	6,80	17,50
32.	Delfin	88	25,30	5,80	2,10	1,50	2,70	4,20	3,40
33.	Faros	31	27,10	4,10	2,40	1,50	2,40	3,90	2,10
34.	Venera	19	14,10	4,70	1,40	0,80	2,00	2,80	3,60
35.	Activ	51	51,20	6,80	2,60	0,90	4,20	5,10	11,20
36.	Vicky	310	61,50	9,10	3,20	2,10	4,20	6,30	17,20
37.	Sved Larsen	22	23,50	4,50	2,10	1,50	2,60	4,10	9,20
38.	Panonia	78	21,00	5,60	1,90	1,70	2,20	3,90	7,20
39.	Ciklon	31	25,00	6,10	2,00	1,50	2,50	4,00	1,70
40.	Domagoj	25	19,00	5,20	2,20	1,70	2,60	4,30	2,50
41.	Gitana	18	17,10	4,80	1,40	0,90	1,90	2,80	3,60
42.	Luketić	32	21,10	5,20	2,00	1,50	2,50	4,00	3,20
43.	Clay	610	71,20	9,10	2,80	1,50	4,10	5,60	11,40
44.	Basholm	51	38,50	8,50	2,20	1,40	3,00	4,40	6,50
45.	Triada	60	28,00	7,50	3,60	2,80	4,50	7,30	7,50
46.	Picchio	18	19,00	4,10	1,20	0,60	1,80	2,40	2,10
47.	Vega	680	80,00	9,00	1,50	0,90	2,00	2,90	11,40
48.	Joy	610	71,20	8,10	2,80	1,50	4,10	5,60	13,30
49.	Gil	380	39,10	7,40	3,40	2,20	4,50	6,70	11,50
50.	Takovo	347	44,70	8,20	2,10	1,40	2,80	4,20	4,50
51.	Adria	317	43,80	8,40	2,40	1,30	3,40	4,70	3,20
52.	Jadran 1	100	24,30	7,20	2,60	2,20	2,90	5,10	4,70
53.	Aspalatos	214	37,20	8,00	1,90	1,10	2,70	3,80	6,50
54.	Maestral	173	30,10	7,40	1,90	1,30	2,60	3,90	7,50
55.	Nerezine	85	39,50	6,90	2,30	1,80	2,70	4,50	4,70
56.	Antinea	26,5	21,00	5,20	1,60	0,60	2,10	2,70	4,30
57.	Školjka	20	16,10	4,30	1,20	0,90	1,50	2,40	1,60
58.	Loda	383	45,30	10,10	2,90	2,70	3,00	5,70	11,50
59.	Calipso	227	34,80	7,90	2,60	1,80	3,40	5,20	6,20

Redni broj	Brod	D (t)	L_{OA} (m)	B (m)	T_S (m)	T_P (m)	T_K (m)	T_{RIM} (m)	R (t)
60.	Brodokomerc	28	15,70	4,90	1,00	0,50	1,50	2,00	4,60
61.	Star	382	39,30	8,00	35,00	2,50	4,60	7,10	3,30
62.	Delamaris	125	35,20	7,50	2,90	2,40	3,50	5,90	9,50
63.	Intermaris	131	34,80	8,10	2,90	2,10	3,80	5,90	9,10
64.	Mirna	40	25,10	6,10	1,80	1,10	2,50	3,60	2,50
65.	Gin	380	39,00	7,20	4,10	3,50	4,60	8,10	13,50
66.	Bager 1003	45	16,60	6,50	1,00	0,60	1,50	2,10	3,80
67.	Zora	194	31,90	8,20	1,70	0,90	2,50	3,40	4,20
68.	Plomin	139	26,10	7,10	2,80	1,90	3,60	5,50	3,80
69.	Škarda	113	27,60	6,50	2,40	1,60	3,20	4,80	2,90
70.	Droga I	89	47,10	8,20	2,50	1,10	3,80	4,90	3,50
71.	Sabljaš	74	20,30	5,70	2,50	1,80	3,30	5,10	5,40
72.	Artatore	35	21,50	5,10	1,40	0,60	2,10	2,70	1,60
73.	Merag	499	57,40	8,40	3,20	2,10	4,20	6,30	12,40
74.	Konobe	216	34,00	7,90	2,00	1,50	3,50	5,00	3,50
75.	B. Chica	65	28,00	5,10	1,20	0,50	1,90	2,40	2,10
76.	Božava	361	42,50	9,10	3,30	3,10	3,50	6,60	7,50
77.	Ero	310	48,10	7,90	2,40	2,10	2,60	4,70	10,50
78.	Gira	75	20,30	5,70	2,80	2,50	3,10	5,60	2,10
79.	Gradina	51	21,00	6,10	2,30	1,80	2,70	4,50	3,80
80.	Vagrant	51	31,00	5,60	2,80	1,50	4,10	5,60	4,70
81.	Hobotnica	15	16,00	4,00	1,00	0,90	1,10	2,00	3,60
82.	Furia	25	21,00	5,20	1,20	0,60	1,70	2,30	1,90
83.	Kazimir	18	12,80	4,70	1,30	0,50	2,10	2,60	5,20
84.	Teg. 11	38	29,00	6,10	1,10	0,60	1,50	2,10	6,10
85.	Prometej	450	63,00	8,20	2,90	2,10	3,80	5,90	17,10
86.	Jastog	23	15,20	4,70	1,30	0,60	2,10	2,70	3,90
87.	Mara	680	71,00	10,20	2,00	1,50	2,50	4,00	16,50
88.	G. Snježna	39	18,20	5,40	1,60	1,00	2,20	3,20	7,50
89.	Sally	710	81,20	10,50	3,40	2,50	4,20	6,70	11,90

Redni broj	Brod	D (t)	L_{OA} (m)	B (m)	T_S (m)	T_P (m)	T_K (m)	T_{RIM} (m)	R (t)
90.	Lukoran	42	31,00	6,00	2,10	1,40	2,80	4,20	3,20
91.	Dukla	110	81,00	9,80	2,00	1,50	2,50	4,00	9,80
92.	Bianca	81	31,00	7,10	2,20	1,50	2,90	4,40	5,20
93.	Goldfish	31	22,10	5,80	1,70	1,30	2,10	3,40	3,90
94.	Melissa	111	31,00	7,10	2,40	1,80	2,90	4,70	6,20
95.	Polaris	132	28,80	7,40	2,20	1,50	2,90	4,40	7,90

Izvor: Statistički podaci *Brodogradilišta Cres d.d.*

Analizirajući vrijednosti iz priložene tablice može se zaključiti da je najmanja reakcija na potkladi iznosila je 1,6 t, a najveća 17,5 t. Najmanja razlika gazova na pramcu i krmi iznosila je 0,2 m, a najveća 2,9 m. Svi brodovi su bili zatežni. Reakcija na potkladi od 1,5 do 5 t imalo je 48 brod (47,3 %), od 6 do 10 t je imalo 28 brodova (27,4 %), od 10 do 15 t je izračunato za 13 brodova (14,9 %), a preko 15 t 6 dokovanja odnosno 0,6 %. Svi dokovani trimovani brodovi bili su zatežni.

Dio konceptualnog modela određivanja parametara stabilnosti pri dokovanju trimovanog broda

Konceptualni model određivanja parametara stabilnosti dokovanja trimovanog broda započinje izradom Plana balastiranja/debalastiranja doka s definiranjem količina i položaja balasta prema fazama dokovanja u korelaciji s proračunom naprezanja i stabilnosti.

Određivanje parametara stabilnosti pri dokovanju trimovanog broda u dijelu konceptualnog modela (OPS 2) u dijelu koji se odnosi na postupak proračuna početne poprečne i uzdužna stabilnosti doka i izradu Plana dokovanja za faze dokovanja bez utjecaja broda, za vodene linije VL_T, VL_1, i VL_0, istovjetan je onome u konceptualnom modelu za uobičajeno dokovanje broda (OPS 0), te se neće ponovno opisivati. Pritom su kriteriji stabilnosti doka sljedeći: MoGv > 0, trim ≈ 0 i kut nagiba doka φ ≈ 0.

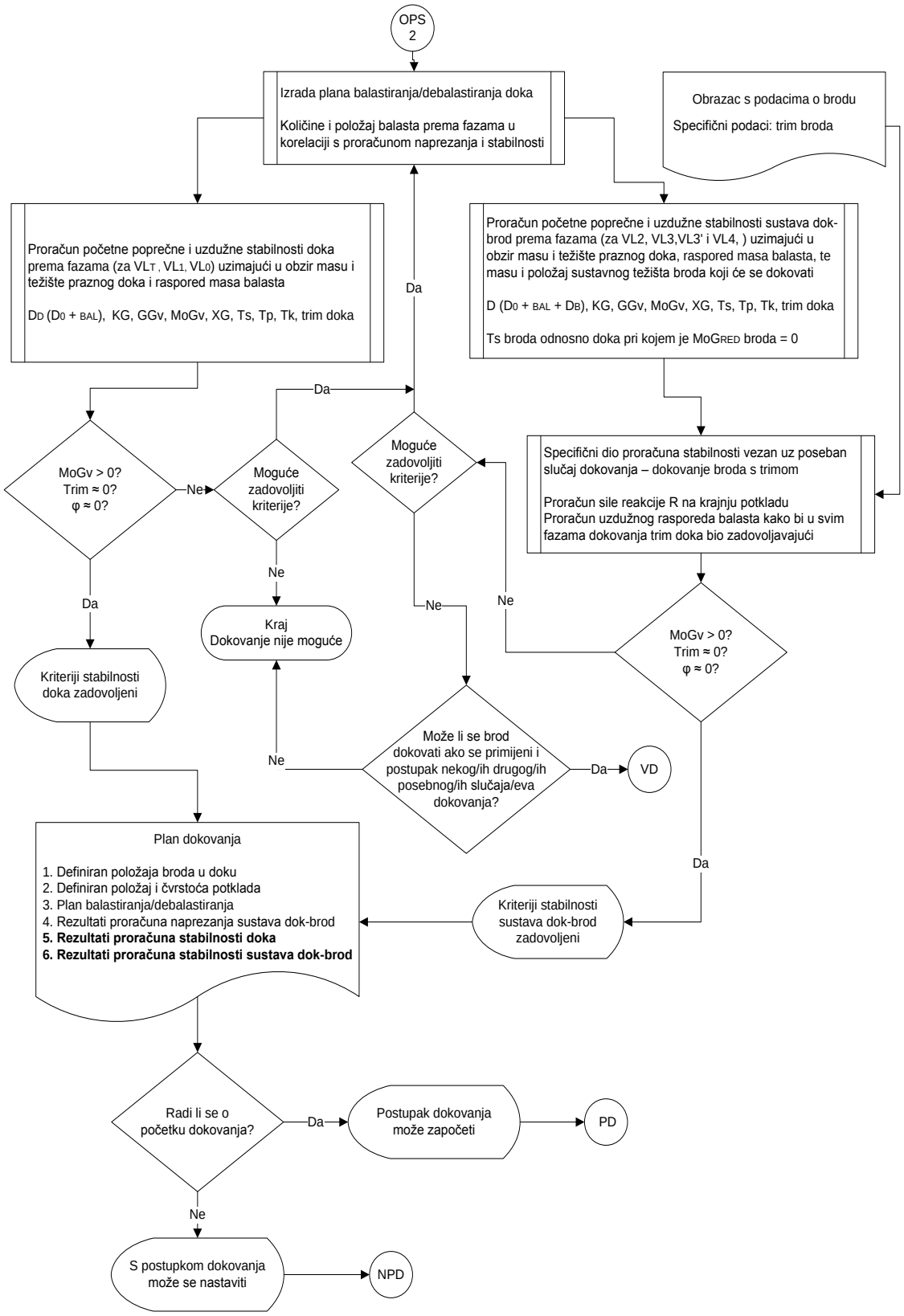
Određivanje parametara stabilnosti pri dokovanju trimovanog broda u dijelu konceptualnog modela (OPS 2) u dijelu koji se odnosi na postupak proračuna početne poprečne i uzdužna stabilnosti doka i izradu Plana dokovanja za faze dokovanja s utjecajem broda (sustav dok-brod), za vodene linije VL_2, VL_3, VL'_3, VL_4, načelno je istovjetan onome u konceptualnom modelu za uobičajeno dokovanje broda (OPS 0), te se neće ponovno opisivati, osim u djelu koji se odnosi na specifičnosti postupka.

Naime, u ovom posebnom slučaju dokovanja broda specifični ulazni podatak je trim broda, a specifični dio proračuna stabilnosti vezan je uz proračun sile reakcije (R) na krajnju potkladu, te uzdužni raspored balasta kako bi u svim fazama dokovanja trim doka bio zadovoljavajući. Pritom su kriteriji stabilnosti sustava dok-brod sljedeći: $MoGv > 0$, trim ≈ 0 i kut nagiba doka $\varphi \approx 0$.

Prije kritičnog gaza namještaju se bočne potklade i grede kako bi se izbjeglo naginjanje broda za vrijeme izranjavanja plutajućeg doka. Dokovani brod postepeno leži na potkladama te je za to vrijeme potrebno postupno odmicati bočne potklade kako bi brod slobodno sjeo na centralne potklade.

U slučaju dokovanja broda s krmenim trimom u praksi se pokazalo da je najbolje balastiranjem dok postaviti u isti uzdužni kut nagiba kako bi dokovani brod što većom duljinom prilegao na potklade plutajućeg doka, a zatim ga izravnavati.

Dio konceptualnog modela koji se odnosi na određivanje parametara stabilnosti pri dokovanju trimovanog broda (OPS 2) prikazan je u sljedećem dijagramu toka.

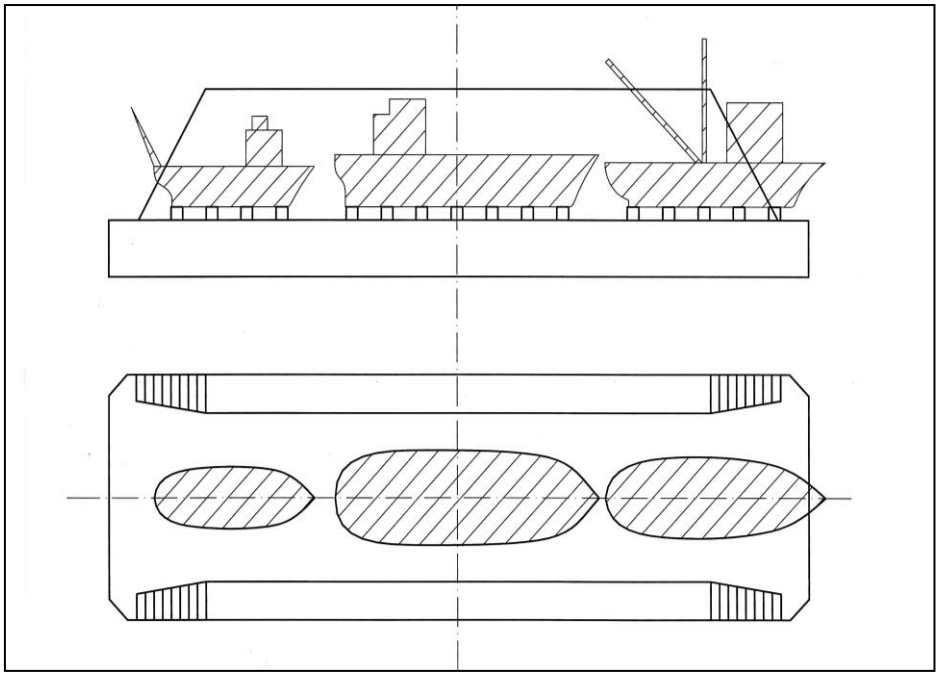


Slika 67. Dio konceptualnog modela određivanja parametara stabilnosti pri dokovanju trimovanog broda

Izvor: Izradio autor

5.2.3. Dokovanje dvaju ili više brodova u uzdužnici doka

Radi racionalizacije poslovanja ponekad se dokuje više manjih brodova odjednom. Pritom njihova ukupna masa ne smije prelaziti ukupnu nosivost doka, a valja voditi računa i o ukupnoj duljini dokovanih brodova. U nastavku će biti opisan i analiziran poseban slučaj dokovanja u kojem se dokuju dva ili više brodova u uzdužnici doka.



Slika 68. Dokovanje više brodova u uzdužnici doka

Izvor: Izradio autor

Dokovanjem više brodova u uzdužnici doka vrlo je teško postići poklapanje rezultantnog težišta dokovanih brodova u odnosu na težište vodene linije F, odnosno sustavno težište plutajućeg doka (kod plutajućeg doka i težište vodene linije i sustavno težište nalaze se na sredini doka ili vrlo blizu sredine).

Uslijed dokovanja brodova povećava se masa sustava dok-brodovi za masu dokovanih brodova, a s obzirom na različite mase i veličine dokovanih brodova, najčešće nije moguće postići navedeno preklapanje, pa dolazi do promjene trima. Promjenom trima dolazi i do pomaka težišta istisnine (B), jer prema drugom uvjetu plovnosti sila deplasmana i sila uzgona moraju djelovati na istoj okomici na novu vodnu liniju V_{L1}. Stoga je potrebno izračunati novi trim ili promjenu trima te nove gazove na pramcu i krmi kao i poprečnu stabilnost plutajućeg doka u konkretnom slučaju.

Trim doka (t) nastao uslijed dokovanja više brodova deplasmana (D_1, D_2, D_3, …. ., D_n) u uzdužnici doka na udaljenosti (d_1, d_2, d_3, …. ., d_n) od sustavnog težišta plutajućeg doka (G_0) može se odrediti kako slijedi:

$$tg\psi = \frac{t}{L} = \frac{\overline{G_oG}}{\overline{M_LG_O}} \quad G_oG = \frac{\Sigma D_B \cdot d_u}{(D_D + \Sigma D_B)}$$

odakle slijedi:

$$tg\psi = \frac{t}{L} = \frac{\Sigma D_B \cdot d_u}{(D_D + \Sigma D_B) \cdot \overline{M_LG_O}} \quad \text{odnosno} \quad t = L \cdot \frac{\Sigma D_B \cdot d_u}{(D_D + \Sigma D_B) \cdot \overline{M_LG_O}}$$

gdje su:

ψ — uzdužni kut nagiba doka (°)

t — trim doka (m)

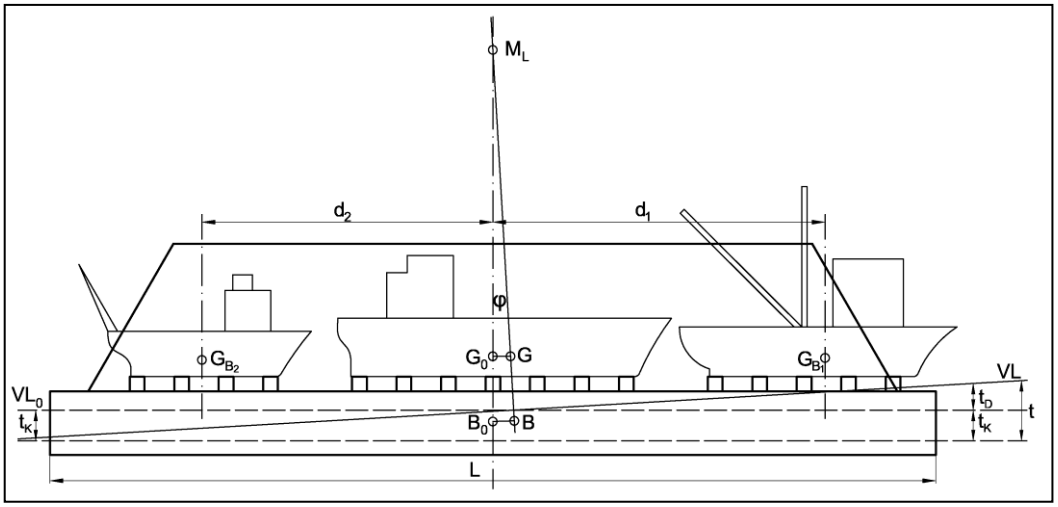
L — udaljenost između pramčane i krmene zagaznice doka (m)

D_D — deplasman doka (t)

ΣD_B — deplasman dokovanih brodova (t)

d_u — rezultantna udaljenost dokovanih brodova od sustavnog težišta doka (m)

$\overline{M_LG_O}$ — uzdužna metacentarska visina doka (m).



Slika 69: Pomak sustavnog težišta i trim doka uslijed dokovanja više brodova u uzdužnici

Izvor: Izradio autor

Kako je već navedeno u poglavlju o uzdužnoj stabilnosti doka, osim na navedeni način novi trim sutava dok-brod moguće je odrediti na način da se računom centracije sustava dok-brod odredi novi položaj sustavnog težišta, zatim poluga uzdužne stabilnosti *l*, te zatim i trim doka za ovaj slučaj.

$$XG = \frac{D_D \cdot XG_0 + D_{B1} \cdot Xg_{B1} + D_{B2} \cdot Xg_{B2} + ... + D_{Bn} \cdot Xg_{Bn}}{D_D + D_{B1} + D_{B2} + ... + D_{Bn}} \quad G_oG = XG - XG_0 \quad l = XG - XB$$

$$t = \frac{(D_D + \Sigma D_B) \cdot l}{Mj}.$$

Kako se težište istisnine vodene plovne linije plutajućeg doka nalazi na sredini duljine doka ili u neposrednoj blizini zbog paralelopipednog oblika pontona doka, novi gazovi na pramcu i krmi plutajućeg doka mogu se odrediti na sljedeći način:

$$Tp_1 = Ts_1 \pm \frac{t}{2};\ \text{+ za pretegu, - za zategu}$$

$$Tk_1 = Ts_1 \mp \frac{t}{2};\ \text{- za pretegu, + za zategu,}$$

gdje su:

Tp_1 — novi gaz doka na pramcu doka (m)

Tk_1 — novi gaz doka na krmi doka (m)

Ts_1 — novi srednji gaz doka (m)

t — trim doka (m).

Ukoliko se novi gazovi određuju na osnovu promjene trima plutajućeg doka koja nastaje uslijed dokovanja više brodova u uzdužnici na rezultantnoj udaljenosti (d) od težišta vodene plovne linije (F) postupak je sljedeći. U ovom slučaju stvara se moment trima koji odgovara sljedećem izrazu:

$$Mt = \Sigma D_B \cdot d$$

Kako je promjena trima definirana izrazom $tu = \frac{Mt}{Mj}$ slijedi da je:

$$tu = \frac{\Sigma D_B \cdot d}{Mj}$$

gdje su:

Mt — moment trima (tm)

Mj — jedinični moment trima (tm/m)

ΣD_B — deplasman dokovanih brodova (t)

d — rezultantna udalj. težišta dokovanih brodova od težišta vodene pl. linije F(m)

tu — promjena trima doka (m).

Ukoliko se primjenjuje ova metoda za proračun novih gazova plutajućeg doka nakon dokovanja više brodova u uzdužnici, sam proračun izvodi se uobičajeno u dva koraka. U prvom koraku se računa promjena gaza doka (ΔT) kao da su svi brodovi (ΣD_B) smješteni u vertikali težišta vodene plovne linije (F) te dolazi do paralelnog urona.

Promjena gaza doka (ΔT) može se odrediti temeljem prethodno navedenog izraza ili iz izraza:

$$\Delta T = \frac{\Sigma D_B}{L \cdot B \cdot \rho},$$

gdje su:

ΔT — promjena gaza doka (m)

ΣD_B — ukupni deplasman dokovanih brodova (t)

L — dužina pontona (m)

B — širina pontona (m)

ρ — gustoća vode u kojoj se nalazi dok (t/m^3).

I ovdje vrijedi napomena da je težište vodene plovne linije plutajućeg doka u pravilu na sredini doka pa se novi gazovi na pramcu i krmi plutajućeg doka mogu odrediti prema izrazima:

$$Tp_1 = Tp' \pm \frac{tu}{2}; \quad \text{+ za pretegu, - za zategu}$$

$$Tk_1 = Tk' \mp \frac{tu}{2}; \quad \text{- za pretegu, + za zategu,}$$

gdje su:

Tp_1 — novi gaz doka na pramcu doka (m)

Tk_1 — novi gaz doka na krmi doka (m)

Tp' — gaz na pramcu doka uvećan za uron plovnog doka ΔT (m)

Tk' — gaz na krmi doka uvećan za uron plovnog doka ΔT (m)

tu — promjena trim doka (m).

U razdoblju od 1984. do 2014. godine izvršeno je 537 dokovanja više brodova u uzdužnici doka što predstavlja 53,7 % posebnih slučajeva dokovanja. Od ukupnog broja dokovanja više brodova u uzdužnicu doka 82, odnosno 51,3 %, odnosi se na dva broda u uzdužnici, 60 dokovanja, odonosno 37,5 %, odnosi se na tri broda u uzdužnici, a 18 dokovanja, odnosno 11,8 %, na četiri broda u uzdužnici doka.

Referentni podaci značajni za zaključivanje o interakciji broda i doka, te utjecaja na stabilnost kao i postupak dokovanja dva broda u uzdužnici doka prikazani su u sljedećoj

tablici.

Tablica 7. Referentni podaci za dokovane brodove iz uzorka − istovremeno dokovanje dvaju brodova u uzdužnici doka

Redni broj	Brodovi	D_1+D_2 (t)	d_1 (m)	d_2 (m)	T_S (m)	T_P (m)	T_K (m)	T_{RIM} (m)	$\overline{M_{01}G_1}$ (m)	φ (°)
1.	Delfin-Colombaio	110	11,00	9,50	1,20	1,30	1,10	2,40	8,10	0,80
2.	Darinka-Basholm	160	21,00	16,50	1,40	1,30	1,50	2,80	8,50	0,60
3.	B.Chica-Barbaran	180	12,00	15,00	1,40	1,40	1,40	2,80	9,10	0,90
4.	Brestova-Barbados	255	30,00	17,50	1,50	1,80	1,00	2,60	8,90	1,60
5.	Antinea-Plavica	58,5	21,00	19,00	0,90	1,10	1,20	3,00	7,80	1,50
6.	Bella-Argentin	84	19,00	11,00	1,20	1,10	1,30	2,40	8,50	1,00
7.	Arkaj-Argovia	114	11,50	19,50	1,20	1,30	1,10	2,40	8,70	1,20
8.	Aries-Arben	315	15,00	12,00	1,50	1,30	1,70	3,00	7,10	1,90
9.	Andromeda-Alen	155	14,00	16,50	1,40	1,60	1,20	2,80	8,90	1,50
10.	Alfa-Iglun	118	15,50	17,50	1,20	1,40	1,00	2,40	8,50	0,90
11.	Adria-Grand	397	21,50	16,50	1,60	1,90	1,30	3,20	8,90	1,50
12.	Aktiv-Graditelj	218	18,00	14,50	1,40	1,50	1,30	2,80	9,10	1,60
13.	Ilok-Golub	405	25,00	12,50	1,60	1,80	1,40	3,20	7,20	2,30
14.	Grdobina-Goldfish	108	13,00	14,50	1,20	1,40	0,80	2,20	8,30	1,20
15.	Gradac-Tuna	417	20,10	10,50	1,60	1,90	1,30	3,20	8,50	2,10
16.	Alga-Gitana	104	10,50	12,50	1,20	1,30	1,10	2,40	8,90	0,50
17.	Gill-Faros	401	16,00	13,00	1,60	1,90	1,30	3,20	9,00	0,90
18.	Gea-Fantom	188	15,50	11,00	1,40	1,70	1,10	2,80	7,80	2,90
19.	Furia-Elvis	120	10,00	12,00	1,20	1,30	1,10	2,40	8,50	1,10
20.	Ero-Jadran	389	17,00	15,50	1,60	1,80	1,40	3,20	7,50	0,50
21.	Dukla-Dinko	185	25,00	17,50	1,40	1,60	1,20	2,80	8,90	1,30
22.	Devin-Mašun	118	12,00	13,50	1,20	1,20	1,20	2,40	9,10	0,70
23.	Medulin-Markoč	187	13,50	14,00	1,40	1,50	1,30	2,80	8,90	1,20
24.	Mauros-Marina	260	14,50	13,50	1,50	1,60	1,40	3,00	8,60	1,80
25.	Mauros-P300	300	15,00	11,50	1,50	1,70	1,30	3,00	8,50	2,10
26.	M.Polo-Manon	170	15,00	11,00	1,40	1,50	1,30	2,80	8,90	0,90
27.	Manara - Maknare	110	17,00	19,10	1,20	1,30	1,10	2,40	9,10	1,20

Redni broj	Brodovi	D_1+D_2 (t)	d_1 (m)	d_2 (m)	T_S (m)	T_P (m)	T_K (m)	T_{RIM} (m)	$\overline{M_{01}G_1}$ (m)	φ (°)
28.	Mak-Luketin	210	18,50	11,50	1,40	1,70	1,10	2,80	8,50	1,50
29.	Vagrant-Luštura	72	15,50	12,50	1,10	1,10	1,10	2,20	7,90	2,10
30.	Maestral-Mačka	189	19,50	16,50	1,40	1,60	1,20	2,80	8,50	0,90
31.	Lara-Liberti	209	21,00	11,50	1,40	1,70	1,10	2,80	8,10	2,50
32.	Lampuga-Kvarnerić	58	16,50	20,50	1,00	1,00	1,00	2,00	9,50	1,10
33.	Laho-Kapica	81	13,50	15,50	1,10	1,10	1,10	2,20	9,60	0,60
34.	Laguna-Antinea	107	14,00	19,00	1,20	1,30	1,10	2,40	9,50	0,90
35.	Kruna moera-Jadran	280	16,00	17,50	1,50	1,70	1,30	3,00	8,90	1,50
36.	Krajan-Jastog	110	15,00	16,00	1,20	1,30	1,10	2,40	9,00	1,50
37.	Konobe-Kamen	274	19,50	18,50	1,50	1,60	1,40	3,00	8,90	0,50
38.	Knez-Kantar	102	21,50	17,00	1,20	1,20	1,20	2,40	9,50	1,50
39.	KL 8-Kamelia	201	20,00	21,50	1,40	1,50	1,30	2,80	8,30	1,80
40.	Kimen-Wildcat	633	25,00	17,50	1,80	1,90	1,70	3,60	7,50	2,50
41.	Kali-Izvor	424	18,00	21,00	1,60	1,90	1,30	3,20	8,50	1,70
42.	Jelofin-Navigatore	111	19,00	18,50	1,20	1,20	1,20	2,40	8,20	0,80
43.	Gundulić-Viking	156	21,00	19,00	1,30	1,50	1,10	2,60	8,50	1,00
44.	Istranka-Paris	340	19,00	21,00	1,60	1,70	1,50	3,20	9,10	1,20
45.	Intermaris-Zubatac	206	22,00	21,00	1,40	1,50	1,30	2,80	7,90	2,10
46.	Tulieta-Monsun	268	23,00	25,00	1,50	1,60	1,40	3,00	8,10	0,90
47.	Stela-Moira	133	17,00	19,50	1,30	1,30	1,30	2,60	8,50	0,60
48.	Ogorje-Venera	130	25,00	21,00	1,30	1,40	1,20	2,60	7,90	1,80
49.	V.Velebita-Graditelj	223	30,00	25,00	1,40	1,50	1,30	2,80	8,10	1,70
50.	V.Velebita-Uzorita	130	31,00	17,50	1,30	1,40	1,20	2,60	8,40	1,50
51.	Žigljen-Toma	250	32,00	15,50	1,50	1,60	1,40	3,00	7,50	2,50
52.	Melisa-Trp	110	17,50	18,00	1,20	1,20	1,20	2,40	8,90	0,90
53.	Ždrilo-Zora	295	18,50	20,50	1,50	1,60	1,40	3,00	8,70	1,70
54.	Zvonko-Tunolovac	192	19,50	21,00	1,40	1,50	1,30	2,80	9,10	1,10
55.	Vabene-Tohuvabohu	86	18,00	22,00	1,10	1,10	1,10	2,20	9,00	1,80
56.	Trogir-Manon	357	30,00	17,00	1,60	1,70	1,50	3,20	6,90	3,00

Redni broj	Brodovi	D_1+D_2 (t)	d_1 (m)	d_2 (m)	T_S (m)	T_P (m)	T_K (m)	T_{RIM} (m)	$\overline{M_{01}G_1}$ (m)	φ (°)
57.	Trn-Tabinja	84	22,00	25,00	1,10	1,10	1,10	2,20	8,50	0,70
58.	13.maj-Škrpol	173	25,00	29,00	1,40	1,50	1,30	2,80	8,30	1,50
59.	Titan-Larsen	254	31,00	25,00	1,50	1,60	1,40	3,00	7,10	3,00
60.	Teg 10-Shu Shu	121	28,00	19,00	1,20	1,30	1,10	2,40	8,50	2,10
61.	Školjka-Zingara	81	21,00	20,00	1,10	1,10	1,10	2,20	8,90	1,50
62.	Franjo-Srdela	131	20,00	19,50	1,30	1,40	1,20	2,60	8,90	1,10
63.	Stela-Star	196	21,00	30,00	1,40	1,50	1,30	2,80	7,50	2,50
64.	Srdela-Srčanka	82	19,00	18,00	1,10	1,10	1,10	2,20	9,10	1,50
65.	Smile-Skušica	71	11,00	17,00	1,00	1,00	1,00	2,00	9,50	1,20
66.	Škarda-Salpa	188	20,00	21,00	1,40	1,50	1,30	2,80	9,60	0,50
67.	Sea-Resnik	136	22,00	24,00	1,30	1,10	1,55	2,60	9,40	0,60
68.	Konobe-Mornar	248	23,00	21,00	1,30	1,10	1,50	2,60	7,90	1,20
69.	Rio Oro-Ravnice	235	19,00	17,50	1,50	1,40	1,60	3,00	8,10	1,90
70.	Rapsody-Popunica	101	18,00	21,00	1,20	1,10	1,30	2,40	8,50	2,50
71.	Prometej-Plivarica	363	29,00	19,50	1,60	1,80	1,40	3,20	7,20	3,10
72.	Preko-Poncho	163	21,00	17,00	1,40	1,50	1,30	2,80	9,50	2,50
73.	Pollaris-Plomin	264	27,00	31,00	1,50	1,60	1,40	3,00	8,10	2,90
74.	Plima-Plavica	62	21,00	25,00	1,00	1,00	1,00	2,00	8,90	0,60
75.	Pišmolj-Picchio	111	26,00	29,00	1,20	1,30	1,10	2,40	9,50	1,20
76.	Pionir-Petra	98	30,50	29,50	1,20	1,30	1,10	2,40	9,80	1,50
77.	Petrula-Pernat	415	27,00	30,00	1,60	1,50	1,70	3,20	7,50	3,10
78.	Pauk-Osoršćica	115	20,00	24,00	1,20	1,30	1,10	2,40	8,90	1,50
79.	Pamacea-Ogorje	151	21,00	25,00	1,50	1,40	1,60	3,00	8,10	1,90
80.	Omladinac-Norma	323	21,00	19,00	1,50	1,60	1,40	3,00	8,90	1,50
81.	Oliva-Morana	259	24,00	18,00	1,50	1,60	1,40	3,00	8,10	2,50
82.	Nerezine-Mirna	119	25,00	19,00	1,20	1,10	1,30	2,40	8,80	1,90

Izvor: Statistički podaci *Brodogradilišta Cres d.d.*

U slučaju dokovanja dvaju brodova u uzdužnici doka analizirano je 82 slučaja, odnosno 15,2 % ukupno dokovanih brodova u uzdužnici doka, tj. 51,3% analiziranih slučajeva. Analizirajući vrijednosti iz priložene tablice može se zaključiti da je u slučaju

dokovanja dva broda najveća udaljenost sustavnog težišta dokovanog broda od sustavnog težišta doka prema pramcu i krmi doka iznosila 39 m odnosno 41 m. Najveća ukupna masa dokovanih brodova iznosila je 633 t, a najmanja 58,5 t. Metacentarska visina doka se kretala od 7,10 m do 9,80 m. Gaz na pramcu doka se kretao od 1,0 m do 0,80 m, a gaz na krmi doka od 0,80 m do 1,70 m. Najveći kut uzdužnog nagiba doka iznosio je 3,1°.

Referentni podaci značajni za zaključivanje o interakciji broda i doka te utjecaja na stabilnost kao i postupak dokovanja tri broda u uzdužnici prikazani su u sljedećoj tablici.

Tablica 8. Referentni podaci za dokovane brodove iz uzorka − istovremeno dokovanje triju brodova u uzdužnici doka

R. broj	Brodovi	$D_1+D_2+D_3$ (t)	d_1 (m)	d_2 (m)	d_3 (m)	T_S (m)	T_P (m)	T_K (m)	T_{RIM} (m)
1.	Mašun-Golub-Škarda	222	28,00	0,00	31,00	1,40	1,05	1,75	2,80
2.	Zavižan-Kamen-Devin	330	29,00	0,00	26,00	1,60	1,80	1,40	3,20
3.	Mačka-Lopar-Knez	261	35,00	0,00	36,00	1,50	1,20	1,80	3,00
4.	Belica-Preko-Gundulić	250	37,00	0,00	37,00	1,50	1,30	1,70	3,00
5.	Tunolovac-Luc-Trn	136	35,00	0,00	31,00	1,30	1,80	0,80	2,60
6.	Brodokomerc-Kantar-Mišar	128	32,00	0,00	31,00	1,30	1,70	0,90	2,60
7.	Nikola-Golub-Sv.Marko	147	29,00	0,00	33,00	1,30	1,00	1,60	2,60
8.	Sea-Mornar-Jadran	235	32,00	0,00	29,00	1,40	0,85	1,75	2,80
9.	Brodokomerc-Salpa-Kali	199	31,00	0,00	31,00	1,40	1,00	1,80	2,80
10.	V.Nazor-Kantar-Popunica	481	29,00	6,00	36,00	1,70	1,80	1,60	3,40
11.	Adria-Norma-Skušica	461	31,00	0,00	35,00	1,70	1,85	1,55	3,40
12.	Tomažić-Aspalatos-Devin	312	38,00	0,00	35,00	1,50	1,30	1,70	3,00
13.	Kali-Panonia-Shark	269	35,00	-4,00	30,00	1,50	1,25	1,75	3,00
14.	Mirna 1-Mirna 2-Gradina	363	36,00	0,00	31,00	1,60	1,85	1,35	3,20
15.	Vojka-Altaj-Val	110	33,00	0,00	35,00	1,30	0,90	1,70	2,60
16.	Lopar-Tabinja-Albakore	244	31,00	0,00	36,00	1,40	0,95	1,65	2,80
17.	Adria 1-Adria 2-Nautika	703	35,00	0,00	31,00	2,00	2,10	1,90	4,00
18.	Pernat-Tomažić-KL5	491	25,00	-11,00	37,00	1,70	1,95	0,45	2,40
19.	Loda-Tomažić-Grdobina	441	25,00	0,00	34,00	1,60	1,80	1,40	3,20
20.	Adria-Popunica-Kamen	398	30,00	0,00	25,00	1,60	1,80	1,40	3,20
21.	Star-Intermaris 1-Intermaris 2	644	31,00	0,00	33,00	1,90	1,90	1,90	3,80

R. broj	Brodovi	$D_1+D_2+D_3$ (t)	d_1 (m)	d_2 (m)	d_3 (m)	T_S (m)	T_P (m)	T_K (m)	T_{RIM} (m)
22.	Delamaris 1-Delamaris 2-Argentin	274	34,00	0,00	31,00	1,50	1,90	1,10	3,00
23.	Mirna 1-Mirna 2-B1003	362	31,00	0,00	28,00	1,60	1,90	1,30	3,20
24.	Ždrilo-Lopar-Sabljaš	268	27,00	0,00	25,00	1,50	1,70	1,30	3,00
25.	Zora-Plomin-Zubatac	401	31,00	0,00	32,00	1,60	1,70	1,50	3,20
26.	Calipso-Iris 1- Iris 2	349	29,00	0,00	25,00	1,60	1,40	1,80	3,20
27.	Calipso-Nirvana-Nerezine	465	31,00	0,00	29,00	1,70	1,80	1,60	3,40
28.	M.Polo-Mornar-Maknare	184	32,00	0,00	35,00	1,40	1,70	1,10	2,80
29.	Novalja-Bura-Klapeta	529	28,00	0,00	31,00	1,70	1,70	1,70	3,40
30.	Trp-Kali 2-Škarda	279	30,00	0,00	31,00	1,50	1,35	1,65	3,00
31.	Ždrilo-Albakore-Lopar	276	33,00	0,00	35,00	1,50	1,40	1,60	3,00
32.	Lampuga-Mašun-Tabinja	137	34,00	0,00	30,00	1,20	1,70	1,70	2,40
33.	Droga 1-Droga 2-Vojka	203	36,00	0,00	30,00	1,40	1,80	1,00	2,80
34.	Intermaris 1-Intermaris 2-Istranka	542	35,00	0,00	29,00	1,80	1,75	1,85	3,60
35.	Brodokomerc-Plima-Jadran	128	36,00	0,00	37,00	1,20	0,80	1,60	2,40
36.	Mirna 1-Mirna 2-Plomin	434	37,00	0,00	35,00	1,60	1,70	1,50	3,20
37.	M.Polo-Calipso-Devin	394	35,00	0,00	38,00	1,60	1,80	1,40	3,20
38.	Osijek-Monsun-Nikola	737	24,00	-8,00	31,00	2,20	2,50	1,90	4,40
39.	Konobe-Mornar-Nerezine	346	31,00	0,00	35,00	1,60	1,70	1,50	3,20
40.	Tuna-Intermaris 1-Dinko 2	299	36,00	0,00	37,00	1,50	1,20	1,80	3,00
41.	Thor-Devin-Iris	763	33,00	0,00	32,00	2,10	2,20	2,00	4,20
42.	Bura-Adria-Maknare	503	35,00	0,00	36,00	1,70	1,60	1,80	3,40
43.	Nirvana-M.Polo-Delfin	470	31,00	-5,00	35,00	1,70	1,70	1,70	3,40
44.	Slaven-Iris 1-Iris 2	520	37,00	0,00	31,00	1,70	1,80	1,60	3,40
45.	Mornar-Nerezine-Konobe	346	31,00	0,00	29,00	1,50	1,40	1,60	3,00
46.	Dinko 1-Dinko 2-Meduna	314	20,00	0,00	30,00	1,50	1,70	1,30	3,00
47.	Delamaris 1-Delamaris 2-Antinea	276	31,00	0,00	36,00	1,50	1,80	1,20	3,00
48.	Adria-Droga 1-Droga 2	262	29,00	0,00	33,00	1,50	1,20	1,80	3,00
49.	Postira-Beli-Liberte	446	26,00	-10,00	38,00	1,60	1,90	1,30	3,20
50.	Iris 1-Iris 2-Gira	137	35,00	0,00	38,00	1,30	1,90	0,70	2,60
51.	Laguna-Školjka-Meja	80	37,00	0,00	39,00	1,10	1,50	0,70	2,20

R. broj	Brodovi	$D_1+D_2+D_3$ (t)	d_1 (m)	d_2 (m)	d_3 (m)	T_S (m)	T_P (m)	T_K (m)	T_{RIM} (m)
52.	Humac-Ilok-Domagoj	250	39,00	0,00	41,00	1,40	1,20	1,60	2,80
53.	Monsun-Bigaj-Antaj	272	31,00	0,00	35,00	1,50	1,70	1,30	3,00
54.	V.Velebita-Bigaj-Morana	199	36,00	0,00	40,00	1,40	1,60	1,20	2,80
55.	Triada-Andromeda-Delirio	260	38,00	0,00	39,00	1,50	1,70	1,30	3,00
56.	Brodokomerc-Droga 1-Droga 2	206	39,00	0,00	37,00	1,40	1,60	1,20	2,80
57.	Barbaran-Rio Oro-Petra	161	38,00	0,00	40,00	1,40	1,50	1,30	2,80
58.	Mornar-Manon-Kvarnerić	153	35,00	0,00	39,00	1,30	1,10	1,50	2,60
59.	Nirvana-Kali-Delamaris	396	39,00	0,00	39,00	1,60	1,40	1,80	3,20
60.	Nerezine-Kazimir-Lošinjanka	429	31,00	-8,00	28,00	1,60	1,30	1,90	3,20

Izvor: Statistički podaci *Brodogradilišta Cres d.d.*

U slučaju dokovanja tri broda u uzdužnici doka analizirano je 60 slučajeva, što predstavlja 37,5 % ukupno analiziranih dokovanja u uzdužnici doka.

Analizirajući priloženu tablicu sa slučajevima dokovanja tri broda u uzdužnici doka najveća udaljenost sustavnog težišta dokovanog broda od sustavnog težišta doka prema pramcu doka iznosila je 39 m, a prema krmi 41 m. Najveći trim doka iznosio je 4,40 m, a najmanji 0,20 m. Najveći gaz na pramcu doka iznosio je 2,50 m, a na krmi 1,00 m. Najveća ukupna masa dokovanih brodova iznosila je 763 t, a najmanja 80 t. Gaz na pramcu doka je iznosio od 2,50 m do 0,80 m, a gaz na krmi od 2,0 m do 0,45 m. Metacentarska visina doka iznosila je od 6,80 do 8,50 m.

Referentni podaci značajni za zaključivanje o interakciji broda i doka te utjecaja na stabilnost kao i postupka dokovanja četiri broda u uzdužnici prikazani su u sljedećoj tablici.

Tablica 9. Dokovanje četiriju brodova u uzdužnici doka

R. broj	Brodovi	$D_1+D_2+D_3+D_4$ (t)	d_1 (m)	d_2 (m)	d_3 (m)	d_4 (m)	T_S (m)	T_P (m)	T_K (m)	T_{RIM} (m)
1.	Brodokomerc-Kantar-Mitar-Morana	113	41,00	15,00	17,00	46,00	1,20	1,60	1,80	3,40
2.	Albakore-Arkaj-Popunica-Ćutin	253	43,00	14,00	13,00	41,00	1,50	1,70	1,30	3,00
3.	Knez-Zubatac-Kantar-Tuna	215	45,00	15,00	14,00	43,00	1,40	1,60	1,20	2,80
4.	Ćutin-Zubatac-Trn-Bukva	219	41,00	15,00	13,00	46,00	1,40	1,10	1,70	2,80
5.	Darinka-Mornar-Nerezine-Nikola	365	42,00	14,00	17,00	45,00	1,60	1,70	1,50	3,20
6.	Knez-Sabljaš-Salpa-Škarda	336	43,00	12,00	13,00	41,00	1,50	1,40	1,60	3,00
7.	Tuna-Krpica-Grdobina-Morana	216	42,00	14,00	17,00	45,00	1,40	1,70	1,10	2,80
8.	Intermaris 1-Intermaris 2-Neptun 1- Neptun 2	382	45,00	16,00	17,00	43,00	1,60	1,80	1,40	3,20
9.	Klapeta-Gata-Golub-Pišmolj	171	42,00	13,00	15,00	46,00	1,40	1,70	1,10	2,80
10.	Uzorita-Oliva-Bigaj-Andromeda	388	40,00	15,00	14,00	43,00	1,60	1,50	1,70	3,20
11.	Srčanka-Grobina-Tomažić-Bark	121	42,00	17,00	13,00	45,00	1,20	1,60	0,80	2,40
12.	Arkaj-Belica-Kali-Morana	235	41,00	12,00	16,00	39,00	1,40	1,10	1,70	2,80
13.	Tomažić-Graditelj-Resnik-Meja	190	43,00	16,00	17,00	41,00	1,50	1,70	1,30	3,00
14.	Panonia-Faros-Morana-Venera	167	41,00	17,00	18,00	43,00	1,40	1,50	1,30	2,80
15.	Škarda-sardela-Salpa-Argentin	252	43,00	14,00	16,00	42,00	1,50	1,40	1,60	3,00
16.	Kali-Ugor-Mašun-Gira	296	45,00	20,00	16,00	42,00	1,50	1,70	1,30	3,00
17.	Meduna-Morana-Venera-Nikola	102	44,00	17,00	16,00	41,00	1,20	1,60	0,60	2,20
18.	Vagrant-Nika-Sanda-Iris	187	40,00	15,00	13,00	39,00	1,40	1,70	0,50	2,80

Izvor: Statistički podaci *Brodogradilišta Cres d.d.*

U slučaju dokovanja četiriju brodova u uzdužnici doka analizirano je 18 slučajeva što predstavlja 11,3 % ukupno analiziranih slučajeva u uzdužnici doka. Analizirajući priloženu tablicu pri dokovanju četiri broda u uzdužnici doka najveća udaljenost sustavnog težišta dokovanog broda od sustavnog težišta doka prema pramcu iznosila je 45 m, a prema krmi 46 m. Najveći trim doka iznosio je 3,40 m, a najmanji 2,20 m. Najveći gaz na pramcu

doka iznosio je 1,80 m, a na krmi 1,70 m. Najveća masa dokovanih brodova iznosila je 388 t, a najmanja 102 t. Gaz na pramcu se kretao od 1,80 do 1,10 m, a gaz na krmi od 1,80 do 0,50 m. Metacentarska visina doka se kretala od 7,10 do 8,90 m.

U slučaju dokovanja dva broda u uzdužnici doka planira se smještaj brodova tako da su momenti u odnosu na sustavno težište doka približno isti.

U slučaju dokovanja tri broda u uzdužnici brod većeg deplasmana dokuje se što bliže sustavnom težištu doka, a ostala dva na udaljenosti istih momenata. U praksi je takav razmještaj vrlo teško postići. Pretegu ili zategu plutajućeg doka potrebno je kompenzirati balastiranjem doka na osnovu plana balastiranja. Pomoću plana balastiranja doka izračunavasju se potrebni momenti balasta, da bi dok na kraju dokovanja bio na ravnoj kobilici. U slučaju dokovanja dva ili više brodova u uzdužnici doka potrebno je različito balastirati tankovi ispred i iza točke F.

Dio konceptualnog modela određivanja parametara stabilnosti pri dokovanju više brodova u uzdužnici doka

Konceptualni model određivanja parametara stabilnosti dokovanja više brodova u uzdužnici doka započinje izradom Plana balastiranja/debalastiranja doka s definiranjem količina i položaja balasta prema fazama dokovanja u korelaciji s proračunom naprezanja i stabilnosti.

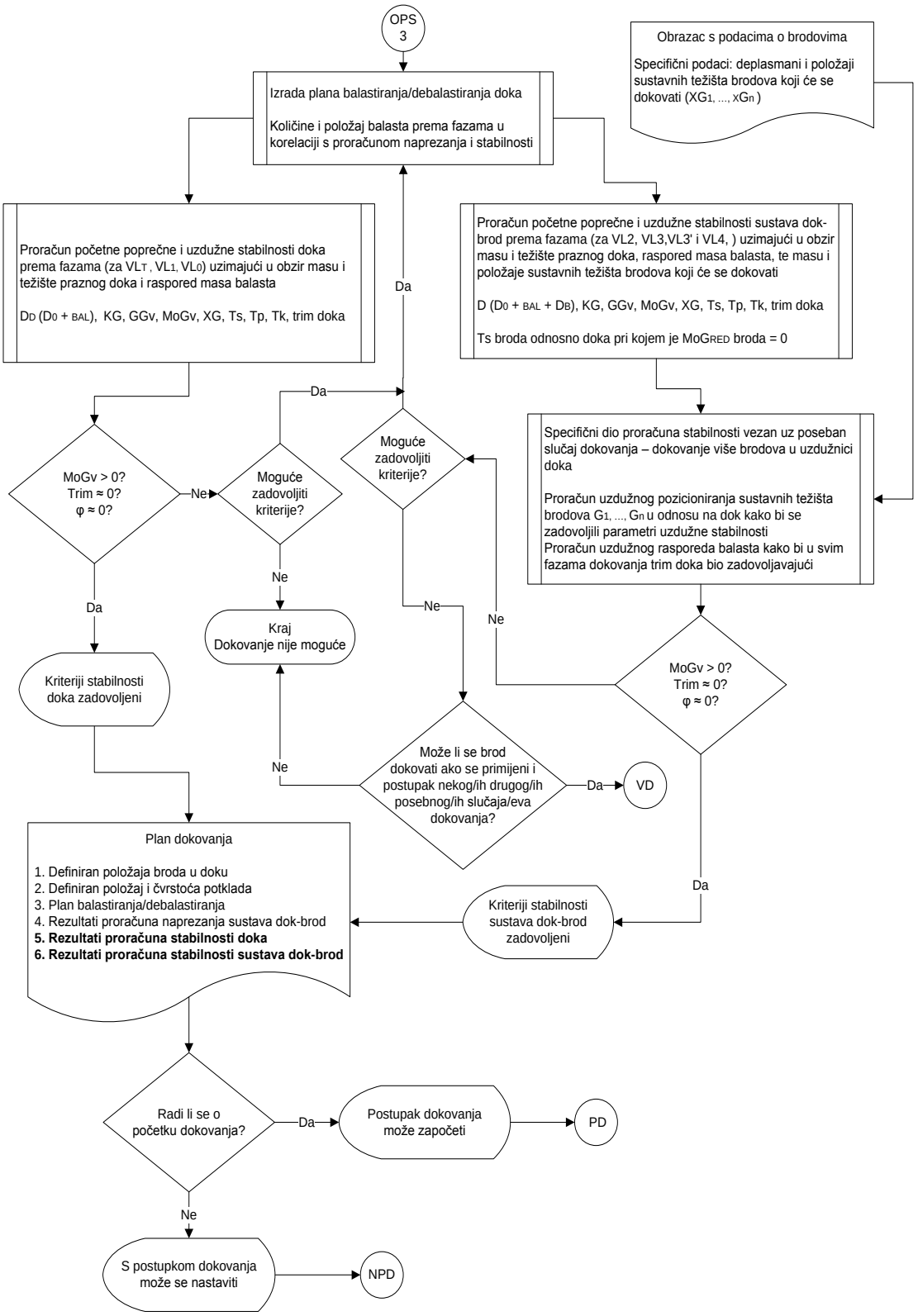
Određivanje parametara stabilnosti pri dokovanju više brodova u uzdužnici doka u dijelu konceptualnog modela (OPS 3) u dijelu koji se odnosi na postupak proračuna početne poprečne i uzdužna stabilnosti doka i izradu Plana dokovanja za faze dokovanja bez utjecaja broda, za vodene linije VL_T, VL_1, i VL_0, istovjetan je onome u konceptualnom modelu za uobičajeno dokovanje broda (OPS 0), te se neće ponovno opisivati. Pritom su kriteriji stabilnosti doka sljedeći: MoGv > 0, trim ≈ 0 i kut nagiba doka φ ≈ 0.

Određivanje parametara stabilnosti pri dokovanju više brodova u uzdužnici doka u dijelu konceptualnog modela (OPS 3) u dijelu koji se odnosi na postupak proračuna početne poprečne i uzdužna stabilnosti doka i izradu Plana dokovanja za faze dokovanja s utjecajem broda (sustav dok-brod), za vodene linije VL_2, VL_3, VL'_3, VL_4, načelno je istovjetan onome u konceptualnom modelu za uobičajeno dokovanje broda (OPS 0), te se neće ponovno opisivati, osim u djelu koji se odnosi na specifičnosti postupka.

Naime, u ovom posebnom slučaju dokovanja brodova specifični ulazni podaci su deplasmani i udaljenosti sustavnih težišta brodova koji će se dokovati ($\overline{XG_1}...\overline{XG_n}$), a specifični dio proračuna stabilnosti vezan je uz proračun uzdužnog pozicioniranja sustavnih težišta brodova (G_1, ..., G_n) u odnosu na dok, kako bi se zadovoljili parametri uzdužne stabilnosti, te proračun uzdužnog rasporeda balasta, kako bi u svim fazama dokovanja trim doka bio zadovoljavajući. Pritom su kriteriji stabilnosti sustava dok-brod sljedeći: MoGv > 0, trim ≈ 0 i kut nagiba doka φ ≈ 0.

Dio konceptualnog modela koji se odnosi na određivanje parametara stabilnosti pri

dokovanju više brodova u uzdužnici doka (OPS 3) prikazan je u sljedećem dijagramu toka.

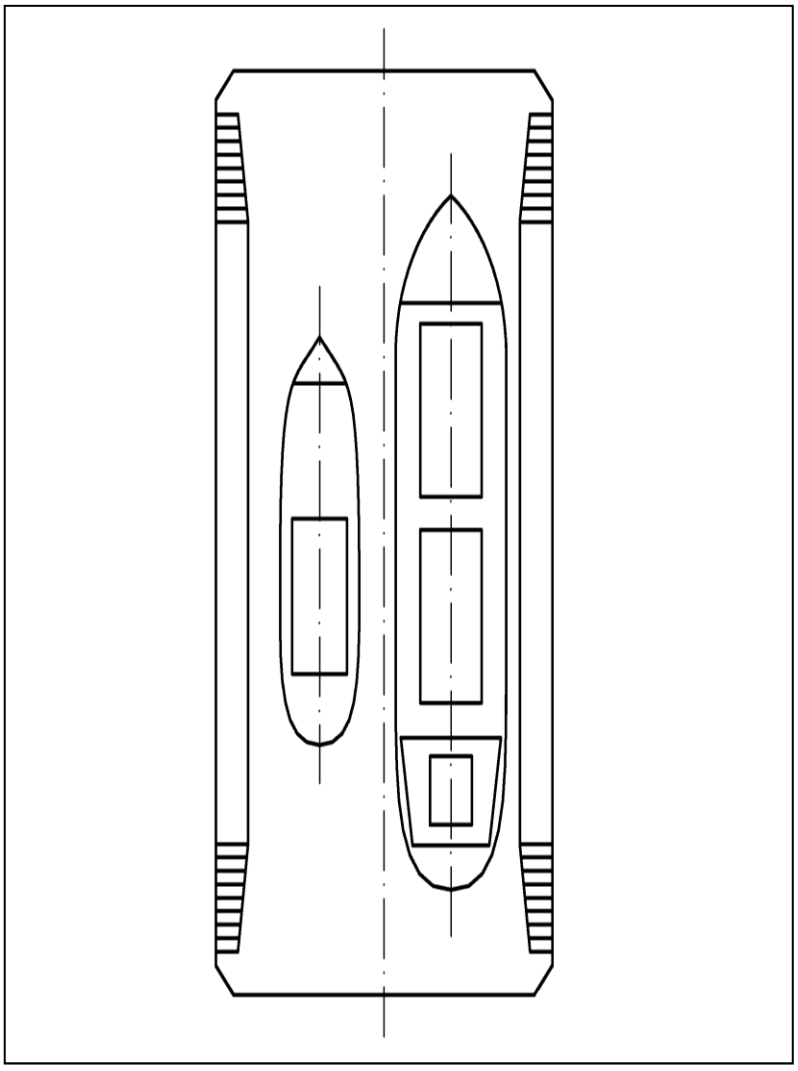


Slika 70. Dio konceptualnog modela određivanja parametara stabilnosti pri dokovanju više brodova u uzdužnici doka

Izvor: Izradio autor

5.2.4. Dokovanje više brodova izvan uzdužnice

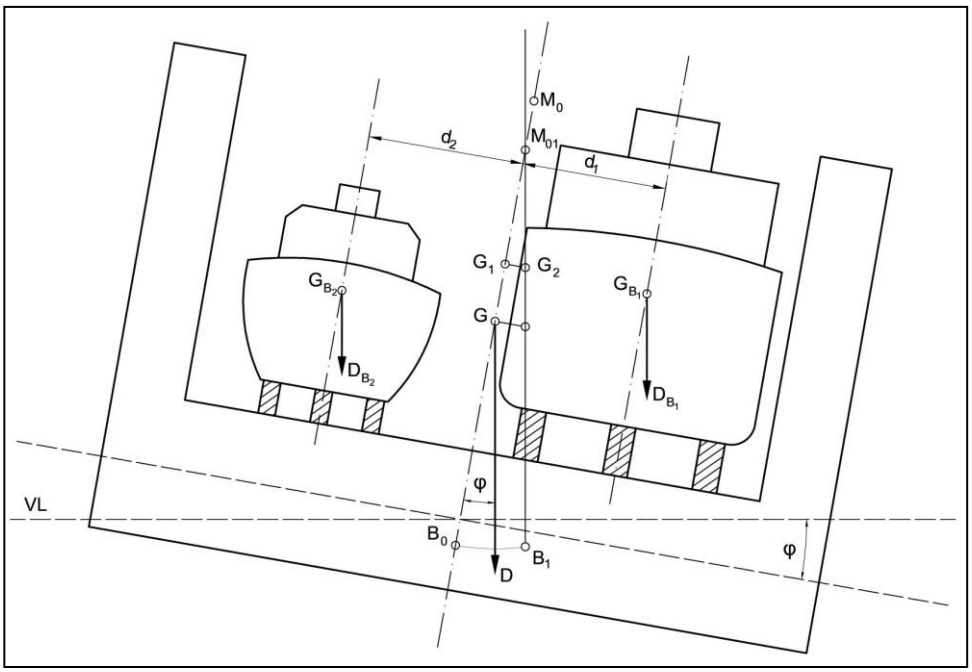
Ponekad se dva manja broda mogu dokovati naporedo tako da su njihova težišta izvan udužnice doka. Pritom dakako njihova ukupna masa ne smije prelaziti ukupnu nosivost doka, kao ni ukupna potrebna širina ne smije prelaziti radnu širinu doka. Više od dva broda izvan uzdužnice doka vrlo se rijetko dokuje, a i ako se dokuje radi se o manjim brodovima čija je ukupna masa daleko manja od ukupne nosivosti doka.



Slika 71. Položaj dvaju brodova u doku kod dokovanja izvan uzdužnice

Izvor: Izradio autor

U praksi je nemoguće ostvariti simetrični raspored težina stoga je potrebno prethodno odrediti nagib i poprečnu stabilnost doka.



Slika 72. Stabilnost doka kod dokovanja dvaju brodova izvan uzdužnice doka

Izvor: Izradio autor

Kut nagiba doka uslijed dokovanja ovako raspoređenih brodova, a s ciljem da se odredi količina balasta koju je potrebno rasporediti asimetrično kako bi se ispravio nagib doka, može se odrediti kako slijedi.

Nova metacentarska visina $M_{01}G_1$ nakon dokovanja (prema slici 72) bit će:

$$\overline{M_{01}G_1} = \overline{KM_{01}} - \overline{KG_1} \ ,$$

odnosno nova metacentarska visina ispravljena za utjecaj slobodnih površina tekućina u tankovima $M_{01}G_{v1}$ nakon dokovanja:

$$\overline{M_{01}G_{V1}} = \overline{M_{01}G_1} - \overline{FSC} \quad \text{ili} \quad \overline{M_{01}G_{V1}} = \overline{KM_{01}} - \overline{KG_{V1}}$$

$$\overline{KG_1} = \frac{D_D \cdot \overline{KG} + D_{B1} \cdot \left(\overline{KG_{B1}} + h_{B1}\right) + D_{B2} \cdot \left(\overline{KG_{B2}} + h_{B2}\right)}{D_D + D_{B1} + D_{B2}}$$

$$tg\,\varphi = \frac{D_{B1} \cdot d_1 - D_{B2} \cdot d_2}{\left(D_D + D_{B1} + D_{B2}\right) \cdot \overline{M_{01}G_{V1}}} ,$$

gdje su:

$\overline{M_{01}G_1}$ — metacentarska visina nakon dokovanja (m)

$\overline{KM_{01}}$ —visna poč. poprečnog metacentra doka iznad osnovke nakon dokovanja (m)

$\overline{KG_1}$ — visina težišta sustava dok-brod iznad osnovke nakon dokovanja (m)

$\overline{M_{01}G_{V1}}$ — metacentarska visina ispravljena za utjecaj slobodnih površina tekućina u tankovima nakon dokovanja (m)

$\overline{KG_{V1}}$ — visina težišta sustava dok-brod iznad osnovke ispravljena za utjecaj slobod. površina tekućina u tankovima nakon dokovanja (m)

D_D — deplasman doka (t) s balastom

D_{B1} — deplasman broda većeg deplasmana (t)

D_{B2} — deplasman broda manjeg deplasmana (t)

$\overline{KG_{B1}}$ — visina sustavnog težišta iznad kobilice broda većeg deplasmana (m)

h_{B1} — vertik. udaljenost od osnovke doka do kobilice broda većeg deplasmana odnosno od osnovke doka do vrha potklada (m)

$\overline{KG_{B2}}$ — visina sustavnog težišta iznad kobilice broda manjeg deplasmana (m)

h_{B2} —vertik. udalj. od osnovke doka do kobilice broda manjeg deplasmana odnosno od osnovke doka do vrha potklada (m)

φ — kut nagiba broda uslijed dokovanja dvaju brodova izvan simetrale (°)

d_1 —horizontalna udaljenost težišta dokovanog broda većeg deplasmana od sustavnog težišta doka (m)

d_2 — horizontalna udaljenost težišta dokovanog broda manjeg deplasmana od sustavnog težišta doka (m).

Kako bi dok bio uspravan nakon podizanja ovako raspoređenih brodova potrebno je preostali balast u tankovima doka rasporediti asimetrično. Pod pretpostavkom da dok ima simetrične balastne tankove, te da je poznata ukupna količina balasta koja će ostati u pojedinim tankovima nakon dokovanja (nakon podizanja brodova), tank/ove na strani broda manjeg deplasmana potrebno napuniti s većom količinom balasta u odnosu na tank/ove na strani broda većeg deplasmana. Razlika mase balasta može se odrediti prema sljedećem izrazu:

$$\Delta p_V = \frac{\left(D_D + D_{B1} + D_{B2}\right) \cdot \overline{M_{01}G_{V1}} \cdot tg\varphi}{d},$$

gdje su:

Δp_V — razlika mase balasta u lijevim i desnim balastnim tankovima (t)

D_D — masa doka (t)

D_{B1} — deplasman broda većeg deplasmana (t)

D_{B2} — deplasman broda manjeg deplasmana (t)

$\overline{M_{01}G_{V1}}$ — metacentarska visina ispravljena za utjecaj slobodnih površina tekućina u tankovima nakon dokovanja (m)

φ — kut nagiba broda uslijed dokovanja dvaju brodova izvan simetrale kojeg valja ispraviti (°)

d — horizontalna udaljenost između težišta lijevih i desnih balast. tankova (m).

U razdoblju od 1984. do 2014. godine izvršeno je 143 dokovanja izvan uzdužnice plutajućeg doka, što iznosi 6,8 % svih dokovanja, odnosno 14,3 % posebnih slučajeva dokovanja.

Analizirana su 82 dokovanja izvan uzdužnice doka, što predstavlja 57,3 % dokovanih brodova izvan uzdužnice.

Referentni podaci značajni za zaključivanje o interakciji broda i doka te utjecaja na stabilnost kao i postupaka dokovanja dvaju brodova izvan uzdužnice doka prikazani su u sljedećoj tablici.

Tablica 10. Referentni podaci za dokovane brodove iz uzorka − dokovanje dvaju brodova izvan uzdužnice doka

Redni broj	Brodovi	D_1+D_2 (t)	d_1 (m)	d_2 (m)	T_S (m)	T_P (m)	T_K (m)	T_{RIM} (m)	$\overline{M_{01}G_1}$ (m)	φ (°)
1.	Delfin-Colombaio	110	3,00	2,80	1,20	1,30	1,10	2,40	8,10	0,80
2.	Darinka-Basholm	160	3,50	4,00	1,40	1,30	1,50	2,80	8,50	0,60
3.	B.Chica-Barbaran	180	3,10	4,10	1,40	1,40	1,40	2,80	9,10	0,90
4.	Brestova-Barbados	255	12,00	15,00	1,50	1,80	1,00	2,60	8,30	1,20
5.	Antinea-Plavica	58,5	2,80	4,00	0,90	1,10	1,20	3,00	7,80	1,50
6.	Bella-Argentin	84	4,00	3,50	1,20	1,10	1,30	2,40	8,50	1,00
7.	Arkaj-Argovia	114	3,50	4,10	1,20	1,30	1,10	2,40	8,70	1,20
8.	Aries-Arben	315	2,80	4,20	1,50	1,30	1,70	3,00	7,10	1,90

Redni broj	Brodovi	D_1+D_2 (t)	d_1 (m)	d_2 (m)	T_S (m)	T_P (m)	T_K (m)	T_{RIM} (m)	$\overline{M_{01}G_1}$ (m)	φ (°)
9.	Andromeda-Alen	155	3,00	3,80	1,40	1,60	1,20	2,80	8,90	1,50
10.	Alfa-Iglun	118	3,00	3,50	1,20	1,40	1,00	2,40	8,50	0,90
11.	Adria-Grand	397	3,20	4,00	1,60	1,90	1,30	3,20	8,90	1,50
12.	Aktiv-Graditelj	218	3,50	3,50	1,40	1,50	1,30	2,80	9,10	1,60
13.	Ilok-Golub	405	3,10	4,10	1,60	1,80	1,40	3,20	7,20	2,30
14.	Grdobina-Goldfish	108	3,50	3,80	1,20	1,40	0,80	2,20	8,30	1,20
15.	Gradac-Tuna	417	3,30	4,20	1,60	1,90	1,30	3,20	8,50	2,10
16.	Alga-Gitana	104	4,10	3,40	1,20	1,30	1,10	2,40	8,90	0,50
17.	Gill-Faros	401	3,00	3,60	1,60	1,90	1,30	3,20	9,00	0,90
18.	Gea-Fantom	188	3,50	4,10	1,40	1,70	1,10	2,80	7,80	2,90
19.	Furia-Elvis	120	3,30	3,20	1,20	1,30	1,10	2,40	8,50	1,10
20.	Ero-Jadran	389	3,00	3,60	1,60	1,80	1,40	3,20	7,50	0,50
21.	Dukla-Dinko	185	3,00	3,70	1,40	1,60	1,20	2,80	8,90	1,30
22.	Devin-Mašun	118	3,20	3,50	1,20	1,20	1,20	2,40	9,10	0,70
23.	Medulin-Markoč	187	3,00	3,10	1,40	1,50	1,30	2,80	8,90	1,20
24.	Mauros-Marina	260	3,50	4,00	1,50	1,60	1,40	3,00	8,60	1,80
25.	Mauros-P300	300	3,50	3,80	1,50	1,70	1,30	3,00	8,50	2,10
26.	M.Polo-Manon	170	3,00	4,00	1,40	1,50	1,30	2,80	8,90	0,90
27.	Manara-Maknare	110	4,10	3,50	1,20	1,30	1,10	2,40	9,10	1,20
28.	Mak-Luketin	210	3,00	2,50	1,40	1,70	1,10	2,80	8,50	1,50
29.	Vagrant-Luštura	72	3,50	3,50	1,10	1,10	1,10	2,20	7,90	2,10
30.	Maestral-Mačka	189	3,20	4,10	1,40	1,60	1,20	2,80	8,50	0,90
31.	Lara-Liberti	209	3,10	4,20	1,40	1,70	1,10	2,80	8,10	2,50
32.	Lampuga-Kvarnerić	58	3,00	3,50	1,00	1,00	1,00	2,00	9,50	1,10
33.	Laho-Kapica	81	3,10	4,10	1,10	1,10	1,10	2,20	9,60	0,60
34.	Laguna-Antinea	107	3,20	3,20	1,20	1,30	1,10	2,40	9,50	0,90
35.	Kruna mora-Jadran	280	4,00	3,80	1,50	1,70	1,30	3,00	8,90	1,50
36.	Krajan-Jastog	110	3,80	3,60	1,20	1,30	1,10	2,40	9,00	1,50
37.	Konobe-Kamen	274	3,50	3,70	1,50	1,60	1,40	3,00	8,90	0,50
38.	Knez-Kantar	102	4,10	3,80	1,20	1,20	1,20	2,40	9,50	1,50

Redni broj	Brodovi	D_1+D_2 (t)	d_1 (m)	d_2 (m)	T_S (m)	T_P (m)	T_K (m)	T_{RIM} (m)	$\overline{M_{01}G_1}$ (m)	φ (°)
39.	KL 8-Kamelia	201	4,00	3,60	1,40	1,50	1,30	2,80	8,30	1,80
40.	Kimen-Wildcat	633	2,80	4,90	1,80	1,90	1,70	3,60	7,50	2,50
41.	Kali-Izvor	424	4,10	3,80	1,60	1,90	1,30	3,20	8,50	1,70
42.	Jelofin-Navigatore	111	3,90	3,50	1,20	1,20	1,20	2,40	8,20	0,80
43.	Gundulić-Viking	156	3,50	3,10	1,30	1,50	1,10	2,60	8,50	1,00
44.	Istranka-Paris	340	3,20	4,50	1,60	1,70	1,50	3,20	9,10	1,20
45.	Intermaris-Zubatac	206	2,90	4,00	1,40	1,50	1,30	2,80	7,90	2,10
46.	Tulieta-Monsun	268	3,50	3,00	1,50	1,60	1,40	3,00	8,10	0,90
47.	Stela-Moira	133	4,10	2,90	1,30	1,30	1,30	2,60	8,50	0,60
48.	Ogorje-Venera	130	3,50	2,90	1,30	1,40	1,20	2,60	7,90	1,80
49.	V.Velebita-Graditelj	223	3,00	3,30	1,40	1,50	1,30	2,80	8,10	1,70
50.	V.Velebita-Uzorita	130	3,00	4,20	1,30	1,40	1,20	2,60	8,40	1,50
51.	Žigljen-Toma	250	4,00	4,30	1,50	1,60	1,40	3,00	7,50	2,50
52.	Melisa-Trp	110	3,90	4,10	1,20	1,20	1,20	2,40	8,90	0,90
53.	Ždrilo-Zora	295	2,90	3,90	1,50	1,60	1,40	3,00	8,70	1,70
54.	Zvonko-Tunolovac	192	3,10	4,00	1,40	1,50	1,30	2,80	9,10	1,10
55.	Vabene-Tohuvabohu	86	3,00	4,00	1,10	1,10	1,10	2,20	9,00	1,80
56.	Trogir-Manon	357	3,30	3,90	1,60	1,70	1,50	3,20	6,90	3,00
57.	Trn-Tabinja	84	3,00	3,60	1,10	1,10	1,10	2,20	8,50	0,70
58.	13.maj-Škrpol	173	3,50	3,90	1,40	1,50	1,30	2,80	8,30	1,50
59.	Titan-Larsen	254	3,00	4,00	1,50	1,60	1,40	3,00	7,10	3,00
60.	Teg 10-Shu Shu	121	3,50	3,00	1,20	1,30	1,10	2,40	8,50	2,10
61.	Školjka-Zingara	81	4,00	3,90	1,10	1,10	1,10	2,20	8,90	1,50
62.	Franjo-Srdela	131	3,50	4,10	1,30	1,40	1,20	2,60	8,90	1,10
63.	Stela-Star	196	4,10	3,50	1,40	1,50	1,30	2,80	7,50	2,50
64.	Srdela-Srčanka	82	3,10	3,90	1,10	1,10	1,10	2,20	9,10	1,50
65.	Smile-Skušica	71	4,10	3,50	1,00	1,00	1,00	2,00	9,50	1,20
66.	Škarda-Salpa	188	3,50	4,10	1,40	1,50	1,30	2,80	9,60	0,50
67.	Sea-Resnik	136	19,00	21,00	1,30	1,10	1,55	2,60	9,40	0,50
68.	Konobe-Mornar	248	3,50	3,90	1,30	1,10	1,50	2,60	7,90	1,20

Redni broj	Brodovi	D_1+D_2 (t)	d_1 (m)	d_2 (m)	T_S (m)	T_P (m)	T_K (m)	T_{RIM} (m)	$\overline{M_{01}G_1}$ (m)	φ (°)
69.	Rio Oro-Ravnice	235	2,90	4,00	1,50	1,40	1,60	3,00	8,10	1,90
70.	Rapsody-Popunica	101	3,00	4,10	1,20	1,10	1,30	2,40	8,50	2,50
71.	Prometej-Plivarica	363	3,10	4,10	1,60	1,80	1,40	3,20	7,20	3,10
72.	Preko-Poncho	163	3,50	4,50	1,40	1,50	1,30	2,80	9,50	2,50
73.	Pollaris-Plomin	264	4,00	3,50	1,50	1,60	1,40	3,00	8,10	2,90
74.	Plima-Plavica	62	4,00	3,60	1,00	1,00	1,00	2,00	8,90	0,60
75.	Pišmolj-Picchio	111	4,10	4,00	1,20	1,30	1,10	2,40	9,50	1,20
76.	Pionir-Petra	98	3,60	3,90	1,20	1,30	1,10	2,40	9,80	1,50
77.	Petrula-Pernat	415	4,00	3,00	1,60	1,50	1,70	3,20	7,50	3,10
78.	Pauk-Osoršćica	115	3,70	3,10	1,20	1,30	1,10	2,40	8,90	1,50
79.	Pamacea-Ogorje	151	3,50	2,90	1,50	1,40	1,60	3,00	8,10	1,90
80.	Omladinac-Norma	323	3,10	4,10	1,50	1,60	1,40	3,00	8,90	1,50
81.	Oliva-Morana	259	3,00	4,30	1,50	1,60	1,40	3,00	8,10	2,50
82.	Nerezine-Mirna	119	3,50	3,00	1,20	1,10	1,30	2,40	8,80	1,90

Izvor: Statistički podaci *Brodogradilišta Cres d.d.*

Analizirajući priloženu tablicu vidljivo je da je najveća udaljenost sustavnog težišta broda od sustavnog težišta doka udesno iznosila je 4,1 m, a najveća udaljenost ulijevo iznosila je 4,5 m. Najveća metacentarska visina doka iznosila je 9,6 m, a najmanja 6,9 m. Za vrijeme dokovanja najveći kut nagiba doka iznosio je 3,1°, a najmanji 0,5°. Ukupna masa dokovanih brodova iznosila je 633 t, a najmanja 58 t. Gaz na pramcu se kretao od 1,90 m do 1,00 m, a na krmi od 1,70 do 0,80 m. Trim doka je izmjeren od 3,20 do 2,0 m.

U plutajućem doku se najprije pozicionira brod većeg deplasmana i gaza, a nakon toga manji brod. Ako se nastavi podizanje doka nakon što veći brod dotakne potklade dolazi do nagiba doka. Ako je kut nagiba veći od 1° potrebno je kompenzirati nagib balastiranjem vodeći računa o slobodnim površinama.

Plan balastiranja sadrži podatak o potrebnoj količini balasta na strani lakšeg broda kako bi dok tijekom dokovanja uspjeli držati u uspravnom položaju.

Dio konceptualnog modela određivanja stabilnosti pri dokovanju više brodova (dva broda) izvan uzdužnice doka

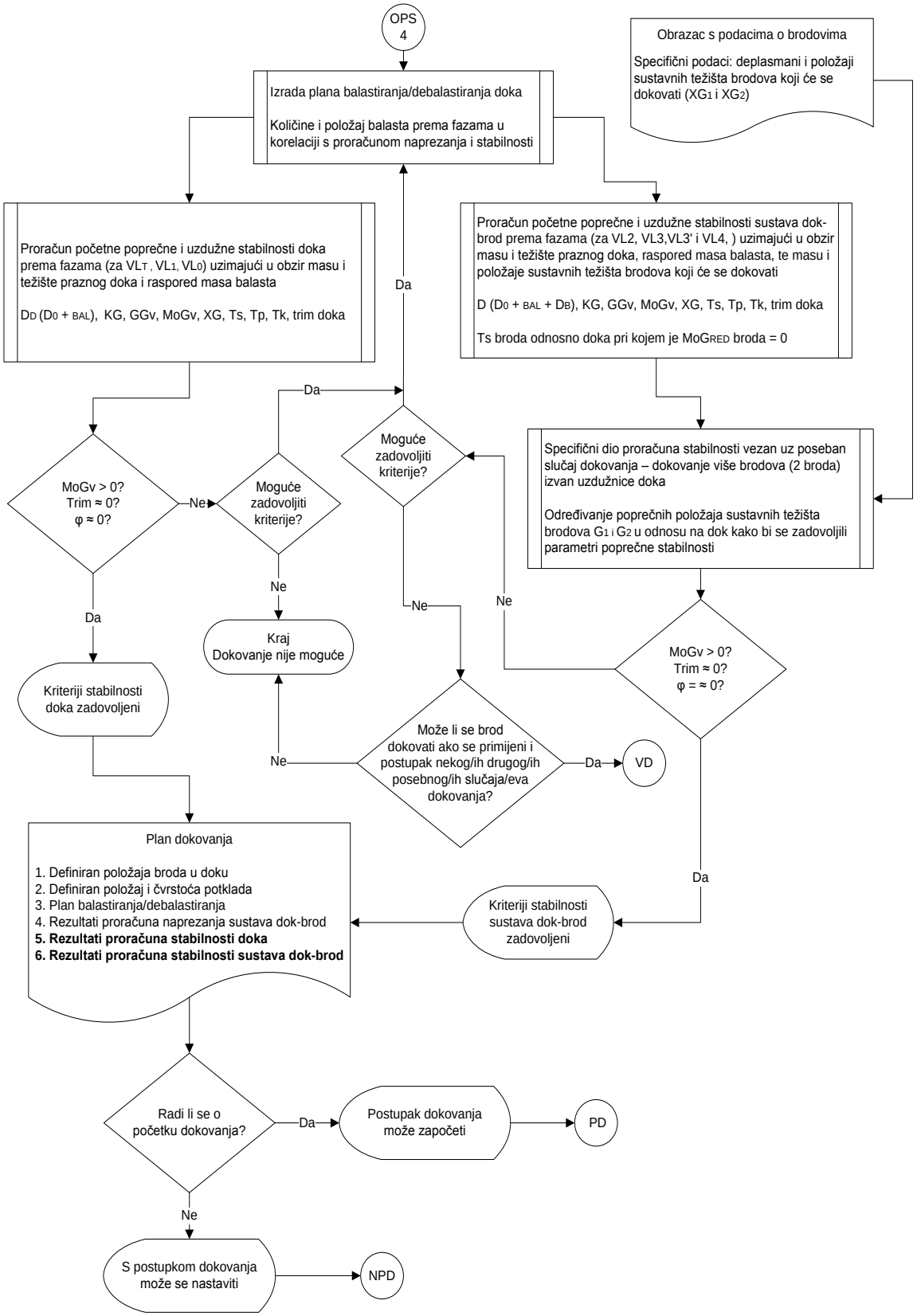
Konceptualni model određivanja parametara stabilnosti dokovanja više brodova (dva broda) izvan uzdužnice doka započinje izradom Plana balastiranja/debalastiranja doka i definiranjem količina te položaja balasta prema fazama dokovanja u korelaciji s proračunom naprezanja i stabilnosti.

Određivanje parametara stabilnosti pri dokovanju više brodova (dva broda) izvan uzdužnice doka u dijelu konceptualnog modela (OPS 4) u dijelu koji se odnosi na postupak proračuna početne poprečne i uzdužna stabilnosti doka i izradu Plana dokovanja za faze dokovanja bez utjecaja broda, za vodene linije VL_T, VL_1, i VL_0, istovjetan je onome u konceptualnom modelu za uobičajeno dokovanje broda (OPS 0), te se neće ponovno opisivati. Pritom su kriteriji stabilnosti doka sljedeći: $M_0G_V > 0$, trim ≈ 0 i kut nagiba doka $\varphi \approx 0$.

Određivanje parametara stabilnosti pri dokovanju više brodova (dva broda) izvan uzdužnice doka u dijelu konceptualnog modela (OPS 4) u dijelu koji se odnosi na postupak proračuna početne poprečne i uzdužna stabilnosti doka i izradu Plana dokovanja za faze dokovanja s utjecajem broda (sustav dok-brod), za vodene linije VL_2, VL_3, VL'_3, VL_4, načelno je istovjetan onome u konceptualnom modelu za uobičajeno dokovanje broda (OPS 0), te se neće ponovno opisivati, osim u dijelu koji se odnosi na specifičnosti postupka.

Naime, u ovom posebnom slučaju dokovanja brodova specifični ulazni podaci su deplasmani i udaljenosti sustavnih težišta brodova koji će se dokovati $(\overline{XG_1}, \overline{XG_2})$, a specifični dio proračuna stabilnosti vezan je uz proračun poprečnih položaja sustavnih težišta brodova G_1 i G_2, odnosno njihovih udaljenosti d_1 i d_2 od uzdužnice doka, kako bi se zadovoljili parametri poprečne stabilnosti sustava dok-brod. Pritom su kriteriji stabilnosti sustava dok-brod sljedeći: $M_0G_V > 0$, trim ≈ 0 i kut nagiba doka $\varphi \approx 0$.

Dio konceptualnog modela koji se odnosi na određivanje parametara stabilnosti pri dokovanju više brodova (2 broda) izvan uzdužnice doka (OPS 4) prikazan je u sljedećem dijagramu toka.



Slika 73. Dio konceptualnog modela određivanja parametara stabilnosti pri dokovanju više brodova (dva broda) izvan uzdužnice doka

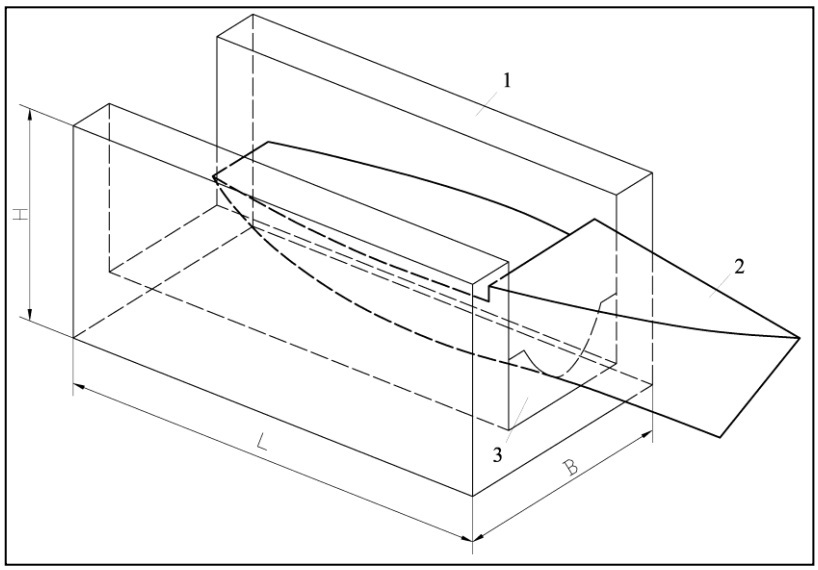
Izvor: Izradio autor

5.2.5. Dokovanje samo jednog kraja broda − djelomično dokovanje broda

Djelomično dokovanje broda se izvodi u slučajevima kada je masa broda veća od nosivosti doka, a brodu treba dokovanje zbog hitnih popravaka na brodu. Uglavnom se radi o oštećenjima na krmi i pramcu, propelerima i kormilu broda. Neoštećeni dio broda je van doka i na njega djeluje uzgon mora. Za djelomično dokovanje povoljniji su kratki i širi plutajući dokovi.

Pri djelomičnom dokovanju podiže se dio broda koji zahtijeva popravak ili se ravnomjerno podiže cijeli brod do dopuštenog graničnog uzgona. Brodovi se dokuju uzdužno nagnutim dokom i djelomično morem na palubi doka. Koriste se sve raspoložive potklade, a po potrebi se dodaju i privremene. Uzdužni nagib doka ne smije biti veći od 6°.[41]

Djelomično dokovanje se obavlja uz prethodnu provjeru stabilnosti sustava dok-brod, te provjerom lokalnih naprezanja doka. Nakon dokovanja broda određuje se neprekidno dežurstvo, koje treba omogućiti u slučaju potrebe brzog uranjanja doka i isplovljenje. Pri podizanju dijela broda, kut nagiba palube doka mora biti manji od kuta trenja, približno 6,5°.[42] Ukoliko ovaj uvjet nije ispunjen potrebno je postaviti dodatne potklade za prianjanje broda za dok kako bi se spriječilo klizanje. Kod djelomičnog dokovanja potrebno je postaviti maksimalni broj potklada. Za obavljanje radova na palubi doka postavlja se poprečna pregrada koja dijeli palubu doka od akvatorija, voda s palube se neprekidno ispumpava.



Slika 74. Djelomično dokovanje broda

Izvor: Izradio autor

[41] Aleksandrov, M. N.,op.cit., str. 90.

[42] Muru, N. P., op.cit., str. 75.

Djelomično dokovanje broda slično je podizanju broda pomoću pramčanog ili krmenog kesona. Zato se za proračun stabilnosti sustava dok-brod koriste postupci kao i za podizanje broda pomoću kesona.

Djelomičnim dokovanjem podiže se dio broda koji zahtijeva popravak. Brod se dokuje uzdužno nagnutim dokom i djelomično morem na palubi doka.

Prije dokovanja učiniti brod pretežnim ako se podiže krma.

Za proračun se najčešće koristi metoda uzastopnih aproksimacija[43] za nepotopivost. Metoda uzastopnih aproksimacija sastoji se od :

- određivanje početne vodene linije (VL) s parametrima (T, Ψ)
- izračunavanje korekcije parametara ΔT i ΔΨ
- određivanje novih parametara $T_1=T+\Delta T$ i $\Psi_1=\Psi+\Delta\Psi$ za vodnu liniju prve aproksimacije (VL_1)
- uzima se vodna linija (VL_1) kao početna za drugu aproksimaciju, te se izračunavaju novi parametri ΔT i ΔΨ
- vodna linija (VL_2) sa parametrima $T_2=T_1+\Delta T_1$ i $\Psi_2=\Psi_1+\Delta\Psi_1$ smatra se vodnom linijom druge aproksimacije
- prema potrebi analogno se izračunavaju sljedeće aproksimacije, a završavaju kada ΔT_n i $\Delta\Psi_n$ (n je broj aproksimacija) postanu

$$|\Delta T_n| \le 0{,}2\ m \quad |\Delta\Psi_n| \le 0{,}005$$

kada nema nagiba (φ = 0) korekcije ΔT i ΔΨ se određuju izrazima:

$$\Delta tg\varphi = \frac{-A}{D} \qquad \Delta T = \frac{-Q}{S} - \overline{X_F}\Delta tg\varphi \ .$$

Veličine A, D , Q određuju se izrazima:

$$A = \overline{\mu_x} + \overline{\mu_z} tg\Psi$$

$$D = I_{yF}\left(1 + tg^2\Psi\right) + \overline{\mu_z}$$

$$Q = \overline{V} - \frac{P}{\rho}$$

[43] Vojtkunskij, J. I., Perši, R. J., Titov, I. A., Spravočnik po teorii korablja, Leningrad, Sudostrenie, 1973., str. 59.

$$\overline{\mu_x} = \mu_x - Q_{\overline{x_F}}$$

$$\overline{\mu_x} = \overline{V_{\overline{x_B}}} - \frac{D}{\rho} x_G$$

$$\overline{\mu_z} = \mu_z - Q_{\overline{z_F}}$$

$$\mu_z = \overline{V_{\overline{z_B}}} - \frac{P}{\rho} \cdot Z_g,$$

gdje su:

$\overline{X_F}$ — apscisa težišta vodene linije S (m)

$\overline{Z_F}$ — ordinata težišta vodene linije S (m)

I_{YF} — moment inercije vodene linije S (m^4)

ρ — gustoća vode (t/m^3)

$\overline{V}$ — volumen podvodnog dijela broda (m^3)

$\overline{X}_B$ — apscisa težišta podvodnog dijela broda (m)

$\overline{Z}_B$ — ordinata težišta podvodnog dijela broda (m)

P — masa sustava dok-brod (t)

X_G — apscisa težišta sustava dok-brod (m)

Z_G — ordinata težišta sustava dok-brod (m).

Za izračunavanje stabilnosti sustava dok-brod potrebno je izračunati

$$E = I_{XF} - \overline{\mu_Z},$$

gdje je:

I_{XF} — moment inercije početne vodene linije VL_1 (m^4).

Elementi sustava dok-brod izračunavaju se prema izrazima:

$$V = V'_B + V_D$$

$$\overline{V} \cdot \overline{X}_B = V'_B \cdot X'_B + V_D \cdot X_{BD}$$

$$\overline{V} \cdot \overline{Z}_B = V'_B \cdot Z'_B + V_D \cdot Z_{BD}$$

$$S = S_B^{'} + S_D$$
$$\overline{S} \cdot \overline{X}_F = S_B^{'} \cdot X_{FB}^{'} + S_D \cdot X_{FD}$$
$$I_X = I_{XB}^{'} + I_D$$
$$I_{YF} = I_{YB}^{'} + I_{YD} - \overline{S}\left(\overline{X_F}^2\right),$$

gdje su:

V — volumen sustava dok-brod kod prve aproksimacije (m^3)

$\overline{X}_B$ — apscisa sustava dok-brod (m)

$\overline{Z}_B$ — ordinata sustava dok-brod (m)

S — površina vodene linije sustava dok-brod (m^2)

$\overline{X}_F$ — apscisa težišta površine vodene linije sustava dok-brod (m)

I_X — moment inercije sustava dok-brod (m^4)

I_{YF} — moment inercije površine vodene linije sustava dok-brod (m^4)

V' — volumen uronjenog dijela broda izvan doka (m^3)

X'_B — apscisa težišta uronjenog dijela broda izvan doka (m)

Z'_B — ordinata težišta uronjenog dijela broda izvan doka (m)

S'_B — površina vodene linije uronjenog dijela broda izvan doka (m^2)

X'_{FB} — apscisa težišta vodene linije uronjenog dijela broda izvan doka (m)

I_{XB} —moment inercije uronjenog dijela broda izvan doka oko osi x (m^4)

I_{YB} —moment inercije uronjenog dijela broda izvan doka oko osi y (m^4)

V_D — volumen uronjenog dijela doka (m^3)

X_{BD} — apscisa uronjenog dijela doka (m)

S_D — površina vodene linije uronjenog dijela doka (m^2)

X_{FD} — apscisa težišta vodene linije uronjenog dijela doka (m)

I_{XD} — moment inercije uronjenog dijela doka oko osi x (m^4)

I_{YD} — moment inercije uronjenog dijela doka oko osi y (m^4).

Koordinate težišta sustava dok-brod (X_G, Z_G) određuju se prema izrazima:

$$M \cdot X_G = D_B \cdot X_B + D_D \cdot X_D + \rho_v \cdot X_v$$

$$D \cdot Z_G = D_B \cdot Z_B + D_D \cdot Z_D + \rho_v \cdot Z_v$$

gdje su:

D_B — masa broda (t)

X_B — apscisa sustavnog težišta broda (m)

Z_B — ordinata sustavnog težišta broda (m)

D_D — masa doka (t)

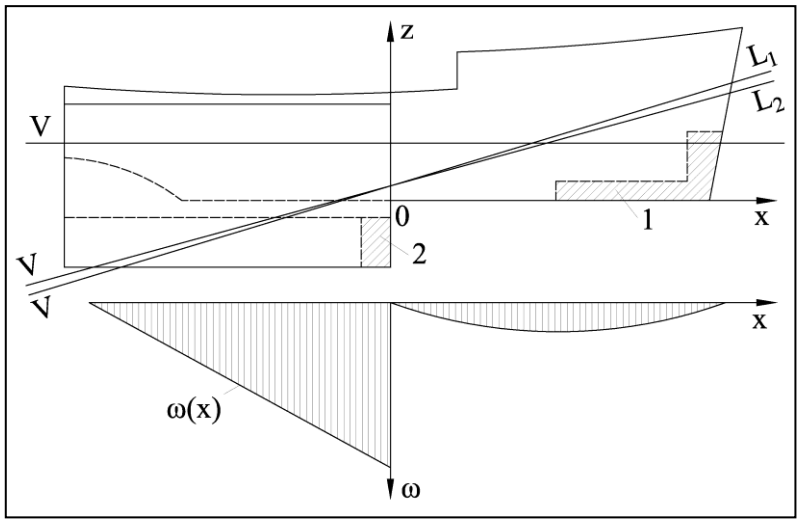
X_D — apscisa sustavnog težišta doka (m)

Z_D — ordinata sustavnog težišta broda (m)

V — volumen uronjenog dijela sustava dok-brod (m^3)

X_v — apscisa sustavnog težišta uronjenog dijela sustava dok-brod (m)

Z_v — ordinata sustavnog težišta uronjenog dijela sustava dok-brod (m).



Slika 75. Prikaz parametara djelomičnog dokovanja broda

Izvor: Izradio autor prema Mypy, H., 1985.

Volumeni uronjenog dijela broda i doka određuju se dijagramnim listovima i Bonjoanovim dijagramom. U prvoj aproksimaciji određuju se $\Delta\psi$ i ΔT kojima se određuju prirasti $T + \Delta T$ i $\psi + \Delta\psi$, koji definiraju vodnu liniju (VL_1) s čijim elementima se prelazi na drugu aproksimaciju.

Poprečna MG_0 i uzdužna MG_u metacentarska visina sustava dok-brod određuju se metodom iteracije korištenjem izraza:[44]

$$\overline{MG_0} = \frac{E_1}{V_B \cos\psi_2},$$

$$\overline{MG_u} = \frac{D_1}{V_B \cos\psi_2}.$$

Referentni podaci značajni za zaključivanje o interakciji broda i doka te utjecaja na stabilnost kao i postupka djelomičnog dokovanja broda (podizanje jednog kraja broda) prikazani su u sljedećoj tablici.

Tablica 11. Referentni podaci iz uzorka djelomičnog dokovanja broda

Brod	D	L_{0A}	B	T_p	T_k	T_s
Clay	1340	124	10,5	1,20	2,60	1,9
Gin	1112	92	9,5	0,90	2,10	1,5
Joy	1450	131	10,2	1,40	2,60	2,0

Izvor: Statistički podaci *Brodogradilišta Cres d.d.*

Tablica 12. Struktura djelomičnog dokovanja brodova

1. aproksimacija						2. aproksimacija						
Brod	ΔT_P	ΔT_K	T_{P1}	T_{K1}	Ψ	Brod	ΔT_P	ΔT_K	T_{P-2}	T_{K2}	Ψ	M_0G
Clay	2,66	7,64	5,01	0,14	0,103	Clay	0,73	0,33	4,8	0,19	0,092	11,7
Gin	2,15	7,43	4,60	0,25	0,130	Gin	0,51	0,28	4,1	0,28	0,075	10,9
Joy	2,81	7,11	4,25	0,38	0,115	Joy	0,71	0,42	3,9	0,35	0,065	12,1

Izvor: Statistički podaci *Brodogradilišta Cres d.d.*

Dio konceptualnog modela određivanja parametara stabilnosti pri djelomičnom dokovanju broda

Konceptualni model određivanja parametara stabilnosti pri djelomičnom dokovanju broda započinje izradom Plana balastiranja/debalastiranja doka i definiranjem količina i položaja balasta prema fazama dokovanja u korelaciji s proračunom naprezanja i stabilnosti.

Određivanje parametara stabilnosti pri djelomičnom dokovanju broda u dijelu

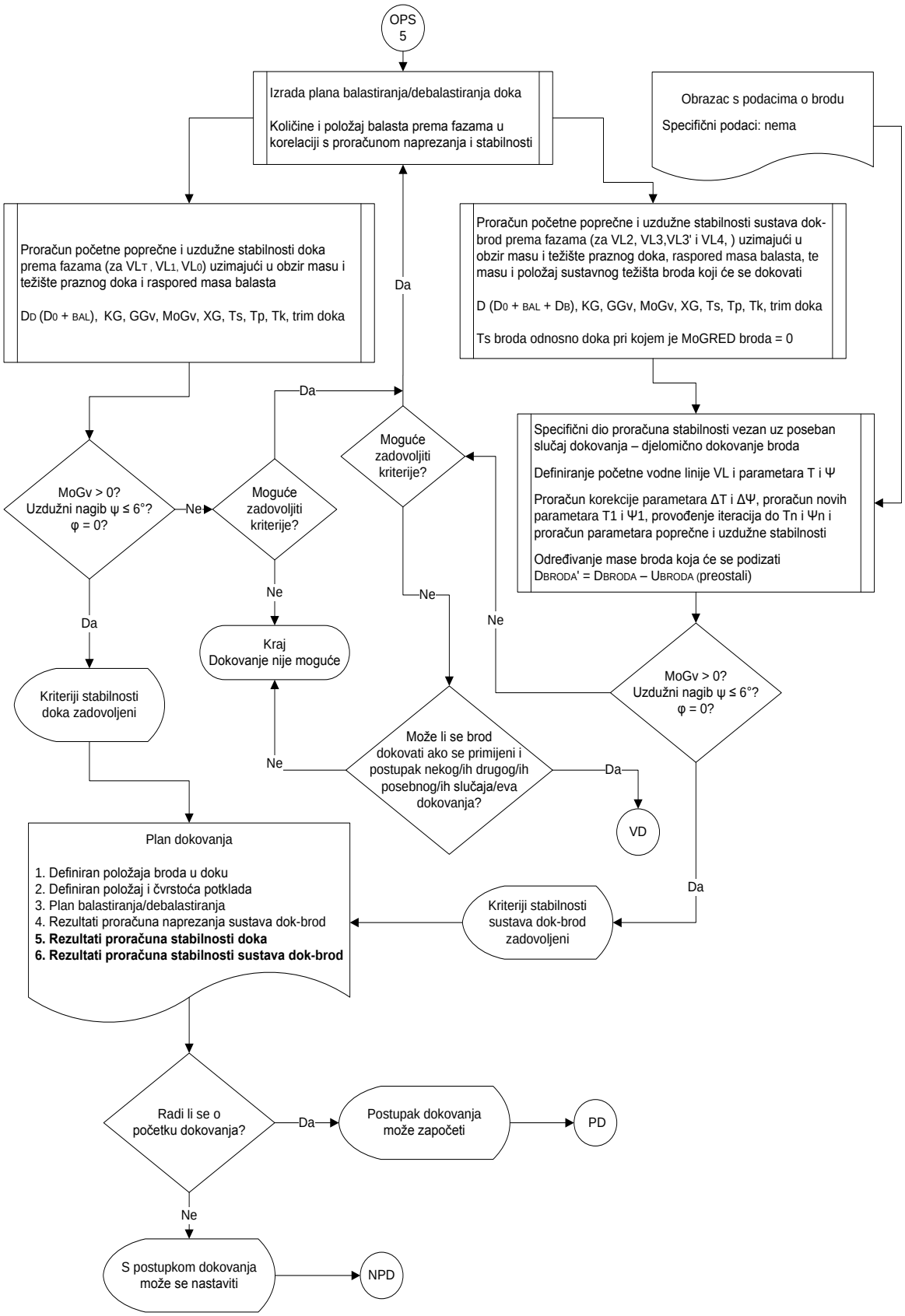
[44] Pavlov, P.; op.cit., str. 57.

konceptualnog modela (OPS 5) u dijelu koji se odnosi na postupak proračuna početne poprečne i uzdužna stabilnosti doka i izradu Plana dokovanja za faze dokovanja bez utjecaja broda, za vodene linije VL_T, VL_1, i VL_0, istovjetan je onome u konceptualnom modelu za uobičajeno dokovanje broda (OPS 0), te se neće ponovno opisivati. Kriteriji stabilnosti doka su u ovom slučaju sljedeći: $M_0G_V > 0$, uzdužni nagib doka $\psi \leq 6°$ i kut nagiba doka $\varphi \approx 0$.

Određivanje parametara stabilnosti pri djelomičnom dokovanju broda u dijelu konceptualnog modela (OPS 5) u dijelu koji se odnosi na postupak proračuna početne poprečne i uzdužna stabilnosti doka i izradu Plana dokovanja za faze dokovanja s utjecajem broda (sustav dok-brod), za vodene linije VL_2, VL_3, VL'_3, VL_4, načelno je istovjetan onome u konceptualnom modelu za uobičajeno dokovanje broda (OPS 0), te se neće ponovno opisivati, osim u djelu koji se odnosi na specifičnosti postupka.

Naime, u ovom posebnom slučaju dokovanja broda specifični ulazni podatak je duljina broda koja treba ući unutar doka, a specifični dio proračuna stabilnosti vezan je uz definiranje početne vodene linije VL i parametara T i Ψ, proračun korekcije parametara ΔT i $\Delta\Psi$, proračun novih parametara T_1 i Ψ_1, provođenje iteracija T_n i Ψ_n i proračuna parametri poprečne i uzdužne stabilnosti, te mase broda koja se podiže. Pritom su kriteriji stabilnosti sustava dok-brod sljedeći: $M_0G_V > 0$, uzdužni nagib doka $\psi \leq 6°$ i kut nagiba doka $\varphi \approx 0$.

Dio konceptualnog modela koji se odnosi na određivanje parametara stabilnosti pri djelomičnom dokovanju broda (OPS 5) prikazan je u sljedećem dijagramu toka.



Slika 76. Dio konceptualnog modela određivanja parametara stabilnosti pri djelomičnom dokovanju broda

Izvor: Izradio autor

6. ZAKLJUČAK

Od pojave brodova i plovidbe postoji potreba za izvlačenjem brodova na suho radi popravka i održavanja, te se može zaključiti da nema sigurnosti brodova bez njihova dokovanja. Dokovanja se razlikuju s obzirom na vrstu doka koja se koriti, kao i ovisno o obilježjima broda. Međutim, posebne razlike u odnosu na uobičajeno dokovanje brodova javljaju se pri dokovanju brodova u nekim posebnim slučajevima. U ovoj disertaciji istraženo je upravo upravljanje plutajućim dokom pri posebnim slučajevima dokovanja kao što su dokovanje nagnutog broda, trimovanog broda, dokovanje više brodova u uzdužnici, dokovanje dvaju brodova izvan uzdužnice doka, te djelomično dokovanje.

Istraživanje se temelji na dugogodišnjem iskustvu autor na poslovima zapovjednika doka i pomorskog peljara od 1984. do 2014. godine. Sva dokovanja obavljena su na doku brodogradilišta u Cresu, čija je duljina 107 m, a ukupna nosivost 1000 t. U tom periodu izvršeno je 2107 dokovanja i izdokovanja brodova duljine do 100 m i deplasmana 1500 t.

Od 2107 dokovanja u navedenom vremenskom razdoblju od 30 godina izvršeno je 1107 (53 %) pojedinačnih dokovanja brodova, dokovanja u uzdužnici 537 (25 %), trimovanih brodova 205 (10 %), dokovanja izvan uzdužnice doka 143 (7 %), nagnutih brodova 112 (5 %) i 3 djelomična dokovanja.

Kako je dokovanje brodova vrlo složen proces potrebno ga je pomno planirati, provoditi i nadzirati. Stoga je prije dokovanja potrebno izraditi proračune uzdužnih i bočnih potklada, sastaviti planove dokovanja, po potrebi i izdokovanja broda, planove balastiranja odnosno debalstiranja doka, a koji uključuju i provjeru naprezanja konstrukcije doka (obično ne predstavlja ograničavajući faktor kod manjih dokova), te provjeru stabilnosti doka i sutava brod-dok u svim fazama dokovanja ili izdokovanja broda.

U disertaciji su razmotreni i analizirani proračuni stabilnosti za karakteristične vodene linije pri dokovanj/izdokovanju brodova, i to za sljedeća stanja: dok je uronjen da bi brod mogao uploviti (VL_T), vodenu liniju kad brod upravo naliježe na potklade (VL_1), brod je upravo izronio iz vode (VL_2), paluba doka neposredno pred izranjanje iz vode (VL_3), paluba doka je izronila iz vode ($VL_{3'}$), dok je izronio do planiranog gaza tijekom boravka broda u doku (VL_4) i uobičajenu vodenu liniju za prazan dok (VL_0).

U radu je korišten sustavni pristup problemu istraživanja ovog područja na način da su sagledani interakcijski učinci između pojedinih čimbenika u procesu dokovanja/izdokovanja brodova, a provedeno istraživanje i rezultati potvrdili su postavljenu istraživačku hipotezu kao i radne teze. Naime, nedvojbeno je zaključeno da je dokovanje, tj. izdokovanje brodova vrlo složen proces koji treba biti striktno upravljan, posebno u posebnim slučajevima dokovanja koji su zahtjevniji i povezani s većim rizikom. Stoga se stupanj sigurnosti u posebnim slučajevima dokovanja definitivno unaprjeđuje uvođenjem metoda upravljanja temeljenim na algoritmima odlučivanja. U ovoj disertaciji oni su razrađeni kroz prijedlog konceptualnih modela, koji su rezultat istraživanja, i koji su uključili sve utjecajne čimbenike u procesu dokovanja odnosno izdokovanja brodova.

Istraživanjem je potvrđeno da ovako postavljeni konceptualni modeli za svaki pojedini slučaj dokovanja, kako pri uobičajenom načinu dokovanja, tako i u posebnim slučajevima dokovanja, uvelike unapređuju postupke dokovanja i izdokovanja, čine ih bržim i utječu pozitivno na stupanj sigurnost doka i broda ili brodova koji se dokuju.

Analizirajući rezultate istraživanja može se zaključiti da su ciljevi postavljeni pri izradi ove doktorske disertacije dostignuti. Naime definirani su konceptualni modeli posebnih, tehnološki zahtjevnih slučaja dokovanja u plutajućem doku, koji sadrže algoritme odlučivanja pri izboru tehnologije, potrebne opreme i odgovarajućih postupaka, a sve u cilju postizanja zadovoljavajućeg stupanja sigurnosti, tako i izbjegavanja oštećenja doka i broda prilikom dokovanja.

Osnovni doprinos ove disertacije ogleda se upravu u definiranju konceptualnih modela koji omogućavaju povećanje stupnja sigurnosti eksploatacije plutajućeg doka, te posljedično smanjenje rizika postupka. Kako je veće navedeno, na ovaj način, može se i ubrzati proces dokovanja/izdokovanja broda, što je korisno i sa stanovišta ekonomičnosti eksploatacije doka.

Doprinos predstavlja i činjenica da se ovako definirani konceptualni modeli mogu koristiti za optimizaciju postupka dokovanja brodova, kao i za optimizaciju korištenja postojeće opreme ili izbora nove. Korištenje ovih modela u konkretnim slučajevima dobiva se i ekspertni sustav odlučivanja pri upravljanju dokovanjem odnosno izdokovanjem pojedinog broda.

Rezultati i spoznaje dosegnuti u radu omogućavaju znanstveno utemeljeno sustavno planiranje razvoja sustava dokovanja/izdokovanja brodova. U tom cilju prikazana je metodologija znanstvenog sagledavanja ovog problema, a prikazana je i mogućnost primjene tako dobivenih rezultata u praktične svrhe.

Bez obzira na vrijednost prikazanih rezultata potrebna su daljnja istraživanja upravljanja procesom dokovanja/izdovanja brodova. Ovo je multidisciplinarno područje koje zahtjeva zajednički rad eksperata za pojedina područja. Pristup pri izradi disertacije bio je takav da su modeli postavljeni modularno kako bi se svaki segment modela mogao pojedinačno detaljnije razvijati i time doprinositi približavanju modela realnom sustavu. U ovisnosti o ciljevima istraživanja ovako postavljene modele moguće je uz minimalne izmjene odnosno nadogradnje koristiti i za izvođenje određenih simulacija. Rezultati takvih simulacija zasigurno bi potaknuti i daljnja pitanja vezana uz procese dokovanja/izdokovanja brodova, a posebice sa stanovišta optimizacije tako kompleksnog sustava. Daljnja istraživanja svakako bi predstavljala dodatni kvalitativni i kvantitativni pomak u istraživanju predmetne problematike.

Rezultati ovih istraživanja i sam pristup cjelokupnoj problematici u svakom slučaju predstavljaju doprinos znanstvenom pristupu procesu dokovanja/izdovanja brodova, što omogućava izbjegavanje slučajnosti i improvizacija, a time i veću opću sigurnost u sustavu.

LITERATURA

Knjige:

1. Arentzen i dr., Ship Design and Construction, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, New York, 1969.
2. Baptist, C., Salvage Operations, Vol. 1 i 2, Brown, Son & Ferguson Ltd., Glasgow, 1997.
3. Bertram, V.:Practical Ship Hydrodynamics, Butterworth-Heineman, Oxford, 2000.
4. Biočić,B.-Jurić,V., Tegljači, Brodospas, Split, 1974.
5. Bosnić,A.-Vukičević,M., Oprema broda, Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb, Zagreb, 1983.
6. Bray,D.J., Dynamic Positioning, The Nautical Institute, London, 2005.
7. Cahil, R. A., Collisions and Their Causes, The Nautical Institute, London, 1999.
8. Cahil, R. A., Strandings and Their Causes, The Nautical Institute, London, 1999.
9. Caridis, P., Inspection Repair and Maintenance of Ship Structures, Whiterby & Co. Ltd., London, 2001.
10. Carver, A., Simple Ship Stability, Fairplay publications, Surrey, 1993.
11. Clark, I.C.: Managing Merchant Ship Stability, The Nautical Institute, London, 2005.
12. Clark,I.C.: Ship Dynamics for Mariners, The Nautical Institute, London, 2005.
13. Dewar, M. D., Collisions at Sea – How ? , Brown, Son & Ferguson Ltd.Glasgow, 1989.
14. Dundović,Č.-Kesić,B., Tehnologija i organizacija luka, Pomorski fakultet Rijeka, Rijeka, 2001.
15. Evans, J., Quantitative Methods in Maritime Economics, Fairplay Publications Ltd., 1995.
16. Fatur,J., Teorija broda, Uredništvo časopisa ¨Brodogradnja¨, Zagreb, 1954.
17. Fossen,T., Guidance and Control of Ocean Vehicles, John Wiley & Son Chichester, 1999.
18. Furlan,Z., Osnove brodogradnje, Školska knjiga Zagreb, Zagreb, 1989.
19. Gelo,B., Opća i prometna meteorologija, Školska knjiga Zagreb, Zagreb, 1994.
20. Glavan,B., Ekonomika morskog brodarstva, Školska knjiga Zagreb, Zagreb, 1992.
21. Goss, R.O., Studies in Maritime Economics, CUP, London, 1970.
22. Hensen, H., Tug Use in Port, The Nautical Institute, London, 2001.

23. House, D., Anchor Practice, Whiterby & Co. Ltd., London, 2002.
24. House, D., Dry Docking and Shipboard Maintenance, Whiterby & Co. Ltd., London, 2003.
25. Kerubini,E., La nave e i suoi movimenti, Edizioni Universitarie, Genova,1958.
26. Kirinčić,J., Luke i terminali, Školska knjiga Zagreb, Zagreb, 1991.
27. Komadina, P., Brodovi multimodalnog transportnog sustava, Pomorski fakultet Rijeka, Rijeka, 1998.
28. Limić, N., Montecarlo simulacije slučajnih veličina nizova i procesa, Udžbenici sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2002.
29. Manella,G., Elementi di tecnica navale, Edizioni A.P.E. Mursia, Milano,1976.
30. Manning, C. G. preveo Šilović, S., Teorija i tehnika projektiranja broda, Tehnička knjiga Zagreb, 1967.
31. Mausdley: Operation Offshore Supply& Anchor Handling, The Nautical Institute, London, 2005.
32. Mc. Convile, J., Economy of Maritime Transport Theory and Practice, Whiterby & Co. Ltd., London, 1999.
33. Milošević, M., Milošević, Š., Osnove teorije broda, Školska knjiga Zagreb, Zagreb, 1981.
34. Molenaar, IR. J. S. I., preveo Gospodnetić, D., Osnivanje i oprema trgovačkih brodova, Brodarski institut Zagreb, Zagreb, 1955.
35. Munitić, A., Kompjuterska simulacija uz pomoć sistemske dinamike, Brodosplit, Split, 1990.
36. Neralić, L., Uvod u matematičko programiranje 1, Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, Element, Zagreb, 2003.
37. Opsieger, B., Metoda rubnih elemenata 1 i 2, Udžbenici Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 2003.
38. Owen, P., High Speed Craft , The Nautical Institute, London, 2005.
39. Pogany, T.-Zenzerović, Z., Statističke tablice sa uputama za primjenu, Pomorski fakultet Rijeka, Rijeka, 1993.
40. Pogany, T., Stohastički procesi 1, Znanstveni poslijediplomski studij Tehnološki sustavi u pomorskom prometu, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2003.
41. Pribičević, B., Pomorska geodezija, Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2005.
42. Prpić – Oštrić, J. I dr., Pomorstvenost plovnih objekata, Udžbenici Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 2006.

43. Pursey, H. J., Merchant Ship Construction, Brown, Son & Ferguson Ltd., Glasgow, 1971.
44. Pursey, H. J., Merchant Ship Stability, Brown, Son & Ferguson Ltd., Glasgow, 1971.
45. Robinson, S., Simulation: The Practice of Model Development and Use, John Wiley & Sons , Chicester, 2003.
46. Robinson,A.E.,: Harbour fendering, The Nautical Institute, London, 2003.
47. Routledge,R.D.: Mono Moorings for Mariners, The nautical Institute, London, 2003.
48. Rowe, R. W., The Shiphandler's Guide for Masters and Navigating Officers, Pilots and Tug Masters, The Nautical Institute, London, 2001.
49. Sanders, R. E., The Practice of Ocean Rescue, Brown, Son & Ferguson Ltd., Glasgow, 1998.
50. Sarchiolla, G., Baccini di carenaggio, Instituto navale, Genova, 1949.
51. Tomić, I., Prometna tehnologija luka, Institut prometnih znanosti, Zagreb, 1986.
52. Uršić, J., Plovnost broda, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1966.
53. Uršić, J., Stabilitet broda 1. i 2. dio, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1962., 1964.
54. Venrell, J., The Oil Rig Moorings Handbook, Brown, Son & Ferguson Ltd., Glasgow, 1995.
55. Vranić, D.,- KOS, S., Prijevoz kontejnera brodom 1 i 2, Pomorski fakultet Rijeka, Rijeka, 1993.
56. Vranić, D., Manevarske osobine matematskih modela brodova, Fakultet za pomorstvo i saobraćaj Rijeka, Rijeka, 1991.
57. Vučinić, A., Hidrodinamika plovnih objekata, Tehnički fakultet u Rijeci, Rijeka, 1997.
58. Williamson, P., Ship Manoeuvring Principles and Pilotage, Whiterby & Co. Ltd., London, 2001.
59. Zec, D., Planiranje pomorske plovidbe, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, 1997.
60. Zec, D., Sigurnost na moru, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2001.
61. Zečević, T.,- Crnković, J., Matematički modeli i metode simulacije, Fakultet za pomorstvo i saobraćaj Rijeka, Rijeka, 1987.
62. Zenzerović, Z., Stohastički procesi 2, Znanstveni poslijediplomski studij, Tehnološki sustavi u pomorskom prometu, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2003.
63. Aleksandrov, M. N., Sudovye ustrojstva, Leningrad, Sudostroenie, 2005.

64. Blagoveščenskij, S. N., Hoodilin, A. N., Spravočnik po statike i dinamike korablja, Leningrad, Sudostroenie, 1976.

65. Vojtkunskij, J. I., Peršic, R. J., Titov, I. A., Spravočnik po teorii korablja, Leningrad, Sudostroenie, 1973.

66. Djačkov, M. A., Issledovanie bortovoj kački i drnjfa plavučega doka stojaščega na jakorijali, Autoref kand. Dis, Odessa, 1964.

67. Muru, N. P., Plavučesti i ostojčivosti sudna, Leningrad, Sudostroenie, 1985.

68. Pevzner, L. B., Balašov, B. V., Tolčinskj, I. P., K rasčetii navala Plavučego doka na paly, Traly koordinacionyh sovšanij po gidrotehnike, 2005.

69. Simakov, G. V., Mrčenko, D. V., Šhinekk, I., Teoretičeskie u eksperimentalnije issledovanija izajmodejstvija sudov s pregrabami, Izdatelstvo Leningradskogo universiteta, Leningrad, 1979.

70. Smonenko, A. S., Gruzovye ustrojstva suhogruznyh sudov, Leningrad, Sudostroenie, 1999.

Članci*, studije, elaborati i priručnici:

71. Alderton, P.H., When to Lay-up: The Theory and Practice, Transport Discussion Paper PDB, City of London Polytechnic, London, 1988.

72. Amanović, S.-Božičević, S., Optimizacija prometne tehnologije postupkom matematičkog i statističkog modeliranja, Suvremeni promet, Zagreb, 1999., vol. 19, no. 3-4, str.322.

73. Buxton, I.L., Engineering Economics and Ship Design, The British Shipping Research Association-BSRA, Walsend, 1971.

74. Chernjawski, M., Mooring of Surface Vessels to Piers, Marine Technology, vol. 17, no.1, 1980., str. 1-7.

75. Čorić, V. i dr., Upgrading of Semisubmersible Offshore Platform Zagreb, for Deeper Sea, Brodogradnja, 47, Zagreb, 1999., str. 356-368.

76. Davies, M. E.,-Miller,B.L., Wind Effects on Offshore Platforms - A Summary of Wind Tunnel Studies, National Maritime Institute, Feltham, 1982.

77. Drobal, M., Neke specifičnosti ponašanja bure na području aerodroma Dubrovnik, Jadranska meteorologija, Stručno znanstveni časopis iz pomorske meteorologije i ekologije, vol. 1, 2006., str. 10-24.

78. Giergraf, M., Practical Aspects of Dock Fender Design, Proceedings of the Twenty-fourth Congress, PIANC, SII-4, Leningrad, 1977.

79. Hogben, N.- Standing R.G., Wave Loads on Large Bodies, Proc. International Symposium on the Dynamics of Marine Vehicles and Structures in Waves, University College, London, 1974.

80. Kaplan, P., Hydrodynamic Analyses Applied to a Mooring and Positioning of Vehicles and Systems in a Seaway, 8th Symposium on Naval Hydrodynamics, Pasadena, 1970., 1017-1081.

81. Klemp, J.B.-Durran, D. R., Numerical Modeling of Bora Winds, Meteorology and Atmospheric Physics 36, 1987., str. 215-227.

82. Kos, S.-Zorović, D., Prilog istraživanju numeričkog izračunavanja djelovanja sile valova na brod, Zbornik radova Pomorskog fakulteta, Pomorski fakultet Rijeka, Rijeka, br. 9, 1995.

83. Kozmar, H., Džijan,I., Šavar,M., Jednolikost modela atmosferskog graničnog sloja u zračnom tunelu, Strojarstvo, br. 5,6, 2005., str. 157-167.

84. Nonnecke, E., Izbor glavnih dimenzija teretnog broda, Brodogradnja, 8, 1954., str.4.

85. Petković, I., Dijagram stabiliteta broda za uzdužno poprečne nagibe i vožnju na uzdužnim valovima, Brodogradnja, 19, 1968., 1-6.

86. Petković, I., Pregled proračunatih numeričkih vrijednosti krivulja brzina i pritisaka vjetra iznad morske razine, Hidrografski godišnjak, Split, 1962., str. 103-118.

87. Petković, I., Proračun sile olujnog vjetra na teretni brod privezan na obali u Kaštel Sućurcu, Brodogradnja, 32, 1984., 1.

88. Petković, I., Proračunavanje momenata pritiska bočnog vjetra na brod, Brodogradnja, 11, 1960., 1.

89. Senjanovi, I.-Ćorić,V., Analiza čvrstoće priveznog sistema broda u plitkim lukama, Brodogradnja, 35-36, Zagreb, 1987., 4,5,6, str. 203-211, 271-284. Shipping of the United Kingdom, Wallsend, 1969.

90. Standing, R. G., National Maritime Institute, Use of Wave Diffraction Theory with Morison's Equation to compute Wave Roads and Motioning of Offshore Structures, Feltham, 1980.

91. Tabain, T., O prosuđivanju stabilnosti brodova na dinamičkoj osnovi, Brodogradnja, 12, 1961., 2.

92. Tabain, T., Prijedlog standarda stanja mora za Jadran, Brodogradnja, 25, 1974., 3-4.

93. Tabain, T., Standard Wind Wave Spectrum for the Adriatic Sea Revisited, Brodogradnja, 45, 1997., str. 303-313.

94. Tauzović, J., Korištenje računara u brodarstvu, Naše more, 35, 1988., 5-6.

95. The British Research Association, Research Investigation for the Improvement of Ship Mooring Methods, Second Report, Chamber of Permanent Int. Ass. of Navigation Congresses-PIANC, Brussels, 1981.

96. The British Ship Research Association, Research Investigation for the Improvement of Ship Mooring Methods, First Report, Chambers of Shipping of the United Kingdom, Walsenn, 1967.

97. Tielleman,H.W., Wind Tunnel Simulation of Wind Loading on Low-rise Structures, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 91, 2003., 1627-1649.

98. Uršić,J., Gibanje broda na valovima, Brodogradnja, 7, 1956., 4,5,6.

99. Uršić,J., Određivanje prirode valjanja broda u mirnoj vodi, Brodogradnja, 6, 1955., 2.

100. Zorović, D. i ostali, Prilog određivanju odnosa duljine i periode valovlja Jadranskog mora, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2002.

101. *** Anchoring Systems and Procedures for Large Tankers, Oil Companies International Marine Forum-OICMF, London, 1994.

102. *** Approach Channels, Preliminary Guidelines, First Report of the joint Working Group PIANC and IAPH, in cooperation with IMPA and IALA Supplement to Bullettin No. 87, Permanent International Assotiation of Navigation Congresses-PIANC, Brussels, 1995.

103. *** Capability of Ship Manoeuvring Simulation Models for Approach Channels and Fairways in Harbours, Report of Working Group No. 20, Permanent Int. Ass. of Navigation Congresses-PIANC, Brussels, 1992.

104. *** Disabled Tankers, Report of Studies on Ship Drift and Towage, Oil Companies International Marine Forum-OCIMF, Whiterby & Co. Ltd., London, 1981.

105. *** Drift Characteristics of 50.000 to 70.000 DWT Tankers, Oil Companies International Marine Forums-OICMF, Whiterby & Co. Ltd., London, 1982.

106. *** Dry Docks; Report of Study Commission within the Framework of Permanent Tehnical Comitee II, Permanent Int. Ass. of Navigation Congresses-PIANC, Brussels, 1988.

107. *** Effective Mooring, Oil Companies International Marine Forum-OCIMF, Whiterbys & Co. Ltd., London, 1989.

108. *** Final Report of the 3rd International Commission for the Studies of Waves, Supplement to Bulletin no. 36, Permanent International Assotiation of Navigation Congresses-PIANC, Brussels, 1980.

109. *** Guidelines for the Design of Armoured Slopes under Open Piled Quay Walls, Report of Working Group no. 22, Supplement to bulletin no. 96, Permanent International Assotiation of Navigation Congresses-PIANC, Brussels, 1997.

110. *** Guidelines on the Use of High-modules Synthetic Fibre Ropes as Mooring Lines on Large Tankers, Whiterby & Co. Ltd., London, 2002.

111. *** Inland & Maritime Waterways & Port Designs-Construction- Operation, Inland Waterways and Ports, Volume I,II, Permanent International Association of Navigation Congresses-PIANC, Pergamon Press, Oxford, 1981.

112. *** International Commission for the Reception of Large Ships, Report of Working Group IV, Optimal Lay-out and Dimensions for the Adjustment to Large Ships of Maritime Fairways in Shallow Seas, Seastraits and Maritime Waterways.

113. *** International Commission for the Reception of Large Ships, Report of Working Group V, Technical and Economic Aspects of Artificial Offshore Islands for the Reception on Large Ships, Permanent Int. Ass. of Congresses, Brussels, 1977.

114. *** International Commission for the Reception of Large Ships; Report of Working Group II; Method of Analysing Wind, Waves and Swell Data to Estimate on an Annual Basis the Number of Days, and the Maximum Duration of Periods during which Port and Ship Operations will be impeded by the Elements, Permanent Int. Association of Navigation Congresses-PIANC, Brussels, 1979.

115. *** International Navigation Association; Life Cycle Management of Port Structures, General Principles, Report of Working Group No. 31, Brussels, 1998.

116. *** Mooring Equipment Guidelines, Oil Companies International Marine Forum-OCIMF, Whiterby & Co. Ltd., London, 1997.

117. *** Recommendation for Ships Fittings for use with Tugs, Oil Companies Int. Marine Forum-OICMF, Whiterby & Co. Ltd., London, 2002.

118. *** Single Point Mooring Maintenance and Operation Guide, Oil Companies Int. M. F.-OICMF, Whiterby & Co. Ltd., London, 1995.

Konvencije i propisi:

119. British Standard Code of Practice for Maritime structures, Part 3. Design of Dry Docks, Locks, Slipways and Shipbuilding Berths, Shiplifts and Dock and Lock Gates, British Standard Institution, 1988.

120. British Standard Code of Practice for Maritime Structures, Part 4. Code of Practices for Design of Fendering and Mooring Systems, British Standard Institution, 1984.

121. British Standard Code of Practice for Maritime Structures, Part 6. Design of Inshore Moorings and Floating Structures, British Standard Institution, 1984.

122. Međunarodna konvencija o zaštiti morskog okoliša, združeni tekst. Konvencije MARPOL 1973., MARPOL protokola 1978., Konsolidirani tekst 2002., International Maritime Organization, London, 2002.

123. Međunarodna konvencija o zaštiti ljudskih života na moru, združeni tekst. Konvencije SOLAS 1974., SOLAS protokola 1988., Konsolidirani tekst 2001., International Maritime Organization, London, 2001.

124. Pravila za tehnički nadzor pomorskih brodova (DIO 1. – OPĆI PROPISI), Hrvatski registar brodova, Split, 1999.

125. Pravila za tehnički nadzor pomorskih brodova (DIO 2. – TRUP), Hrvatski registar brodova, Split, 1999.

126. Pravila za tehnički nadzor pomorskih brodova (DIO 3. – OPREMA TRUPA), Hrvatski registar brodova, Split, 1999.

127. Pravila za tehnički nadzor pomorskih brodova (DIO 4. – STABILITET), Hrvatski registar brodova, Split, 1999.

Ostali izvori (enciklopedije, leksikoni, upute i drugi izvori):

128. Odrednica: *Brod*, Pomorska enciklopedija, svezak 1, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1972.

129. Odrednica: *Brodogradilište*, Pomorska enciklopedija, svezak 1, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1972.

130. Odrednica: *Brodogradnja*, Pomorska enciklopedija, svezak 1, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1972.

131. Odrednica: *Brodovi, specijalni*, Pomorska enciklopedija, svezak 1, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1972.

132. Odrednica: *Dno mora*, Pomorska enciklopedija, svezak 2, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1975.

133. Odrednica: *Dok*, Pomorska enciklopedija, svezak 2, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1975.

134. Odrednica: *Eksperimentalno istraživanje svojstava broda*, Pomorska enciklopedija, svezak 2, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1975.

135. Odrednica: *Konstrukcija broda*, Pomorska enciklopedija, svezak 3, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1976.

136. Odrednica: *Lanac, sidreni brodski*, Pomorska enciklopedija, svezak 4, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1978.

137. Odrednica: *Luka*, Pomorska enciklopedija, svezak 4, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1978.
138. Odrednica: *Morske struje*, Pomorska enciklopedija, svezak 5, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1981.
139. Odrednica: *Morske mijene*, Pomorska enciklopedija, svezak 5, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1981.
140. Odrednica: *Palubni strojevi*, Pomorska enciklopedija, svezak 5, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1981.
141. Odrednica: *Platforma za bušenje morskog dna*, Pomorska enciklopedija, svezak 6, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1983.
142. Odrednica: *Privezi*, Pomorska enciklopedija, svezak 6, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1983.
143. Odrednica: *Projektiranje broda*, Pomorska enciklopedija, svezak 6, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1983.
144. Odrednica: *Rentabilnost u morskom brodarstvu*, Pomorska enciklopedija, svezak 6, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1983.
145. Odrednica: *Sidreni lanci*, Pomorska enciklopedija, svezak 7, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1985.
146. Odrednica: *Stabilitet*, Pomorska enciklopedija, svezak 7, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1985.
147. Odrednica: *Tehnologija, morska*, Pomorska enciklopedija, svezak 8, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1989.
148. Odrednica: *Valovi*, Pomorska enciklopedija, svezak 8, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1989.
149. Odrednica: *Vibracije*, Pomorska enciklopedija, svezak 8, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1989.
150. Odrednica: *Vjetar*, Pomorska enciklopedija, svezak8, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1989.
151. Odrednica: *Brod*, Tehnička enciklopedija, svezak 2, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1966.
152. Odrednica: *Brodogradilište*, Tehnička enciklopedija, svezak 2, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1966.
153. Odrednica: *Brodogradnja*, Tehnička enciklopedija, svezak 2, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1966.
154. Odrednica: *Dok*, Tehnička enciklopedija, svezak 3, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1969.

155. Odrednica: *Plovni putovi*, Tehnička enciklopedija, svezak 10, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1986.

156. Odrednica: *Stohastički procesi*, Tehnička enciklopedija, svezak 12, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1992.

POPIS TABLICA

R.br.	Naziv tablice	Stranica
Tablica 1.	Koeficijenti trenja za hrastovinu	42
Tablica 2.	Koeficijent dopuštenog naprezanja na savijanje (φ) ovisno o elastičnosti podupirača (λ)	47
Tablica 3.	Posebni slučajevi dokovanja	92
Tablica 4.	Struktura dokovanih brodova od 1984. do 2014. godine	93
Tablica 5.	Referentni podaci za dokovane brodove iz uzorka − dokovanje brodova s bočnim nagibom	113
Tablica 6.	Referentni podaci za dokovane brodove iz uzorka − dokovanje trimovanih brodova	123
Tablica 7.	Referentni podaci za dokovane brodove iz uzorka − istovremeno dokovanje dva brodova u uzdužnici doka	133
Tablica 8.	Referentni podaci za dokovane brodove iz uzorka − istovremeno dokovanje triju brodova u uzdužnici doka	136
Tablica 9.	Dokovanje četiriju brodova u uzdužnici doka	139
Tablica 10.	Referentni podaci za dokovane brodove iz uzorka − dokovanje dvaju brodova izvan uzdužnice doka	145
Tablica 11.	Referentni podaci iz uzorka djelomičnog dokovanja broda	156
Tablica 12.	Struktura djelomičnog dokovanja brodova	156

POPIS SLIKA

R.br.	Naziv slike	Stranica
Slika 1.	Suhi dok u Becholmenu u okolici Stocholma	7
Slika 2.	Princip dokovanja u suhom doku pomoću pontona	7
Slika 3.	Plutajući dok u Veneciji 1560. godina	8
Slika 4.	Suhi dok u Portsmouthu	8
Slika 5.	Drveni plutajući dok u brodogradilištu *Arsenale* u Veneciji	9
Slika 6.	Suhi dok (tlocrt i poprečni presjek)	11
Slika 7.	Vrste vrata suhog doka	11
Slika 8.	Plutajuća vrata	12
Slika 9.	Oprema suhog doka	13
Slika 10.	Francuski i engleski tip doka	13
Slika 11.	Oprema plutajućeg doka	14
Slika 12.	Plutajući dok “L” tipa	16
Slika 13.	Češljasti glavni pontonski dok	17
Slika 14.	Sekcijski dok	19
Slika 15.	Plutajući dok tipa Clark/Stanfield	19
Slika 16.	Dok tipa *Havana*	20
Slika 17.	Dok tipa *Rennie*	20
Slika 18.	Dok s izvlačnim pontonima	21
Slika 19.	Vrste dokova s obzirom na način balastiranja	22
Slika 20.	Momenti otpora tornjeva doka	26
Slika 21.	Osnovne metode polaganja sidrenih lanaca	29
Slika 22.	Načini smještaja doka uz operativnu obalu	29
Slika 23.	Prikaz geometrije fleksibilne lančanice	31
Slika 24.	Prikaz geometrije dvostrane fleksibilne lančanice pri djelovanju vanjske horizontalne sile	33
Slika 25.	Prikaz geometrije dvostrane fleksibilne lančanice pri promjeni razine vode	35
Slika 26.	Opći plan dokovanja	38

Slika 27.	Osnovni elementi plana dokovanja	40
Slika 28.	Drvena potklada	41
Slika 29.	Kombinirana betonsko-drvena potklada	43
Slika 30.	Pješčana potklada	44
Slika 31.	Proračun potklada i podupirača	46
Slika 32.	Smještaj potklada prilikom rada na kobilici broda	48
Slika 33.	Moguće deformacije na oplati broda zbog reakcije potklada i podupirača	49
Slika 34.	Raspored bočnih i centralnih potklada za posebno široke brodove	50
Slika 35.	Standardizirana potklada za jedrenjake	50
Slika 36.	Potklada za jedrenjake u slučaju radova na kobilici	51
Slika 37.	Podupirači za jedrenjake	51
Slika 38.	Podupirači za jedrenjake na pramcu i krmi	52
Slika 39.	Potklade i način postavljanja katamarana u plutajući dok	53
Slika 40.	Privez broda u doku	55
Slika 41.	Smještaj manjih brodova u plutajući dok pomoću vitla na tornjevima doka	55
Slika 42.	Shema priveza više brodova u plutajućem doku	56
Slika 43.	Elementarne točke stabilnosti plutajućeg doka	62
Slika 44.	Karaktristične vodene linije pri dokovanju/izdokovanju broda	64
Slika 45.	Prikaz karakterističnih krivulji pojedinih elemenata stabilnosti sustava dok-brod za različite vodene linije	65
Slika 46.	Proračun stabilnosti za VLT – dok uronjen da bi brod mogao uploviti	72
Slika 47.	Proračun stabilnosti za VL1 – brod upravo naliježe na potklade	74
Slika 48.	Brod je upravo potpuno izronio iz vode	76
Slika 49.	Paluba doka neposredno pred izranjanje iz vode	77
Slika 50.	Paluba doka neposredno nakon izranjanja iz vode	79
Slika 51.	Dok je izronio do planiranog gaza tijekom boravka broda u doku	80
Slika 52.	Dok je izronjen do uobičajene vodene linije za prazan dok	82
Slika 53.	Pomak sustavnog težišta i trim doka uslijed dokovanja broda	83
Slika 54.	Stabilnost nagnutog broda pri dokovanju	87

Slika 55.	Dok 9 – dimenzije i kapacitet tankova	91
Slika 56.	Osnovni konceptualni model općeg dokovanja	95
Slika 57.	Opći konceptualni model postupka izdokovanja	98
Slika 58.	Konceptualni model definiranja vrste dokovanja	101
Slika 59.	Konceptualni model određivanja parametara dokovanja	103
Slika 60.	Dio konceptualnog modela određivanja parametara stabilnosti pri općem slučaju dokovanja broda u uzdužnici doka	106
Slika 61.	Konceptualni model određivanja postupka dokovanja	108
Slika 62.	Dio konceptualnog modela s postupkom pozicioniranja broda	110
Slika 63.	Prikaz veličine pomaka centriranja broda s poprečnim nagibom	112
Slika 64.	Dio konceptualnog modela određivanja parametara stabilnosti pri dokovanju nagnutog broda	118
Slika 65.	Dokovanje trimovanog broda	119
Slika 66.	Stabilnost trimovanog broda pri dokovanju	120
Slika 67.	Dio konceptualnog modela određivanja parametara stabilnosti pri dokovanju trimovanog broda	128
Slika 68.	Dokovanje više brodova u uzdužnici doka	129
Slika 69.	Pomak sustavnog težišta i trim doka uslijed dokovanja više brodova u uzdužnici	130
Slika 70.	Dio konceptualnog modela određivanja parametara stabilnosti pri dokovanju više brodova u uzdužnici doka	141
Slika 71.	Položaj dvaju brodova u doku kod dokovanja izvan uzdužnice	142
Slika 72.	Stabilnost doka kod dokovanja dvaju brodova izvan uzdužnice doka	143
Slika 73.	Dio konceptualnog modela određivanja parametara stabilnosti pri dokovanju više brodova (dva broda) izvan uzdužnice doka	150
Slika 74.	Djelomično dokovanje broda	151
Slika 75.	Prikaz parametara djelomičnog dokovanja broda	155
Slika 76.	Dio konceptualnog modela određivanja parametara stabilnosti pri djelomičnom dokovanju broda	158

POPIS GRAFIKONA

R.br.	Naziv grafikona	Stranica
Grafikon 1.	Približno opterećenje broda u doku	23
Grafikon 2.	Uzdužno opterećenje doka	24
Grafikon 3.	Grafički proračun uzdužne čvrstoće	25
Grafikon 4.	Poprečna čvrstoća plutajućeg doka	27
Grafikon 5.	Poprečno opterećenje doka	28
Grafikon 6.	Plovnost praznog doka	58
Grafikon 7.	Plovnost doka s brodom	58
Grafikon 8.	Raspored težina i sila uzgona	61