

# Model manevriranja brodom u ograničenim plovnim područjima u funkciji sigurnosti i zaštite morskog okoliša

---

**Mohović, Robert**

**Doctoral thesis / Disertacija**

**2002**

*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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:188:646282>

*Rights / Prava:* [Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-30**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka Library - SVKRI Repository](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET  
**RIJEKA**

**Mr.sc. Robert Mohović**

MODEL MANEVRIRANJA BRODOM  
U OGRANIČENIM PLOVNIM PODRUČJIMA U FUNKCIJI  
SIGURNOSTI I ZAŠTITE MORSKOG OKOLIŠA

**DOKTORSKA DISERTACIJA**

**Rijeka, 2002.**

Doktorska disertacija pod naslovom «Model manevriranja brodom u ograničenim plovnim područjima u funkciji sigurnosti i zaštite morskog okoliša» obranjena je na Pomorskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci dana 28. prosinca 2002. godine pred Stručnim povjerenstvom u sastavu:

1. Dr.sc. Dinko Zorović, redoviti profesor Pomorskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci
2. Dr.sc. Pavao Komadina, redoviti profesor Pomorskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci
3. Dr.sc. Livij Jakomin, redoviti profesor Fakulteta za pomorstvo in promet Portorož, Univerze v Ljubljani
4. Dr.sc. Duško Vranić, redoviti profesor Pomorskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci

## SAŽETAK

U ovoj doktorskoj disertaciji sustavno su sagledane interakcijske sprege u sustavu manevriranja brodom, prikazani utjecajni čimbenici koji djeluju u sustavu te je izvršena analiza njihovih utjecaja i međudjelovanja. Temeljem takvih spoznaja definiran je algoritam modela manevriranja brodom i konceptualni model sustava kao i model pojedinačnog manevra.

Analizirani su i utvrđeni uvjeti izrade modela sustava manevriranja. Utvrđene su međuzavisnosti između čimbenika koji se javljaju u sustava u obliku funkcionalnih veza između pojedinih parametara na način koji je omogućio izradu konceptualnog modela manevriranja brodom te algoritam odlučivanja o načinu provedbe manevra. U radu je utvrđena funkcionalna zavisnost između parametara koji opisuju trgovački brod uobičajene veličine i obilježja te parametara kojima se opisuju veličine utjecaja okoliša i tehnologije prihvata brodova odnosno lučke infra- i suprastrukture. Izvedena je sustavna prosudba svih postupaka i radnji koje čine manevar priveza i odveza broda sa stajališta sigurnosti ljudi, broda i njegovog tereta odnosno obale i obalnih postrojenja. Analizirano je i ocijenjeno međudjelovanje bitnih čimbenika u dinamičkom okruženju te je ocijenjeno djelovanje tih istih čimbenika pojedinačno na opću razinu sigurnosti i zaštitu morskog okoliša. Mijenjanjem uvjeta odnosno ulaznih veličina kao i varijabli u modelu moguće je sagledati utjecaj tih promjena na vrijednosti izlaznih rezultata.

Model pojedinačnog manevra sadrži posebno definirane faktore sigurnosti i ograničenja s ciljem zadovoljavanja općeg stupnja sigurnosti tijekom izvođenja manevra, a može se koristiti kao ekspertni sustav odlučivanja pri planiranju broja i obilježja tegljača te tehnoloških ograničenja u lučkim sustavima. Ovim modelom proračunate su vrijednosti ukupne vanjske sile koja djeluje na brod, udarne energije broda pri pristajanju te potrebne sile vuče za zaustavljanje broda na određenom zaustavnom putu odnosno potrebni zaustavni put za određenu vučnu silu tegljača. Proračuni su prilagođeni trodimenzionalnom načinu prikaza rezultata na način da je dio varijabli fiksiran, a dio ih se mijenja u određenim realnim granicama. Proračuni su izvedeni za brodove za prijevoz generalnog tereta, brodove za prijevoz tekućeg tereta i brodove za prijevoz rasutih tereta.

Korištenjem modela sustava manevriranja brodom kao i modela pojedinačnog manevra moguće je u daljnjim istraživanjima utvrditi optimizacijske funkcije odnosno uvjete koje valja zadovoljiti optimalnim rješenjem sa stajališta upravljanja pojedinim bitnim čimbenicima, a imajući u vidu zadovoljavajući stupanj sigurnosti i zaštitu morskog okoliša.

Rezultati i spoznaje dosegnuti u radu omogućavaju sustavno planiranje razvoja pojedinih službi koje sudjeluju u procesu manevriranja trgovačkih brodova. Predloženi pristup problemu omogućava postavljanje jedinstvenih i znanstveno utemeljenih kriterija i metodologije izrade maritimnih studija u konkretnim lučkim područjima.

**Ključne riječi:** sustav manevriranja brodom, međudjelovanje utjecajnih čimbenika u sustavu manevriranja brodom, konceptualni model i algoritam provedbe procesa u sustavu manevriranja brodom, model pojedinačnog manevra s faktorima sigurnosti i ograničenjima, sigurnost plovidbe i zaštita morskog okoliša

## SUMMARY

The Ph.D. thesis aims at analyzing systematically the interactive obstacles that appear within the ship's manoeuvring system, at presenting influential factors acting in the system and at analyzing their influences and mutual effects. Based on such conceptions the algorithm of the ship's manoeuvring model, the conceptual model of the system and the single manoeuvring model have been defined.

The conditions for designing the ship's manoeuvring model are determined and analyzed. The mutual dependence between the factors appearing in the system as functional connections between particular parameters thus enabling the design of the conceptual ship's manoeuvring model are determined, as well as the decision-making algorithm on the way the manoeuvre is to be carried out. The thesis aims at presenting the functional dependence between parameters describing a merchant ship of standard dimensions and characteristics and those describing how great the influence of the environment and the ships' accommodation technology is, that is the influence of the port infra- and superstructure. A systematic analysis of all procedures and operations regarding berthing and unberthing has been made in terms of the safety of the crew, of the whole ship and of her cargo, of the shore and the shore-based equipment. The interaction of important factors in the dynamic environment has been analyzed, and their single impact on the general level of the marine environment safety and protection has been evaluated. By changing the conditions or the input data and the variables within the model, it is possible to analyze the influence that these changes have on the output results.

The single manoeuvring model includes specially defined safety factors and restrictions aimed at meeting the general level of safety during the manoeuvring procedure, but it can also be used as an expert decision-making system when planning the number and characteristics of tugs as well as the technological restrictions in the port systems. This model has evaluated the values of all the external forces affecting the ship, of the ship's striking energy when berthing, of the necessary towing force needed to stop the ship at a particular stopping distance, that is of the necessary stopping distance needed for the particular tugboat towing force. The calculations are adapted to the threedimensional presentation of the results obtained so that a part of the variables is fixed, while the other part is changing within specific real limits. These calculations have been made for general, bulk and liquid cargo ships.

By using the ship's manoeuvring model and the single manoeuvring model as well, it is possible, in further researches, to determine the optimizing functions and conditions to be met by optimum solutions in terms of controlling particular important factors, taking into account the adequate level of the marine environment safety and protection.

The results obtained and the conceptions formed in this research make the systematic development planning of particular services involved in the merchant ships' manoeuvring procedure possible. The proposed approach to this problem provides opportunities to establish uniform and scientifically founded criteria and methodology for making maritime studies of specific port areas.

**Key words:** ship's manoeuvring system, interaction of influential factors in the ship's manoeuvring system, conceptual model and algorithm of carrying out the process in the ship's manoeuvring system, single manoeuvring model with the safety factors and restrictions, safety of navigation and marine environment protection.

## SADRŽAJ

<b>1</b>	<b>UVOD</b> .....	<b>1</b>
1.1	OBRAZLOŽENJE TEME DOKTORSKE DISERTACIJE I DEFINICIJA PROBLEMA ISTRAŽIVANJA I	
1.2	CILJEVI ISTRAŽIVANJA I RADNE TEZE DOKTORSKE DISERTACIJE.....	2
1.3	DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA.....	4
1.4	PRIKAZ METODA ISTRAŽIVANJA.....	5
1.5	STRUKTURA RADA.....	5
<b>2</b>	<b>SUSTAV MANEVIRANJA BRODOM</b> .....	<b>8</b>
2.1	POJAM I CILJ MANEVIRANJA BRODOM.....	8
2.2	TEHNOLOGIJA MANEVIRANJA BRODOM.....	10
2.3	SUSTAV MANEVIRANJA BRODOM – UTJECAJNI ČIMBENICI.....	14
2.4	O MODELU SUSTAVA MANEVIRANJA BRODOM.....	16
<b>3</b>	<b>UTJECAJ OKOLIŠA NA MANEVIRANJE BRODOM</b> .....	<b>19</b>
3.1	USTROJ, TEHNOLOŠKA OBILJEŽJA LUKE I ZNAČAJKE PRILAZNOG PODRUČJA.....	19
3.2	METEOROLOŠKA I OCEANOGRAFSKA OBILJEŽJA LUKE I PRILAZNOG PODRUČJA.....	30
3.2.1	<i>Vjetar</i> .....	32
3.2.2	<i>Valovi</i> .....	34
3.2.3	<i>Morske struje</i> .....	39
3.3	MARITIMNA OBILJEŽJA LUKE.....	40
3.4	VELIČINA I STRUKTURA PROMETA U AKVATORIJU.....	41
3.5	NAVIGACIJSKA OBILJEŽJA PRILAZNOG PODRUČJA.....	41
<b>4</b>	<b>ORGANIZACIJSKO–TEHNOLOŠKA PODRŠKA MANEVIRANJU BRODOVA</b> .....	<b>47</b>
4.1	SUSTAV NADZORA I UPRAVLJANJA POMORSKOM PLOVIDBOM.....	47
4.2	USTROJ PELJARSKE SLUŽBE.....	49
4.3	PRIVEZIVAČKA SLUŽBA.....	51
4.4	ORGANIZACIJA SLUŽBE TEGLJENJA.....	51
4.5	LUČKA KAPETANIJA.....	52
4.6	DJELATNOST LUČKE UPRAVE.....	53
<b>5</b>	<b>UTJECAJ TEHNIČKO-TEHNOLOŠKIH OBILJEŽJA BRODA I TEGLJAČA NA</b> <b>MANEVIRANJE BRODOM</b> .....	<b>55</b>
5.1	UTJECAJ TEHNIČKO-TEHNOLOŠKIH OBILJEŽJA BRODOVA.....	55
5.2	UTJECAJ TEHNIČKO-TEHNOLOŠKIH OBILJEŽJA TEGLJAČA.....	69
<b>6</b>	<b>LJUDSKI FAKTOR – UTJECAJ NA USPJEŠNOST MANEVIRANJA BRODOM</b> .....	<b>79</b>
6.1	POSADA BRODA – NAOBRAZBA, UVJEŽBANOST I USTROJ RADA.....	81
6.2	SLUŽBA NADZORA I UPRAVLJANJA POMORSKOM PLOVIDBOM.....	83
6.3	PELJARI I PELJARSKA SLUŽBA.....	84
6.4	ZAPOVJEDNIK I POSADA TEGLJAČA.....	84
6.5	PRIVEZIVAČI I NJHOVA UVJEŽBANOST.....	85
6.6	DJELATNICI LUČKIH KAPETANIJA I LUČKIH UPRAVA.....	85

<b>7</b>	<b>SIGURNOSNI UVJETI I OGRANIČENJA PRI MANEVRIRANJU BRODOM I TIJEKOM BORAVKA BRODA NA MJESTU PRIVEZA .....</b>	<b>87</b>
7.1	UTJECAJ VJETRA, MORSKIH STRUJA I VALOVA NA BROD .....	89
7.1.1	<i>Utjecaj vjetra na brod.....</i>	89
7.1.2	<i>Utjecaj morske struje na brod.....</i>	92
7.1.3	<i>Utjecaj valova na brod.....</i>	94
7.2	POTREBNA ŠIRINA PLOVNOG PUTA I ODREĐIVANJE POTREBNE DUBINE MORA NA PRILAZNIM PLOVNIM PUTOVIMA I MJESTU PRIVEZA .....	95
7.3	ODREĐIVANJE UDARNE ENERGIJE I PRILAZNE BRZINE BRODA PRI PRISTAJANJU.....	96
7.4	ANALIZA DJELOVANJA I KORIŠTENJA SIDRENE I PRIVEZNE OPREME BRODA.....	103
7.5	ANALIZA DJELOVANJA PORIVNIKA I KORMILA .....	108
7.6	LUČKO TEGLJENJE - INTERAKCIJA BRODA I TEGLJAČA .....	111
7.7	OPĆE MJERE SIGURNOSTI TIJEKOM MANEVRIRANJA I BORAVKA BRODA NA MJESTU PRIVEZA .....	117
7.7.1	<i>Međudjelovanje osnovnih čimbenika tijekom manevriranja broda.....</i>	119
7.7.2	<i>Međudjelovanje osnovnih čimbenika tijekom boravka broda na mjestu priveza.....</i>	120
<b>8</b>	<b>MODEL SUSTAVA MANEVRIRANJA BRODOM .....</b>	<b>127</b>
8.1	POSTUPAK RAZVIJANJA MODELA SUSTAVA MANEVRIRANJA.....	127
8.1.1	<i>Definiranje ulaznih podataka i graničnih uvjeta.....</i>	128
8.1.2	<i>Definiranje algoritma modela sustava manevriranja brodom i definiranje vremena trajanja pojedinih procesa u modelu.....</i>	134
8.1.3	<i>Izlazni podaci i ocjena (evaluacija) rezultata .....</i>	145
8.2	MODEL POJEDINAČNOG MANEVRA.....	148
8.2.1	<i>Modeliranje utjecaja vjetra, morske struje i valova na brod.....</i>	149
8.2.2	<i>Definiranje faktora sigurnosti .....</i>	150
8.2.3	<i>Definiranje modela pojedinačnog manevra.....</i>	152
8.2.4	<i>Rezultati dobiveni modelom pojedinačnog manevra i njihova analiza .....</i>	156
<b>9</b>	<b>UKUPNOST UTJECAJA MANEVRIRANJA BRODOM NA SIGURNOST I ZAŠTITU MORSKOG OKOLIŠA.....</b>	<b>161</b>
9.1	CILJEVI PROCJENE OPASNOSTI.....	161
9.2	VREMENSKA RAZDIOBA .....	161
9.3	ODREĐENJE POJMA OPASNOG DOGAĐAJA .....	162
9.4	POMORSKI RIZIK I NJEGOVA PROCJENA .....	163
9.5	PRIKUPLJANJE VJERODOSTOJNIH PODATAKA O AKCIDENTIMA.....	165
9.6	PROSUDBA UČESTALOSTI POMORSKE NEZGODE.....	166
9.7	PROSUDBA OPASNOSTI PREMA VRSTAMA NEZGODA .....	167
9.7.1	<i>Materijalne štete, ozljede, ugrožavanje zdravlja ili gubitak života.....</i>	167
9.7.2	<i>Potomuće .....</i>	168
9.7.3	<i>Nasukanje.....</i>	168
9.7.4	<i>Sudar i udar .....</i>	170
9.7.5	<i>Požar i eksplozija.....</i>	170
9.7.6	<i>Oštećenja trupa i strojeva.....</i>	171
9.7.7	<i>Osnovna obilježja pomorskih nezgoda s obzirom na mogućnost onečišćenja mora i priobalja.....</i>	172
9.8	MJERE I POSTUPCI NADZORA OPASNOSTI I ZAŠTITE MORA I PRIOBALJA .....	173

9.8.1	<i>Mjere umanjivanja opasnosti u slučaju oštećenja trupa i/ili kvara stroja i njihovih posljedica.....</i>	175
9.8.2	<i>Mjere umanjivanja opasnosti od požara i eksplozije i njihovih posljedica .....</i>	176
9.8.3	<i>Mjere umanjivanja opasnosti od nasukanja odnosno njegovih posljedica .....</i>	177
9.8.4	<i>Mjere umanjivanja opasnosti od sudara i udara odnosno njihovih posljedica</i>	177
9.9	ZAKLJUČNA RAZMATRANJA.....	178
<b>10</b>	<b>ZAKLJUČAK.....</b>	<b>179</b>
	LITERATURA	
	POPIS SLIKA	
	POPIS TABLICA	
	POPIS SIMBOLA	



## 1 UVOD

U uvodu ove doktorske disertacije obrazložena je tema te definiran problem istraživanja, prikazani su ciljevi istraživanja i postavljene radne teze. Osim toga ukratko su prikazana dosadašnja istraživanja iz ovog područja, nabrojene znanstvene metode koje su se koristile pri istraživanju, a prikazana je i struktura rada s kratkim opisom sadržaja poglavlja.

### 1.1 OBRAZLOŽENJE TEME DOKTORSKE DISERTACIJE I DEFINICIJA PROBLEMA ISTRAŽIVANJA

Osnovna tema ove doktorske disertacije je analiza bitnih čimbenika koji utječu na manevriranje brodom te prosudba njihovog međudjelovanja. Cilj rada je definiranje konceptualnog modela sustava manevriranja brodom te postavljanje modela pojedinačnog manevra, a sve u svrhu moguće optimizacije sustava.

Pritom se sustav manevriranja brodom razmatra prvenstveno sa stajališta sigurnosti plovidbe i zaštite morskog okoliša. Predmet istraživanja je prvenstveno manevriranje trgovačkih brodova uz korištenje tegljača. Manevriranje manjih brodova i brodova kojima nije potrebna pomoć tegljača razmatra se samo načelno u okviru općih razmatranja.

Manevriranje brodom može se definirati kao skup sustavnih aktivnosti koje se provode u cilju izvođenja uspješnog priveza, odveza ili drugog manevra. Osnovni čimbenici mogu se svrstati u sljedeće skupine: brod i članovi posade, akvatorij luke te osobe i službe koje djeluju u sustavu manevriranja. U posebnu skupinu valja uvrstiti i vanjske, prirodne čimbenike. Uspješnost manevra ogleda se u stupnju sigurnosti koji je postignut tijekom manevra, angažiranim sredstvima, kao i u vremenskom trajanju manevra.

Osnovni cilj pomorskog pothvata u kojemu sudjeluje trgovački brod je prijevoz tereta iz luke ukrcaja i predaja tereta u luci iskrcaja, kako bi se ostvario određeni komercijalni učinak. Pritom ne smije doći do oštećenja tereta, broda, kao ni do onečišćenja mora i priobalja.

Načelno, sa stanovišta plovidbe cilj manevriranja brodom je uspješno dovođenje broda iz stanja plovidbe (početno stanje) u stanje boravka broda na mjestu priveza (doku, ili na sidru) (konačno stanje) ili obrnuto u određenom vremenu.

Kako bi se izbjegla kriva tumačenja pojmova okolina i okoliš valja naglasiti da je prema općoj teoriji sustava okolina pojam koji obuhvaća okruženje sustava u koji pripada i čovjek, dok je pojam okoliš vezan za okruženje sustava u kojeg čovjek nije uključen.

Uz vrijeme ukrcaja/iskrcaja tereta u sustavu prihvata i otpreme broda vrijeme manevriranja brodom predstavlja najosjetljiviji period u pogledu sigurnosti broda, tereta, posade i okoline. Zbog toga sigurnost tijekom manevriranja brodom izravno utječe na opću razinu sigurnosti cijelog sustava. Temeljne opasnosti koje prijete tijekom manevriranja jesu oštećenje samog broda, tegljača, drugih brodova i plovni objekata, obale, te obalne infrastrukture i suprastrukture. Posljedice tih oštećenja mogu biti ozljede ili smrt ljudi koji su uključeni u proces manevriranja brodom, materijalne štete, te onečišćenje morskog okoliša. Materijalne štete kao i onečišćenje morskog okoliša mogu imati vrlo visoke negativne financijske posljedice, posebice zbog velike vrijednosti izloženih objekata.

Nadalje, različiti komercijalni interesi pojedinih elemenata u sustavu otežavaju optimalno djelovanje sustava u cjelini. Valja posebno istaknuti da su zahtjevi glede sigurnosti u pravilu u neskladu s komercijalnim zahtjevima.

Vrlo često postojeći sustav manevriranja brodom djeluje na način pri kojem postoje znatne razlike između formalnih i neformalnih struktura koje djeluju u sustavu.

Osnovna posljedica navedenih utjecaja, pa čak i njihovih proturječnosti je vrlo složeno međudjelovanje između svih čimbenika koji utječu na funkcioniranje sustava.

Iz prethodnog razmatranja jasno se uviđa stupanj složenosti sustava manevriranja brodom kao i problema koje treba riješiti kako bi se sam proces manevriranja odvijao na siguran način. Pritom treba definirati model sustava manevriranja brodom, ali prije toga valja analizirati bitne čimbenike koji utječu na manevriranje brodom. Potrebno je analizirati i definirati utjecaj prilaznog područja, luke, terminala i pristana, elemente organizacijsko-tehnološke podrške manevriranju brodova s obzirom na sigurnost plovidbe i zaštitu morskog okoliša, utjecaj broda i tegljača te njihove međusobne interakcije na manevriranje kao i utjecaj ljudskog faktora.

Prilikom razmatranja problema i definiranja modela nužno je odrediti minimalne uvjete sigurnosti jer su sigurnost broda, morskog okoliša i čovjekove okoline osnovni uvjeti koje treba zadovoljiti. Minimalne uvjete valja promatrati kao ograničenja modela. Kako bi se uopće postavili minimalni uvjeti potrebno je razmotriti čimbenike koji utječu na sigurnost pri manevriranju brodom i tijekom boravka broda na pristanu. Pritom treba analizirati i obraditi utjecaj vjetera, morskih struja i valova, utjecaj djelovanja poriva i porivnika na kretanje i usmjeravanje broda, utjecaj privezne i druge opreme te djelovanje tegljača odnosno tegljenje, a sve u svrhu manevriranja brodom na siguran način. Nakon što su utvrđeni i razmotreni pojedinačni utjecaji, potrebno je analizirati međudjelovanje svih čimbenika tijekom manevriranja, jer će jedino na taj način biti moguće definiranje modela, a da se pritom ne postave krivi odnosi između pojedinih čimbenika.

## 1.2 CILJEVI ISTRAŽIVANJA I RADNE TEZE DOKTORSKE DISERTACIJE

Manevriranje brodom svrstava se vrlo često u vještinu, međutim zakonitosti prema kojima se provodi manevar broda zasigurno se mogu objasniti samo znanstvenim metodama i isto takvim pristupom. Ova konstatacija vrijedi i ako se promatra cijeli sustav manevriranja brodom. Polazeći od ove hipoteze manevriranje brodom može se smatrati vještinom i znanošću. Jedan od ciljeva ovog rada je upravo znanstveno sagledavanje ovog problema i primjena tako dobivenih rezultata u praktične svrhe.

Osnovni cilj ove doktorske disertacije je definiranje konceptualnog modela sustava manevriranje brodom i postavljanje algoritma odlučivanja u njegovoj provedbi te definiranje modela pojedinačnog manevra. Jedan od ciljeva koji se postiže modeliranjem sustava manevriranja brodom ili njegovih dijelova predstavlja mogućnost optimizacije sustava. Cilj rada je prikazati algoritam odlučivanja odnosno metodologiju izbora načina provedbe i potrebnih sredstava u sustavu manevriranja brodom, koja zadovoljava uvjete sigurnosti ljudi i imovine te gospodarsku učinkovitost. Za ostvarivanje ovog cilja analizirat će se svi bitni čimbenici koji utječu na manevriranje brodom, a komparativnom analizom istražiti će se veličina pojedinih učinaka na sustav u cjelini. Izradom modela pojedinačnog manevra omogućava se detaljno sagledavanje stupnja sigurnosti tijekom manevra, postavljanje zadovoljavajućih kriterija sigurnosti te optimizacija pojedinačnog manevra. Korištenjem ovakvog modela u konkretnim slučajevima dobiva se ekspertni sustav odlučivanja u procesu manevriranja brodom.

Osim navedenog osnovnog cilja dodatni su ciljevi: prijedlog metodologije za proučavanje pojedinih čimbenika, prosudba veličine njihova učinka, prijedlog metodologije definiranja pojma i uvjeta sigurnosti u samom sustavu te prikaz međudjelovanja između mjera sigurnosti i tehnologije manevriranja brodom s jedne i gospodarskih učinaka s druge strane.

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

- manevriranje pojedinog broda i uvjeti sigurnosti bitno su različiti ovisno o zemljopisnom položaju luke pa valja odvojeno promatrati luke na obali otvorenog mora, estuarijske luke, luke na obali arhipelaškog mora, luke na ušćima rijeka, itd;

- slijed postupaka i radnji tijekom priveza odnosno odveza bitno je određen veličinom akvatorija luke, brojem terminala i pristana, njihovim položajem i međusobnom udaljenošću, udaljenošću terminala od baze tegljača, brojem i namjenom sidrišta, njihovom površinom itd;
- način izvođenja manevra bitno je određen vrstom brodova koji se prihvaćaju odnosno njihovom prijevoznom tehnologijom koja određuje njihove konstrukcijske karakteristike, a one bitno određuju manevarska obilježja brodova;
- različita je brzina i način prilaza različitim vrstama obala (npr. masivnim gravitacijskim obalama u odnosu na lagane obale na pilotima);
- oceanografske i meteorološke prilike koje se mogu očekivati u akvatoriju luke jedan su od značajnijih čimbenika glede ostvarenja razine maritimne sigurnosti broda te im u modelu treba posvetiti posebnu pažnju. U tom cilju ističe se razina zaštićenosti pristana, terminala odnosno luke. Osim zaštite luke od meteoroloških i oceanografskih elemenata kao što su vjetar, valovi i morske struje kao općih čimbenika valja kao specijalni slučaj uzeti u obzir i djelovanje morskih mijena jer one u nekim lukama bitno određuju vrijeme u kojem je manevriranje moguće;
- navigacijska složenost pristupa je prvenstveno funkcija položaja luke i veličine pomorskog prometa luke, ali i okolnih luka ako dijele isto prilazno plovno područje. Pritom navigacijska složenost pristupa ovisi o širini plovnog puta, dubini mora, postojanju zona odvojene plovidbe, postojanju sustava za navigaciju, itd. Važno je naglasiti da se za pojedine luke složenost prilaza može bitno razlikovati u pojedinim fazama prilaza: otvoreno more - mjesto prihvata peljara, mjesto prihvata peljara - mjesto prihvata tegljača, mjesto prihvata tegljača - mjesto priveza;
- veličina i struktura prometa u akvatoriju odnosno broj brodova, vrsta brodova s obzirom na tehnologiju prijevoza, te gustoća prometa u akvatoriju neizravno utječu na način manevriranja brodom;
- organizacijsko-tehnološka podrška manevriranju brodova od izuzetnog je značenja pri izgradnji nove luke ili pri uvođenju bitno naprednije tehnologije prekrcaja u postojećim lukama. U tom cilju u modelu valja prosuditi i utjecaj sustava nadzora i upravljanja pomorskom plovidbom, ustroj rada peljarske službe, privezivačke službe, službe tegljenja, te ustroj lučkih vlasti koji može se može bitno razlikovati u pojedinim pomorskim regijama.

Brod sa svojim obilježjima predstavlja osnovni predmet istraživanja. Osobito se to odnosi na sljedeća obilježja: deplasman i ukupnu nosivost broda, njegove dimenzije, koeficijente brodske forme, njegovu nadvodnu i podvodnu površinu, manevarska obilježja broda kao što su snaga stroja, vrsta porivnih sredstava, vrsta i obilježja kormila, broj i vrsta pramčanih odnosno krmenih porivnika, manevarska obilježja broda, utjecaj stabilnosti broda na manevriranje, oprema broda, itd.;

Svi s brodom povezani čimbenici ovise u određenoj mjeri o namjeni broda s obzirom na tehnologiju prijevoza te se u radu dokazuje međudjelovanje tehnologije broda i pojedinih prije spomenutih obilježja broda.

Tehničko-tehnološka obilježja pojedinih vrsta tegljača i njihova manevarska obilježja bitno utječu na manevriranje brodom, što se ogleda u prvom redu u njihovoj veličini i konstrukciji, porivnoj sili, vrsti propulzije i sili vuče.

U sustavu manevriranja brodom ljudski faktor je nezaobilazan čimbenik. Utjecaj ljudskog faktora na uspješnost manevriranja brodom ogleda se kroz rad ljudi u okviru službe nadzora i upravljanja pomorskom plovidbom, peljara i dežurnih službenika peljarskih službi, posada tegljača, privezivača, te djelatnika lučkih kapetanija i lučkih uprava.

Za uspješnost i sigurnost manevriranja brodom od iznimne je važnosti djelovanje vjetera, morskih struja i valova, te tegljača i samog tegljenja. Osim toga vrlo je važno djelovanje i korištenje privezne opreme broda, te djelovanje porivnika. Poznavajući međudjelovanje svih čimbenika tijekom manevriranja moguće je postaviti metodologiju procjene sila i graničnih vrijednosti s kojima treba računati pri definiranju sigurnosti pri manevriranju i tijekom boravka broda na mjestu priveza.

Uzimajući u obzir sve čimbenike i njihovo međusobno djelovanje moguće je definirati model, a zatim i izvesti optimalizaciju sustava manevriranja brodom. Osim toga, korištenjem takvog modela moguće je izvesti zaključke o utjecaju povećanja količine pomorskog prometa ili promjene njegove strukture na sigurnost plovidbe i zaštitu morskog okoliša od onečišćenja.

Zbog izuzetne multidisciplinarnosti i interdisciplinarnosti područja istraživanja postavljen je konceptualni model sustava manevriranja brodom kojeg treba dalje razvijati. Model je zamišljen modularno kako bi se u njegovom daljnjem razvijanju pojedini dio mogao posebno detaljno razvijati sudjelovanjem jednog ili više eksperata za pojedino područje čime cijeli model i njegova primjena mogu dati bolje kvalitativne i kvantitativne rezultate istraživanja.

### 1.3 DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA

Istraživanja problematike ovog područja uglavnom obrađuju pojedinačne probleme koji se ovdje istražuju, dok su rjeđi multidisciplinarni radovi.

Posebno je važno područje teorija broda te konstrukcija broda o čemu postoji iscrpna literatura. U disertaciji se također analiziraju i koriste istraživanja iz područja tehnologije pomorskog prometa, a posebice pomorski prometni tijek, konstrukcija i tehnologija izgradnje luka i obilježja prilaznih plovnih područja, tehnologija, organizacija i ekonomika lučkih područja, itd.

Tema manevriranja brodom posebno tehnologija manevriranja obrađivana je u postojećoj literaturi. Međutim, treba naglasiti da je dio te literature starijeg datuma, pa se obrađuje uglavnom manevriranje manjim brodovima odnosno brodovima svog vremena. S razvojem tehnologije i prometa uopće javljaju se veliki i vrlo veliki brodovi te brodovi s neuobičajenim manevarskim osobinama, što zahtjeva sasvim drukčiji pristup problemu manevriranja brodom.

Istraživanja problema manevriranja velikih brodova uz uporabu tegljača koja povezuju sva područja koja se odnose na manevriranje brodom češća su u novije vrijeme te se ovom segmentu manevriranja posvećuje posebna pozornost.

Problematika ovog područja rješava se i modeliranjem te postoje mnogi fizikalni i matematički modeli manevriranja u konkretnim područjima, a postavljaju se i fizički modeli. Pri modeliranju pojedinačnog manevra u ovom radu se na poseban način pristupa određivanju faktora sigurnosti i postavljanju ograničenja, a sve u cilju postizanja zadovoljavajućih kriterija sigurnosti.

Također, postoje mnogi modeli u kojima se definira tijek pomorskog prometa koji su baza za izradu modela sustava manevriranja brodom. Međutim valja naglasiti da se u ovom slučaju radi o specifičnom modelu tijeka pomorskog prometa koji u sebi sadrže mnoge dodatne čimbenike koji se u prvom redu promatraju sa stanovišta sigurnosti pomorskog prometa i zaštite morskog okoliša. U ovom radu sustavno su povezana i promatrana međudjelovanja između direktnog i indirektnog utjecaja svih čimbenika koji djeluju u sustavu manevriranja brodom.

U priloženom popisu radova prikazani su korišteni izvori u kojima su prezentirana sadašnja saznanja od kojih se krenulo u daljnja istraživanja.

Učinak međudjelovanja pojedinih čimbenika središnji je problem manevriranja brodom s kojim se autor susretao prilikom izrade maritimnih studija iz ovog područja. Istraživanje utjecaja

pojedinih parametara koji utječu na manevriranje brodom, stoga je započeto već pri izradi studija navedenih u priloženom popisu radova.

#### 1.4 PRIKAZ METODA ISTRAŽIVANJA

Izbor metoda koje će se koristiti u istraživanju značajan je za pravilan pristup problemu, te dostizanje cilja istraživanja. U ovom radu to se prije svega odnosi na sustavni pristup problemu koji omogućava izvođenje pravilnih zaključaka, te izbjegavanje mogućnosti nezamjećivanja određenih međudjelovanja.

Da bi se došlo do relevantnih podataka u proučavanju ovog područja koristila se metoda klasifikacije, a zatim se metodom analize svako područje ovog rada raščlanilo na sastavne dijelove. Metodom dedukcije opće poznavanje problema svedeno je na pojedinačne zaključke. Deskriptivnom metodom svaki dio problematike pažljivo je i točno opisan.

Nakon prve faze istraživanja objedinjena su pojedina područja rada korištenjem induktivne metode zaključivanja od posebnog ka općem. Primjenom metode generalizacije omogućeno je uopćavanje pojedinačnih pojmova, te njihovo primjenjivanje na konkretan zaključak. U ovom radu od presudnog je značenja istražiti sve međuovisnosti između pojedinih elemenata pa je bilo nužno upotrebljavati i metode teorije sustava. Ove metode najbolje omogućavaju izbjegavanje opasnosti previda nekog važnog segmenta međudjelovanja.

U pojedinoj fazi istraživanja nije bilo moguće izdvojiti samo jednu metodu već su se razne metode isprepletale i na taj način nadopunjavale.

Korištenjem spomenutih metoda obrađeni su svi utjecajni čimbenici, a zatim su se ti čimbenici stavili u međuodnos što je bila osnova za komparativnu analizu utjecaja pojedinih čimbenika u sustavu manevriranja brodom. Komparativna metoda omogućila je ostvarivanje dodatnih ciljevi istraživanja, tj. izvođenje konkretnih zaključaka koji su kasnije korišteni u ostvarivanju glavnog cilja istraživanja tj. definiranja modela i njegove optimizacije. U ovom dijelu istraživanja korištena je metoda modeliranja i to u prvom redu izrade konceptualnog i matematičkog modela.

#### 1.5 STRUKTURA RADA

Ova doktorska disertacije obuhvaća uvod i osam poglavlja s potpoglavljima te zaključak. Nakon uvodnih razmatranja, a s ciljem da se proučavana problematika što jasnije izloži te da se prikažu problem i ciljevi istraživanja nastavlja se poglavlja koja predstavljaju tematske cjeline. Poglavlja su obrađena sljedećim redom: sustav manevriranja brodom, utjecaj okoliša na manevriranje brodom, organizacijsko-tehnološka podrška manevriranju brodova, utjecaj tehničko-tehnoloških obilježja broda i tegljača na manevriranje brodom, ljudski faktor i njegov utjecaj na manevriranje brodom, sigurnosni uvjeti i ograničenja pri manevriranju brodom i tijekom boravka broda na mjestu priveza, definiranje konceptualnog modela sustava manevriranja brodom i modela pojedinačnog manevra te ukupnost utjecaja manevriranja brodom na sigurnost i zaštitu morskog okoliša.

Uvod obuhvaća definiciju problema i cilja istraživanja, prikaz dosadašnjih istraživanja i korištenih metoda istraživanja te prikaz strukture rada.

U drugom poglavlju definirani su pojam i cilj manevriranja brodom, prikazan značaj sustava manevriranja brodom na sigurnost i zaštitu morskog okoliša, razvrstane su tehnologije manevriranja brodom po određenim kriterijima te naznačeni čimbenici koji utječu na manevriranje brodom. Poseban dio poglavlja obuhvaća prikaz osnovnih značajki odnosno pristupa modeliranju sustava manevriranja brodom.

U trećem poglavlju definirani su utjecajni čimbenici koji se odnose na luke i prilazni akvatorij te njihov utjecaj na sustav prihvata i otpreme broda, kao i na podsustav manevriranja

brodom. Pritom je osnovni naglasak stavljen na navigacijsko-prometni položaj luke i prilaznog područja, vrstu, veličinu luke i broj terminala i pristana, vrste obala i privezne opreme, meteorološke i oceanografske uvjete koji se mogu očekivati, zaštićenost pristana, terminala odnosno luke, posebice u pogledu djelovanja vjetrova, valova, morskih struja i morskih mijena, navigacijsku složenost pristupa, veličinu i strukturu pomorskog prometa u akvatoriju.

Četvrto poglavlje posvećeno je organizacijsko-tehnološkoj podršci manevriranju brodova. Posebno je obrađen sustav nadzora i upravljanja pomorskom plovidbom, ustroj rada peljarske službe, privezivačka služba i njen ustroj, organizacija službe tegljenja, te ustroj lučkih vlasti u dijelu koji se odnosi na sustav manevriranja brodom.

Peto poglavlje posvećeno je definiranju tehničko-tehnološkim obilježjima brodova i tegljača te pojedinačnim i međusobnim čimbenicima koji utječu na sustav manevriranja brodom. Pritom se poseban naglasak stavlja na analizu utjecaja broda na manevriranje, a osobito u pogledu oblika i veličine trupa, vrste i snage poriva i porivnika, privezne i druge opreme broda, itd. Obrađeno je međudjelovanje osnovnih obilježja broda, a na kraju prvog dijela poglavlja prikazan je utjecaj vrste broda na manevriranje brodom. U drugom dijelu petog poglavlja obrađena su tehničko-tehnološka obilježja pojedinih vrsta tegljača i njihova manevarska obilježja odnosno mogućnosti. Pritom su u prvom redu obrađena njihova veličina i konstrukcija, porivna snaga, vrsta propulzije i sila vuče. Temeljem ovih obilježja definirana su i njihova manevarska obilježja.

U šestom poglavlju prikazan je utjecaj ljudskog faktora na uspješnost manevriranja brodom. Ovaj segment obuhvaća razmatranje stupanja naobrazbe, uvježbanosti i ustroja rada posade, operatera u službi nadzora i upravljanja pomorskom plovidbom, peljara i operatera peljarskih službi, posada tegljača, privezivača te djelatnika lučkih kapetanija i lučkih uprava koji sudjeluju u radu sustava manevriranja brodom.

U sedmom poglavlju detaljno je istražena i obrađena sigurnost pri manevriranju brodom, te sigurnost broda tijekom boravka na mjestu priveza. Ovo je posebno važno poglavlje jer su temeljem rezultata prikazanih u ovom poglavlju određeni minimalni sigurnosni uvjeti koji su ugrađeni u model. Pritom je detaljno razmotren i analiziran utjecaj vjetrova, morskih struja i valova te njihovo zajedničko međudjelovanje na manevriranje brodom. Osim toga analizirano je djelovanje i korištenje privezne opreme broda tijekom manevriranja, kao i djelovanje porivnika na kretanje i usmjeravanje broda. Vrlo važan dio ovog poglavlja je razmatranje djelovanja tegljača. U ovom slučaju analizirano je lučko tegljenje. Središnji dio poglavlja predstavlja komparativna analiza svih čimbenika koji utječu na manevriranje brodom. Temeljem ove analize izvedeni su zaključci o međudjelovanju svih čimbenika koji se javljaju u sustavu manevriranja brodom.

Osmo poglavlje sadrži konceptualni model sustava manevriranja brodom u ograničenim plovnim područjima i model pojedinačnog manevra. Modeli su definirani imajući u vidu čimbenike obrađene u prethodnim poglavljima. Pritom su definirani elementi modela te je postavljen algoritam modela sustava manevriranja brodom. Definirani su ulazni podaci i granični uvjeti, algoritam modela i vrijeme trajanja pojedinih procesa, a definirani su i izlazni podaci te prikazani kriteriji za ocjenu (evaluaciju) rezultata. Model pojedinačnog manevra izveden je postavljanjem matematičkog modela utjecaja vjetrova, morske struje i valova na brod tijekom manevriranja s ugrađenim posebnim faktorom sigurnosti uz pomoć kojeg se postiže zadovoljavajući stupanj sigurnosti. Osim toga modelirana su i dodatna ograničenja u pogledu broja i obilježja tegljača u odnosu na veličinu broda kao i ograničenja u pogledu zaustavnog puta broda. U ovom poglavlju prikazani su dobiveni rezultati istraživanja te je izvedena njihova analiza.

U devetom poglavlju na temelju analize ukupnosti svih utjecaja u sustavu manevriranja brodom dat je prikaz i klasifikacija istih s obzirom na sigurnost i zaštitu morskog okoliša.

U zaključnom poglavlju ukratko su istaknuti temeljni zaključci istraživanja i znanstveni doprinos rezultata kao i mogućnost njihove primjene. Osim toga predložene su mogućnosti daljnjeg istraživanja ovog područja, a koja su proistekla nakon saznanja do kojih se došlo tijekom istraživanja prikazanih u ovom radu.

## 2 SUSTAV MANEVRIRANJA BRODOM

Osnovni cilj ovog rada je modeliranje sustava manevriranja brodom te stoga ovaj sustav treba detaljno analizirati. U ovom uvodnom dijelu razmotriti će se pojam i cilj manevriranja brodom, raščlaniti tehnologija manevriranja brodom te temeljno odrediti sustav manevriranja brodom koji je predmet istraživanja ovog rada. Osim toga prikazat će se osnovne značajke modeliranja jednog ovakvog sustava.

### 2.1 POJAM I CILJ MANEVRIRANJA BRODOM

Manevriranje brodom je skup sustavnih aktivnosti koje se provode u cilju uspješnosti manevra, a pritom se javlja interakcija između čimbenika koji djeluju u sustavu manevriranja kao što su brod i članovi posade s jedne strane, te akvatorij luke, osobe i službe koje djeluju u sustavu manevriranja kao i vanjski prirodni čimbenici

Manevriranje brodom može se promatrati u širem i užem smislu. U širem smislu pod ovim pojmom podrazumijeva se i manevriranje brodom u cilju izbjegavanja sudara, dok u užem smislu predstavlja manevriranje na prilaznim plovnim putovima te manevriranje tijekom pristajanja i isplovljenja s mjesta priveza. Upravo manevriranje u užem smislu i pripadajući sustav manevriranja osnovna je tema istraživanja ovog rada.

Važnost istraživanja područja sigurnosti u sustavu manevriranja brodom postaje jasna ako se prema vjerodostojnim statistikama<sup>1</sup> analizira struktura akcidenata, nesreća i šteta koja nastaju u svjetskom pomorstvu.

Sa stanovišta ovog rada vrlo je važno poznavati učestalost pojedinih vrsta nezgoda, a prema istraživanjima *UK P&I Club-a*<sup>2</sup> razdioba je sljedeća:

VRSTA NEZGODE	BROJ NEZGODA	CIJENA ŠTETA
	%	%
SUDAR	2,4	2,4
NASUKANJE	24,4	12,2
DODIR DNA	13,1	34,8
POŽAR I EKSPLOZIJA	11,2	4,0
OŠTEĆENJA STROJA	25,7	23,3
OŠTEĆENJA ZBOG NEVREMENA	7,5	5,2
OŠTEĆENJA OD LEDA	2,1	1,8
OSTALE NEZGODE	13,5	15,4

Analizom potpunih gubitaka u periodu od 1988 do 1992<sup>3</sup> dolazi se do sljedećih rezultata:

VRSTA I UZROK NEZGODE	GODIŠNJI PROSJEK		
	Broj brodova	BT	%
NEVRIJEME	48	430,000	2,4
NASUKANJE	17	140,000	24,4
SUDAR/DODIR	15	98,000	13,1
POŽAR I EKSPLOZIJA	27	292,000	11,2
OŠTEĆENJA STROJA	7	66,000	25,7
OSTALO	24	137,000	7,5
UKUPNO	139	1,166,000	100,0
POSTOTAK GUBITAKA U ODNOSU NA TONAŽU SVJETSKE FLOTE (%)		<b>0,28</b>	

<sup>1</sup> Lloyd Statistics, Lloyd Register of Shipping, London, 1998. - 1999.

<sup>2</sup> Thompson, A. T., Fleet Management – What is Its Role in Accident Prevention, Accident and Loss Prevention at Sea, The Nautical Institute, International Conference and Workshops, 1993.

<sup>3</sup> Parker, C.J., Navigational and Seaman's Incidents – Could they have been Avoided, Accident and Loss Prevention at Sea, The Nautical Institute, International Conference and Workshops, 1993.



Uvida se veliki broj nasukanja i ostalih akcidenata koji u principu nastupaju na prilaznim akvatorijima luka i terminala, a analizom uzroka najčešće do izražaja dolazi preveliko samopouzdanje da će eventualna opasnost biti zamijećena na vrijeme, ne korištenje dubinomjera pri plovidbi, pogreška u određivanju pozicije broda, slabo i nedovoljno planiranje plovidbe posebice u «peljarskim vodama», u slučaju nasukanja na zapovjedničkom mostu samo jedna osoba. Zamjećuje se da se nezgode događaju češće pri dolasku nego li pri odlasku iz luke, u nesreće su najčešće involvirani brodovi u obalnoj plovidbi, a slaba vidljivost nije signifikantna u slučaju sudara. Nažalost, nema dovoljno podataka o načinu rada i održavanja straže na brodu pa nije moguće odrediti koliki utjecaj ima zamor.

Prema izvještaju UK P&I Club-a<sup>4,5,6</sup> analizom sudara u pogledu statusa broda u trenutku sudara, vrsti sudara i mjestu sudara ustanovljene su sljedeće činjenice:

STATUS	POSTOTAK
U PLOVIDBI	47 %
U PLOVIDBI PREVELIKOM BRZINOM	11 %
PRILAZ SIDRIŠTU	1 %
NA SIDRIŠTU	16 %
NAPUŠTAJUĆI SIDRIŠTE	1 %
U RIBOLOVU	12 %
PRI MANEVRU PRIVEZA	1 %
PRIVEZAN (NA MJESTU PRIVEZA)	9 %
OSTALO	2 %

MJESTO SUDARA	POSTOTAK	VRSTA SUDARA	POSTOTAK
OBALNE VODE	31 %	PRI KRIŽANJU KURSEVA	39 %
OTVORENO MORE	19 %	U PROTUKURSEVIMA	25 %
ZONE ODVOJENE PLOVIDBE	11 %	JEDAN BROD ZAUSTAVLJEN	20 %
U LUKAMA	14 %	PRI PRESTIZANJU	10 %
RJEKAMA/KANALIMA	13 %	OSTALO	6 %
NA SIDRIŠTU	10 %		
OSTALO	1 %		

Prema istraživanjima projekta COST 301<sup>7</sup> također se može izvesti zaključak o čestim sudarima u lukama i ograničenim plovnim područjima ali je broj sudara visok i na otvorenom moru. Također, najveći broj akcidenata događa se manjim i većim brodovima, dok brodovi srednjih veličina najmanje sudjeluju u akcidentima.

Također, prema izvještaju UK P&I Club-a<sup>8</sup> veliki broj šteta događa se upravo u lučkim područjima, a uzroci tih oštećenja prikazani su u sljedećoj tablici:

UZROCI	POSTOTAK
POGREŠKA PELJARA	5 %
POGREŠKA ČASNIKA PALUBE	25 %
POGREŠKA ČASNIKA STROJA	2 %
POGREŠKA S OBALE	14 %
MEHANIČKI KVAR	5 %
POGREŠKA POSADE	17 %
KVAR OPREME	8 %
STRUKTURNI KVAR	10 %
OSTALI UZROCI	14 %

<sup>4</sup> Parker, C.J., Navigational and Seamanship Incidents – Could they have been Avoided, Part III – The Human Element, Accident and Loss Prevention at Sea, The Nautical Institute, International Conference and Workshops, 1993.

<sup>5</sup> Trevor, J.B., Managing risk on board ship, Seaways, April, June, 1999., str. 12.

<sup>6</sup> Lumbers K., How maritime risk is changing, UK Club's 10-year analysis, Seaways, November, 1999.

<sup>7</sup> The EC Study COST 301, Seaways, April, 1987.

<sup>8</sup> The human factor, UK P&I Club, Seaways, May, 1996., str. 26.

Imajući u vidu prikazane statistike jasna je važnost manevriranja brodom, a posebice u pogledu edukacije zapovjednika i posade broda ali i svih ostalih osoba koji na bilo koji način sudjeluju u sustavu manevriranja brodom. Dakle, istraživanja svih elemenata sustava manevriranja brodom kako bi se postigao zadovoljavajući stupanj sigurnosti je od neprocjenjive važnosti. Uz spomenutu edukaciju valja detaljno istražiti sve vanjske i unutrašnje čimbenike koji utječu na manevriranje brodom kao što su brod sa svojim konstrukcijskim obilježjima, tegljači, uvjeti i ograničenja okoliša, organizacija podrške u sustavu manevriranja, itd. Poznavanjem svih ovih čimbenika, veličine njihovih utjecaja te pravilnom edukacijom u ovom segmentu bitno se može unaprijediti cijeli sustav manevriranja brodom. Ovaj se sustav time može dignuti na viši stupanj sigurnosti čime bi se postigao značajan komercijalni efekt, ali i umanjio rizik od onečišćenja okoliša čime se preventivno značajno doprinosi zaštiti mora i priobalja.

## 2.2 TEHNOLOGIJA MANEVIRANJA BRODOM

Tehnologija manevriranja brodom koja će se primijeniti u određenom slučaju ovisi u prvom redu o obilježjima broda, vrsti mjesta priveza broda, raspoloživosti tegljača određenih obilježja te trenutnim prilikama u okolišu. Standardi koji se primjenjuju u manevriranju brodom u nekom lučkom području ovise i o stupnju razvijenosti sustava manevriranja u tom području.

U kontekstu ovog rada proučava se i analizira maritimna sigurnost tijekom prihvata, boravka i otpreme broda iz jednog lučkog područja. Stupanj sigurnosti potrebno je zadovoljiti u svakom segmentu, a mogu se podijeliti na prihvata broda, manevriranje pri privezu i odvezu, te boravku broda na mjestu priveza.

Sljedeći postupci pri prijemu, boravku broda na mjestu priveza i otpremi broda je sljedeći:

- javljanje broda u dolasku,
- dolazak broda u lučko područje,
- priprema za manevar priveza uključujući moguću potrebu okretanja broda (prihvata peljara, prihvat tegljača, ...),
- manevar pristajanja i priveza broda,
- boravak broda na pristanu (važnost za izvođenje trgovačkih operacija na pristanu),
- odvez i manevar isplovljenja s mjesta priveza,
- odlazak iz lučkog područja.

Svaki ovaj postupak potrebno je posebno analizirati kako pri projektiranju novog ili rekonstrukciji starog lučkog područja s prilaznim plovnom putom, ali i u slučaju prijehata nove vrste i veličine broda u postojeće lučko područje. Metodu analize svih ovih faza potrebno je koristiti i tijekom planiranja plovidbe na prilaznim lučkim područjima kao i u samim lukama.

Manevriranje brodom tijekom manevra uplovljavanja i priveza ili manevra odveza i isplovljenja može se načelno podijeliti na sljedeće vrste:

- koristeći samo brodske strojeve, kormilo i pramčani porivnik i/ili sidro/sidra;
- koristeći asistenciju jednog ili više tegljača;
- koristeći brodsko sidro, te uz asistenciju jednog ili više tegljača;
- koristeći pritezna vitla na obali, te uz asistenciju jednog ili više tegljača;
- koristeći priveznu/privezne plutače, te uz asistenciju jednog ili više tegljača;
- koristeći kombinaciju dva ili više prethodno spomenuta načina.

Sa stanovišta ovog rada potrebno je posebno izdvojiti manevriranje brodom uporabom tegljače bez kojih je nezamislivo manevriranje velikim brodovima. Tegljenje je poseban oblik pomorsko-brodarske djelatnosti u kojem brod koji tegli (tegljač) stavlja tegljenom brodu na raspolaganje svoju pogonsku snagu time što ga povlači ili potiskuje. Tegljenje se može izvoditi pri manevriranju u lukama - lučko tegljenje; uz obalu - obalno tegljenje; tegljenja koja se izvode

na otvorenim morima i oceanima - oceansko tegljenje; tegljenje u izvanrednim okolnostima, te tegljenje raznih objekata morske tehnologije za istraživanje i iskorištavanje mora i podmorja (npr. platforme). U ovom radu razmatrat će se samo lučko tegljenje.

Tegljenje predstavlja važan i neizostavni dio manevriranja većim brodovima. O načinu i tehnologiji tegljenja kao i karakteristikama tegljača direktno ovisi sigurnost samog manevra. Stoga je aspektu tegljenja broda odnosno interakciji tegljenog broda i tegljača pri manevriranju potrebno posvetiti posebnu pažnju.

Načelno, uporabu tegljača valja promatrati ovisno o tome pruža li se tegljačima pomoć brodu pri uplovljavanju i privezu ili odvezu i isplovljenju kao redovnoj djelatnosti i u uobičajenim vremenskim uvjetima, ili se pruža pomoć brodu u opasnosti. Pritom se pod pojmom broda u opasnosti podrazumijeva svaka opasnost po ljude i brod bez obzira je li uzrokovana vanjskim ili unutarnjim čimbenicima, a u istu skupinu ubraja se i opasnost od onečišćenja mora i/ili priobalja.

Pri privezu broda valja razlikovati dvije vremenski odijeljene djelatnosti: prihvat broda i manevar priveza broda. Pod pojmom prijehvata broda podrazumijeva se vrijeme od ulaska broda u akvatorij luke ili terminala do započinjanja manevra priveza i uključuje izvješćivanje lučkih vlasti (ako to već prethodno nije učinjeno), ukrcaj peljara, izvješćivanje zapovjednika odnosno dogovaranje oko načina obavljanja priveza te posebice usuglašavanje oko broja i načina korištenja tegljača. Iznimno, ako se brod nalazi na sidrištu tada se vremenom prijehvata može podrazumijevati vrijeme od trenutka izvješćivanja zapovjednika o namjeravanom manevru pristajanja do trenutka započinjanja manevra priveza. Sa stajališta ovog rada prihvat broda je važan zato što općenito uključuje i izvješćivanje zapovjednika tegljača o namjeravanom privezu odnosno uključuje vrijeme pripravnosti. Ovo vrijeme pripravnosti ima značajan utjecaj na ukupnu učinkovitost sustava manevriranja.

U nekim plovnim područjima potrebno je prihvatiti jedan ili više tegljača koji prate brod (engl. *escorting tug*) do mjesta započinjanja manevra priveza. U mnogim slučajevima pri plovidbi uskim plovnim putovima u interesu sigurnosti ne prakticira se plovidba bez asistencije tegljača. Pratlja se primjenjuje u situaciji kad brod treba prijeći zavoj na plovnom putu gdje je zbog veličine broda, pličina, morskih mijena, vjetra ili kombinacije ovih čimbenika ova radnja otežana, te dovodi u pitanje sigurnost pa se zbog nemogućnosti normalnog kruga okreta broda koriste tegljači koji će brodu povećati sposobnost okretanja. Drugi primjer je obveza korištenja tegljača koji prati brod na plovnim putovima koja je nastala nakon niza velikih nezgoda i značajnih onečišćenja mora i priobalja. Uobičajeno se na tim područjima u normalnim okolnostima može proći bez tegljača međutim uzima se u obzir mogući mehanički kvar ili ljudska pogreška. U tom slučaju prihvat ovih tegljača valja izvesti prije nego li se brzina broda smanji ispod manevarske.

Manevar priveza broda uključuje djelatnosti koje se obavljaju od trenutka kada su tegljači pripralni prihvatiti teglenu užad za početak stvarnog manevra do trenutka dok brod nije sigurno privezan uz obalu.

Manevra odveza i isplovljenja predstavlja vremenski period od trenutka pripravnosti tegljača za prihvat teglene užadi do otpuštanja teglene užadi nakon isplovljenja.

Postupak priveza ili odveza broda mora bez obzira na vanjske okolnosti osigurati dovoljan stupanj sigurnosti broda. U tom cilju valja razlikovati dvije osnovne mogućnosti: okolnosti dopuštaju siguran privez ili odvez odnosno okolnosti dovode u pitanje sigurnost broda i ljudi tijekom manevra.

Sigurnim načinom izvođenja manevra priveza ili odveza valja smatrati onaj pri kojem se brod dovodi u željeni položaj u zadovoljavajuće kratkom vremenu i bez nepotrebnog izlaganja opasnosti od udara brodom u obalu, druge brodove ili objekte na obali ili u moru.

Pored utjecaja na maritimnu sigurnost plovidbe, broj i obilježja tegljača posebice utječu i na postignutu razinu učinkovitosti sustava manevriranja i cjelokupnog prometnog pravca kako je to određeno funkcijom cilja. S tog stajališta valja zahtijevati da ukupan broj tegljača zadovolji prometne potrebe određenog lučkog sustava na način koji ne uključuje veća čekanja na privez ili odvez brodova, a da u isto vrijeme ne pretpostavlja održavanje neiskorištenog potencijala za lučko tegljenje. Slijedom toga, prihvatljivim brojem tegljača valja smatrati onaj koji omogućava zadovoljavajuće kratko čekanje brodova na početak manevra.

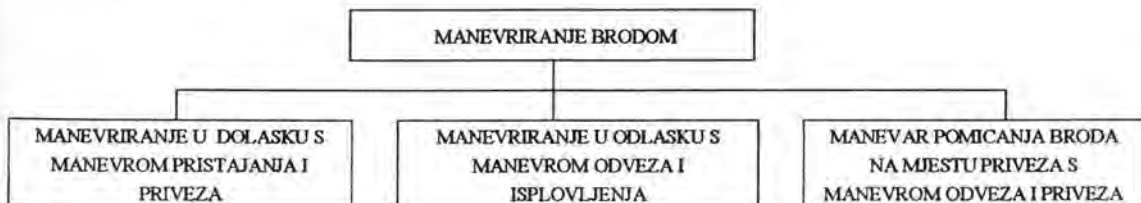
Također, obilježja tegljača i njihov radni kapacitet moraju zadovoljiti prometne potrebe kroz duže vremensko razdoblje imajući u vidu mogućnost promjena količine prometa u određenim kraćim vremenskim razdobljima. Veličinu pomorskog prometa moguće je odrediti temeljem raščlambe pomorskog prometa u proteklom razdoblju kao i prognozi budućeg prometa. Potreban broj tegljača za učinkovito djelovanje sustava manevriranja određenog lučkog područja ovisi i o zemljopisnim, meteorološkim i oceanografskim obilježjima promatranog područja kao i međusobnim udaljenostima pojedinih terminala i baze tegljača te mjesta prihvata tegljača.

Imajući u vidu prethodno razmatranje može se zaključiti da flota tegljača u lučkom sustavu treba biti u stanju pružiti sljedeće usluge:

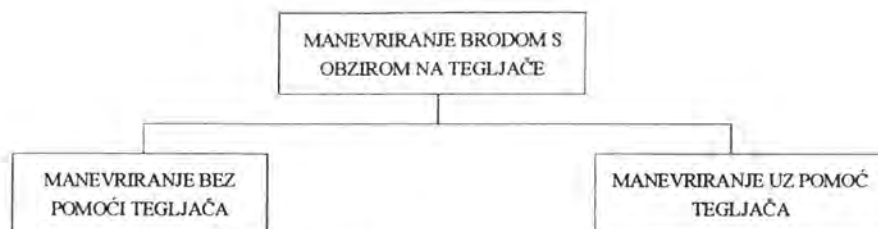
- pružiti brodu neophodnu pomoć tijekom manevra priveza ili odveza suprotstavljajući se djelovanju vjetrova, morske struje i valova;
- pomoći pri okretanju broda u ograničenim područjima;
- pomoći pri zaustavljanju broda u njegovom napredovanju prema obali;
- biti na raspolaganju za trenutno djelovanje u slučaju nastupa izvanrednih okolnosti na terminalu tijekom trgovačkih operacija na tankerima ili brodovima za prijevoz ukapljenih plinova;
- djelovati u slučaju nastupa izvanrednih okolnosti, sudjelovati u operacijama gašenja požara i sprječavanja ili umanjenja posljedica od onečišćenja morskog okoliša;
- pružati i druge usluge (tegljenje, pratnja, ugovoreno spašavanje i sl.).

Ako se izuzme manevriranje brodom u posebnim slučajevima kao što su npr. manevr odsukanja, manevriranje pri spašavanju broda, itd., raščlamba načina i vrste manevra u uobičajenim eksploatacijskim okolnostima može se izvesti prema različitim kriterijima. Osnovne podjele zorno su prikazane u nastavku, a mogu biti sljedeće:

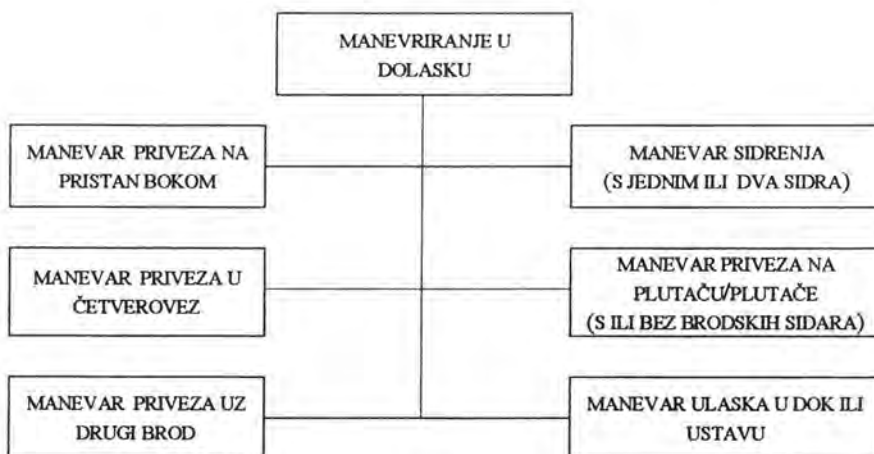
- s obzirom na vremenski slijed (dolazak, odlazak ili tijekom boravka u luci);
- s obzirom na korištenje tegljača;
- s obzirom na vrstu manevra u dolasku ili odlasku.



Slika 1 Podjela manevriranja prema vremenskom slijedu



Slika 2 Podjela manevriranja s obzirom na korištenje tegljača



Slika 3 Podjela manevriranja s obzirom na vrstu manevra u dolasku



Slika 4 Podjela manevriranja s obzirom na vrstu manevra u odlasku

Osim ovih načelnih podjela moguće je izvesti i detaljnije podjele koje bi uključivale i kombinaciju više faktora i ovdje prikazanih podjela. Također, osim ovdje navedenih manevra postoje posebni slučajevi sa stanovišta manevriranja kao što su manevriranje na prilazu peljarskim stanicama, u zonama odvojene plovidbe i područjima VTS sustava, prolaz ispod mostova, u lošim vremenskim uvjetima, plovidba u područjima leda, itd. Osim posebnih

slučajeva manevriranja posebnu pažnju treba posvetiti i manevriranju u izvanrednim okolnostima u koje se ubrajaju manevriranje pri padu čovjeka u more (manevr "Čovjek u moru"), pri spašavanju, kad je sudar ili nasukanje neizbježno, pri namjernom nasukanju, pri odsukanju broda, pri požaru na brodu, zatim valja spomenuti kormilarenje i tegljenje u nuždi.

### 2.3 SUSTAV MANEVIRANJA BRODOM – UTJECAJNI ČIMBENICI

Čimbenici koji utječu na sustav manevriranja brodom već su spominjani, a najvažniji su akvatorij luke s prilaznim plovnim područjem i mjestom priveza, oceanografski i meteorološki uvjeti u akvatoriju, navigacijsko-plovidbeni uvjeti, tehničko-tehnološka obilježja broda i tegljača te sami članovi posada, kao i osobe i službe koje djeluju u sustavu manevriranja.

Manevriranje pojedinog broda i uvjeti sigurnosti bitno su različiti ovisno o zemljopisnom položaju luke pa valja odvojeno promatrati luke na obali otvorenog mora, estuarijske luke, luke na obali arhipelaškog mora, luke na ušćima rijeka, itd.

Slijed postupaka i radnji tijekom priveza odnosno odveza bitno je određen vrstom brodova koji se prihvaćaju obzirom na tehnologiju, veličinom akvatorija luke, brojem terminala i pristana, njihovim položajem i međusobnom udaljenošću, udaljenošću tegljača od baze, brojem i namjenom sidrišta, njihovom površinom, itd.

Posebno valja voditi računa o brzini i načinu prilaza jer u tom segmentu postoji razlika između masivnih obala u odnosu na lagane obale na pilotima.

Meteorološke i oceanografske prilike koje se mogu očekivati u akvatoriju luke jedan su od najznačajnijih čimbenika glede ostvarenja razine maritimne sigurnosti broda pri manevriranju. Pritom valja uzeti u obzir i zaštićenosti pristana, terminala odnosno luke. Osim zaštite luke od meteoroloških i oceanografskih elemenata kao što su vjetar, valovi i morske struje kao općih čimbenika valja kao specijalni slučaj uzeti u obzir i djelovanje morskih mijena jer one u nekim lukama bitno određuju vrijeme u kojem je manevriranje moguće.

Na stupanj sigurnosti utječe i navigacijska složenost pristupa koja je prvenstveno funkcija položaja luke i veličine pomorskog prometa luke, ali i okolnih luka ako dijele isto plovno područje. Pritom navigacijska složenost pristupa ovisi o širini plovnog puta, dubini mora, postojanju zona odvojene plovidbe, postojanju sustava za navigaciju, itd. Važno je naglasiti da se za pojedine luke složenost prilaza može bitno razlikovati u pojedinim fazama prilaza: otvoreno more - mjesto prihvata peljara, mjesto prihvata peljara - mjesto prihvata tegljača, mjesto prihvata tegljača - mjesto priveza.

Daljnji utjecaj predstavlja veličina i struktura prometa u akvatoriju odnosno broj i vrsta brodova obzirom na tehnologiju prijevoza, te gustoća prometa u akvatoriju.

Organizacijsko-tehnološka podrška manevriranju brodova od izuzetnog je značenja za postizanje zadovoljavajućeg stupnja sigurnosti. Ovoj činjenici valja posvetiti posebnu pažnju pri planiranju izgradnje nove luke ili pri uvođenju bitno naprednije tehnologije prekrcaja odnosno povećanje prometa u postojećim lukama. Stoga je važna prosudba utjecaja sustava nadzora i upravljanja pomorskom plovidbom, ustroja rada peljarske službe, privezivačke službe, službe tegljenja, te ustroj lučke kapetanije i lučke uprave na opći stupanj sigurnosti pri manevriranju brodovima.

Brod sa svojim obilježjima jedan je od najvažnijih utjecajnih čimbenika pri manevriranju. Značajan utjecaj na planiranje manevriranja kao i na sam tijek manevra imaju obilježja kao što su: ukupna nosivost broda, osnovne dimenzije, koeficijenti brodske forme, nadvodne i podvodne površine, manevarske značajke broda kao što su snaga stroja, vrsta porivnih sredstava, vrsta i karakteristike kormila, broj i vrsta pramčanih odnosno krmenih porivnika, manevarske mogućnosti broda (veličina kruga okreta i zaustavnog puta, izgled manevarskog dijagrama), utjecaj stabilnosti broda na manevriranje, oprema broda (osobito sidra i sidreni uređaji, pritezna

vitla i privezni konopi). Svi prethodno izloženi čimbenici ovise u određenoj mjeri o namjeni broda obzirom na tehnologiju prijevoza odnosno vrsti broda.

Tehničko-tehnološka obilježja pojedinih vrsta tegljača i njihova manevarska obilježja bitno utječu na način i stupanj sigurnosti pri manevriranju brodom, što se ogleda u prvom redu u njihovoj veličini i konstrukciji, porivnoj snazi, vrsti propulzije i sili vuče.

Analizirajući čimbenike sigurnosti u sustavu manevriranja brodom ljudski faktor je nezaobilazan. Utjecaj ljudskog faktora na uspješnost manevriranja brodom ogleda se osim kroz rad zapovjednika i posade broda te peljara i u radu zapovjednika i posade tegljača, privezivača, osoba u okviru službe nadzora i upravljanja pomorskom plovidbom, dežurnih službenika peljarskih službi, te djelatnika lučkih kapetanija i lučkih uprava.

Međutim, osim poznavanja ovih čimbenika vrlo je važno poznavanje njihova međudjelovanja što je moguće postići sustavnim pristupom problemu.

Pod sustavom manevriranja podrazumijevaju se svi njegovi elementi koji su u međusobnoj svezi. Veze između pojedinih elemenata sustava mogu biti jače ili slabije, ali bez obzira na njihov intenzitet one moraju postojati kako bi sustav funkcionirao. Vrlo korisna znanstvena metoda koju je moguće koristiti kako bi se postiglo razumijevanje međudjelovanja pojedinih čimbenika je opća teorija sustava. Prema ovoj teoriji sustavnim pristupom izbjegava se mogućnost nezamjećivanja bitnih interakcija između pojedinih elemenata, upravo interakcije između elemenata stvaraju sinergijske učinke.

Da bi se iz stvarnog sustava dobio sustav kojeg se može izučavati prema općoj teoriji sustava potrebno je pojednostavljivanje, a da bi se problem objasnio potrebna je formalizacija. Kako bi se problem lakše shvatio i sagledao potrebna je generalizacija koja pak vodi k modelima. Model pritom može biti deterministički tako da se sustav promatra na način da je stanje prijelaza definirano, odnosno probabilistički gdje postoji vjerojatnost svakog prijelaza.

Sustav manevriranja brodom kao dio pomorskog sustava odnosno sustava luke i sustava prihvata i otpreme broda može se definirati kao vrlo složen dinamički sustav.<sup>9</sup> I u ovom sustavu zapaža se značajna međusobna povezanost i usklađenost tehnike, tehnologije, organizacije i ekonomije i to u prihvatu i otpremi broda, tegljenju, nadzoru i upravljanju pomorskom plovidbom, ali i djelatnosti izgradnje i održavanja svih potrebnih infrastrukturnih objekata. Analizirajući sustav, on se može, koristeći tzv. višefazni pristup, prikazati s četiri podsustava i to tehnički, tehnološki, organizacijski i ekonomski podsustav.

Temeljni je podsustav ovog sustava tehnički koga čine tri skupine sredstava i to:

- pomorske luke sa svim pripadajućim objektima i uređajima za prihvata i otpremu brodova te sami brodovi koji manevriraju;
- tegljači i ostali objekti i oprema koja omogućava izvođenje procesa manevriranja u komercijalno-organizacijskom pogledu;
- prilazni i lučki akvatorij koji se nadzire s objektima i uređajima kojima se opremaju plovni putovi.

Tehnološki podsustav mogao bi se definirati kao podsustav koji određuje način na koji se izvodi prihvata i otprema, tegljenje u svrhu manevriranja brodom te način nadzora što znači da je u neposrednoj svezi s razinom tehničkih sredstava i same infrastrukture.

Organizacijski podsustav podrazumijeva organizacijsko ustrojstvo manevriranja brodom u lučkom sustavu i pomorsko prometnom procesu.

Ekonomski podsustav predstavlja spoj s pomorskim sustavom preko lučkog sustava, a njegovo značenje je od iznimne važnosti za obavljanje reprodukcije materijalnih elemenata sustava.

<sup>9</sup> Počuča, M., Prinos raspravi o troškovima pomorskog plovnog puta u sustavu pomorskog prometa, Zbornik radova Pomorskog fakulteta, god. 9, Pomorski fakultet u Rijeci, 1995., str. 158.

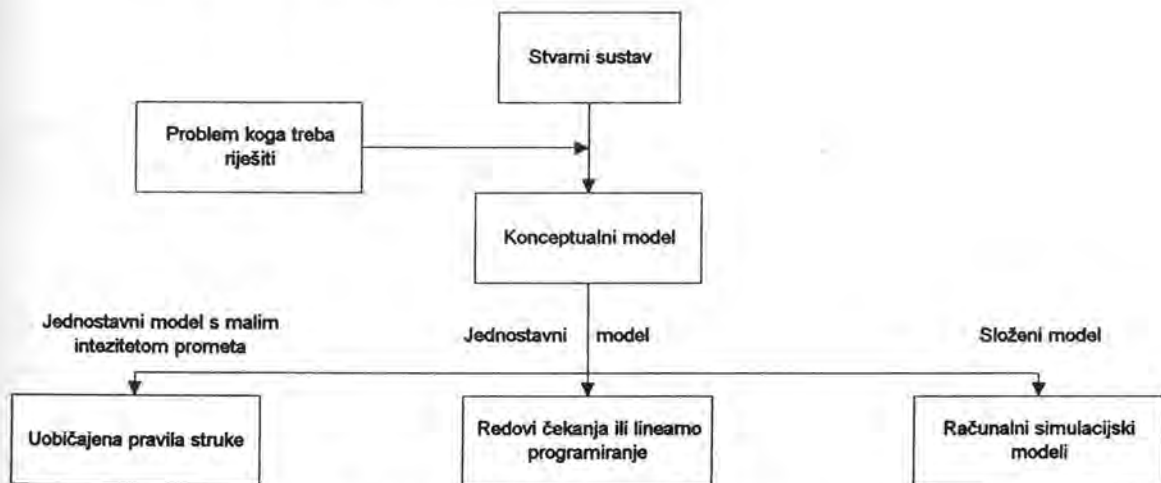
Ovaj rad u prvom redu obuhvaća elemente tehničkog i tehnološkog te organizacijskog podsustava.

## 2.4 O MODELU SUSTAVA MANEVIRANJA BRODOM

Cilj ovog rada je modeliranje sustava manevriranja brodom. Ovaj cilj moguće je dostići primjenom specifičnog modela koji u sebi treba sadržavati model pomorskog prometa, ali istovremeno i parametre vezane za okoliš (obilježja i postavu luke), meteorološka i oceanografska stanja u akvatoriju luke, raspoloživost i obilježja tegljača te obilježja brodova koji se pojavljuju u sustavu. Korištenjem računalnog modela moguće je analizirati učinkovitost i sigurnost lučkih pomorskih postupaka pa tako i postupak manevriranja brodovima. Pritom valja imati na umu da pojedini postupci mogu međusobno negativno djelovati, tako npr. eksploatacijska i sigurnosna ograničenja mogu bitno utjecati na učinkovitost luke, itd. Ograničenja mogu ovisiti o brojnim čimbenicima od kojih su najvažniji vrsta broda, veličina i vrsta tereta koju prevozi te uvjeti u okolišu i postava pomorskog dijela lučkog sustava.

Postoje tri osnovne tehnike za analizu lučkog sustava<sup>10</sup> imajući u vidu kapacitet, vrijeme čekanja broda, vrijeme boravka broda u luci, itd., a to su:

- empirijskim zakonitostima baziranim na praćenju postojećeg sustava;
- teorija redova čekanja i linearnog programiranja;
- simulacijski model pomorskog prometa.



Slika 5 Dijagram izbora metode izvedbe modela

Kako je lučki sustav vrlo složen, najbolji rezultati postižu se korištenjem simulacijskih modela.

Računalna simulacija predstavlja disciplinu stvaranja (*designing*) modela stvarnog ili teoretskog fizičkog sustava, izvršenja (*executing*) modela na računalu i analizu izlaznih vrijednosti (*execution output*). Računalna simulacija omogućava interdisciplinarni pristup problemu.

Kod računalne simulacije model predstavlja računalni program kojim se stvara aproksimacija na različitim razinama apstrakcije. Simulacija zahtijeva najprije izradu modela (*model design*), izvršenje modela (*model execution*) te analizu modela (*model analysis*). Simulacijom je omogućeno opisivanje ponašanja kompleksnih sustava.

<sup>10</sup> Approach Channels A Guide for Design, Final report of the joint Working Group PIANC and IAPH, in cooperation with IMPA and IALA, Supplement to Bulletin No. 95, PIANC, Bruxelles, 1997, str.54.



Dinamičko ponašanje lučkog sustava postiže se opisivanjem «živih komponenti» u modelu što znači da pojedine komponente izvode određene aktivnosti. Dinamički dio modela sadrži opis procesa za svaku «živu komponentu» te definira interakciju između komponenti.

Tako npr. model pomorskog dijela lučkog sustava treba dati procesni opis broda, kontrole pomorskog prometa (vođenje pomorskog prometa) kao što je generator različitih vrsta brodova tj. kreiranje vrste brodova i dolazaka. Pojedine komponente se specificiraju određivanjem vrijednosti pojedinih atributa. Ovakav specifičan model k tome treba opisati dinamičko ponašanje meteoroloških i oceanografskih stanja u akvatoriju luke.

Simulacijskim modelom pomorskog prometa za određeni plovni put odnosno luku s režimom plovidbe i uvjetima okoliša može se prikazati odvijanje postojećeg pomorskog prometa te odrediti vremena čekanja brodova kao i vremena boravka broda u lučkom sustavu. Alternativno, ako se krene od maksimalno dozvoljenog vremena čekanja i vremena boravka broda u luci simulacijskim modelom moguće je odrediti maksimalni kapacitet određenog plovnog puta odnosno luke. Ovakvim modelom moguće je osim postojeće razine prometa simulirati i bilo koju drugu razinu prometa što je vrlo značajno pri razmatranju učinaka promjene veličine prometa na stanje u sustavu. Isto tako vrlo je značajan doprinos ovakvih modela pri planiranju novih plovnih putova ili lučkih sustava.

Može se dakle zaključiti da je model moguće praktično koristiti za analizu sustava manevriranja u jednom lučkom sustavu u:

- prethodnom poznatom periodu;
- budućem periodu uz određene pretpostavke;
- nekom zamišljenom periodu uz određene pretpostavke.

Ovakav, specifični model pomorskog prometa s težištem na sigurnosti tijekom odvijanja manevra i boravka broda na mjestu priveza vrlo je teško definirati točno i precizno. U modelu je pojedine procese potrebno generalizirati i pojednostaviti. Jasno da ovo pojednostavljenje ne smije model učiniti nerealnim odnosno neosjetljivim na promjene u značajnim ulaznim podacima. Stoga je vrlo važna temeljita evaluacija rezultata. Upravo zbog ovih činjenica ovakav model zahtijeva interdisciplinarni i multidisciplinarni pristup problemu. Ako se model postavi na način da su pojedini ulazni podaci kao i pojedini algoritmi koji opisuju određene procese takvi da se mogu mijenjati, nadopunjavati i tako evoluirati pojedine segmente moguće je model stalno razvijati.

Ulazni podaci u modelu mogu biti definirani deterministički ili stohastički, što ovisi o raspoloživosti tih podataka kao i konkretnom cilju korištenja modela. Vrijednosti ulaznih podataka mogu biti konkretne ili pretpostavljene.

Izlazni podaci trebaju obilježavati ponašanje (performanse) sustava, a sama vrsta izlaznih podataka ovisit će o tome kako se postavi model odnosno što se modelom želi analizirati.

Model je moguće proširiti i koristiti u razmatranju ekonomskih utjecaja u sustavu.

Također, valja naglasiti da model mora imati ugrađene potprograme za rješavanje pojedinih procesa u modelu. Jedan od osnovnih ciljeva ovog rada je upravo razvijanje potprograma, tj. konkretnog ekspertnog sustava za pojedinačni manevar temeljem kojega će se definirati broj i potrebna vučna sila tegljača uz zadovoljenje potrebnih faktora sigurnosti.

Prvi korak u izradi simulacijskog modela realnog sustava je prikupljanje podataka o sustavu. Uz pomoć podataka i poznavanja sustava valja formulirati model na način da se definiraju algoritmi pogodni za izvođenje na digitalnom računalu.

Za kreiranje modela postoji više metoda<sup>11</sup> kao što su konceptualni, deklarativni, funkcionalni, zatim tzv. modeli s ugrađenim ograničenjima i prostorni modeli ali se može

<sup>11</sup> Fishwick, P. A., Simulation Model Design and Execution, Building digital Worlds, Prentice Hall, Inc., New Jersey, 1995., str. 6.

istaknuti da bez obzira na izabranu metodu najprije valja kreirati konceptualni model promatranog sustava, posebno ako se radi o dinamičkom sustavu. Kada jedna vrsta modela nije dovoljna za opis sustava može se koristiti više njih što vodi k multimodelima odnosno k skupu individualnih modela.

Modeliranje sustava manevriranja brodom predstavlja vrlo složen problem koji zahtjeva slojevit multidisciplinarni i interdisciplinarni pristup stoga će se imajući u vidu opseg ovog rada kreirati konceptualni model sustava. Daljnju razradu i objektiviziranje ovakvog modela, zbog svoje složenosti, valja prepustiti daljnjim istraživanjima multidisciplinarne skupine eksperata.

### 3 UTJECAJ OKOLIŠA NA MANEVRIRANJE BRODOM

Jedan od vrlo važnih čimbenika koji utječu na samu tehnologiju manevriranja brodom kao i sigurnost tijekom manevriranja je svakako okoliš odnosno prostor i obilježja tog prostora u kojem se manevriranje odvija. Čimbenici koji pritom definiraju utjecaj okoliša su mnogobrojni kao npr. veličina akvatorija luke, vrsta i broj terminala i pristana, njihov položaj i međusobna udaljenost, udaljenost pristana od baze tegljača, broj i namjena sidrišta te njihova površina, vrsta gradnje obala, vrsta lučkih bazena, vrsta priveza broda u lukama i terminalima, oceanografske i meteorološke prilike koje se mogu očekivati u akvatoriju luke, razina maritimne sigurnosti broda, zaštićenost pristana, terminala odnosno luke, djelovanje morskih mijena, zemljopisni položaj luke, navigacijska složenost pristupa, veličina i struktura prometa u akvatoriju, itd.

Kako bi se izbjegla kriva tumačenja pojmova okolina i okoliš valja naglasiti da je prema općoj teoriji sustava okolina pojam koji obuhvaća okruženje sustava u koji pripada i čovjek, dok je pojam okoliš vezan za okruženje sustava u kojeg čovjek nije uključen.

#### 3.1 USTROJ, TEHNOLOŠKA OBILJEŽJA LUKE I ZNAČAJKE PRILAZNOG PODRUČJA

Prema klasičnoj definiciji luka je prirodno ili umjetno zaštićen morski, riječni ili jezerski bazen, gdje brodovi nalaze zaklon od valova, struja, morskih mijena i leda, gdje mogu brzo iskrcati, ukrcati ili prekrati teret, gdje mogu krcati gorivo, vodu i hranu, obaviti popravke i gdje se posade mogu odmoriti. Međutim ova definicija je danas djelomično zastarjela.<sup>12</sup>

S ekonomskog stajališta luka je mjesto gdje se susreću pomorski putovi s kopnenima, a ponekad i s unutrašnjim plovnim putovima, radi ukrcaja robe i putnika s kopnenih prijevoznih sredstava na brodove i obratno, ili radi prekrcaja robe s morskih brodova na brodove unutrašnje plovidbe i obratno, i to neposredno ili posredno preko skladišta i drugih lučkih uređaja. Ukratko, luka je mjesto susreta sredstava pomorskog i kopnenog prometa, gdje se obavlja ukrcaj i iskrcaj robe i putnika i gdje se brodovi mogu opskrbiti i zakloniti.

Međutim, ni jedna od navedenih definicija ne odgovara sasvim, jer postoje i ribarske, ratne i športske luke, koje nisu raskrižja kopnenih i morskih putova, niti se u njima obavlja robni i putnički promet u uobičajenom smislu. Osim toga, danas postoje i luke terminali smještene na pučini podalje od obale, koje po izgledu nemaju nikakve sličnosti s klasičnim lukama.

Prema strukturi tereta luke mogu biti opće ili univerzalne i specijalizirane - za pojedine vrste tereta (generalni teret, rasuti teret, tekući teret). Specijalizirane luke obično se zovu terminali. Međutim, i u sklopu velike luke može biti nekoliko specijaliziranih terminala. Luke se mogu kategorizirati i prema tipovima brodova koji u njih pristaju: linijske, kontejnerske, trajektne, itd. U većim lukama obično su u tom smislu specijalizirani pojedini dijelovi (kontejnerski terminal, RO-RO terminal, terminal za rasute terete, terminal za tekuće terete, terminal za drvo, trajektna luka, itd.).

Prilikom razmatranja konkretne luke i problema manevriranja, namjena pojedine luke i njenih terminala je vrlo važna jer ova karakteristika definira i vrstu brodova koji će u tu luku pristajati.

Sa stanovišta manevriranja vrlo je značajan i način priveza, tj. da li se brod privezuje uz obalu, u četverovez ili na sidrištu jer tehnologija manevriranja brodom umnogome ovisi upravo o načinu priveza broda.

Vrlo važan čimbenik koji utječe na manevriranje brodom je i površina akvatorija luke unutar koga se manevrira kao i sam razmještaj i veličina pojedinih elemenata luke. Pritom valja posebno istaknuti razmještaj i veličinu pristana u samom akvatoriju. Pristani mogu biti smješteni u sustavu rubnih obala, bazena ili gatova, a izvode se i plutajući pristani. Osim toga utjecajni čimbenici su i veličina ulaza u luku te prostor za okretanje brodova, ako postoji. Uz ove

<sup>12</sup> Stražičić N., Pomorska geografija svijeta, Školska knjiga Zagreb, Zagreb, 1996., str. 22.

čimbenike na sigurnost cijelog sustava, u ovom smislu, utječe položaj i prostornost sidrišta, a u nekim suvremenim lukama ili njihovoj neposrednoj blizini postoji i tzv. prostor za namjerno nasukavanje. U tom smislu valja istaknuti neke osnovne parametre i njihove veličine koji se danas upotrebljavaju pri projektiranju luka, a koji će odrediti luku te postavu i veličinu pojedinih elemenata. Ovo se u prvom redu odnosi na širinu ulaza, područja za zaustavljanje brodova, područja za okretanje brodova, duljine pojedinih pristana, potrebne udaljenosti između brodova, širine bazena, itd.

Ulazi u luku, ako je to moguće, obično su postavljeni na zavjetrinskoj strani luke. Ako ovakva postava nije moguća, lukobrani koji štite ulaz u luku od djelovanja valova obično su djelomično preklapljeni. Širina ulaza u luku s jedne strane mora biti što šira da bi se olakšalo manevriranje brodova pri ulasku i izlasku iz luke, a s druge strane ulaz mora biti što zatvoreniji da bi akvatorij luke bio što zaštićeniji od djelovanja valova, morskih struja i vjetera. Prema tome širina ulaza u luku mora zadovoljiti dva suprotna zahtjeva što u potpunosti nije moguće. Širina ulaza u luku u svakom slučaju ovisi o veličini brodova koji dolaze u luku, gustoći prometa, dubini mora te brzini morske struje. Imajući u vidu sve prethodne čimbenike, a da bi se zadovoljila sigurnost manevriranja brodova pri uplovljavanju i isplavljanju iz luke, može se ustvrditi da su širine ulaza u luku najčešće između 0,7·L i 1,0·L, dakle duljine broda koji se očekuju u luci.

Utjecaj širina ulaza na valove koji ulaze u luku i njihovu veličinu unutar luke detaljnije će biti obrađen u poglavlju o maritimnim uvjetima luke.

Brzina morske struje na ulazu u luku, ako je to moguće, ne bi smjela biti veća od 3 čv. U slučaju da je brzina morske struje veća profil ulaza trebalo bi prilagoditi u pogledu širine i dubine ulaza.

Veličina lučkog akvatorija je važna i zbog zaustavljanja brodova nakon njihova ulaska u luku. Duljina zaustavnog puta ovisi o mnogim čimbenicima kao što su brzina broda, depasman, oblik podvodnog dijela broda, stupnju nakrcanosti te snazi i vrsti brodskih strojeva, itd. Osim toga vrlo je važna činjenica da li brod ulazi u luku samostalno ili uz pratnju tegljača kad je potrebna duljina puta za zaustavljanje daleko manja. Kako bi se dobila slika veličine prostora za zaustavljanje, može se istaknuti da ta duljina iznosi približno 3 do 5 duljina broda za brod u balastu te 7 do 8 duljina broda za potpuno nakrcan brod. Pritom se duljina zaustavnog puta može računati od ulaza u luku do sredine prostora za okretanje broda ako takav prostor u luci postoji.

Prostor za okretanje broda, ako u luci postoji, obično je smješten u središnjem dijelu luke. Veličina prostora za okretanje broda funkcija je manevrabilnosti i veličine broda koji se okreće kao i dozvoljenom vremenu za okret. Međutim, od najvećeg značenja za određivanje veličine ovog prostora je svakako činjenica da li se manevar okreta izvodi bez ili sa asistencijom tegljača. Približni promjer ovog prostora za brodove koji se okreću bez asistencije tegljača je do 4 duljine broda (L), a za vrlo dobre vremenske uvjete ovaj promjer može se smanjiti na 3 L. Ako brod ima pramčani porivnik potreban je manji prostor. Uz asistenciju tegljača ovaj promjer uzima se normalno 2 L, a u vrlo dobrim vremenskim uvjetima 1,6 L. Pritom valja naglasiti da tegljači teoretski mogu okrenuti brod na mjestu, međutim u praksi se najčešće taj manevar ne izvodi tako, a potrebno je uzeti u obzir i prostor za rad tegljača, pa se stoga dolazi do gore prikazanih vrijednosti. Ove vrijednosti potrebno je korigirati uzimajući u obzir lokalni vjetar, valove, morske struje, posebnu vrstu broda ili potrebe koje se javljaju u eksploataciji, a korekcija veličine ovog prostora posebice se odnosi na mali UKC.

Veličina pristana ovisi o veličini i broju brodova koji pristaju kao i razmještanju pojedinih pristana te međusobnom odnosu pojedinih pristana. Međusobni odnos pojedinih pristana utječe i na veličinu bazena između pristana. Postava pristana i veličina bazena mora osigurati sigurnost tijekom manevriranja brodom u dolasku i odlasku. Pritom postava ovisi i o maritimnim uvjetima na području luke odnosno stupnju njene zaklonjenosti, tehnologiji manevriranja brodom, itd.

Ako je pristan predviđen za prihvat više brodova u nizu, imajući u vidu sigurnost brodova pri manevriranju i tijekom boravka na vezu, udaljenost između dva privezana broda trebala bi biti 0,1 duljina većeg broda. Na slabije zaklonjenim pristanima gdje vladaju lošiji oceanografski i meteorološki uvjeti ova udaljenost treba iznositi do 0,2 L. Osim razmatranja udaljenosti između dva privezana broda, sa stanovišta sigurnosti, važno je poznavanje karakterističnih udaljenosti broda od obale u odnosu na pojedine izvedbe pristana i njihov međusobni odnosa.<sup>13</sup>

Postava luke u kombinaciji gatova i obala omogućava najveću duljinu pristana u odnosu na duljinu obale, pa se takve postave vrlo često koriste. Duljina pristana na gatovima namijenjenim za vezivanje jednog broda trebala bi iznositi  $L + 30$  do 50 metara, a pritom bi udaljenost broda od obale trebala biti najmanje 0.10 do 0.15 L. Širina bazena između dva gata s pristanima gdje se vezuje po jedan brod trebala bi iznositi najmanje 2 širine najvećeg broda koji se očekuje i širine potrebne za rad tegljača. Ova širina kreće se u ovisnosti o različitim autorima od 30 m do 90 m. Širina istog bazena ako je predviđeno privezivanje dva broda jedan uz drugi, što je rjeđe slučaj, a javlja se najčešće pri prekrcaju teglenica ili riječnih brodova, treba iznositi 4 širine najvećeg broda koji se očekuje i širine potrebne za rad tegljača. Ova širina mora iznositi najmanje 50 m. Širina bazena s obostranim pristanima, a ako na gatu postoje dva pristana trebala bi iznositi najmanje 2 širine najvećeg broda i širina za rad tegljača od najmanje 50 m.

Ako je prilaz pojedinim bazenima predviđen iz kanala ili relativno uskog lučkog akvatorija, a u svrhu što lakšeg ulaska i izlaska broda iz tih bazena, potrebna širina bazena koji je postavljen pod kutom od  $45^\circ$  u odnosu na plovni put iznosi 1,5 duljine broda (L) čiji se prihvat očekuje, dok je za bazene koji su postavljeni okomito ta širina 2 duljine broda.

Ako se područje pristana jaruža, po današnjim standardima gradnje, duljina izjaružanog područja ne smije biti manje od 1,25 duljine najvećeg broda koji se očekuje na pristanu kad se manevrira uz asistenciju tegljača i 1,5 duljine broda kad se manevrira bez asistencije tegljača. Širina ovog područja mora biti najmanje 1,25 širine najvećeg broda koji se očekuje na pristanu.

Prikazane karakteristike luka, a koje utječu i na manevriranje brodom kao i na sigurnost tijekom manevriranja, odnose se na današnje standarde projektiranja luka. Međutim, valja naglasiti da brodovi pristaju u lukama koje su projektirane davno za ondašnje uvjete te ne odgovaraju današnjim standardima projektiranja. Ovakve luke vrlo često predstavljaju veliku poteškoću pri manevriranju brodovima današnjih veličina.

Osim prethodno analiziranih lučkih postava valja analizirati i postavu terminala za prihvat brodova koji prevoze tekući teret u različenom stanju, dakle tankera za prijevoz ulja, kemikalija i brodova za prijevoz ukapljenih plinova jer su ovakvi vezovi vrlo česti, a sa stanovišta manevriranja brodom su također vrlo specifični jer se radi o manevriranju brodova posebnih manevarskih obilježja. Slični terminali mogu biti namijenjeni i prijehu brodova za prijevoz suhog rasutog tereta. Osnovne komponente ovih pristana su ukrcajno/iskrcajna platforma i struktura na koju se naslanja brod (ove dvije komponente mogu biti zasebne ili zajedno građene) te privezne utvrđice i prilazni most s cjevovodima. Raspored bokobrana i priveznih utvrđica mora osigurati sigurnosne uvjete prema pravilima struke tijekom manevra pristajanja kao i tijekom boravka broda na terminalu. Ovakvi terminali moraju biti orijentirani tako da su sile koje djeluju na brod najmanje moguće, tj. da je djelovanje prevladavajućih sila što paralelnije s linijom priveza. Struktura na kojoj se nalaze bokobrani i na koju se naslanja brod ne smije biti kraća od 0,25 duljine broda, a obično nije dulja od 0,4 duljine broda koji pristaje na terminal. Terminali koji prihvaćaju brodove jako različitih veličina ove uvjete imaju zadovoljene na različite načine.

Ako su terminali namijenjeni prijehu brodova za prijevoz suhog rasutog tereta njihove ukrcajno/iskrcajne platforme moraju biti daleko dulje, odnosno jednake duljini zone teretnih prostora broda koji se prihvaća. Naime, ova duljina platforme je bitna kako bi se omogućilo

<sup>13</sup> Tsinker, G.P., Floating Ports, Gulf Publishing Company, Houston, 1986, str. 11.

kretanje obalnih prekrcajnih sredstava cijelom duljinom zone teretnih prostora broda. U protivnom brod bi se tijekom iskrcaja morao pomicati uz obalu što se izbjegava. Osim toga od ukrcajno/iskrcajne platforme prema obali vodi neka od različitih vrsti transportera za prijenos ove vrste tereta koji se danas koriste.

Razmatrajući ustroj luke pažnju treba posvetiti međusobnom razmaku pojedinih terminala za prihvat različitih vrsta brodova odnosno tereta kao i razmak pojedinih vrsta brodova na istom terminalu te razmak između njih i ostalih brodova u plovidbi kraj terminala. Današnja praksa u svijetu pokazuje vrlo različita rješenja koja ovise o mnogim faktorima. Za neke vrste brodova i tereta nema nekih posebnih zahtjeva, međutim stroži uvjeti u pogledu ovog pitanja postavljaju se upravo pred terminale za prihvat brodova za prijevoz tekućih tereta u različenom stanju. Ovo pitanje je dakle opće sigurnosno pitanje vezano za brodove, sam terminal i njegovu okolinu. Sigurnosna udaljenost između dva privezana tankera ili privezanog tankera i broda koji plovi u blizini privezanog tankera ovisi o postavi luke ili terminala, njenoj veličini, broju tegljača koji sudjeluju u manevriranju brodom tijekom priveza ili odveza, prirodnim uvjetima u okolišu i naseljenosti u okolini mjesta priveza. Ova udaljenost ovisi i o odnosu prema sigurnosti u pojedinoj zemlji. Uspoređujući postojeću praksu u svijetu ove udaljenosti najčešće variraju u sljedećim okvirima<sup>14</sup>:

- udaljenost između dva tankera za prijevoz ulja od 30 do 100 metara;
- udaljenost između dva tankera za prijevoz ukapljenih plinova od 50 do 150 metara;
- udaljenost između privezanog tankera za prijevoz ulja i broda koji plovi u blizini terminala od 50 do 150 metara;
- udaljenost između privezanog tankera za prijevoz ukapljenih plinova i broda koji plovi u blizini terminala od 50 do 250 metara.

Pri projektiranju ovih terminala njihova orijentacija i položaj nastoje se izabrati tako, a imajući u vidu potencijalne opasnosti koju predstavljaju ovi brodovi, da manevar priveza i odveza bude što lakši, kao i manevar odlaska u slučaju nastupa neke izvanredne okolnosti.

Specifičnost u organizaciji ovih terminala je i obvezno postojanje službe za djelovanje u slučaju onečišćenja morskog okoliša. Pritom se na terminalima u svijetu različito pristupa ovom problemu. Na nekim terminalima se zaštitne brane postavljaju prije početka prekrcajnih operacija te skidaju nakon njihova završetka. Neki terminali to ne čine, ali imaju spremne skupine za djelovanje u slučaju onečišćenja koje po potrebi djeluju trenutno. Neki terminali zaštitu mogu imati riješenu i na neki drugi način, a ne korištenjem klasičnih zaštitnih brana, npr. pneumatske brane. Vrsta i način postavljanja zaštitnih brana važan je i za sigurnost manevriranja u slučaju nastupa izvanrednih okolnosti, te i o tom segmentu treba voditi računa.

Osim prekrcaja tereta na obali postoje i odobalni terminali (engl. *Off Shore Terminals*) koji su danas u svijetu vrlo rasprostranjeni te prihvaćaju brodove vrlo velikih dimenzija čije je manevriranje vrlo složeno i zahtjevno. Ovi terminali mogu biti izvedeni kao tzv. privezi na jednu točku (engl. *Singel Point Mooring*) ili privezi na više točaka (engl. *Multy Point Mooring*). Privez na jednu točku može biti privez na jednu plutaču (engl. *Singel Buoy Mooring*) ili privez na toranj (engl. *Singel Tower Mooring*). Privez na jednu plutaču u ovisnosti o načinu sidrenja plutače može biti sidrenje plutače jednim sidrom tzv. S.A.L.M. (engl. *Singel Anchor-Leg Mooring*) ili sidrenje plutače s više sidara tzv. C.A.L.M. (engl. *Catenary Anchor-Leg Mooring*). Vezivanje broda na više plutača uz korištenje brodskih sidara (engl. *Multy Buoy Mooring*) može biti vrlo različito. Broj i smještaj plutača te mjesta obaranja sidara mogu se bitno razlikovati te nema pravila kako taj vez treba točno izgledati. Najčešće se ipak vez realizira tako da se sidra obaraju po pramcu te da djeluju simetrično lijevo i desno od simetrale broda, a da se krme priveže na više plutača. Osim ovih načina izvedbe odobalnih terminala treba istaknuti i privez broda na drugi brod te prekrcaj tereta na taj način tzv. STS (engl. *Ship to Ship Transver*). Ovaj način

<sup>14</sup> Thoresen, C.A., Port Design, Guidelines Recommendations, Tapir Publishers, Trondheim, 1988, str. 102.

priveza ne može se smatrati odobalnim terminalom, ali ga je važno napomenuti imajući u vidu specifičan način manevriranja tijekom pristajanja broda na brod kao i značajan broj prekrcaja tereta takvim načinom. Brodovi se mogu privezati i u klasični četverovez, tzv. mediteranski način priveza koji također podrazumijeva specifičan način manevriranja.

Sidrište ispred luke predstavlja također važan element u ustroju luke. Broj i namjena sidrišta te njihova površina od luke do luke vrlo je različita. Na sidrištima brodovi mogu biti usidreni dok čekaju ulazak u luku, mogu prekravati teret, ili mogu boraviti iz bilo kojeg drugog razloga. Način sidrenja broda na sidrištima najčešće se izvodi korištenjem brodskih sidara, ali sidrenjem se može smatrati i privez broda na plutaču ili plutače kako je već opisano. Preporučljivo je da sidrišta budu zaklonjena što je to više moguće, pa takva sidrišta mogu služiti brodovima i kao zakloništa. Zaštićena sidrišta mogu biti prirodna, obično su smještena u morskim uvalama ili su otocima zaklonjena od vjetra i valova, a mogu biti i umjetno zaklonjena valobranima. Područje sidrišta može biti podijeljeno i na više zona obzirom na vrstu brodova kojima je dozvoljeno sidrenje u pojedinoj zoni. Luke mogu imati vanjska i unutarnja sidrišta. Sidrišta treba smjestiti što bliže lukama ali pritom ne smiju predstavljati smetnju u plovidbi brodovima koji uplovljavaju i isplovljavaju iz luke.

Dubine na sidrištima moraju biti umjerene. Minimalna dubina ne bi smjela biti manja od gaza brodova kojima je sidrište namijenjeno i dubine ispod kobilice od najmanje 3 do 4 metra za vrijeme oseke, a maksimalna dubina ne bi smjele prelaziti 60 m. Ovako definirana maksimalna dubina na sidrištu proizlazi iz uvjeta duljine ispusta sidrenog lanca na određenoj dubini da bi sidro držalo kao i raspoložive duljine sidrenog lanca brodova.

Dno mora biti pogodno za sidrenje u pogledu zadržavanja sidra. Pogodno dno za sidrenje je muljevito i pjeskovito dno, dok je tvrdo dno slabo u pogledu držanja sidra. Premekano dno također nije dobro jer u nj sidro ulazi previše duboko pa se javljaju problemi pri podizanju sidra.

Površina sidrišta ovisi o broju i veličini brodova koji sidre na određenom sidrištu. Površina koja je potrebna jednom brodu za siguran boravak broda na sidrištu definirana je laznim krugom. Veličina laznog kruga ovisi o veličini odnosno duljini broda, dubini na poziciji sidrenja, kvaliteti dna, vremenskim prilikama i stupnju sigurnosti koji se želi postići. Polumjer laznog kruga, ako su  $L$  duljina broda i  $D$  dubina na mjestu sidrenja, potrebno je odrediti kako slijedi.<sup>15</sup> Za čekanje ili prekrcaj na sidru ako je dno pogodno za sidrenje polumjer iznosi  $L + 6D$ , a ako dno nije pogodno za sidrenje polumjer bi trebao iznositi  $L + 6D + 30$  m. Za sigurno usidren brod pri brzini vjetra od 20 m/s polumjer bi trebao iznositi  $L + 3D + 90$  m, a pri brzini vjetra od 30 m/s  $L + 4D + 145$  m. Analizirajući ove podatke proizlazi da je duljina ispuštenog sidrenog lanca varira između 6 i 10  $D$ .

Sve spomenute karakteristike sidrišta direktno utječu na stupanj sigurnosti tijekom boravka broda na sidrištu kao i tijekom dolaska i odlaska s pozicije sidrenja.

Neke luke, ako im to okoliš dozvoljava, imaju i takozvana područja za namjerno nasukanje koja su namijenjena namjernom nasukanju ozbiljno oštećenih brodova. Ova područja mogu biti smještena na prilaznim putovima luci ili u blizini samih luka. Dubina na ovim područjima mora se postupno smanjivati do dubine koja je nešto manja od gaza broda koji se namjerno nasukava, a poželjno je da dno bude meko. Prilikom takvih nasukivanja brod treba manevrirati prema pravilima struke koja se odnose na namjerno nasukanje.

Osim ustroja i postave luka za cjelovito sagledavanje problema potrebno je poznavati obilježja pojedinih vrsta lučkih obala kao i obilježja lučke privezne opreme.

Lučke građevine koje obilježavaju lučki akvatorij s maritimnog stanovišta mogu se načelno podijeliti na vanjske i unutrašnje.

<sup>15</sup> Thoresen, C.A., Port Design, Guidelines Recommendations, Tapir Publishers, Trondheim, 1988, str. 104.

Osnovna funkcija vanjskih lučkih građevina je zaštita unutrašnjeg lučkog akvatorija od utjecaja valova i morskih struja. U ovu grupu građevina pripadaju lukobrani i valobrani različitih izvedbi, te ih valja promatrati u kontekstu maritimnih uvjeta u luci odnosno zaštićenosti luke.

Unutrašnje građevine predstavljaju vezu između pomorskih i kopnenih prijevoznih sredstava, a to omogućava i osnovnu funkciju trgovačke luke u komercijalnom smislu tj. prekrcaj tereta. Postoje tri osnovne izvedbe unutrašnjih građevina i to: sustav rubnih obala, sustav bazena i sustav gatova. Osim ovih sustava primjenjuju se i plutajuće obale.

Načini izvedbe pojedine obale ovise o dubini mora, vrsti i nagibu morskog dna, opterećenjima koja se javljaju u eksploataciji, materijalu gradnje, mikroklimatskim prilikama, te namjeni pojedine obale.

Postoje dvije osnovne izvedbe obala:

- masivne gravitacijske obale i
- armirano-betonske konstrukcije na stupovima (pilotima), tzv. lagane obale.

Masivne obalne konstrukcije manje su izložene udarima jer se pri pristajanju broda na takvu obalu između broda i obale javlja tzv. vodeni jastuk koji smanjuje brzinu prilaza broda obali te je i sila udara broda o obalu manja.

Kod laganih obala bokobran štiti obalu, dok kod masivnih obala bokobran u prvom redu štiti brod. Naime kod laganih obala pri udaru broda o obalu može doći do velikih oštećenja, pa i do rušenja obale, dok kod masivnih obala dolazi samo do neznatnog oštećenja ruba obale u blizini točke udara.

S druge strane pri projektiranju sustava bokobrana treba imati u vidu također razliku između ovih dviju vrsta obala. Kod masivne obale bokobrani preuzimaju na sebe svu absorpciju kinetičke energije broda, dok kod laganih obala dio preuzimaju bokobrani, a dio konstrukcija svojom elastičnošću.

Utjecaj transversalnih struja na masivnim obalama s vertikalnim zidom ne postoji, dok kod laganih obala na pilotima ovaj utjecaj može biti značajan.

Tipične kategorije položaja mjesta priveza u odnosu na njihovu zaštićenost mogu se razvrstati u zatvorene bazene, bazene izložene morskim mijenama, estuarijske vezove i obalne vezove<sup>16</sup>, a njihova obilježja su sljedeća:

ZATVORENI BAZENI	<ul style="list-style-type: none"><li>- približno stalna razina vode,</li><li>- obično zaštićen od jakih vjetrova,</li><li>- ograničeno privjetrište za lokalno generiranje valova,</li><li>- veličina brodova koji mogu pristajati ograničena dimenzijama bazena,</li><li>- obično je brzina morskih struja zanemariva.</li></ul>
BAZENI IZLOŽENI MORSKIM MIJENAMA	<ul style="list-style-type: none"><li>- veća promjena nivoa vode nego u zatvorenom bazenu,</li><li>- ograničeno izloženi valovima,</li><li>- ograničena brzina morske struje.</li></ul>
ESTUARIJSKI VEZOVI	<ul style="list-style-type: none"><li>- maksimalno djelovanje morskih mijena i morske struje,</li><li>- veća izloženost valovima u odnosu na bazene izložene morskim mijenama,</li><li>- vezovi često namijenjeni za jednu/dvije vrste brodova.</li></ul>

<sup>16</sup> British Standard Code of practice for Maritime structures, Part 4. Design of fendering and mooring systems, British Standards Institution, str. 3.



## OBALNI VEZOVI

- potpuno izloženi djelovanju vjetra, valova i morskih struja,
- obično namijenjeni specijaliziranom prometu: rasuti teret, ugljen, željezna rudača, ulja, ...
- namjenski brodovi i namjenska prekrcajna oprema.

Pri projektiranju obala ili pri analizi stupnja sigurnosti postojećih lučkih građevina potrebno je posebno analizirati sustav manevriranja brodom u dijelu interakcije broda i obalne strukture te posvetiti pažnju sljedećim čimbenicima:

- broj, vrsta, veličina i oblik postojećih ili očekivanih brodova;
- postojanje tegljača, navigacijskih uređaja i nadzor pomorskog prometa;
- peljarenje;
- manevar priveza i način veza, mjere sigurnosti, sustavi i načini mjerenje opterećenja;
- zahtjevi za rukovanje teretom, ro-ro promet, skladištenje i ostale aktivnosti, uključujući mogućnost promjena u budućnosti ili fleksibilnost u eksploataciji;
- propisi koji imaju utjecaj na bili koji od prethodnih elemenata.

Pritom valja imati na umu da se obale obično projektiraju za minimalno vrijeme trajanja i korištenja pojedinog objekta kako je prikazano u priloženoj tablici.<sup>17</sup>

LUČKI OBJEKT	MINIMALNO TRAJANJE
OBALNI ZID	60 godina
OTVORENI GAT	45 godina
SUPRASTRUKTURNI ELEMENTI	30 godina
SUHI DOK	45 godina
ZAŠTITA OBALE, LUKOBRANI, VALOBRANI	60 godina
ZAŠTITA OD POPLAVA	100 godina

Tablica 1 Uobičajeno minimalno vrijeme za koje se projektiraju obalne građevine

Tipične frekvencije cikličnih opterećenja u pomorskom okruženju koje valja uzeti u obzir pri proračunima prikazani su u priloženoj tablici.<sup>18</sup>

SILE IZ POMORSKOG OKRUŽENJA	TIPIČNE FREKVENCIJE (Hz)	Period (s)
TORBULENCIJA VJETRA	0,05 do 20	20 do 0,05
NERAVNOMJERNA BRZINA STRUJE MORSKIH MIJENA	1,0 do 10	1,0 do 0,1
VRTLOŽNA STRUJANJA	0,5 do 3,0	2 do 0,3
SILA VALOVA U PRAVILNOM VALOVLJU	0,05 do 1,0	20 do 1,0
ŠTIGE I DUGI VALOVI	0,001 do 0,005	1000 do 20

Tablica 2 Tipične frekvencije cikličnih opterećenja u pomorskom okruženju

Dinamički efekt ovisi o odnosu frekvencije cikličkih sila  $f_c$  i prirodne frekvencije odziva  $f_N$ . Dinamički efekt nema utjecaja ako je  $f_c$  manja od  $f_N/3$  odnosno veća od  $2 \cdot f_N$ .

Prilikom projektiranja lučkih građevina vrijednosti pojedinih utjecajnih čimbenika uzimaju se u odnosu na vjerojatnost njihova nastanka za određeni povratni period. Vjerojatnost nastupa određenog događaja može se odrediti izrazom<sup>19</sup>:

<sup>17</sup> British Standard Code of practice for Maritime structures, Part 1. General criteria, British Standards Institution, str. 25

<sup>18</sup> British Standard Code of practice for Maritime structures, Part 1. General criteria, British Standards Institution, str. 68

<sup>19</sup> British Standard Code of practice for Maritime structures, Part 1. General criteria, British Standards Institution, str. 33

$$p = 1 - (1 - 1/T_R)^n$$

gdje su:

- $p$  - vjerojatnost nastupa određenog događaja
- $T_R$  - povratni period u godinama
- $n$  - period godina za koji se određuje vjerojatnost događaja

Brod se za obalu privezuje priveznim konopima čiji broj, raspored i prekidna jačina ovise o veličini i vrsti broda, te uvjetima na pristanu. Da bi se brod mogao sigurno vezati potrebno je da obala bude opremljena prikladnim sredstvima za privezivanje brodova. Pritom se koriste bitve ili privezni stupovi, kuke i prsteni čija čvrstoća treba odgovarati veličini vlačne sile koju treba preuzeti, te se prema toj sili i dimenzionira.<sup>20,21</sup>

Najčešće vrste bitvi (engl. *Mooring bollards*) koje se upotrebljavaju su stupne bitve (engl. *Single and double pillar*) koje mogu biti jednostruke, dvostruke ili dvostruke ukošene s maksimalnom radnom silom do 2000 kN, a zadovoljavaju kod priveza gdje nema većih vertikalnih kutova pod kojima djeluju privezni konopi, bitve s T glavom (engl. *Tee-head*), s maksimalnom radnom silom do 1500 kN, uspješno se koriste i kod priveza gdje postoje veći vertikalni kutovi pod kojima djeluju privezni konopi te bitve s dvostrukom glavom i ukošenim dodacima (engl. *Twin-head type sloping lobes*), s maksimalnom radnom silom do 2000 kN, uspješno se koriste i kod priveza gdje postoje veći vertikalni kutovi pod kojima djeluju privezni konopi). Osim ovih postoje i druge izvedbe bitvi i priveznih stupova.

Za privez većih brodova sve se više umjesto priveznih stupova koriste privezne kuke koje omogućavaju siguran privez broda kao i brzo odvezivanje broda u slučaju potrebe. Brzo otpuštanje priveznih konopa moguće je u normalnim ili izvanrednim okolnostima. Otvaranje kuke i otpuštanje priveznih konopa moguće je mehanički na samoj priveznoj kuki ili elektromehanički na daljinu. Sama kuka za koju se privezuje brodski privezni konop pričvršćena je na stup i ima mogućnost horizontalnog i vertikalnog zakretanja. Na taj način omogućeno je da kuka uvijek djeluje u smjeru priveznog konopa, a taj smjer ovisi o horizontalnom i vertikalnom kutu u odnosu na obalu pod kojim djeluje privezni konop. Neke izvedbe priveznih kuka imaju i mogućnost mjerenja opterećenja kojim djeluje privezni konop što se kasnije koristi u sofisticiranom praćenju sustava priveza broda tijekom boravka broda na obali. Na nosećem stupu mogu biti ugrađene od jedne do šest kuka s maksimalnim opterećenjem po kuki od 2000 kN te maksimalnim vertikalnim kutom 45°. Dakako da u tom slučaju stup mora biti tako dimenzioniran da izdrži silu koju će prouzročiti privezni konopi na svim kukama. Uobičajeno je da stupovi na sebi imaju ugrađeno i pritezno vitlo koje služi za podizanje priveznog konopa iz mora. Naime, za velike brodove vrlo često je to čelično užje, dakle vrlo teško, pa bi za podizanje takvog priveznog konopa bio potreban veliki broj ljudi. Ugradnjom ovakvog priteznog vitla izbjegnuto je ovaj problem. Pritezna vitla mogu biti izvedbe s jednom ili dvije brzine pritezanja.

Privezni prsteni služe za privez manjih brodova, a kad se postavljaju na obalni zid treba ih ugraditi unutar linije zida. Ako ih se ugrađuje na obalnu površinu također ih treba ugraditi ispod linije obalne površine.

Pritezna vitla osim što se ugrađuju na stupove s priveznim kukama mogu se ugraditi gdje god je to potrebno da bi se olakšalo podizanje priveznih konopa iz mora, dakle i kraj bitvi. Sa stanovišta sigurnosti pri radu takvim uređajima potrebno je zaštititi sve rotirajuće dijelove te pri ugradnji poštivati sigurnosne mjere u pogledu električnih uređaja posebno imajući u vidu posebnost smještaja takvog uređaja na obalnom rubu. Nužan je i stalni nadzor i održavanje.

<sup>20</sup> Thoresen, C.A., *Port Design, Guidelines and Recommendations*, Tapir Publishers, Trondheim, Norway, 1988., str. 131.

<sup>21</sup> British Standard Code of practice for Maritime structures, Part 1. General criteria, British Standards Institution, 1984., tablica 7, str. 79

Za neke vrste brodove koji posluju na kratkim i redovitim linijama počeli su se razvijati i fiksni načini priveza što skraćuje vrijeme priveza, zahtjeva manji broj članova posade i podiže stupanj sigurnosti tijekom boravka broda na mjestu priveza. Jedan od takvih sustava, konstruiran u Švedskoj sastoji se od pomične jedinice s priveznom kukom koja se direktno prihvaća na odgovarajuće mjesto na brodu i noseće konstrukcije čvrsto prihvaćene na obali.<sup>22</sup> Za trajnije vezove koriste se i fiksne izvedbe koje elasticitet priveza ostvaruju ugradnjom gumenih umetaka.<sup>23</sup>

Važan dio opreme pristana je sustav bokobrana čija je osnovna funkcija zaustavljanje kretanja broda prema pristanu, tj. primanje udarne energije broda pri pristajanju, a da pritom ne dođe do oštećenja broda, obale ili bokobrana. Osim toga bokobran treba preuzeti sve sile kojima brod djeluje na obalu nastale od vjetra, valova, morskih struja, krcanja i iskrcaavanja broda, itd., tijekom njegova boravka uz obalu. Bokobrani udaljavaju brod od obale i tako štite obalu i obalna prekrcajna sredstva u slučaju ljuljanja broda. Bokobrani moraju izdržati i sile koje se mogu javiti pri isplavljenju broda bez uporabe tegljača.

Pri projektiranju sustava bokobrana najbolje je istovremeno projektirati i obalnu konstrukciju, a ne ova dva postupka projektiranja odvajati. Najsloženije je projektiranje sustava bokobrana za višenamjenske pristane koji trebaju prihvaćati brodove različitih vrsta i veličina.

Pri odabiru sustava bokobrana kao i u ocjeni pogodnosti određenog sustava bokobrana za prihvat određene vrste brodova te definiranju načina izvođenja manevra sa stanovišta sigurnosti kao i sigurnog boravka broda na mjestu priveza treba voditi računa o sljedećim faktorima:

- prihvatljive sile reakcije deformacije obalne konstrukcije i broskog trupa;
- vrsta i oblik broskog trupa;
- energija koju treba apsorbirati bokobran imajući u vidu smještaj i uvjete pri pristajanju kao i vrstu manevra pristajanja;
- amplituda morskih mijena i amplituda promjene nadvođa broda koja se javlja pri operacijama ukrcaja odnosno iskrcaja;
- prihvatljivo ograničenje u udaljenosti između linije obale i boka broda nakon što je brod vezan, a imajući u vidu karakteristike prekrcajnih uređaja.

Udarnu energiju broda pri pristajanju treba apsorbirati bokobran, a silu treba izdržati obalna konstrukcija. Idealan bokobran bio bi dakle bokobran koji apsorbira veliku energiju, a prenese malu silu reakcije na obalnu konstrukciju. Stoga je važno poznavati tzv. faktor bokobrana (engl. *fender factor*),  $Fr/Ea$  koji predstavlja odnos između sile koju treba izdržati i energije koju treba apsorbirati.<sup>24</sup> Sila reakcije je vrlo važna jer njena maksimalna vrijednost ovisi o vrijednosti horizontalne sile koju može izdržati obalna konstrukcija i maksimalnom pritisku koje može izdržati brodski trup.

Imajući u vidu prethodno razmatranje bokobrani se načelno mogu podijeliti u dvije grupe.<sup>25</sup>

- bokobrani koji na obalnu konstrukciju prenose veliku silu reakcije u odnosu na apsorbiranu energiju, tj. faktor bokobrana  $Fr/Ea$  je visok;
- bokobrani koji na obalnu konstrukciju prenose malu silu reakcije u odnosu na apsorbiranu energiju, tj. faktor bokobrana  $Fr/Ea$  je nizak.

<sup>22</sup> Automated mooring for new Combiferries, Norent AB Gothenburg, The Naval Architect, September, 1996., str. 25.

<sup>23</sup> Thoresen, C.A., Port Design, Guidelines and Recommendations, Tapir Publishers, Trondheim, Norway, 1988., str.233.

<sup>24</sup> Kapacitet bokobrana odnosno njegova apsorpcijska energija obično se računa pri stješnjenju od 50%.

<sup>25</sup> Thoresen, C.A., Port Design, Guidelines and Recommendations, Tapir Publishers, Trondheim, Norway, 1988., str.220.

Da bi se projektirao optimalni sustav bokobrana za određenu obalu, kao i za procjenu efikasnosti postojećeg sustava bokobrana osnovni faktori su vrsta konstrukcije obale, veličine brodova koji pristaju, oblik trupa broda, brzina prilaza pri pristajanju, te mogućnost apsorpcije kinetičke energije broda i veličina sile reakcije.

Utjecaj vrste brodova na projektiranje sustava bokobrana odnosno procjenu efikasnosti i sigurnosti postojećih sustava bokobrana može se ukratko prikazati kako slijedi:<sup>26</sup>

TRAJEKTI ZA PRJEVOZ VLAKOVA I VOZILA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- brzi ciklus pristajanja,</li> <li>- pristajanje pramcem ili krmom okomito na obalu,</li> <li>- velika brzina pristajanja,</li> <li>- intenzivno korištenje veza</li> </ul> (vidjeti i napomene 1, 2 i 4)
RO-RO BRODOVI	<ul style="list-style-type: none"> <li>- prekrcajne rampe, bočne, otklonjive ili aksijalne (ugradene na brodu ili na obali).</li> </ul> (vidjeti i napomene 1 i 2)
BRODOVI ZA PRJEVOZ UKAPLJENIH PLINOVA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- mali gaz osim kad su potpuno nakrcani,</li> <li>- mali pritisak na trup broda tijekom pristajanja i priveza,</li> <li>- određena vrsta broda koristi određeni vez,</li> <li>- potrebno je izbjeći požarnu opasnost uslijed iskrenja ili trenja</li> </ul> (vidjeti i napomene 1 i 3)
OBALNI TANKERI	<ul style="list-style-type: none"> <li>- vrlo malo nadvođe na sredini broda,</li> <li>- intenzivno korištenje veza,</li> <li>- potrebno je izbjeći požarnu opasnost uslijed iskrenja ili trenja</li> </ul> (vidjeti i napomene 3 i 4)
BRODOVI ZA PRJEVOZ KONTEJNERA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- izbočen pramac (<i>flared clipper bows</i>) s mogućnošću udara u obalne instalacije.</li> </ul> (vidjeti i napomenu 1)
BRODOVI ZA PRJEVOZ RASUTOG TERETA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- potrebno ih je privezati neposredno uz obalnu liniju kako bi se smanjilo pružanje prekrcajnih uređaja,</li> <li>- mogućnost pomicanja uz obalu kako bi prekrcajni uređaji mogli raditi na svim brodskim skladištima,</li> <li>- velika promjena gaza između praznog i potpuno nakrcanog broda.</li> </ul> (vidjeti i napomenu 1)
PUTNIČKI BRODOVI	<ul style="list-style-type: none"> <li>- mala promjena gaza između praznog i potpuno nakrcanog broda</li> </ul> (vidjeti i napomenu 1)
TANKERI	<ul style="list-style-type: none"> <li>- potrebno ih je privezati neposredno uz obalnu liniju kako bi se smanjila duljina mehaničke prekrcajne ruke,</li> <li>- velika promjena gaza između praznog i potpuno nakrcanog broda,</li> <li>- potrebno je izbjeći požarnu opasnost uslijed iskrenja ili trenja</li> </ul> (vidjeti i napomenu 1)

<sup>26</sup> British Standard Code of practice for Maritime structures, Part 4: Design of fendering and mooring systems, British Standards Institution, 1985., tablica 2, str. 4.

BRODOVI ZA PRILJEVOZ  
GENERALNOG TERETA

- potrebno ih je privezati neposredno uz obalnu liniju kako bi se smanjilo pružanje obalnih dizalica i/ili brodskih dizalica,
- velika promjena gaza između praznog i potpuno nakrcanog broda.  
(vidjeti i napomenu 1)

OBALNI TERETNI  
BRODOVI

- kratak ravni dio broskog trupa  
(vidjeti i napomenu 4)

RAZNI TEGLAČI,  
BRODO-OPSKRBLJIVAČI,  
MAONE, BARŽE I  
RIBARSKI BRODOVI

- potrebni su vrlo izdržljivi bokobrani za velika naprezanja pri korištenju,
- drveni bokobrani se mogu također koristiti.  
(vidjeti i napomene 2 i 4)

BRODICE ZA RAZONODU  
(JAHTE)

- potreban je vrlo mekani sustav bokobrana koji ponekad imaju i same brodice.

Napomena 1. Brodovi mogu biti konstruirani i s "bulb" pramcem.

Napomena 2. Brodovi mogu biti opremljeni posebnim sustavom za privez.

Napomena 3. Brodovi ne moraju imati nužno priključak za ukrcaj/iskrcaj tereta (engl. *manifold*) na sredini broda.

Napomena 4. Brodovi mogu pristajati bez korištenja tegljača.

Prilikom dimenzioniranja bokobrana treba odrediti dio sile koju kod udara broda na sebe prima bokobran. Pritom se razmatra samo prvi udar koji je ujedno i najjači. Pretpostavka je da se sljedeći udari događaju kad je bokobran već vraćen u normalno stanje.

Dvije su vrlo važne karakteristike bokobrana o kojima treba voditi računa prilikom izbora sustava bokobrana pri projektiranju obala, kao i pri ocjeni mogućnosti preuzimanja udarne energije broda pri privezu postojećeg sustava bokobrana koji je postavljen na nekoj obali. Prva karakteristika odnosi se na sposobnost apsorpcije energije broda pri pristajanju dok je druga sila reakcije.

Sposobnost bokobrana da apsorbira energiju broda pri pristajanju ogleđa se u prijenosu i sigurnom preuzimanju kinetičke energije broda na bokobran u svrhu zaštite broda i obale, a ova veličina definira kapacitet jednog sustava bokobrana. Pritom valja imati na umu da se brod pri pristajanju u prvom trenutku obično naslanja samo na jedan bokobran. Prema tome primarna namjena sustava bokobrana je sigurno i efikasno apsorpiranje kinetičke energije broda te njegovo zaustavljanje u napredovanju prema obali.

Sila reakcije je ona sila kojom bokobran djeluje na trup broda i obalu, a ako je njena veličina prekomjerna može prouzrokovati deformacije ili puknuća tih konstrukcija. Pritom je osim sile reakcije vrlo značajan i pritisak reakcije koji se određuje podjelom sile reakcije površinom na kojoj bokobran djeluje.

Preuzimanje kinetičke energije broda pri pristajanju može se teoretski ostvariti korištenjem efekta deformacije materijala, trenja ili pretvaranja kinetičke energije u potencijalnu. Bokobran mora biti tako konstruiran i od takvog materijala da mu se sve predvidive deformacije kreću u području elastičnih, a ne plastičnih deformacija jer veće plastične deformacije čine bokobran neupotrebljivim.

Bokobrani trebaju biti izvedeni tako, da u slučaju da ne mogu svu kinetičku energiju broda pri pristajanju preuzeti na sebe, stvoreni višak energije predaju brodu, a da pritom ne dođe do trajnih oštećenja bokobrana. Sa stanovišta sigurnosti osim energije i sile koje se javljaju pri uobičajenom manevru pristajanja valja uzeti u obzir i veće vrijednosti koje se mogu javiti u slučaju akcidenata kao što su kvar na stroju broda ili tegljača, pucanje priveznih ili teglenih konopa, iznenadne promjene uvjeta vjetra i morskih struja, ljudska pogreška. Na taj način u proračun sustava bokobrana ugrađuje se određeni faktor sigurnosti. Međutim, valja naglasiti da

sustav bokobrana nije konstruiran za katastrofična stanja jer bi to bilo neekonomično. U praksi se ugrađuju bokobrani koji mogu izdržati dvostruko veće sile od onih proračunatih za normalni udar. Pri proračunu sustava bokobrana valja uzeti u obzir i 10% razlike u energiji apsorpcije i sili reakcije od one koja je predviđena prema proizvođaču, a ako nije naglašeno drukčije, dok za čvrste konstrukcije kod abnormalnih reakcija naprezanje ne smije prijeći 0,8 nominalnog naprezanja.

Prilikom izbora vrste i veličine bokobrana javlja se problem veličine broda koji pristaje na određenu obalu. Naime, ako na istu obalu pristaju veliki i mali brodovi događa se da su bokobrani premekani za velike brodove, dok su pretvrđi za manje brodove. Ovaj problem može se ublažiti korištenjem bokobrana koji su mekani u početku svoje deformacije odnosno zbijanja.

Za izbor vrste i veličine bokobrana odnosno sustava bokobrana valja uzeti u obzir čimbenike kao što su obilježja krivulje sile reakcije naprema stiješnjenju, horizontalni i vertikalni kut između bokobrana i oplata broda koji se javlja zbog kuta prilaza između broda i linije bokobrana, zakrivljenosti brodske trupa u djelu gdje se naslanja na bokobran i vertikalnog kuta između oplata broda i bokobrana (engl. *flare angle*). Sigurnost i efikasnost sustava bokobrana ovisi i o njihovom broju i međusobnom razmaku.

Postava sustava bokobrana može se formirati od grupnih ili pojedinačnih bokobrana, moguće je kombinirati i različite vrste bokobrana, a generalno uzevši postoje tri kategorije sustava bokobrana i to: neprekinuta obala (engl. *continuous quays*), "otočni" vez (engl. *island berths*), gatovi za vođenje broda (engl. *lead-in jetties*).

Bokobrani se izrađuju od raznih materijala kao što su guma i drvo ili njihove kombinacije, a rjeđe se izrađuju od čelika ili betona koji se pak najčešće koriste u kombinaciji s drvom i/ili gumom. Najčešće se koriste gumeni bokobrani koji su se razvili zahvaljujući karakterističnom elasticitetu gume kao materijala. Poznate su mnogobrojne vrste i izvedbe gumenih bokobrana ali se može zaključiti da postoje tri osnovna principa izvedbe gumenih bokobrana i to bokobrani od pune gume (engl. *solid-rubber fender*), bokobrani punjeni komprimiranim zrakom (engl. *pneumatic fender*), te bokobrani punjeni pjenom (engl. *foam-filled fender*).

### 3.2 METEOROLOŠKA I OCEANOGRAFSKA OBILJEŽJA LUKE I PRILAZNOG PODRUČJA

Meteorološke i oceanografske prilike koje se mogu očekivati u akvatoriju luke i na prilaznom području jedan su od značajnijih čimbenika glede ostvarenja razine maritimne sigurnosti broda. Stoga ih treba posebno sagledati te im u modelu treba posvetiti posebnu pažnju. Osim meteoroloških i oceanografskih elemenata kao što su vjetar, valovi i morske struje kao općih čimbenika valja kao specijalni slučaj uzeti u obzir i djelovanje morskih mijena jer one u nekim lukama bitno određuju vrijeme u kojem je manevriranje moguće, kao i postojanje leda koje također određuje interval vremena u kojem je manevriranje moguće. Osim toga potrebno je uzeti u obzir problem vidljivosti, tj. pojavu magle, ali i kišnih ili snježnih oborina na dotičnom području jer vidljivost također bitno utječe na sigurnost broda tijekom prilaza luci kao i tijekom izvođenja manevra.

Sve meteorološke i oceanografske elemente odnosno njihove parametre koji utječu na manevriranje brodom potrebno je promatrati ovisno o cilju istraživanja. Naime, u slučaju da se određuju pretpostavke kako bi se ostvario potreban stupanj sigurnosti tijekom određenog manevra, potrebno je imati podatke o trenutnoj veličini potrebnih parametara kao i prognozu njihove moguće promjene u vremenu koje je potrebno za okončanje određenog manevra. U slučaju da se provodi istraživanje u svrhu optimizacije cijelog sustava manevriranja brodom na području jedne luke, a pritom je potrebno izvršiti simulaciju za određeno vremensko razdoblje, potrebne parametre potrebno je odrediti iz klimatoloških istraživanja određenog područja, dakle uzimajući u obzir veličinu i učestalost pojedinih pojava. Ovo istraživanje može se izvesti uz postojanje određene vjerojatnosti da će u određenom vremenu na promatranom području vladati vrijednosti pretpostavljenih parametara.

Točnost meteoroloških i oceanografskih elemenata od neprocjenjivog je značenja za projektiranje pojedinih lučkih sustava kao i određivanju potrebnih uvjeta za dostizanje željenog stupnja sigurnosti brodova pri manevriranju i tijekom boravka brodova na vezu. Isto tako, tijekom eksploatacije luke, terminala ili pristana potrebno je imati trenutne podatke kako bi se mogle donositi valjane odluke, a time i osigurati zadovoljavajući stupanj sigurnosti. Stoga je potrebno naglasiti važnost postavljanja mjernih instrumenata na mikrolokaciji kako bi se u projektima kao i tijekom eksploatacije moglo računati s pouzdanim podacima, a ne zaključke izvoditi iz nedovoljnih i nepouzdanih podataka šireg područja.

U nastavku detaljnije će se obraditi vjetar, valovi i morske struje kao osnovni čimbenici utjecaja na sustav manevriranja koji ulaze u model dok će se morske mijene, led i vidljivost samo ukratko komentirati.

Morske mijene nemaju direktan utjecaj na manevriranje ako se promatra njihov učinak na brod. Direktniji učinak imaju samo kroz generiranje morskih struja nastalih zbog djelovanja morskih mijena. Međutim, bez obzira na ove okolnosti, morske mijene u nekim dijelovima svijeta, gdje je kolebanje morskog raza značajno, bitno utječu na cijeli sustav manevriranja brodova. Naime, o trenutnoj visini vode ovisi da li će proces manevriranja brodom uopće započeti. Pritom treba imati u vidu dva odnosno tri slučaja koji mogu utjecati na mogućnost manevriranja brodom. Jedan se odnosi na dubinu vode u određenom trenutku naprema gazu konkretnog broda, drugi ovisi o tome da li je lučki bazen otvoren ili zatvoren kad se radi o zatvorenom (dokovskom) tipu luke. Indirektno, postoji i treći, a odnosi se na utjecaj morskih mijena na brzinu morske struje.

Sa stanovišta ovog rada najznačajnije je kako odrediti kada se u određenom akvatoriju može manevrirati određenom vrstom brodova, tj. u koje vrijeme u akvatoriju ima dovoljno dubine za manevriranje tzv. prozor morskih mijena (engl. *tidal window*). Ovi podaci za određene luke dobivaju se temeljem harmoničnih analiza. Glavni elementi morskih mijena (amplituda i lučko zakašnjenje) mogu se smatrati donekle konstantnim, pa ipak nije moguće njihove vrijednosti odrediti na temelju geografskih i astronomskih podataka već je potrebno uzeti u obzir podatke iz mareografskih dijagrama određenih luka. Glavna pretpostavka ove analize je ta da su nepravilne krivulje dobivene mareografom rezultante većeg broja jednostavnih krivulja pravilnog, tj. harmoničnog karaktera, ali različitih perioda u kojima se očituju svi plimotvorni utjecaji.

Za praktične potrebe dubina vode u odnosu na morske mijene određuje se korištenjem nekih tablica za određivanje promjene uslijed djelovanja plime i oseke, npr. Tablice morskih mijena – Hidrografski institut Split, *Admiralty Tide Tables*, itd.

Led koji se javlja na moru također može utjecati na manevriranje brodom, a ti učinci mogu biti različiti obzirom na vrstu leda koja se može pojaviti kao eventualna smetnja manevriranju brodovima. U tom smislu valja istaknuti da se led na moru može pojaviti u obliku santi leda koje plutaju morem ili može doći do zaleđivanja morske površine.

Sante leda koje plutaju morem predstavljaju općenito opasnost za navigaciju u tim područjima, pa ih u kontekstu ovog rada valja promatrati kao smetnja odvijanju plovidbe na prilaznim područjima luke. U nekim područjima svijeta plovidba može biti znatno otežana, a ova činjenica ima direktan utjecaj na sigurnost plovidbe u određenom području. Stupanj sigurnosti plovidbe u ovim područjima podiže se suvremenim tehničkim dostignućima i radom Međunarodne nadzorne službe za praćenje leda na moru (*Ice Patrol Service*).

Zaleđivanje morske površine predstavlja daleko veći problem pri prilazu brodova lukama i njihovom manevriranju. U lukama u kojima se more zimi sasvim zaleđi, led može potpuno onemogućiti plovidbu do tih luka. U tim područjima može se govoriti o sezonama kad je luka otvorena, pa prema tome te luke imaju sezonski karakter. Sezona kad je plovidba do tih luka moguća može se produljiti korištenjem specijaliziranih brodova za plovidbu kroz led i razbijanje leda - ledolomaca. Sama činjenica da se ledolomci koriste za omogućavanje plovidbe na prilazu

lukama, kao i manevriranje brodovima pri dolasku ili odlasku govori o vrlo specifičnom načinu rada. S tim u vezi, jasan je vrlo velik utjecaj zaleđivanja na način odvijanja i stupanj sigurnosti broda tijekom manevriranja.

Vidljivost je također značajan faktor sigurnosti kako pri plovidbi prilaznim područjem tako i tijekom manevriranja. Vidljivost je najveća udaljenost na kojoj motrilac normalnog vida golim okom može razabrati neki predmet uz normalno danje svjetlo. Čimbenici koji utječu na stupanj vidljivosti su u prvom redu magla te ostale oborine kao što su kiša i snijeg.

Vidljivost se može klasificirati u iznimno dobru vidljivost kad je ograničena isključivo daljinom obzora motriočeva oka, zatim ograničena vidljivost kad je horizontalna vidljivost između 1 i 10 km (sumaglica) i slaba vidljivost kad je horizontalna vidljivost ispod 1 km (magla). Iz ove podjele vidljivosti može se zaključiti da je utjecaj vidljivosti na manevriranje brodom značajan samo kod iznimno slabe vidljivosti, dok se na prilaznom području sa stanovišta sigurnosti mora voditi računa o uobičajenim mjerama predostrožnosti pri plovidbi u područjima smanjene vidljivosti.

### 3.2.1 Vjetar

Vjetar je zasigurno jedan od najznačajnijih elemenata koji utječe na opću ocjenu meteoroloških obilježja određenog akvatorija. Promatranje karakteristika vjetra vrlo je značajno jer vjetar u akvatoriju utječe na formiranje valova kao i morskih struja, a direktno utječe i na brod djelovanjem sile vjetra.

Vjetar predstavlja vodoravno gibanje zraka u atmosferi, a može se predstaviti vektorskom veličinom koja opisuje njegov smjer i iznos gibanja čestica zraka. Iznos (intenzitet) gibanja čestica zraka ili brzina zračne struje izražava se u jedinicama brzine, a u pomorstvu se najčešće koriste jedinice kao što su čvorovi (M/h) ili metri u sekundi (m/s). U pomorstvu je uobičajeno i iskazivanje jačine vjetra koji se procjenjuje primjenjujući Beaufortovu ljestvicu.

Utjecaj vjetra na određeno područje, odnosno njegov smjer i brzina, ovise o općem stanju u atmosferi, dakle klima određenog područja je vrlo važna, međutim vrlo su važna i mikroklimatska obilježja kao i orografija određenog područja. Pritom pri određivanju uvjeta sigurnosti manevriranja brodova treba vrlo pomno razmotriti lokalne mikroklimatske prilike, a ne zaključke izvoditi iz klasičnih meteoroloških podataka za neko šire područje.

Pri izučavanju utjecaja vjetra na brod vrlo je važno poznavati raspodjelu brzine vjetra s visinom jer ona nije stalna. Uslijed trenja zračnih masa s površinom mora ili kopna, brzina vjetra u nižim slojevima nije konstantna po visini. Za potrebe određivanja djelovanja sile vjetra na brod najvažniji je tzv. Prandtlov sloj zato jer je to područje iznad razine mora (do 30 - 40 m) u kojem se nalaze pojedini dijelovi brodske strukture na koje djeluje vjetar.

Za točan proračun bilo bi potrebno izvršiti istraživanja oblika krivulje vjetra odnosno promjenu vrijednosti brzine vjetra s visinom za svako područje za koje će se računati sile vjetra. Oblik krivulje ovisi o morskom području i vrsti vjetra, a to je razlog što su za različita morska područja dani različiti odnosi brzine vjetra s visinom. Za mnoga područja u svijetu, pa ni za Jadransko more, ova istraživanja nisu izvršena ni do danas, pa se za potrebe pomorstva najčešće koriste rezultati istraživanja Schoeneich-a<sup>27</sup> odnosno njegove krivulje brzine vjetra ili pak obrasci koje je Sovjetska delegacija predložila na Konferenciji o sigurnosti ljudskih života na moru SOLAS u Londonu 1960 godine.<sup>28</sup>

Promjene brzine vjetra po visini izražavaju se bezdimenzionalnim odnosom  $v_h/v_{10}$ , gdje je  $v_h$  brzina vjetra na bilo kojoj visini  $h$  iznad razine mora, a  $v_{10}$  je standardna brzina vjetra, mjerena na visini od 10 m iznad površine mora ili kopna.

<sup>27</sup> Schoeneich, Der Windwiderstand bei Seeschiffen, Schiffbau No.4, Berlin, 1911., str. 121.- 129.

<sup>28</sup> Report of the delegation of the Union of Soviet Socialist Republics at the International Conference on the Safety of Life at Sea, Intact stability, London, 1960, str. 1. - 36.



Vrijednosti odnosa brzine vjetra  $v_h/v_{10}$  kao i vrijednosti odnosa specifičnih pritisaka vjetra na brod  $p_h/p_{10}$  u bezdimenzionalnom obliku, prema Sovjetskom prijedlogu, mogu se odrediti izrazima koji su zasnovani na logaritamskom zakonu:

$$\frac{v_h}{v_{10}} = \frac{\ln \frac{h}{h_0}}{\ln \frac{h_{10}}{h_0}} = \frac{\ln \frac{h}{0.002}}{\ln \frac{10}{0.002}} = \frac{\ln \frac{h}{0.002}}{\ln 5000} \quad \frac{p_h}{p_{10}} = \left( \frac{\ln \frac{h}{0.002}}{\ln 5000} \right)^2$$

gdje su:

- $v_h$  - brzina vjetra na nekoj visini  $h$
- $v_{10}$  - brzina vjetra na visini 10 m
- $v_h/v_{10}$  - odnos brzine vjetra na nekoj visini  $h$  i brzine vjetra na visini 10 m
- $h$  - visina za koju se proračunava bezdimenzionalni odnos
- $h_0$  - parametar hrapavosti podloge (visina nad tlom do koje je brzina vjetra 0)
- $h_{10}$  - visina 10 m
- $p_h/p_{10}$  - odnos pritiska vjetra na visini  $h$  i pritiska vjetra na visini 10 m

Pri projektiranju smjera pristana potrebno je uzeti u obzir smjer djelovanja prevladavajućih vanjskih čimbenika. Npr. za vjetar potrebno je nacrtati ružu vjetrova s godišnjom raspodjelom smjera i jačine vjetra u odnosu na vrijeme trajanja te iz tih podataka odrediti prevladavajući utjecaj.

Za potrebe proračuna srednju brzinu i smjer vjetra potrebno je mjeriti na visini 10 m iznad morske površine, a bilježe se najčešće 10 minutne srednje vrijednosti.

Međutim, osim srednjih vrijednosti brzine vjetra u proračunima valja računati i s većim brzinama vjetra koje djeluju u kraćim vremenskim periodima. To su pojave koje se javljaju zbog tzv. mahovitosti vjetra odnosno udara vjetra koji se povremeno javljaju te koji mogu biti različitih trajanja. Na ovu karakteristiku vjetra utječe područje nad kojim puše i vrsta tla te stabilnost stratifikacije atmosfere. Prema tome uz razmatranje mahovitosti vjetra vrlo usko je vezana mikrolokacija područja za koje se istražuje utjecaj vjetra.

Prema udruženju PIANC<sup>29</sup> preporuča se za veće brzine vjetra koristiti sljedeće faktore udara vjetra u odnosu na jednosatne srednje vrijednosti brzine vjetra.

TRAJANJE VJETRA srednja vrijednost	FAKTOR UDARA VJETRA
3 sekunde	1,56
10 sekundi	1,48
1 minuta	1,28
10 minuta	1,12
30 minuta	1,05
1 sat	1,00

Tablica 3 Faktori udara vjetra u odnosu na jedno satne vrijednosti brzine vjetra

Vrlo značajni rezultati istraživanja<sup>30</sup> vrijednosti faktora udara vjetra u odnosu na 10 minutne srednje brzine vjetra prikazani su u priloženoj tablici:

<sup>29</sup> Permanent International Association of Navigation Congresses, PIANC, International Commission for the Reception of Large Ships, Report of Working Group I, 1979.

<sup>30</sup> Environmental Loads, Norwegian Petroleum Directorate, 1977.

TRAJANJE VJETRA srednja vrijednost	FAKTOR UDARA VJETRA
3 sekunde	1,35
10 sekundi	1,30
15 sekundi	1,27
30 sekundi	1,21
1 minuta	1,15
10 minuta	1,00

Tablica 4 Faktori udara vjetra u odnosu na 10 minutne srednje brzine

Koja će se srednja vrijednost izabrati ovisi o prirodnom periodu odziva broda na djelovanje vanjskih sila. Za većinu nakrcanih velikih brodova ovaj period iznosi preko 60 sekundi, dok se na nekim terminalima u Sjevernom moru računaju s periodima od 20 do 30 sekundi za brodove u balastu.

Pri projektiranju terminala kao i pri proračunima sa stanovišta sigurnosti za dulji period potrebno je računati s trajanjima udara vjetra koji će imati utjecaja na brod te uzimati povratne periode za proračun brzina vjetra od 50 godina.<sup>31</sup>

### 3.2.2 Valovi

Valovi su fizički proces u kojem se giba energija vala, prenosi djelotvorna sila od čestice na česticu opisujući tzv. orbitalnu (kružnu) putanju u mjestu bez pomicanja mora osim kod vjetrovnih valova. Moderna znanost razmatra valove na površini mora kao isječak spektra energije između dva medija (atmosfera i hidrosfere) različitih gustoća prema kvantitativnim odrednicama u prostoru (duljina) i vremenu (period).<sup>32</sup>

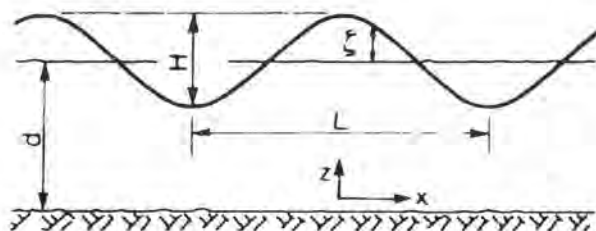
Suvremena klasifikacija valova provodi se na temelju karakterističnih veličina. U ovisnosti o položaju gdje se zbije poremećaj razlikuju se valovi u dubljim dijelovima mora (unutarnji) i valovi na površini mora (vanjski). Sa stajališta ovog rada važni su površinski valovi koji mogu biti prisilni i slobodni. Prisilni valovi uvjetovani su stalnim utjecajem uzbudnih sila, to su valovi živog mora. Slobodni valovi opažaju se poslije prestanka ili u fazi slabljenja uzbudnih sila, a to su valovi mrtvog mora. Prema načinu promjene oblika vala razlikuju se progresivni, stojni, miješani, uzdužni i poprečni valovi. Kod progresivnih valova pomiče se oblik vala, dok kod stojnih valova oblik vala nastaje, titra i nestaje na jednom mjestu. Šćige ili sejše pripadaju u grupu stojnih valova. Miješani valovi su kombinacija progresivnih i stojnih valova. Ukrižani valovi nastaju spajanjem dvaju različitih sustava valova. Kod uzdužnih valova čestice vode gibaju se usporedno sa smjerom premještanja valova. U ovu grupu valova spadaju seizmički valovi koji nastaju uslijed jakih potresa i drugih poremećaja na Zemljanoj kori. Poprečni valovi su najčešći i najviše rašireni površinski valovi. Karakteristika ovih valova je pomicanje čestice vode okomito na smjer premještanja oblika vala. Osim dosad spomenutih valova postoje i valovi morskih mijena, te transplimni valovi.

Vjetrovni valovi su najčešći i za ovo razmatranje najvažniji. Pojava i razvitak ovih valova ovisi o brzini, smjeru i vremenu trajanja prevladavajućeg vjetra, te duljini privjetrišta i dubini mora područja nad kojim vjetar puše.

Struktura vala definirana je pojedinim elementima od kojih su osnovni brijeg, dol, visina, duljina, brzina, period, frekvencija, strmost vala.

<sup>31</sup> British Standard Code of Practice for Maritime Structures, BS 6349, Part 1, General criteria, 1987.

<sup>32</sup> Valovi, morski, Pomorska enciklopedija, sv. 8, Jugoslavenski leksikografski zavod «Miroslav Krleža», Zagreb, 1989.



Slika 6 Valni elementi

Valovi se prema načinu kretanja čestica vode mogu podijeliti na translatorne i oscilatorne. Translatorni valovi nastaju uslijed djelovanja horizontalnih sila na mirnu površinu vode. Čestice vode kreću se naprijed opisujući poluelipsu. Velika os poluelipse po čitavoj dubini vode  $d$  ostaje ista, dok mala poluos s dubinom postaje sve manja. Translatorni valovi mogu nastati i od oscilatornih ako ovi potonji prilaze obali prema kojoj se dubina vode smanjuje. Kod dubine vode manje od polovice duljine vala, dolazi do neravnoteže u kretanju čestica vode po kružnoj putanji zbog trenja čestica o dno i oscilatorno kretanje prelazi u translatorno. Vrh vala počinje se postepeno pomicati naprijed, a kod daljnjeg smanjenja dubine vode tj. kad dubina vode dosegne visinu vala  $H$  ili  $1/7$  duljine vala, dolazi do loma vala. Vrh vala naginje se sve više prema naprijed, dok ne izgubi ravnotežu i obruši se u dol ispred sebe.

Oscilatorni valovi nastaju pri djelovanju vertikalnih sila na površinu vode. Čestice vode kod veće dubine u svom kretanju opisuju krugove sve manjeg radijusa od površine vode prema dnu. Ako je dubina vode mala kretanje čestica prelazi u eliptične putanje. Čestice vode kod oscilatornog gibanja teoretski se ne pomiču naprijed, već se samo oscilatorno gibaju jedna za drugom, te na taj način dolazi do kretanja vala.

Na ovoj pretpostavci zasnovao je svoju trohoidnu teoriju vala praški profesor Gertner, a objavio ju je 1804. godine. Ova teorija nije u potpunosti točna, jer se val ne kreće samo oscilatorno već i progresivno, međutim za praktičnu primjenu je vrlo pogodna jer su pogreške relativno male.

Karakteristike vala u trohoidnom obliku za duboko more<sup>33</sup> za  $d > L/2$  su period  $T$ , brzina  $c$ , duljina  $L$  i visina vala  $H$ , a može se odrediti prema sljedećim izrazima:

$$T = \frac{L}{c} = \sqrt{\frac{2\pi \cdot L}{g}} \cong 0,8 \cdot \sqrt{L} \qquad c = \frac{L}{\sqrt{\frac{2\pi \cdot L}{g}}} = \sqrt{\frac{gL}{2\pi}} \cong 1,25 \cdot \sqrt{L}$$

$$L = \frac{g \cdot T^2}{2\pi} \cong 1,56 \cdot T^2 \qquad c = \frac{L}{T} = 1,56 \cdot T \qquad H = \frac{2 \cdot c^2}{g} = \frac{L}{\pi}$$

gdje su:

- $T$  - period širenja vala [s]
- $L$  - duljina vala [m]
- $c$  - brzina rasprostiranja vala [m/s]
- $H$  - visina vala [m]
- $g$  - ubrzanje sile teže,  $\approx 9,81$  [m/s<sup>2</sup>]

Međutim, valja naglasiti da se stvarne vrijednosti elemenata vala za pojedina plovna područja mogu značajno razlikovati od prikazanih temeljem trohoidne teorije valova.

<sup>33</sup> Babić L., Pomorski objekti u betonu, Epoha, Beograd, 1968., str. 16.

Međuovisnosti pojedinih parametara valova moguće je odrediti temeljem pouzdanih mjerenja te analitičkih izraza izvedenih temeljem podataka iz takvih mjerenja.<sup>34</sup>

Prema Stokes-u strmost normalnog vala iznosi 1/12 ili više. Kod nestabilnih valova taj odnos kreće se od 1/6 naniže. Stokes je teoretski izračunao da granica stabilnosti vala iznosi  $\delta_{kr} = 1/7$ , dok Kirschmer uzima na osnovu praktičkih ispitivanja  $\delta_{kr} = 1/10$ . Kada val dosegne tu kritičnu strmost  $\delta_{kr}$ , on se prebacuje.<sup>35</sup>

Često se strmost vala izražava i recipročnom vrijednosti, tj. odnosnom L/H. Taj odnos iznosi za zatvorena i manja unutarnja mora od 8 do 12, a za oceane od 12 do 25 i više.

Prema istoj teoriji mogu se odrediti i obilježja valova u plitkoj vodi za  $d < L/2$ .

Osim prethodnog razmatranja koje je vrlo pogodno za primjenu u praksi postoji i niz drugih valnih teorija kao što su teorije idealnih valova u koje se ubrajaju teorija potencijalnog valnog gibanja, Airyjeva teorija valova beskonačno male amplitude, teorija valova konačne amplitude (Stokesova metoda) i teorija knoidalnih valova Kortewega-de Vriesa, ali imajući u vidu opseg ovog rada ove teorije neće se posebno razmatrati.

Stvarni morski valovi su više ili manje nepravilni i nikada ne izgledaju poput idealnih valova. To se posebno odnosi na temeljnu vrstu vjetrenih i zibnih valova - gravitacijske površinske valove stvorene dinamičkim djelovanjem vjetra. Kada vjetar prestane, ovi valovi postaju slobodni površinski valovi - zibni i mrtvi. Karakteristično je da imaju slučajnu narav pa ih je moguće opisati pomoću stohastičkih (vjerojatnosnih, statističkih) modela. Za kvantitativno karakteriziranje nepravilnih morskih valova suvremena oceanologija koristi dva pristupa;<sup>36</sup> čisto statistički i spektralni (energetski).

Čisto statistički pristup razmatra slučajne valne elemente (visine, duljine, itd.) kao skupove slučajnih varijabla. Ovaj najjednostavniji put opisa neregularnih valova svodi se na određivanje funkcija razdiobe vidljivih valnih elemenata i njihovih relacija. Utvrđivanje osnovnih zakonitosti razdiobe valova u valnom polju poslužilo je kao osnova za izradbu ljestvica za vizualnu procjenu stanja mora, za usavršavanje metodike poluinstrumentalnih i vizualnih metoda motrenja valovlja, za usporedbu predloženih računskih formula i, na kraju, za sastavljanje detaljnih opisa valovlja na pojedinima morima i područjima svjetskih oceana.

Međutim, rezultati dobiveni tim načinom, bez obzira na veliku znanstvenu i praktičnu važnost, ne omogućuju da se valovlje predoči u obliku neprekinutoga fizičkog procesa, koji je nužan za računanje valnih opterećenja na brodove, objekte morske tehnologije i obalne konstrukcije. To se postiže korištenjem teorije slučajnih funkcija (procesa), a rezultat je spektralni (energetski) opis valovlja. On se temelji na predočavanju realnih morskih valova u obliku zbroja elementarnih sinusoidalnih valova različite frekvencije, amplitude i faze koje imaju slučajnu jednoliku razdiobu. Vjetreno valovlje pokorava se Rayleighjevoj razdiobi.

Nepravilna i složena valna površina može se opisati na dva različita načina: superpozicijom pravilnih valova različite amplitude i duljine, koji se međusobno nalaze pomaknuti u slučajnim fazama te analitičkim rastavljanjem valograma u mnogobrojne pravilne valne komponente.

Ukupna energija po jedinici valne površine svih komponentnih valova određuje se izrazom:

$$E = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot (\zeta_{a_1}^2 + \zeta_{a_2}^2 + \dots + \zeta_{a_n}^2)$$

<sup>34</sup> Parametri valova za Jadran razmatrani su u radu: Zorović, D. i ost., Prilog određivanju odnosa duljine i periode valovlja Jadranskog mora, Pomorstvo, 16., Pomorski fakultet u Rijeci, 2002.,

Radovi o drugim parametrima valova Jadranskog mora su pripremljeni, ali još nisu objavljeni.

<sup>35</sup> Babić L., Pomorski objekti u betonu, Epoha, Beograd, 1968., str. 18.

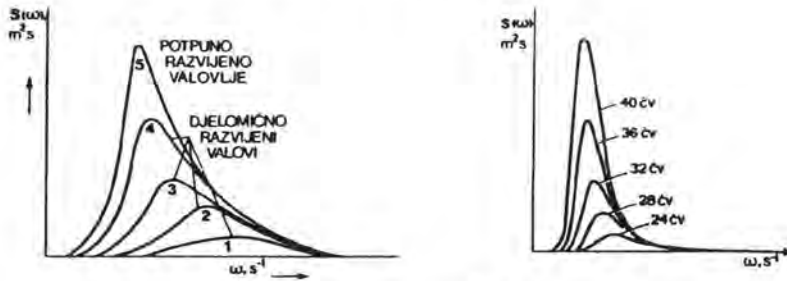
<sup>36</sup> Valovi, morski, Pomorska enciklopedija, sv. 8, Jugoslavenski leksikografski zavod «Miroslav Krleža», Zagreb, 1989.

Spektar valovlja dobije se kad se umjesto konstrukcije spektra na temelju prethodnog obrasca konstruira spektar u kojem se ordinate određuju izrazom:

$$\frac{1}{2} \cdot (\zeta_{a_1}^2 + \zeta_{a_2}^2 + \dots + \zeta_{a_n}^2)$$

Prema tome spektar valovlja nastaje nanošenjem polovica kvadrata amplituda elementarnih valova podijeljenih pojasom kružnih frekvencija  $\Delta\omega$ , nad kružnom frekvencijom  $\omega_n$ , što daje:

$$S_\zeta(\omega) = \frac{\zeta_A^2(\omega)}{2} \cdot \frac{1}{\Delta\omega}$$



Slika 7 Spektri energije valova

Međutim za potrebe primjene u praksi potrebno je poznavati analitički izraz za spektar valovlja. Upotreba u praksi bazira se na tzv. poluempiričkim (teoretskim) spektrima raznih autora<sup>37</sup> kao što su Neumann (1952., 1953.), Phillips (1958.), Kitaigorodskii (1961.), Bretshneider (1959.), Pierson-Moskowitz (1964.), Liu (1971.), Mitsuyasu (1972.), organizacije JONSWAP (1973.), Kruseman (1976.), itd. ili spektrima proračunatim iz stvarnih valnih snimaka. Za Jadransko more preporuča se korištenje jednoparametarskog spektra dobivenog kao rezultat konkretnih mjerenja na Jadranu u razdoblju između 1967. i 1977. godine prema Tabain-u.<sup>38</sup>

Energija vala odgovara zbroju njegove potencijalne i kinetičke energije. Potencijalnu energiju vala  $E_p$  uzrokuje podizanje ili spuštanje vodene mase, dok kinetičku energiju vala  $E_k$  uzrokuje orbitalno gibanje vodenih čestica. Za pravilan morski val koji se rasprostire u jednome smjeru izraz za ukupnu energiju vala  $E_u$  ako je  $\rho$  gustoća mora,  $g$  gravitacijska konstanta,  $H$  visina vala, a  $L$  duljina vala, prema Airyjevoj teoriji idealnih valova je sljedeći:

$$E_u = E_p + E_k = \frac{\rho \cdot g \cdot H^2 \cdot L}{16} + \frac{\rho \cdot g \cdot H^2 \cdot L}{16} = \frac{\rho \cdot g \cdot H^2 \cdot L}{8}$$

Ukupna energija vala po jedinici površine:

$$E_u = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot H^2$$

Međutim, želi li se odrediti ukupnu energiju sadržanu u nepravilnom valovlju po jedinici površine može se koristiti izraz:

$$E_{uk} = E_{kin} + E_{pot} = \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{\rho}{2} \cdot g \cdot \zeta_A^2$$

Ako se izraz  $\zeta_A(\omega) = 2 \cdot S_\zeta(\omega) \cdot \Delta\omega$ , uvrsti u prethodni izraz dobiva se:

<sup>37</sup> Tabain T., Standard Wind Wave Spectrum for the Adriatic Sea Revisited (1977-1997), Brodogradnja, 45 (1997.)

<sup>38</sup> Tabain T., Standard Wind Wave Spectrum for the Adriatic Sea Revisited (1977-1997), Brodogradnja, 45 (1997.)

$$m_0 = D = E = \rho \cdot g \cdot \int_0^{\infty} S_z(\omega) \cdot d\omega$$

Kad je poznat spektar valovlja na osnovu njega mogu se odrediti statističke veličine koje opisuju valovlje.<sup>39</sup> Značajne valne amplitude i drugi srednjaci koji se proračunavaju su višekratnici od  $\sqrt{m_0}$  (tj. konstanta  $x \cdot \sqrt{m_0}$ ). Višekratnici zavise od pretpostavljenog zakona razdiobe, pa su za Rayleigh-jevu razdiobu koja se najčešće koristi, ovi višekratnici za različite srednjake prikazani u sljedećoj tablici.

SREDNJAK VALOVA	AMPLITUDA	VISINA
registriranih valova	1,25 $\sqrt{m_0}$	2,50 $\sqrt{m_0}$
1/3 najviših ( $H_{1/3}$ )	2,00 $\sqrt{m_0}$	4,00 $\sqrt{m_0}$
1/10 najviših ( $H_{1/10}$ )	2,55 $\sqrt{m_0}$	5,09 $\sqrt{m_0}$
1/100 najviših ( $H_{1/100}$ )	3,34 $\sqrt{m_0}$	6,67 $\sqrt{m_0}$
1/1000 najviših ( $H_{1/1000}$ )	3,72 $\sqrt{m_0}$	7,44 $\sqrt{m_0}$

Tablica 5 Višekratnici srednjaka prema Rayleigh-jevoj razdiobi

Broj valova koji se razmatraju za dobivanje maksimalne valne visine iz Rayleigh-jeve razdiobe ima granicu. Iako se može dobiti vrlo visoki val ako se valovi snimaju jako dugo, ipak je vjerojatnost pojave ekstremno visokog vala vrlo mala. Zbog toga se često uzima da je snimak koji sadržava 1000 valova dovoljno reprezentativan za određivanje spektra valovlja, a najvjerojatnija vrijednost 1/1000 najviših valova uzima se za najvjerojatniju najvišu vrijednost.

Za praktične potrebe na prilazima luka i terminala kao i na samim mjestima priveza valja uzeti u obzir utjecaje sljedeće vrste valova:

- lokalni vjetrovni valovi;
- vjetrovni valovi ili valovi mrtvog mora generirani van promatranog područja;
- séige ili valovi dugih perioda 1 do 60 minuta;
- valovi prouzrokovani brodovima u prolazu;
- potresni valovi.

Visina valova za praktičnu primjenu može se definirati kako slijedi:<sup>40</sup>

$H_m$  – aritmetička srednja vrijednost svih snimljenih valova u promatranom periodu

$$H_m = 0,6 H_s$$

$H_s$  – signifikantna visina vala je aritmetička srednja vrijednost jedne trećine najviših valova u promatranom periodu

$H_{1/10}$  – aritmetička srednja vrijednost jedne desetine (10%) najviših valova u promatranom periodu  $H_{1/10} = 1,27 H_s$

$H_{1/100}$  – aritmetička srednja vrijednost jedne stotine (1%) najviših valova u promatranom periodu  $H_{1/100} = 1,67 H_s$

$H_{max}$  – maksimalna visina vala koja se može javiti kod dugotrajnih olujnih vjetrova

$$H_{max} = 1,87 H_s \text{ ili oko } 2H_s$$

Privjetrište (zajedno s brzinom vjetra i trajanjem njegovog puhanja) jedan je od osnovnih valotvornih faktora. Visina valova ovisi o duljini privjetrišta i vremenskom trajanju puhanja

<sup>39</sup> Valovi, morski, Pomorska enciklopedija, sv. 8, Jugoslavenski leksikografski zavod «Miroslav Krleža», Zagreb, 1989., str.390.

<sup>40</sup> Thoresen, C.A., Port Design, Guidelines and Recommendations, Tapir Publishers, Trondheim, Norway, 1988., str.61.

vjetra. Pri dovoljno dugom privjetrištu i dovoljno dugom trajanju vjetra (t) valovi dosežu maksimalno moguće dimenzije za zadanu brzinu vjetra, tzv. potpuno razvijeno valovlje.

Obično je razvoj valova ograničen ili zbog ograničenog trajanja puhanja vjetra (ako je privjetrište dovoljno veliko za zadanu brzinu vjetra), ili zbog ograničenog privjetrišta (ako je trajanje vjetra dovoljno dugo). Osim duljine privjetrišta važna je i dubina mora na privjetrištu.<sup>41</sup>

### 3.2.3 Morske struje

Brod je svojim podvodnim djelom trupa direktno izložen djelovanju morskih struja te je stoga vrlo važno sagledati i njihove karakteristike. Morske struje predstavljaju premještanje vodenih masa u morima, a najznačajnije je i najčešće horizontalno premještanje vodenih masa.

Postanak morskih struja objašnjava se primarnim i sekundarnim uzrocima. Razmatrajući primarne uzroke potrebno je razlikovati unutrašnje i vanjske uzroke. U unutrašnje uzroke ponajprije treba ubrojiti tlak mora, koji nastaje vjetrom nagomilanih masa mora i razlika u temperaturi i slanosti. Vanjski uzroci strujanja mora su tangencijalna porivna sila vjetra, plimotvorna sila i promjena tlaka zraka. Međutim valja istaknuti da dominantnu ulogu u formiranju morskih struja ima vjetar odnosno porivna sila vjetra. Sekundarni uzroci su trenje i devijacija zbog rotacije Zemlje. Ovi uzroci ne mogu izazvati strujanje mora ali utječu na karakteristike strujanja tj. mijenjaju brzinu (trenje) i smjer (Coriolisova sila).

Prema suvremenom tumačenju nastanak pojave morske struje zasniva se na kombinaciji utjecaja vjetra i termohalinskih procesa.<sup>42</sup> Vjetar pokreće i premješta vodoravno mase mora, a termohalinski procesi uvjetuju okomita gibanja s kojima se uspostavlja izmjena između dubinskih i površinskih slojeva mora.

Morske struje mogu se razlikovati prema različitim obilježjima kao što su položaj, stalnost, vrsta gibanja i fizičko-kemijska svojstva.

Prema položaju struje mogu biti površinske, dubinske, intermedijarne, pridnene, obalne, pučinske itd.

Prema stalnosti morskih struja razlikuju se stalne, periodične i povremene. Stalne morske struje održavaju srednju brzinu i smjer otjecanja u toku dužeg vremenskog razdoblja, a promjene hidrografskih svojstava zbivaju se rijetko i postupno. U ovu grupu mogu se ubrojiti pasatne struje, Golfska struja, Kuro-shio, itd. Periodične morske struje mijenjaju osnovna obilježja, smjer i brzinu, u određenim vremenskim razmacima. To su monsunske struje koje mijenjaju obilježja prema godišnjem dobu i struje morskih mijena koje svoja obilježja mijenjaju dnevno. Povremene morske struje pojavljuju se od vremena do vremena, npr. pod utjecajem iznenadnih vjetrova, naglog pada tlaka zraka ili poslije obilnih padalina.

Prema vrsti gibanja mora razlikuju se ciklonalne i anticiklonalne struje.

Prema fizičko-kemijskim svojstvima morske struje mogu biti tople, hladne, bočate, vrlo slane ili neutralne.

Morske struje s obzirom na sile uzročnice mogu biti: struje generirane vjetrom, geostrofičke struje, struje nagiba i struje morskih mijena.

*Struje generirane vjetrom* ili struje potiska nastaju trenjem vjetra i morske površine. Brzine kod ovih struja su najveće na površini, a kako se ide u dubinu, one se smanjuju. Brzina morske struje generirana vjetrom na otvorenom moru iznosi približno 1% do 2% brzine vjetra na visini 10 m iznad morske površine.

*Geostrofičke struje* (gradijentske struje, struje gustoće ili relativne struje) nastaju nejednakom raspodjelom gustoće koja uvjetuje pojavu horizontalne komponente gradijenta hidrostatskog tlaka pod čijim se utjecajem razvija horizontalno gibanje vodenih čestica.

<sup>41</sup> Thoresen, C.A., Port Design, Guidelines and Recommendations, Tapir Publishers, Trondheim, Norway, 1988., str.66., str. 68.

<sup>42</sup> Zore-Armanda, M., Morske struje, Pomorska enciklopedija, sv. 5., Jugoslavenski leksikografski zavod "Miroslav Krleža", Zagreb, 1981.

*Struje nagiba* (denivelacije) mora su također posredno uvjetovane vjetrom. Naime, vjetar nagomilava vodu na obalu ili je potiskuje od obale, te tako nastaje nagib površine mora što uvjetuje pojavu horizontalne komponente gradijenta hidrostatskog tlaka koja generira horizontalno gibanje vodenih čestica.

*Struje morskih mijena* (plime i oseke) nastaju zbog plimnog vala morskih mijena uvjetovanog gravitacionim silama Mjeseca i Sunca.

Osnovni elementi morske struje, a koji su i vrlo bitni u izučavanju njenog utjecaja na brod su smjer, brzina i stalnost morske struje. Osim ovih elemenata za ovo područje promatranja vrlo je bitan i vertikalni profil morske struje na nekom mjestu jer intenzitet struje po dubini direktno utječe na veličinu sile morske struje kojoj je izložen podvodni dio broda.

Imajući u vidu ovaj rad vrlo je bitno poznavati osnovne elemente morskih struja za konkretno područje odnosno i mjesto unutar promatranog akvatorija. Jedino na taj način moguće će biti točno procijeniti utjecaj morske struje na manevriranje brodom u određenoj luci i na određenom mjestu priveza. Točnim poznavanjem parametara morske struje moguće je odrediti i odgovarajući stupanj sigurnosti tijekom manevriranja. Brzine i smjerovi morskih struja određuju se duljim mjerenjem uz pomoć strujomjera. Pritom valja imati u vidu činjenicu da komponenta brzine morske struje okomita na pristan veća od 0,5 m/s znatno otežava manevriranje brodovima. Ove činjenice valja uzeti u obzir i prilikom projektiranja pojedinih mjesta priveza kao i sagledavanja stupnja sigurnosti pri manevriranju na postojećim mjestima priveza.

### 3.3 MARITIMNA OBILJEŽJA LUKE

Razmatrajući maritimna obilježja pojedine luke potrebno je voditi računa o nekoliko vrlo važnih aspekata kao što su oceanografske i meteorološke prilike na dotičnom području, stupanj zaklonjenosti pojedinog pristana, veličina i oblik akvatorija unutar luke u kojem se izvodi manevriranje brodom, te o tome da li se radi o otvorenoj ili zatvorenoj luci odnosno o amplitudama plime i oseke na dotičnom području. Osim toga treba uzeti u obzir vidljivost i eventualno prisustvo leda.

Maritimna obilježja luke ovise u prvom redu o oceanografskim i meteorološkim prilikama koje vladaju na području na kojem je smještena luka te izvedbi i postavi lučkih građevina. Upravo izvedba i postava lučkih građevina utječe na to kakav će zaklon od oceanografskih i meteoroloških utjecaja pružiti dotičnom pristanu. U tom smislu se to prvenstveno odnosi na pomoćne lučke građevine kao što su lukobrani i valobrani, ali i na smjer postavljanja pojedinih pristana u odnosu na prevladavajući smjer djelovanja vjetera, valova i morskih struja.

Iz izloženog mogao bi se izvući zaključak kako su maritimna obilježja luke bolja što je stupanj zaklonjenosti veći. Međutim, povećavanje stupnja zaklonjenosti luke vrlo često smanjuje manevarski prostor unutar luke te na taj način čini manevriranje brodom bitno otežanim. Prema tome za donošenje ocjene o maritimnim obilježjima pojedine luke potrebno je svakako uzeti u obzir i promatrati oba spomenuta aspekta.

Osim toga treba se osvrnuti i na problem zatvorenih luka u područjima gdje su plime i oseke značajne. U takvim područjima otvorene luke nisu pogodne jer plime i oseke smetaju normalnom odvijanju lučkih operacija. Ovaj se problem rješava izgradnjom dokova (zatvorenih bazena) u kojima će razina vode biti približno stalna odnosno u granicama dozvoljenog kolebanja razine vode. Međutim da bi se to ostvarilo dio vremena je dok zatvoren pa tada nije moguća plovidba između doka i otvorenog mora. Takve luke imaju vrlo velik stupanj zaštićenosti pristana, ali je manevarski prostor unutar dokova relativno mali. Kako bi se olakšalo manevriranje brodom izgrađuju se nešto veći bazeni u kojima se brodovi okreću, a zatim se privezuju na određeni pristan. Sa stanovišta maritimnih obilježja luke valja istaknuti da u ovom slučaju nije moguće ni uplovljavanje ili isplovljavanje manjih brodova koji bi to inače mogli bez obzira na oseku. Zatvoreni bazeni grade se obično kad je amplituda morskih mijena veća od 7m.



U slučaju da se brodovi vezuju na otvorenim obalama, bez zaštitnih lučkih građevina, uz obalu ili u četverovez ili pak sidre na lučkim sidrištima primarni utjecaj na maritimna obilježja imaju oceanografske i meteorološke prilike koje vladaju na tom području.

Pomoćne lučke građevine koje služe za zaštitu luke su u prvom redu lukobrani i valobrani koji mogu biti različitih izvedbi. Stupanj njihove djelotvornosti ovisi o postavi, broju i izvedbi samih zaštitnih građevina. Položaj i smjer lukobrana ili valobrana određeni su površinom luke koju treba zaštititi, stupnjem zaštite koji se zahtjeva za pristane, zahtjevima za kretanjem brodova unutar bazena dakle manevarskim prostorom, njihovim utjecajem na djelovanje morskih struja, valova i vjetrova te njihovim utjecajem na prijenos nanosa, taloženja i erozije. Obzirom na način gradnje lukobrani odnosno valobrani mogu biti izvedeni kao nasuti, vertikalni ili mješoviti.

Osim nabrojanih vrsta zaštitnih građevina postoje i posebne vrste tih građevina kao npr. plutajući i pneumatski lukobrani i valobrani te izvedbe na stupovima. No valja istaknuti da ovakve izvedbe nemaju širu primjenu.

### 3.4 VELIČINA I STRUKTURA PROMETA U AKVATORIJU

Veličinu i strukturu prometa u akvatoriju obilježavaju broj i vrsta brodova s obzirom na tehnologiju prijevoza koji se u određenom trenutku nalaze na području određene luke. Imajući u vidu ove parametre i površinu akvatorija pojedine luke može se odrediti gustoća prometa. Sve ove vrijednosti utječu na način manevriranja brodom. Međutim, ove vrijednosti utječu najčešće i na postavljanje određenog stupnja organizacijsko-tehnološke podrške manevriranju brodova koja bitno utječe na stupanj sigurnosti pri manevriranju. Ovo je razlog da luke s velikom gustoćom prometa ne moraju nužno imati smanjen stupanj sigurnosti pri manevriranju.

Veličina i struktura prometa u akvatoriju svakako su jedan od značajnih faktora koji utječu na manevriranje brodom. Pritom treba problematiku sagledati sa stanovišta sigurnosti jednog broda koji manevrira u određenom akvatoriju kao i sa stanovišta sigurnosti manevriranja brodova u cijelom lučkom akvatoriju odnosno organizacije svih popratnih službi i sredstava koji sudjeluju u procesu manevriranja brodova.

Problem veličine i strukture prometa u akvatoriju luke potrebno je raščlaniti na nekoliko aspekata, te ga tako i promatrati.

Više brodova koji istovremeno manevriraju na određenom prostoru smanjuju ukupni manevarski prostor jednog broda. Na taj način smanjuje se i stupanj sigurnosti tijekom manevriranja. Svaki prostor istovremeno može prihvatiti određeni broj brodova koji mogu manevrirati, a vrlo često na nekom prostoru može manevrirati samo jedan brod. Ova činjenica pak utječe na to da ostali brodovi koji su spremni za manevriranje u dolasku ili odlasku moraju čekati što se odražava na vrijeme stajanja broda u luci.

Osim utjecaja veličine prometa na samo manevriranje pri pristajanju ili isplovljenju javlja se problem manevriranja u svrhu izbjegavanja sudara u samom akvatoriju. Stoga povećani promet predstavlja i direktan utjecaj na stupanj sigurnosti pri prilazu samom akvatoriju luke u kome se odvija manevriranje brodom.

Struktura prometa ima odraz na oba prije spomenuta aspekta jer je jasno da nije jednako da li na određenom prostoru manevriraju veći ili manji brodovi, nije jednako da li manevriraju putnički brodovi, RO-RO brodovi, brodovi za prijevoz rasutog tereta ili brodovi za prijevoz tekućih tereta itd. Osim toga struktura brodova utječe i na stupanj sigurnosti pri izbjegavanju sudara u akvatoriju.

### 3.5 NAVIGACIJSKA OBILJEŽJA PRILAZNOG PODRUČJA

Navigacijska obilježja prilaznog područja na neki način ovise o mnogim već spomenutim faktorima unutar ovog poglavlja, međutim na te faktore potrebno je dodati neke koji su

specifični upravo za prilazno područje. Prilazno područje ovisi pak o položaju na kojem je smještena luka u odnosu na plovne putove otvorenog mora.

Navigacijska složenost pristupa je prvenstveno funkcija položaja luke i veličine pomorskog prometa luke, ali i okolnih luka ako dijele isto plovno područje. Pritom navigacijska složenost pristupa ovisi o širini plovnog puta, dubini mora, oceanografskim i meteorološkim uvjetima na plovnom putu, postojanju zona odvojene plovidbe, postojanju sustava za navigaciju, postojanju službi nadležnih za praćenje plovidbe, itd.

Važno je naglasiti da se za pojedine luke složenost prilaza može bitno razlikovati u pojedinim fazama prilaza. Pritom se sam prilaz može podijeliti na faze kao što su:

- prilaz s otvorenog mora do mjesta prihvata peljara;
- prilaz od mjesta prihvata peljara do mjesta prihvata tegljača;
- prilaz od mjesta prihvata tegljača do mjesta priveza.

Navigacijska obilježja prilaznog područja, a s tim u vezi i složenost pristupa određenoj luci bitno je određena zemljopisnim položajem luke. Ova obilježja ovise o vrsti obale na kojoj je smještena pojedina luka odnosno o vrsti zaljeva ako je luka smještena u zaljevu. S obzirom na spomenute utjecaje valja odvojeno promatrati luke na obali otvorenog mora, estuarijske luke, luke na obali arhipelaškog mora, luke na ušćima rijeka, itd.<sup>43</sup>

Obale mogu biti strme (transverzalne ili longitudinalne), niske (lagunske ili dinske) i koraljne. Ispred strmih obala obično su velike dubine što je povoljno s navigacijskog aspekta prilaza luci. Međutim, takve dubine bitno otežavaju izgradnju luka, kao i formiranje sidrišta koje je otežano jer su dubine prevelike. Niske obale na širokom pojasu ispred obale imaju plitko more te pokretne sprudove, pa se plovidba uz lagunske i dinske obale te pristup lukama osigurava izjaružanim kanalima i ugradnjom sustava navigacijskih signalnih uređaja. Stoga je prilaz lukama smještenim na ovakvoj vrsti obala u navigacijskom smislu vrlo složen. Koraljne obale susreću se isključivo u tropskim morima, a na mnogim mjestima obale otoka i kopna okružene su koraljnim grebenima. Ove obale također predstavljaju povećanu opasnost za plovidbu tijekom prilaza obali.

Zaljevi u kojima mogu biti smještene luke su fjordovi, rijasi, lagune, estuariji i delte. Fjordovi su izrazito izduženi, uski i relativno duboki zaljevi sa strmim obalama. Složenost navigacije u takvim zaljevima ovisi o njihovoj veličini. Rijasi su zaljevi nastali prodiranjem mora u riječne doline, pa ovisno o ranijem izgledu tih dolina oblici mogu biti vrlo različiti. Stupanj složenosti pristupa lukama u ovim zaljevima ovisi o postojanju navigacijskih prepreka na prilazima kao što su otoci, pličine itd. Karakteristični zaljevi niskih naplavnih obala su lagune za koje se na raznim obalama upotrebljavaju različiti nazivi, npr. haff, liman, iako među njima postoje stanovite razlike. Lagune su plitki zaljevi na niskim naplavnim obalama odijeljeni od otvorenog mora pješćanim sprudovima s jednim ili nekoliko prolaza. Zbog plitkih ulaza prilazi takvim lukama su izjaružani do potrebne dubine. Pristup takvim lukama je složen, a pristup olakšava pomorska signalizacija. Vrlo važna mjesta na morskim obalama ušća su plovnih rijeka za koja bi se moglo reći da su svojevrsni zaljevi zato što širinom i dubinom omogućavaju uplovljavanje brodova, ponegdje i dosta duboko u kopno. Dva sasvim suprotna tipa takvih ušća jesu estuariji i delte. Estuarij je duboko i prema izlazu prošireno riječno ljevkasto ušće, a nastaje na obalama s velikim plimnim amplitudama. Luka može biti smještena ponegdje i više desetaka kilometara uzvodno, a uvjeti prilaza su povoljni za plovidbu i velikih oceanskih brodova. Delta je riječno ušće koje se grana u više rukavaca stvarajući pritom močvarni teren što se akumulacijom naplavnog materijala postupno širi u more. Delte prirodno nisu pogodne za plovidbu velikih brodova, pa se zbog toga plovnost za preoceanske brodove u deltama nekih velikih rijeka postiže umjetnim jaružanjem plovnog puta.

<sup>43</sup> Stražičić N., Pomorska geografija svijeta, Školska knjiga Zagreb, Zagreb, 1996., str. 7.

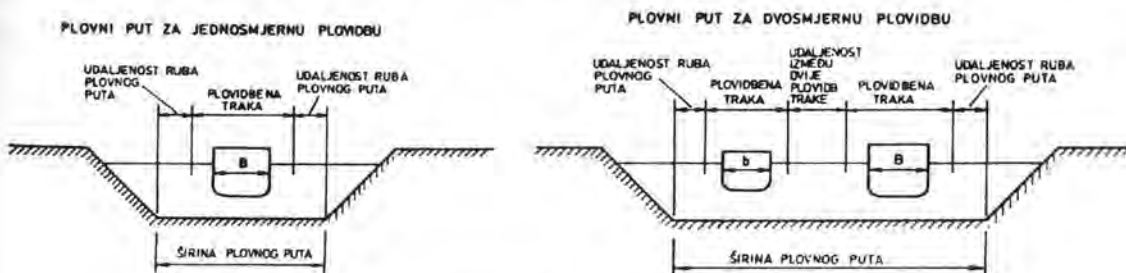
Iako je vrlo teško sve svjetske luke podijeliti u nekoliko grupa s obzirom na složenost pristupa imajući u vidu prethodno prikazane karakteristike obala i zaljeva moguće je sa stanovišta ovog rada odnosno sa stanovišta navigacijske složenosti pristupa različito promatrati luke na obali otvorenog mora, estuarijske luke, luke na obali arhipelaškog mora, luke na ušćima rijeka, itd.

Složenost prilaza luci prirodnim prilaznim putovima ovisi o mnogim prirodnim čimbenicima kao što su širina plovnog puta, dubina mora, postojanje pličina ili drugih navigacijskih opasnosti, vrsta obale, oceanografski i meteorološki uvjeti u prvom redu vjetar, valovi, morske struje, vidljivost, prisustvo leda, itd.

U onim slučajevima kad je pristup luci ograničen prirodnim uvjetima potrebno je graditi umjetne prilazne putove tj. kanale koji se dobivaju jaružanjem. Pritom je potrebno obraditi nekoliko osnovnih karakteristika takvih plovnih putova jer je zbog njihove prirode plovidba takvim kanalima specifična. Sa stanovišta ovog rada može se ustvrditi da cijela plovidba takvim kanalima pripada u kategoriju manevriranja, a valja napomenuti da veliki broj luka svijeta ima upravo ovakve prilazne plovne putove, te je stoga od velike važnosti razmotriti njihove karakteristike ako se želi razmatrati stupanj sigurnosti u toj fazi manevriranja brodom.

Kanali i plovni putovi mogu se u osnovi podijeliti na neograničene, djelomično ograničene i ograničene. Ova podjela je vrlo važna za način odvijanja plovidbe odnosno stupanj sigurnosti tijekom plovidbe, a ima utjecaj i na tehnologiju manevriranja brodom. Neograničeni kanali su po ovoj podjeli oni kanali čija je širina najmanje 10 do 15 širina najvećeg broda koji se očekuje propustiti kanalom. Djelomično ograničeni kanali su oni kanali koji su izjaružani u plitkoj vodi, dok ograničeni kanali imaju cijeli svoj profil izjaružan.

U suvremenoj praksi pri projektiranju kanala minimalna širina, mjerena na njegovu dnu, određuje se u ovisnosti o veličini i manevarskim osobinama brodova koji će ploviti kanalom, utjecajima vjetra i struje te namjeni kanala za jednosmjernu ili dvosmjernu plovidbu. Razmatrajući ovu problematiku potrebno je širinu kanala podijeliti u tri trake (zone). Širina plovidbene trake kreće se između 1,6 do 2,0 širine najvećeg broda koji koristi kanal. Dozvoljeno zaošijavanje broda tijekom plovidbe u kanalu ne smije biti veće od  $5^\circ$  do  $10^\circ$ . Zatim treba uzeti u obzir i tzv. kanalski efekt koji se javlja zbog asimetričnog toka vode, pa stoga treba u širini kanala uzeti i rezervu kako bi se smanjila ova pojava. Ova širina se uzima od 1,0 do 2,0 širine najvećeg broda. Ako je kanal predviđen za dvosmjernu plovidbu potrebno je između dvije plovne trake ostaviti slobodan prostor širine najmanje 30 m ili širine najvećeg broda kako bi se smanjio utjecaj usisa između dva broda koji plove nasuprotno. Uzimajući u obzir ovo razmatranje može se zaključiti da bi ukupna širina plovnog puta za jednosmjernu plovidbu trebala biti između 3,6 i 6,0 širina broda za koje je plovni put projektiran, dok je potrebna širina plovnog puta za dvosmjernu plovidbu 6,2 do 9,0 širina broda.<sup>44</sup>



Slika 8 Strukturni elementi širine plovnog puta za jednosmjernu i dvosmjernu plovidbu

<sup>44</sup> Thoresen, C.A., Port Design, Guidelines Recommendations, Tapir Publishers, Trondheim, 1988, str. 95.

Prema standardima Velike Britanije za pomorske strukture<sup>45</sup> širina kanala (plovnog puta) treba biti za jednosmjernu plovidbu od 4 do 6 širina najvećeg broda, a za dvosmjernu plovidbu od 6 do 8 širina najvećeg broda. Poseban naglasak daje se velikim tankerima ukupne nosivosti 300.000 t za čiju plovidbu se zahtjeva širina plovnog puta od 5 do 7 širina takvog broda, a treba izbjegavati dvosmjernu plovidbu.

Suvremena metoda projektiranja<sup>46</sup> minimalne širine dna plovnog puta za njegove ravne dijelove određuje se sljedećim izrazima:

- za jednosmjernu plovidbu:

$$W = W_{BM} + \sum_{i=1}^n W_i + W_{Br} + W_{Bg}$$

- za dvosmjernu plovidbu:

$$W = 2W_{BM} + 2\sum_{i=1}^n W_i + W_{Br} + W_{Bg} + \sum W_p$$

gdje je  $w$  širina dna plovnog puta,  $w_{Br}$  i  $w_{Bg}$  udaljenost ruba lijeve i desne strane plovnog puta od obale,  $w_p$  udaljenost između plovidbenih traka u dvosmjernom plovnom putu,  $w_i$  dodatna širina osnovne plovne trake, a  $w_{bm}$  širina osnovne plovne trake. Pri projektiranju različite se širine uzimaju za vanjske plovne putove od onih za unutarnje plovne putove. Pritom se širina osnovne plovne trake definira na osnovu manevarskih osobina broda, a dodatna širina osnovne plovne trake na osnovu brzine broda, prevladavajućeg bočnog vjetera, prevladavajuće morske struje, duljine valova, signifikantne visine valova, postojanja sustava za navigaciju i nadzora pomorskog prometa, vrste dna plovnog puta, dubine plovnog puta i stupnja opasnosti tereta. Dodatna širina za područje prolaza između brodova na plovnim putovima s dvosmjernom plovidbom definira se u odnosu na brzinu brodova i gustoću prometa iz suprotnih smjerova dok se dodatna širina za udaljenost ruba plovnog puta od obale definira u odnosu na brzinu broda te vrsti i geometriji ruba obale.

Širinu i polumjer zakrivljenih dijelova plovnog puta određuje se uzimajući u obzir podatke o obilježjima kruga okreta pretpostavljenog broda. Pri projektiranju širine i polumjera zakrivljenih dijelova plovnog puta potrebno je računati sa srednjim kutom otklona kormila za određeni odnos dubine i gaza pretpostavljenog broda, a ako je na plovnom putu neminovno mimoilaženje brodova u njegovom zakrivljenom dijelu svaki takav dio plovnog puta treba posebno razmotriti te o tome donijeti zaključke. Generalno je pravilo da širina zakrivljenog dijela plovnog puta ne smije biti manja od njegova ravnog dijela, a dodatna širina preporuča se predvidjeti na unutarnjem rubu zakrivljenog dijela kanala.

Svaki zavoaj, ako plojni put pritom mijenja smjer više od 10°, potrebno je proširiti.<sup>47</sup> Širina plovidbene zone u zavoju mora biti oko 4 širine najvećeg broda koji koristi plojni put. U svrhu sigurnosti plovidbe plovnim putem polumjer zakrivljenosti zavoja mora biti između 8 i 10 duljina broda za koji je plojni put projektiran ako brod plovi bez asistencije tegljača. U slučaju da plojni put ima više zavoja udaljenost između zavoja ne smije biti manja od duljine predviđenog broda ili 200 metara, što je veće.

Postava odnosno orijentacija plovnog puta određuje se uzimajući u obzir sljedeće:

- što manju duljinu plovnog puta;
- meteorološki, oceanografski i geografski uvjeti i ograničenja na krajevima plovnog puta;

<sup>45</sup> British Standard Code of practice for Maritime structures, Part 1. General criteria, British Standards Institution, str. 30.

<sup>46</sup> Approach Channels, A Guide to Design, Permanent International Association of Navigation Congresses, PIANC, Bruxelles, 1997., str. 20.

<sup>47</sup> Thoresen, C.A., Port Design, Guidelines Recommendations, Tapir Publishers, Trondheim, 1988, str. 95.

- potreba izbjegavanja zapreka ili područja koja bi bilo teško ili previše skupo premjestiti ili zahtijevaju skupo i složeno održavanje jaružanjem;
- prevladavajući vjetar, struja i valovi;
- izbjegavati zavoje u blizini ulaza u luku;
- rub plovnog puta treba biti izveden tako da brod koji prolazi uz njega ne uzrokuje smetnje ili njegova oštećenja.

Osim toga ravni dijelovi plovnog puta trebaju međusobno biti povezani pravilnim zavojima ne prevelikih kutova promjena smjera. Svaki ravni dio plovnog puta može imati različite širine i dubine, a na pojedinim dijelovima može se ploviti različitim brzinama. Treba nastojati plovni put postaviti tako da se maksimalno smanji bočna struja, a isto treba primijeniti za vjetar i valove. Izbjegava se orijentirati smjer plovnog puta tako da brod direktno prilazi obali, posebno ako plovnim putem plove brodovi s opasnim teretom, kako bi se smanjio rizik udara broda u obalu ili gat u slučaju gubitka kontrole tijekom prilaza.

Osim širine i postave plovnog puta sa stanovišta sigurnosti od neprocjenjive je važnosti i njegova dubina. Sigurnost pritom ovisi o odnosu trenutne dubine naprama gazu broda. Pri određivanju dubine potrebne za prihvat brodova određenog gaza potrebno je odrediti odgovarajuću najmanju razinu vode. Pritom treba voditi računa dali se proračun izvodi na temelju geodetske nule ili nule karte (engl. *chart datum*) jer između ove dvije nule postoji razlika koju treba odrediti za područje za koje se određuje dubina vode koja će zadovoljiti stupanj sigurnosti u tom pogledu. Na potrebnu dubinu vode za sigurno manevriranje utječu mnogi čimbenici od kojih su najznačajniji gaz broda (maksimalni gaz nakrcanog broda) uzimajući u obzir i gustoću vode, amplitude plime i oseke, gibanje broda na valovima, trim broda, dodatni zagažaj, atmosferski tlak, vrstu dna, pogreške u jaružanju i mjerenju dubine te zamuljivanje između dva jaružanja.

Valja istaknuti da načelno postoje dva pristupa problemu određivanja potrebne dubine ispod kobilice i to deterministički i probabilistički.<sup>48</sup>

U nedostatku pouzdanih informacija pri projektiranju plovnih putova minimalni odnos dubine naprema gazu treba uzeti  $h/T=1,1$  za zaštićeno područje, a  $h/T=1,3$  za nezaštićeno područje s valovima do 1,0 m te  $h/T=1,5$  za više valove s nepovoljnim periodima i smjerovima. Pritom Frudov broj dubine (*Froude Depth Number, F<sub>nh</sub>*) mora biti manji od 0,7.<sup>49</sup>

Pri razmatranju dubine plovnog puta treba uzeti u obzir i gustoću mulja koji utječe na definiranje tzv. nautičkog dna. Nije moguće jednoznačno odrediti vrijednost gustoće mulja koji utječe na prolaz broda koji se manifestira utjecajem na dodatni zagažaj, otpor i propulziju broda, manevrabilnost broda, itd. Određivanje jednoznačne konkretne vrijednosti nije moguće zbog toga što ova vrijednost ovisi o određenom položaju u akvatoriju i mijenja se u odnosu na doba godine.

Približna vrijednost gustoće mulja pri kojem se počinju zamjećivati ovi utjecaji uzima se  $1200 \text{ kg/m}^3$ . Međutim, valja istaknuti da su kriteriji za određivanje nautičkog dna različiti za prilazna područja pojedinih luka, a u priloženoj tablici dane su vrijednosti za neke luke.<sup>50</sup>

<sup>48</sup> Permanent International Association of Navigation Congresses – PIANC, Underkeel Clearance for Large Ships in Maritime Fairways with Hard Bottom, Report of working group of the Permanent Technical Committee II, Bruxelles, 1985, str.19.

<sup>49</sup> Approach Channels, A Guide to Design, Permanent International Association of Navigation Congresses, PIANC, Bruxelles, 1997., str. 20.

<sup>50</sup> Approach Channels, A Guide to Design, Permanent International Association of Navigation Congresses, PIANC, Bruxelles, 1997., str. 45.

LUKA	KRITERIJ ZA NAUČIČKO DNO (kg/m <sup>3</sup> )
BORDEAUX (Francuska)	1200
CAYANNE (Francuska Gvajana)	1270
EMDEN (Njemačka)	1220 - 1240
MARACAIBO (Venezuela)	1200
NANTES - SAINT-NAZAIRE (Francuska)	1200
ROTTERDAM (Nizozemska)	1200
ZEEBRUGGE (Belgija)	1150

Tablica 6 Gustoće mulja koje se uzimaju kao kriterij za određivanje nautičkog dna za različite luke

Ukoliko se prikazani standardi u pogledu širine i dubine ne mogu postići na prirodnim plovnim putovima treba ograničiti veličinu broda koja se može koristiti određenim plovnim putem ili razmotriti posebne mjere sigurnosti (veći broj tegljača, obustava ostalog prometa, itd.).

Valja naglasiti da se pri projektiranju postava plovnog puta, njegova širina i dubina trebaju razmatrati imajući u vidu njihovu međuovisnost.

Osim prirodnih uvjeta na prilaznom putu luci potrebno je, sa stanovišta sigurnosti plovidbe, posebnu pažnju posvetiti i postojanju sustava za navigaciju te režimu plovidbe.

Opremljenost obala klasičnim navigacijskim sredstvima kao i sofisticiranim sustavima je od neprocjenjive vrijednosti za sigurnost plovidbe. U klasična navigacijska sredstva mogu se ubrojiti svjetionici i ostale navigacijske oznake, kao i postojanje pouzdanih navigacijskih karata prilaznog područja. Osim toga valja naglasiti da su se do nedavno koristili elektronički navigacijski pozicijski sustavi kao što su DECCA, LORAN, OMEGA te lanci radio-farova. Međutim svi ti sustavi više nisu u funkciji pa se u sofisticirane navigacijske sustave može ubrojiti jedino GPS sustav. Međutim, radi se o globalnom navigacijskom sustavu, pa u kontekstu ovog rada, u smislu opremljenosti lučkog akvatorija, valja ubrojiti raspoloživost DGPS sustava. Osim ovih sustava može se dodati i postojanje pouzdanih elektroničkih karata područja, kao i pokrivenost područja službama za praćenje plovidbe (VTS sustav), postojanje obveze javljanja brodova (engl. *Ship Reporting Sistem*), itd. Sa stanovišta sigurnosti važna je i komunikacijska pokrivenost prilaznog područja. Pritom se u prvom redu misli na sustave obalnih radio-postaja koje rade na MF, HF i VHF područjima.

Sigurnost plovidbe na prilaznim putovima luke određena je i opremljenošću broda raznim navigacijskim sustavima i pomagalicama. Dio sustava koji se nalaze na brodu nije ovisan o opremljenosti prilaznog puta, to se u prvom redu odnosi na globalne sustave pozicioniranja, kao i globalne sustave komunikacija. Međutim, neki od ovih sustava direktno ovise o opremljenosti prilaznog puta kako je to već prethodno istaknuto. Ovdje, dodatno valja spomenuti i radar koji je brodski sustav, međutim njegova djelotvornost ovisi kako o vrsti okolne obale tako i o meteorološkim uvjetima na prilaznom putu.

Režim plovidbe također valja istaknuti kao važan čimbenik sigurnosti. Uspostava određenog režima plovidbe ovisi o mnogobrojnim čimbenicima kao što su prirodni uvjeti kako geografski tako i oceanografski i meteorološki, zatim gustoći i strukturi prometa u akvatoriju i stupnju opasnosti koje su zbog ovih čimbenika prisutne. Uspostava određenog režima plovidbe ovisi i o odnosu lokalnog prometa naprema cjelokupnom prometu, učestalosti i potrebi presijecanja smjerova plovidbe, itd. Režim plovidbe ovisi i o stupnju sigurnosti koji se na određenom području želi postići.

Osnovni elementi mogućeg načina definiranja režima plovidbe su obvezno ili neobvezno obalno peljarenje, postojanje sustava usmjerene plovidbe, prostorna i vremenska ograničenja plovidbe te već spomenuta obveza javljanja i postojanje službe za praćenje plovidbe odnosno razina njenog djelovanja.

#### 4 ORGANIZACIJSKO-TEHNOLOŠKA PODRŠKA MANEVRIRANJU BRODOVA

Značajan čimbenik sigurnosti u sustavu manevriranja brodom na aktualnom stupnju razvoja s pozitivnim trendom i u budućnosti je stupanj organizacijsko-tehnološke podrške manevriranju brodova. Analizom ovog čimbenika njegovi osnovni elementi su sustav nadzora i upravljanja pomorskom plovidbom, ustroj peljarske i privezivačke službe, organizacija službe tegljenja te lučke vlasti koje su različito ustrojene u pojedinim dijelovima svijeta (npr. Lučke kapetanije i Lučke uprave).

##### 4.1 SUSTAV NADZORA I UPRAVLJANJA POMORSKOM PLOVIDBOM

Sustav nadzora i upravljanja pomorskom plovidbom (engl. *Vessel Traffic Service – VTS*) jedan je od temeljnih čimbenika sigurnosti u organizacijsko-tehnološkoj podršci manevriranju brodova. Pravna utemeljenost ovog sustava posredno se zasniva na mnogim međunarodnim aktima od kojih su najvažniji *Konvencija OUN-a o pravu mora* kao opća pretpostavka i rezolucija *IMO-a A.857* Smjernice za službu nadzora i upravljanja pomorskom plovidbom<sup>51</sup> (*Guidelines for Vessel Traffic Services*) kao temeljni akt provedbe ovakvog sustava.

Osnovni cilj uspostavljanja ove službe je unapređenje sigurnosti i učinkovitosti pomorske plovidbe, sigurnosti ljudskih života na moru i zaštite morskog okoliša. Pritom treba postojati jasna razlika između lučke službe nadzora (*Port VTS/Control*) i obalne službe nadzora (*Coastal VTS*). No, valja istaknuti da može postojati i kombinacija ovih dvaju tipova sustava.

Uspostava određenog VTS sustava treba biti proglašena od strane *IMO-a*, a pri njegovoj uspostavi treba se voditi sljedećim kriterijima:

- velika gustoća pomorskog prometa;
- pomorski promet opasnog tereta;
- konfliktan i kompleksan ustroj plovidbe (navigacije);
- teški hidrografski, oceanografski i meteorološki uvjeti;
- pomične plićine i druge lokalne opasnosti;
- obilježja prirodno okoliša;
- interakcija pomorskog prometa s ostalim aktivnostima na morskoj obali;
- veliki broj pomorskih akcidenata;
- postojeći ili planirani VTS sustav u obližnjim vodama i potreba kooperacije između;
- stav susjednih država, ako je primjenjivo;
- uski kanali, konfiguracija luke, mostovi i slična područja gdje plovidba broda može biti ograničena;
- postojeće ili očekivane promjene ustroja pomorskog prometa koje nastaju zbog razvoja lučkih ili odobalnih terminala ili odobalnih istraživanja i eksploatacije.

Prije uspostave nekog stupnja sustava nadzora i upravljanja pomorskom plovidbom valja izraditi slijed postupaka koji sadrže studiju sigurnosti pomorskog prometa i zaštite morskog okoliša na određenom području, a zatim i izrada prethodne VTS studije gdje se utvrđuju područje primjene, razina usluge, minimalni uvjeti opremljenosti, očekivani cilj i početni tehnički opis sustava. Nakon toga valja izraditi analizu troškova i dobiti, a zatim i konačni tehnički opis sustava. Slijedi realizacija samog sustava.

Konačna struktura i obilježja VTS sustava trebaju se temeljiti na odgovarajućim smjernicama<sup>52</sup> i priručnicima<sup>53</sup> organizacija i udruga koje su relevantne za ovo područje. Osim

<sup>51</sup> Resolution A.857(20), Adopted on 27 November 1997, Guidelines for Vessel Traffic Services, International Maritime Organization (IMO), London, 1997.

<sup>52</sup> IALA/IMPA/IAPH World VTS Guide

<sup>53</sup> The IALA Vessel Traffic Services Manual

toga, komplementarno područje djelovanja VTS sustava je uspostava i djelovanje sustava izvješćivanja<sup>54,55</sup> s brodova pa i o tom segmentu treba voditi računa pri uspostavi VTS sustava.

Organizacija sustava ovisit će o geografskim obilježjima VTS područja koje se nadzire, gustoći i obilježjima pomorskog prometa kao i vrsti usluga koje se pružaju korisnicima. Osnovne zadaće koje valja ostvariti odnose se na podupiranje i održavanje željenog nivoa pouzdanosti i raspoloživosti u sustavu, pregled stanja pomorskog prometa u svojem području i djelovanja zajedno sa svim čimbenicima koji utječu na pomorski promet te na temelju tih podataka sastavljanje slike stanja u području, a temeljem kojih će se poduzeti određene radnje.

Da bi se mogle ostvariti ove zadaće VTS sustava potrebna je opremljenost odgovarajućim objektima i uređajima, postojanje postupaka za djelovanje te postojanje dovoljnog broja osoblja odgovarajuće educiranosti.

VTS sustav pruža brodovima široki dijapazon informacija vezanih za sigurnost prolaza broda područjem koje se nadzire, a generalno se mogu podijeliti na navigacijske informacije koje podrazumijevaju izravno pružanje podataka prikupljenih u sustavu te navigacijski savjeti koji predstavljaju pružanje svih potrebnih informacija i stručnog mišljenja u konkretnom slučaju.

Vrsta sustava nadzora i upravljanja pomorskom plovidbom ovisi o određenom stupnju uspostave sustava. Načelno postoje četiri stupnja uspostave sustava<sup>56</sup> i to:

- služba informacija;
- služba pružanja navigacijske pomoći;
- služba organizacije pomorskog prometa;
- služba informiranja javnosti

SLUŽBA INFORMACIJA ima za cilj pripremu izvješća i uputa brodovima u plovidbi u području nadležnosti službe o događajima i okolnostima zbog kojih bi moglo doći do ugrožavanja sigurnosti ljudskih života ili materijalnih sredstava odnosno mogućnosti onečišćenja mora i priobalja. Ove zadaće obavljaju operateri VTS službe temeljem prethodno pripremljenih podataka. Informacije koje se javljaju na ovom stupnju uspostave sustava odnose se na upućivanje podataka brodovima (npr. izvješćivanje o kretanju prometa, stanje navigacijskih naprava i uređaja, stanje vidljivosti, itd.)

SLUŽBA PRUŽANJA NAVIGACIJSKE POMOĆI obuhvaća pomoć brodovima po zahtjevu ili prema potrebi u otežanim navigacijskim ili meteorološkim okolnostima, u slučaju kvara ili nekog izvanrednog događaja. Navigacijska pomoć obuhvaća širok raspon usluga u širokom spektru od jednostavnih savjeta i uputa o načinu plovidbe do izravnog dostavljanja podataka potrebnih za određivanje pozicije broda ili navođenja broda odnosno peljarenja na daljinu.

SLUŽBA ORGANIZACIJE POMORSKOG PROMETA predstavlja najviši stupanj VTS službe, a obuhvaća planiranje, provedbu i nadzor kretanja brodova s ciljem izbjegavanja opasnosti te ostvarivanja dovoljnog stupnja sigurnosti kao i učinkovitosti pomorskog prometa u području nadležnosti. Organizacija pomorskog prometa se načelno provodi raspodjelom prostora (engl. *Space Division*), vremena (engl. *Time Division*) i udaljenosti (engl. *Distance Division*).

Raspodjela prostora podrazumijeva prethodno određivanje pojedinih prostora za određenu namjenu u dužem vremenskom razdoblju (jednosmjerni ili dvosmjerni plovni putovi, sidrišta, područja za okretanje brodova, itd.), a iznimno se pojedina područja mogu proglašavati za određenu namjenu samo privremeno.

<sup>54</sup> Resolution MSC.43(64), Adopted on 9 December 1994., Guidelines and Criteria for Ship Reporting Systems, International Maritime Organization (IMO), London, 1994. MO Guidelines and Criteria for Ship Reporting Systems

<sup>55</sup> Resolution A.851(20), Adopted on 27 November 1997., General Principles for Ship Reporting Systems and Ship Reporting Requirements, Including Guidelines for Reporting Incidents Involving Dangerous Goods, Harmful Substances and/or Marine Pollutants, International Maritime Organization (IMO), London, 1997.

<sup>56</sup> Zec, D., Planiranje pomorske plovidbe, Pomorski fakultet Rijeka, Rijeka, 1997., str. 112.



Raspodjela vremena ostvaruje se sustavom dopuštenja i potvrđivanja provedbe određene radnje, a najvažnije mjere u tom cilju su dopuštenje uplovljavanja u područje nadležnosti ili neki dio tog područja, dopuštenje sidrenja ili plutanja u određenom području te dopuštenja uplovljavanja ili isplavljenja iz luke, napuštanja ili promjene mjesta sidrenja, itd. Uz ove mjere se vrlo često koristi i ograničenje brzine plovidbe (pritom se u pravilu ograničava maksimalna brzina plovidbe).

Raspodjela udaljenosti provodi se utvrđivanjem najmanje udaljenosti između brodova koji plove istim smjerom ili brodova koji se mimoilaze, a u ovu skupinu mjera valja ubrojiti i sustav za određivanje redoslijeda pristupa odnosno uključivanja na plovni put ili isplavljenja sa sidrišta, itd.

Kad se upotrebljava termin upravljanje pomorskom plovidbom onda se u prvom redu podrazumijeva ovaj stupanj organizacije VTS službe.

SLUŽBA INFORMIRANJA JAVNOSTI odnosno pružanje informacija i podrške drugim pridruženim djelatnostima obuhvaća široki spektar informiranja određenih zainteresiranih skupina, a vrsta i povjerljivost izdanih podataka ovisi o skupini kojoj je namijenjena. U tom smislu valja izdvojiti tri skupine zainteresiranih osoba. U prvu skupinu valja ubrojiti učesnike u prometu ili zainteresirane organizacije kao što su npr. carinska služba, policija, sanitarna služba, krcatelji, slagatelji, agencije, otpremnici, itd. Izvješćivanje i dostava podataka ovoj skupini je i temeljna razina podrške koju pruža VTS služba, a ostvaruje se izravnim vezama s nadležnim jedinicama VTS službe ili neizravno dopuštanjem pristupa određenoj razini informacija u sustavu. Na drugu skupinu, u koju pripadaju učesnici čije djelovanje izravno utječe na pomorski promet npr. nadležni centri za traganje i spašavanje, lučke kapetanije, itd., primjenjuje se viša razina podrške. U ovu razinu podrške valja ubrojiti podršku traganju i spašavanju, sprečavanju onečišćenja ili umanjivanja posljedica akcidenta, radu peljarske službe, ustanovama za održavanje plovnih putova, postupcima u izvanrednim okolnostima i sl. Podrška se ostvaruje u izravnoj vezi VTS službe i konkretnog učesnika. Treću skupinu predstavlja cjelokupna javnost. Ovom segmentu u suvremenim uvjetima treba posvetiti dužnu pažnju, pa stoga i djelatnike posebno educirati u tom smislu jer se radi o vrlo osjetljivom području djelatnosti. Na ovoj razini pruža se određena vrsta informacija zainteresiranim subjektima iz najšire javnosti pa tako npr. i medijima u pogledu stanja na području nadležnosti VTS službe, a koja bi bila značajna za javnost. Ovdje valja ubrojiti izvješćivanje o događajima koji predstavljaju opasnost za širu okolinu, o onečišćenju mora i priobalja, akcidentima koji su se dogodili, itd.

Kad se razmatraju značajke službe nadzora i upravljanja pomorskom plovidbom sa stanovišta njezina upliva na sigurnost cijelog sustava posebnu pažnju valja posvetiti odgovornosti u provedbi pojedinih postupaka. Posebice se to odnosi na pružanje navigacijskih savjeta koje valja pružati samo na zahtjev broda te u slučaju postojanja službe organizacije prometa kad savjeti brodovima odnosno naputci trebaju biti orijentirani željenom ishodu izostavljajući pojedinosti o izvršenju tog cilja. U sagledavanju djelovanja ovog sustava valja imati na umu da je zapovjednik u potpunosti odgovoran za sigurnost broda, posade i tereta.

#### 4.2 USTROJ PELJARSKE SLUŽBE

Peljari ali i peljarska služba značajan su čimbenik sigurnosti u sustavu manevriranja brodom. Pritom je vrlo značajna organizacija ove službe. Obično su to privatne tvrtke koje moraju zadovoljiti stroge nacionalne propise u pogledu uvjeta koje trebaju zadovoljiti. Ovi uvjeti trebaju biti i u skladu s relevantnim međunarodnim propisima. Sa stanovišta organizacije i uvjeta koje peljarska služba i peljari trebaju zadovoljiti te načela rada službe značajan utjecaj imaju i međunarodna udružena peljara.<sup>57</sup>

<sup>57</sup> International Maritime Pilot Association i European Maritime Pilot Association

Peljarenjem se smatra pružanje usluge zapovjedniku broda u pogledu savjeta pri plovidbi i manevriranju u području peljarenja. Obzirom na obveznost razlikuju se dvije vrste peljarenja, i to obvezno i fakultativno. Obveznost peljarenja na pojedinim područjima u ovisnosti o vrsti i veličini broda propisuju nacionalne pomorske vlasti. Sa stanovišta područja na kojem se peljarenje izvodi ono može biti obalno i lučko. Ponekad se prakticira i peljarenje na daljinu ali za to služba treba biti primjereno opremljena. Prilikom razmatranja sustava manevriranja u užem smislu osnovni utjecaj ima upravo lučko peljarenje.

U pogledu organizacije službe peljarenja, osim poštivanja općih načela rada, moguće su međusobne razlike koje ovise o veličini i navigacijskim obilježjima akvatorija na kojem djeluje peljarska služba, veličini pomorskog prometa, a time i broju peljarenih brodova, obilježjima akvatorija koji utječu na sigurnost u sustavu, vrsti i obveznosti usluge peljarenja koja se ostvaruje, stupnju razvijenosti i tehnologije okruženja u kojem djeluje sustav, tradiciji djelovanje peljarske službe, itd.

Načelno, peljarska služba trebala bi raspolagati prostorom za svoje djelovanje. Osim toga potrebno je raspolagati dovoljnim brojem primjerenih peljarskih brodica s posadom kao i sredstvima veze. Dakako, najvažniji čimbenik u organizaciji peljarske službe je dovoljan broj stručnih peljara te služba bdijenja odnosno operatori u peljarskim postajama.

U pogledu peljarskih brodica važno je istaknuti da one trebaju biti prikladne za akvatorij u kojem djeluje peljarska služba, a posebice se ovo odnosi na njihovu brzinu, maritimne osobine te stručnost njihove posade. U nekim dijelovima svijeta s gustim prometom i zahtjevnim akvatorijem peljarske službe posjeduju peljarske brodove koje koriste peljari pri odlasku ili dolasku s brodova. Ovi brodovi često imaju i posebne peljarske brodice lagane izvedbe. U nekim dijelovima svijeta, u ovisnosti o specifičnostima akvatorija ili trenutnih vremenskih prilika za dolazak ili odlazak peljara s brodova koriste se helikopteri.

U prostoru peljarske postaje valja organizirati službu bdijenja gdje operatori prate događaje u akvatoriju, stupaju u kontakte s brodovima i drugim zainteresiranim osobama u sustavu kao i prate te po potrebi izmjenjuju informacije s peljarem tijekom izvođenja samog peljarenja, ali i tijekom dolaska i odlaska s broda. Peljarska služba treba raspolagati dovoljnim brojem operatera koji su za ovaj posao primjereno educirani. Neke peljarske postaje mogu biti opremljene uređajima za praćenje pomorskog prometa u akvatoriju slično VTS službama što može bitno utjecati na njihovu učinkovitost djelovanja. Peljarska postaja trebala bi imati i prostore pogodne za boravak i odmor peljara te druge pripadajuće djelatnosti.

Peljari koji djeluju u okviru peljarskih službi trebaju biti primjereno educirani i dovoljno stručni. U organizacijskom smislu važan je i njihov broj i raspored rada što će ovisiti u prvom redu o broju peljarenih brodova i veličini akvatorija. Svaka peljarska služba treba voditi računa da ima dovoljan broj peljara u službi i u pričuvi te da peljari između smjena imaju dovoljno vremena za odmor.

Vrlo je značajno da peljarske službe za svoje osoblje, a posebice za peljare, osigura permanentno usavršavanje. Analizom današnje prakse uvida se da su od svih osoba koji neposredno sudjeluju pri manevriranju brodovima upravo peljari oni koji su najmanje podvrgnuti dodatnoj izobrazbi. Imajući u vidu ovu činjenicu upravo peljarske službe trebaju biti čimbenik koji će svoje peljare obvezati na dodatnu izobrazbu, čime bi se zasigurno postiglo povećanje stupnja sigurnosti u cijelom sustavu manevriranja.

Organizacija peljarske službe može imati svoje posebnosti u konkretnom slučaju, a najvažniji čimbenici razmotrit će se ukratko u nastavku. Veličina akvatorija na kojem djeluje peljarska služba i navigacijska obilježja tog akvatorija mogu bitno utjecati na potrebno vrijeme peljarenja pojedinog broda i vrijeme potrebno za dolazak ili odlazak peljara s broda, a time i na broj potrebnih peljara u smjeni. Također, o ovom čimbeniku ovisit će i potreba za opremljenošću peljarske službe brojem i obilježjima peljarskih brodica ili drugih sredstava potrebnih za transfer peljara. Veličini i struktura pomorskog prometa također može odrediti

vrijeme peljarenja pojedinog broda te broj potrebnih peljara, a utječe i na sigurnost u sustavu manevriranja. Obilježja akvatorija koji utječu na sigurnost u sustavu manevriranja odnose se na već spomenuto navigacijsko obilježje te gustoću i strukturu prometa ali i na meteorološke i oceanografske uvjete u akvatoriju koje će bitno utjecati na vrijeme i način odvijanja peljarenja. Organizaciju će također odrediti obveznost i vrsta usluge peljarenja koja se pruža tj. postojat će razlike u ovisnosti o tome da li je peljarenje obvezno ili fakultativno odnosno da li se radi o lučkom ili obalnom peljarenju. Stupanj tehnološke razvijenosti okruženja kao i tradicija djelovanje peljarske službe zasigurno će imati utjecaj na samu organizaciju službe pa će razvijenija okruženja imati veći stupanj organizacije, a u tehnološkom smislu služba će biti više sofisticirana.

#### **4.3 PRIVEZIVAČKA SLUŽBA**

U sustavu manevriranja brodom privezivačka služba nema tako značajno mjesto kao dvije prethodno prikazane službe, međutim učinkovitost sustava ovisi o pravilnom djelovanju svih elemenata. Privezivačke službe u svijetu mogu biti organizirane na razne načine što u prvom redu ovisi o veličini luke i broju brodova koji se prihvaćaju ali i društvenim odnosima u pogledu organizacije luke. Privezivačke službe mogu biti izdvojene tvrtke ili djelovati u sustavu luke. Bez obzira na moguće razlike ova služba treba imati dovoljan broj stručnih privezivača, a isto tako i dovoljan broj primjerenih privezivačkih brodica s posadom.

U organizacijskom smislu rukovođenje privezivačima treba biti primjereno obimu posla. Privezivači trebaju biti adekvatno educirani i uvježbani što posebno dolazi do izražaja u izvanrednim okolnostima koje mogu nastupiti pri manevriranju. U pogledu radnog vremena valja voditi računa o dovoljnom odmoru ako se radi smijenski. Broj potrebnih privezivača ovisit će o tehnologiji priveza ili odveza te opremljenosti konkretnog mjesta priveza opremom za privez.

Privezivačke brodice trebaju biti primjerene načinu rada tijekom priveza ili odveza broda, a prema maritimnim obilježjima trebaju odgovarati obilježjima akvatorija u kojem se manevrira. Poznato je da ograničenja za privezivačke brodice mogu predstavljati i ograničenja za manevriranje brodom. Posade brodica osim o privezivačkim postupcima trebaju poznavati i tehnologiju manevriranja privezivačkim brodicama.

Iako se vrlo rijetko koristi, treba napomenuti i mogućnost pružanja usluge suvremenim brodovima s nedovoljnim brojem članova posade pri privezu. U tom slučaju privezivači se na brod ukrcavaju zajedno s peljarem te tijekom priveza djeluju kao privezivački tim na brodu zajedno se časnicima i članovima posade broda. Ovakav način rada povlači za sobom specifične probleme koji se očituju u nepoznavanju broda, poteškoćama u komunikaciji i razumijevanju nadležnog časnika, itd.

#### **4.4 ORGANIZACIJA SLUŽBE TEGLJENJA**

Služba tegljenja, njena organizacija i osoblje zajedno sa svojim osnovnim sredstvima – tegljačima od neprocjenjive je važnosti za uspješno djelovanje sustava manevriranja brodovima ako se pri manevriranju rabe tegljači. Organizacija ove službe ovisit će u najvećoj mjeri o već spomenutoj veličini i navigacijskim obilježjima akvatorija, veličini i strukturi prometa, meteorološkim i oceanografskim uvjetima u akvatoriju te zasigurno ovisi i o stupnju tehnološkog razvitka okruženja. Služba je obično ostvarena u okviru zasebne tvrtke koja se bavi tegljenjem. Obilježja organizacije ovisit će i o djelatnosti kojom se tvrtka bavi, a to može biti lučko tegljenje, obalno tegljenje, oceansko tegljenje, djelatnost ugovornog spašavanja te djelovanje u izvanrednim okolnostima u lučkom akvatoriju. Sa stanovišta ovog rada područje interesa predstavlja lučko tegljenje.

Ova služba treba imati dovoljan broj raspoloživih tegljača odgovarajućih svojstava, dovoljan broj primjereno educiranih i uvježbanih članova posade, službu praćenja aktivnosti te drugo osoblje i infrastrukturu koja predstavlja podršku službi odnosno tvrtki. Kako se radi o tvrtki koja treba poslovati na komercijalnoj osnovi, a istovremeno zadovoljiti u pogledu učinkovitosti kao segment u funkcioniranju luke odnosno određenog prometnog pravca te zadovoljiti mjere sigurnosti u sustavu manevriranja brodom najčešće struktura ovih tvrtki predstavlja kompromis između ovih zahtjeva. Zbog toga tvrtke imaju obično kombiniranu flotu suvremenih i klasičnih tegljača koji se kasnije koriste u ovisnosti o složenosti pojedinog manevra. Unatoč veličine kapitalnih ulaganja u flotu tegljača interes službe tegljenja je njena što bolja i suvremenija opremljenost jer se djelatnost tegljenja u određenom lučkom akvatoriju najčešće dobiva koncesijskim ugovorima u kojima je upravo opremljenost tvrtke tegljačima jedan od najvažnijih čimbenika.

Sposobnost zapovjednika i posade tegljača vrlo je važan čimbenik sigurnosti i uspješnosti manevriranja brodom ali i važan čimbenik sigurnosti samog tegljača. Stoga je kvalitetna edukacija i uvježbanost zapovjednika i članova posade imperativ uspješnog djelovanja u eksploataciji. Tvrtka, također u ovom smislu treba osigurati sve uvjete za permanentno usavršavanje.

O veličini i navigacijskim obilježjima akvatorija ovisit će vrijeme i tehnologija tegljenja, a s tim u vezi i potreban broj i obilježja tegljača. Organizacija ovisi i o rasporedu i međusobnoj udaljenosti baze tegljača, pojedinih terminala i mjesta priveza, mjesta prihvata i otpuštanja tegljača, itd. Neka prilazna područja svjetskih luka zahtijevaju korištenje tegljača za praćenje broda pa i o ovoj činjenici u organizaciji valja voditi računa. Veličina i struktura prometa te meteorološki i oceanografski uvjeti u akvatoriju određuje broj i obilježja tegljača kao i tehnologiju manevriranja odnosno njihovog korištenja. Stupanj tehnološkog razvitka okruženja u pravilu će se odraziti i na visoku organizacijsku i strukturalnu razvijenost službe tegljenja, a slabo razvijena okruženja, imat će upravo suprotno, slabo razvijenu službu tegljenja. O ovim činjenicama zasigurno treba voditi računa prilikom razmatranja cjelokupnog sustava manevriranja i interakcije pojedinih elemenata na sustav u cjelini.

Sa stanovišta lučkog sustava vrlo važan doprinos službe tegljenja osim u redovnim aktivnostima ogleda se u djelovanju službe tegljenja odnosno tegljača u izvanrednim okolnostima koje mogu nastupiti u lučkom akvatoriju kao što su spašavanje broda u nevolji, pružanje pomoći brodu u izvanrednim meteorološkim i oceanografskim uvjetima, izbjegavanje štetnog djelovanja ili ublažavanja njegovih posljedica posebice u pogledu onečišćenja mora i priobalja, itd.

#### 4.5 LUČKA KAPETANIJA

Lučke kapetanije, njihov ustroj i organizacija rada u prvom redu ovise o načinu djelovanja ovih ustanova u okviru države. U velikom broju država svijeta to su ustanove nad kojima ingerenciju imaju zajedno civilne i vojne vlasti, pa su s tim u vezi to često poluvojne organizacije. U nekim državama, kao što je to slučaj i kod nas, one su organizirane kao civilne institucije. No bez obzira na njihov ustroj ove ustanove najčešće obavljaju upravne poslove iz djelokruga pomorstva te inspekcijske poslove vezane za sigurnost plovidbe, a osim toga ove ustanove obično obavljaju i određene tehničke i druge stručne poslove koje se odnose na sigurnost plovidbe.

Sa stanovišta ovog rada najznačajniji je onaj djelokrug djelatnosti lučkih kapetanija koje imaju utjecaj na sustav manevriranja brodom. Valja istaknuti da ove ustanove nemaju direktan utjecaj na samo izvođenje konkretnog manevra. Međutim, postoji njihov indirektni utjecaj koji se ogleda u određivanju mjera sigurnosti koje trebaju biti osigurane tijekom manevriranja, zabranama izvođenja pojedinog ili svih manevara u nekom akvatoriju kad nisu osigurane dovoljne mjere sigurnosti, naredbama u pogledu postupanja u određenim prilikama te

arbitriranju između strana koje se javljaju u sustavu manevriranja ako je između njih došlo do nesporazuma.

Konkretizira li se prethodno razmatranje valja spomenuti zabranu izvođenja manevra zbog loših vremenskih uvjeta, akcidenta koji se dogodio u akvatoriju u kojem će se manevr izvoditi, itd. Naredbe se mogu odnositi na napuštanje mjesta priveza zbog nailaska loših vremenskih uvjeta, napuštanje ili premještanje s mjesta priveza zbog izbijanja akcidenta na području luke i sl. Arbitriranje se obično javlja u situacijama kad dođe do neslaganja glede načina provedbe određenog postupka, npr. nesporazum između zapovjednika i peljara odnosno korisnika luke ili terminala o broju tegljača koji se na određenom području uobičajeno koriste za određenu vrstu i veličinu brodova.

Vrlo značajan utjecaj lučkih kapetanija na sustav manevriranja brodovima očituje se u određivanju mjera sigurnosti koje trebaju biti osigurane tijekom manevriranja. Ove mjere odnose se i na akvatorij u kojem se manevrira ali i na samo manevriranje brodovima. Djelatnici lučkih kapetanija sudjeluju u razmatranju potrebnih mjera sigurnosti koje valja osigurati u infrastrukturnim zahvatima, a i u pogledu tehnologije izvođenja samog manevra kao i u određivanju ograničenja. Za svaku luku ili mjesto priveza valja izraditi tzv. maritimnu studiju koja obuhvaća sve ove elemente, a takve studije odobravaju upravo lučke kapetanije. Prema tome djelatnici lučkih kapetanija trebali bi aktivno sudjelovati u planiranju i projektiranju novih luka odnosno mjesta priveza kao i u pripremi rekonstrukcije postojećih mjesta priveza. Također, njihova uloga je značajna pri razmatranju mogućnosti prihvata brodova drukčijih obilježja od brodova koji su se uobičajeno prihvaćali na postojećim mjestima priveza.

#### 4.6 DJELATNOST LUČKE UPRAVE

Djelatnost lučkih uprava razlikuje se u različitim dijelovima svijeta u odnosu na opseg njihova djelovanja tako da njihovu djelatnost nije moguće jednoznačno odrediti. U nekim zemljama svijeta lučke uprave u ovom smislu ne postoje već su ovi poslovi djelomično pod ingerencijom države preko lučkih vlasti, a djelomično su prepušteni korisnicima lučkog područja dakle određenoj vrsti lučkih poduzeća.

Utjecaj lučkih uprava na sustav manevriranja je indirektan. U konkretnom manevru utjecaj se ogleda u odnosu prema korisnicima luke, a opći utjecaj na sustav manevriranja ogleda se u njihovoj osnovnoj funkciji osiguranja infrastrukturnih sadržaja lučkog područja od prilaznih plovnih putova, lučkih građevina kao što su valobrani, lukobrani, operativne obale i njihova tehnička opremljenost.

Utjecaj na sustav manevriranja u konkretnom slučaju odnosi se na raspoloživost mjesta priveza u određenom trenutku, zapreku početku manevriranja zbog manevriranja na drugim mjestima priveza, itd. Svi ovi čimbenici determinirani su veličinom prometa u luci, tehnološkom opremljenošću luke te organizacijom poslovanja. Međutim, na neke od ovih čimbenika lučka uprava ima samo indirektan upliv jer su za te segmente odgovorni korisnici operativnih obala (npr. slagatelji (stivadori) ali i drugi poslovni subjekti koji se javljaju u luci kao vrlo kompleksnom sustavu), a lučka uprava na njih utječe kroz izdavanje koncesijskih ugovora te nadzor poštivanja tih ugovora.

Međutim, puno veći utjecaj lučkih uprava na sustav manevriranja ogleda se u njihovoj obvezi osiguranja infrastrukturnih sadržaja lučkog područja koji će zadovoljiti i u pogledu potrebnih preduvjeta za sigurno manevriranje brodom odnosno opću sigurnost u sustavu manevriranja brodom. Djelatnici lučkih uprava trebaju aktivno sudjelovati u planiranju, projektiranju, a i kasnijoj izvedbi novih luka odnosno mjesta priveza kao i u rekonstrukciji postojećih mjesta priveza. U svim tim segmentima osim o komercijalnim elementima valja voditi računa o sigurnosnim elementima jer se u protivnom može bitno narušiti sigurnost u sustavu manevriranja brodom, a i u cijelom lučkom sustavu. Prilikom planiranja i projektiranja lučke infrastrukture vrlo je značajno procijeniti i potrebe u budućnosti kako se pojedini elementi

luke već vrlo brzo nakon dovršetka ne bi pokazali zastarjelima što će bitno utjecati i na komercijalni aspekt luke. Također, valja naglasiti da se mjere koje valja poduzeti u pogledu osiguranja dovoljnog stupnja sigurnosti promatraju kao troškovi, ali ne treba zaboraviti da suvremena luka s visokim stupnjem sigurnosti može biti komercijalno isplativija zbog brzine i sigurnosti odvijanja pojedinih postupaka, a s tim u vezi i skraćivanja vremena zadržavanja broda u luci kao i mogućnosti prihvaćanja brodova različitih obilježja. Takva luka može bolje i brže odgovoriti na izazove u budućnosti.

## 5 UTJECAJ TEHNIČKO-TEHNOLOŠKIH OBILJEŽJA BRODA I TEGLJAČA NA MANEVRIRANJE BRODOM

Tehničko-tehnoloških obilježja broda izravno djeluju na manevriranje brodom te je njihovo ugrađivanje u model sustava manevriranja brodom neizostavno. Također, kako se ovaj rad temelji na manevriranju većih brodova neizostavan je i utjecaj tegljača i njihovih tehničko-tehnoloških obilježja. Stoga će se u nastavku analizirati njihova tehničko-tehnološka obilježja pri čemu će se detaljno analizirati obilježja koja izravno utječu na model dok će se ostala obilježja samo kratko komentirati.

### 5.1 UTJECAJ TEHNIČKO-TEHNOLOŠKIH OBILJEŽJA BRODOVA

Osnovni utjecaj broda na sposobnost manevriranja ogleđa se kroz njegova manevarska obilježja. Manevarska obilježja broda u direktnoj su svezi s veličinom broda, vrstom i snagom stroja, vrstom i brojem porivnika, vrstom i obilježjima kormila, opremom za privez, sidrenim uređajem, te na kraju iako ne manje važno u svezi s stupnjem educiranosti i uvježbanosti posade broda. Čimbenici koji utječu na manevriranje brodom s druge strane djelomično su determinirani vrstom broda obzirom na tehnologiju prijevoza.

Veličina broda može se promatrati na različite načine međutim sa stanovišta ovog rada promatrat će se one značajke koje su vezane za veličinu broda koje značajno utječu na manevarske osobine broda. Na manevarsku sposobnost broda svakako utječu osnovne brodske dimenzije kao što su duljina, širina i gaz broda te njihov međusobni odnos, koeficijenti brodske forme, zatim nosivost odnosno deplasman broda, nadvodna i podvodna površina broda, itd.

Da bi se odredilo s kojim veličinama pojedinih parametara valja računati pri razmatranju problema manevriranja broda kao i kolika može biti učestalost pojavljivanja brodova određenih veličina treba se osvrnuti na obilježja svjetske flote koja će biti prikazana u nastavku. Statistika prikazuje stanje 01.01.2001., a obuhvaćeni su brodovi preko 300 BT.

VRSTA BRODA	BROJ BRODOVA
TANKERI ZA ULJA ( <i>OIL TANKERS</i> )	7.225
TANKERI ZA KEMIKALIJE ( <i>CHEMICAL TANKERS</i> )	1.307
BRODOVI ZA UKAPLJENE PLINOVE ( <i>LIQUID GAS TANKERS</i> )	1.088
BRODOVI ZA RASUTI TERET ( <i>BULK CARRIERS</i> )	5.779
OBO BRODOVI ( <i>OBO CARRIERS</i> )	205
BRODOVI ZA KONTEJNERE ( <i>CONTAINERS SHIPS</i> )	2.564
BRODOVI ZA GENERALNI TERET ( <i>GENERAL CARGO SHIPS</i> )	
BRODOVI S JEDNOM PALUBOM ( <i>SINGLE-DECK SHIPS</i> )	8.734
BRODOVI S VIŠE PALUBA ( <i>MULTI-DECK SHIPS</i> )	4.794
BRODOVI ZA RASHLAĐENI TERET ( <i>REEFER SHIPS</i> )	1.305
SPECIJALNI BRODOVI ( <i>SPECIAL SHIPS</i> )	1.140
RO-RO BRODOVI ( <i>RO-RO SHIPS</i> )	1.142
UKUPNI BROJ BRODOVA ZA GENERALNI TERET	17.115
PUTNIČKI BRODOVI ( <i>PASSENGER SHIPS</i> )	
TERETNO-PUTNIČKI BRODOVI ( <i>CARGO PASSENGER SHIPS</i> )	225
RO-RO PUTNIČKI BRODOVI ( <i>RO-RO PASSENGER SHIPS</i> )	2.173
PUTNIČKI BRODOVI ( <i>PASSENGER SHIPS</i> )	1.327
UKUPNI BROJ PUTNIČKIH BRODOVA	3.725
UKUPNI BROJ BRODOVA	<b>39.008</b>

Tablica 7 Stanje svjetske flote prema vrstama brodova

Izvor: *Shipping Statistics and Market Review (SSMR), Institute of Shipping Economics and Logistics – ISL, Bremen, Germany, Volume 45, 1/2 (2001).*

Osim osnovnih dimenzija broda, parametar koji je vrlo značajan sa stanovišta manevriranja brodom je poznavanje nadvodne i podvodne površine broda koje pak ne ovise samo o dimenzijama broda već i vrsti broda, stoga je u konkretnom slučaju potrebna analiza ovih veličina. Tako npr. suvremeni brod za prijevoz generalnog tereta kad je nakrcan ima približno nadvodnu površinu od 7 m<sup>2</sup> po dužnom metru broda. Isti brod u balastu ima nadvodnu površinu približno 11 m<sup>2</sup> po dužnom metru broda. Veliki putnički brodovi mogu imati površine od 20 m<sup>2</sup> ili više po dužnom metru broda.

Uobičajene dimenzije pojedinih brodova i veličine koje imaju utjecaj na manevriranje brodom mogu se odrediti na osnovu ukupne nosivosti koristeći rezultate istraživanja *The Port and Harbour Research Institute, Ministry of Transport Japan*, koji su prikazani u priloženoj tablici.<sup>58</sup>

VRSTA BRODA			BROD ZA GEN. TERET 500 – 140.000	BROD ZA TEKUĆI TERET 500 – 320.000	BROD ZA RASUTI TERET 500 – 200.000	
OPSEG UKUPNE NOSIVOSTI (DWT)						
KOEFIČIJENTI			$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$
DEPLASMAN NAKRCANOG BRODA <i>D</i>			2,463	0,936	2,028	0,954
LATERALNA PROJEKCIJA POVRŠINE	IZNAD VODENE LINIJE	NAKRCAN	8,770	0,496	4,964	0,522
		BALAST	9,641	0,533	5,943	0,562
	ISPOD VODENE LINIJE	NAKRCAN	3,495	0,608	3,198	0,611
		BALAST	1,404	0,627	1,629	0,610
FRONTALNA POVRŠINA	IZNAD VODENE LINIJE	NAKRCAN	2,763	0,490	2,666	0,478
		BALAST	3,017	0,510	2,485	0,517
UKUPNA POVRŠINA ISPOD VODENE LINIJE		NAKRCAN	9,260	0,639	6,162	0,673
		BALAST	4,637	0,669	3,865	0,686
DEPLASMAN BRODA U BALASTU			$=\alpha(d)^{\beta}$	0,199	1,084	0,383
GAZ BRODA U BALASTU			$=\alpha(T_{max})^{\beta}$	0,352	1,172	0,548

Tablica 8 Uobičajene dimenzije i veličine brodova u odnosu na ukupnu nosivost

Maksimalni gaz nakrcanog broda može se odrediti prema izrazu:<sup>59</sup>

$$T_{MAX} = \sqrt{\frac{DWT}{1000}} + 5$$

Osim samih dimenzija broda vrlo su značajne i njihove međuzavisnosti.

Prema *Vredestein Ship's Tonnage Table* međuzavisnosti su sljedeće:

GT	NT	D	DWT
1,0	VELIKI MORSKI BRODOVI 0,6	TERETNI BRODOVI 2,0	TERETNI BRODOVI 1,5
1,0	MALI MORSKI BRODOVI 0,4	VELIKI PUTNIČKI BRODOVI 1,0	DRUGE VRSTE BRODOVA 1,2
1,0	RJEČNI BRODOVI 0,8	-	PUTNIČKI BRODOVI 0,85

Tablica 9 Međuzavisnosti brodskih dimenzija

Izvor: *Vredestein Ship's Tonnage Table, Calculation of Fendering Systems*

<sup>58</sup> The Port and Harbour Research Institute, Ministry of Transport, Japan, Technical Note No. 348, 1984.

<sup>59</sup> Port Development, A Handbook for planners in developing countries, UNCTAD, 1978.



VRSTA BRODA	PRIBLIŽNI DEPLASMANI NAKRANOG BRODA*
RIBARSKI BRODOVI (mali) (veći)	GT · (2,5 – 2,0) GT · (2,0 – 1,5)
BRODOVI ZA PRIJEVOZ GENERALNOG TERETA	GT · 2,0 ili DWT · (1,6 – 1,4)
PUTNIČKI BRODOVI	GT · 1,1
BRODOVI ZA PRIJEVOZ KONTEJNERA	DWT · 1,4
BRODOVI ZA PRIJEVOZ RASUTOG TERETA	DWT · (1,3 – 1,2)

**Tablica 10** Približni deplasmani nakrcanih brodova u odnosu na bruto tonažu i ukupnu nosivost

\* Na mjestima gdje su upisane dvije vrijednosti prva vrijednost odnosi se na manje brodove određene vrste.

Izvor: *British Standard Code of practice for Maritime structures, Part 4. Design of fendering and mooring systems, British Standards Institution, 1994., dodatak A., str. 45.*

Prema *Planning and Design of Port and Marine Terminals* približne međuzavisnosti prikazane su kako slijedi:<sup>60</sup>

$GT = (0,68 - 0,82) \cdot DWT$  za manje teretne brodove

$GT = 0,6 \cdot DWT$  za veće teretne brodove

$GT = (0,6 - 0,5) \cdot DWT$  za tankere i brodove za prijevoz rasutog tereta  
(za veće brodove se smanjuje od 0,6 prema 0,5)

$NT = 0,4 \cdot DWT$  za brodove preko 2000 DWT

Korisna nosivost =  $(0,85 - 0,9) \cdot DWT$  za brodove koji prevoze relativno teške terete

Prema *Floating Ports* ove međuzavisnosti su:<sup>61</sup>

Trgovački teretni brodovi i tankeri  $D = 2,1$   $GT = (1,2 - 1,4) DWT$

Putnički brodovi  $D = (1,0 - 1,2) GT$

*Basic Ship Theory* donosi sljedeće međuzavisnosti:<sup>62</sup>

VRSTA BRODA	DWT
OBALNI TERETNI BROD, $L \approx 50 m$	$0,62 \cdot D$
BROD ZA PRIJEVOZ GENERALNOG TERETA, $L \approx 75 m$	$0,70 \cdot D$
BROD ZA PRIJEVOZ GENERALNOG TERETA, $L \approx 100 m$	$0,74 \cdot D$
BROD ZA PRIJEVOZ HLADENOG TERETA, $L \approx 150 m$	$0,58 \cdot D$
BROD ZA PRIJEVOZ KONTEJNERA, $L \approx 175 m$	$0,60 \cdot D$
BROD ZA PRIJEVOZ RASUTOG TERETA, $L \approx 210 m$	$0,82 \cdot D$
BROD ZA PRIJEVOZ TEKUĆEG TERETA, $L \approx 300 m$	$0,86 \cdot D$

**Tablica 11** Međuzavisnost deplasmana i ukupne nosivosti

Izvor: *Priručnik autor prema Basic Ship Theory, Vol. 2, Longman Scientific & Technical, Hong Kong, 1986, str. 621.*

Prema istoj publikaciji, *Basic Ship Theory*, odnos ukupne nosivosti i deplasmana za razne vrste brodova prikazane su u priloženoj tablici.

<sup>60</sup> Agerschou H. ed al., *Planning and Design of Port and Marine Terminals*, Interscience Publication, John Wiley and Sons Ltd., Norwich, 1985., str. 38

<sup>61</sup> Tsinker, G.P., *Floating Ports, Design and Construction Practices*, Gulf Publishing Company, Huston, 1986., str. 128.

<sup>62</sup> Rawson, K.J., Tupper, E.C., *Basic Ship Theory, Vol. 2, Longman Scientific & Technical, Hong Kong, 1986, str. 621, str. 642.*

VRSTA BRODA	DWT/D
PUTNIČKI BRODOVI	0,35
BROD ZA PRIJEVOZ KONTEJNERA	0,60
BROD ZA PRIJEVOZ UKAPLJENIH PLINOVA	0,62
BROD ZA PRIJEVOZ GENERALNOG TERET	0,67
BROD ZA PRIJEVOZ ŽELJEZNE RUDAČE	0,82
BROD ZA PRIJEVOZ TEKUĆEG TERETA (VELIKI)	0,86

Tablica 12 Odnos ukupne nosivosti i deplasmana

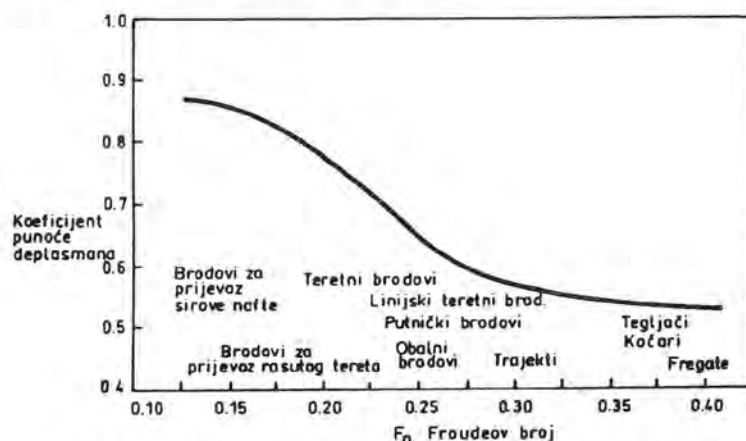
Izvor: *Basic Ship Theory, Vol. 2, Longman Scientific & Technical, Hong Kong, 1986, str. 642.*

Koeficijenti forme broskog trupa, omjeri glavnih dimenzija, površina i volumen broda određuju oblik trupa i vrlo su značajni u razmatranju manevarskih osobina broda. Ovi parametri variraju u odnosu na vrstu broda pa će se stoga prikazati približne vrijednosti za razne vrste brodova.

VRSTA BRODA	$C_B (\delta)$	$C_{WP} (\alpha)$	$C_M (\beta)$	$C_P (\varphi)$
PUTNIČKI BRODOVI	0,55 – 0,75	0,70 – 0,86	0,92 – 0,98	0,60 – 0,80
TERETNI BRODOVI	0,65 – 0,82	0,76 – 0,87	0,93 – 0,99	0,68 – 0,84
TANKERI	0,70 – 0,85	0,75 – 0,90	0,98 – 0,995	0,71 – 0,86
TEGLJAČI I KOČARI	0,42 – 0,60	0,70 – 0,84	0,75 – 0,90	0,56 – 0,71

Tablica 13 Uobičajene vrijednosti koeficijenata brodske forme

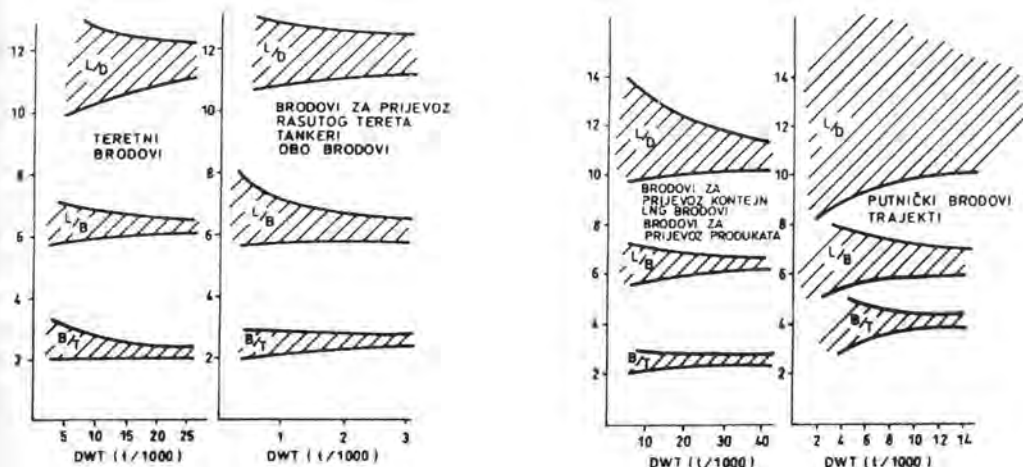
Izvor: *Priručnik autora prema Koeficijenti forme broskog trupa, Pomorski leksikon, Jugoslavenski leksikografski zavod «Miroslav Krleža» Zagreb, Zagreb, 1990., str. 370.*



Slika 9 Koeficijenti punoće deplasmana  $C_B$  za različite vrste brodova

Izvor: *Basic Ship Theory, Vol. 2, Longman Scientific & Technical, Hong Kong, 1986, str. 646.*

Za određivanje veličine i karakteristika brodova s kojima treba računati u slučaju točno određene luke treba uzeti u obzir vrstu luke, njezin promet i veličinu brodova koji u tu luku pristaju. Temeljem tih podataka treba zatim odrediti obilježja brodova s obzirom na parametre njihove veličine s kojima treba računati prilikom rješavanja problema optimizacije sustava manevriranja.



Slika 10 Karakteristični omjeri brodskih dimenzija za različite vrste brodova

Izvor: *Basic Ship Theory, Vol. 2, Longman Scientific & Technical, Hong Kong, 1986, str. 646., 647.*

Osim veličine broda i obilježja trupa sa stanovišta manevriranja brodom od osobitog su značenja poriv broda i obilježja porivnika, kormila i njihova obilježja te privezna i sidrena oprema broda, međutim obilježja ovih čimbenika neće se direktno unositi u model te će se zbog toga njihova vrsta i obilježja samo kratko komentirati.

Propulzija broda predstavlja sposobnost njegova gibanja djelovanjem porivne sile koju proizvodi propulzor. Sustav propulzije u širem smislu čine glavni pogonski stroj, prijenosni uređaji, propeler i brodski trup, dok u užem smislu je to samo uređaj koji stvara poriv. Svaki uređaj za stvaranje poriva je propeler, međutim danas se najčešće u tu svrhu koristi brodski vijak.

Porivni brodski stroj koji se naziva i glavni brodski stroj preko prijenosnog sustava okreće propeler koji proizvodi porivnu silu odnosno poriv broda. Postoji više vrsta glavnih brodskih strojeva, a osnovne su motor s unutrašnjim sagorijevanjem, parna ili plinska turbina, parni stapni stroj, elektromotor ili hidraulički motor.<sup>63</sup> Brodske strojeve sa stanovišta ovog rada valja promatrati u prvom redu kroz utjecaj pojedine vrste stroja na manevarske karakteristike broda.

Najčešći pogonski strojevi koji se susreću na brodovima su dizel-motori. Njihova najveća prednost je njihova ekonomičnost u potrošku goriva, kakvu ne dostiže ni jedan drugi pogonski stroj. Dizel-motor se može gotovo trenutačno pokrenuti što brodu daje daleko veću sigurnost. Kao porivni motori na trgovačkim brodovima uglavnom se ugrađuju direktno prekretni sporookretni dizel-motori.

Na brodovima se koriste i brodske parne turbine koje trebaju zadovoljiti mogućnost učinkovitog manevriranja brodom. Brod kome je glavni brodski stroj parna turbina ima ugrađenu posebnu turbinu za vožnju krmom. Brod s takvim pogonom brzo može prijeći iz jednog režima vožnje u drugi, brzo se može preokrenuti ili uputiti iz hladnog stanja odnosno drugim riječima ima dobra manevarska svojstva. Parnе turbine na brodovima mogu se upotrebljavati i u pomoćne svrhe.

Ako se usporede s parnim stapnim strojem, parne turbine imaju prednost što su lakše i zauzimaju manje broskog prostora, a mogu se graditi i za najveće snage. Pri većim snagama imaju bolji stupanj djelovanja, kondenzat im nije onečišćen uljem, a hod im je posve miran. Ako se pak usporede s dizel-motorom prednosti su parnih turbina u mirnijem hodu, prikladne su za najveće snage, sigurnije su u pogonu, imaju veću trajnost, dobar srednji zakretni moment i pri malom broju okretaja, mogu voziti i s vrlo malim brojem okretaja, općenito imaju bolja

<sup>63</sup> Brod, pogon, Pomorska enciklopedija, sv. 1, Jugoslavenski leksikografski zavod Zagreb, Zagreb, 1972., str. 516.

manevarska svojstva, a u slučaju velikih snaga čitav je uređaj lakši. Nedostaci parnih turbina u odnosu na dizel-motore ogledaju se u manjoj efektivnoj korisnosti i većem potrošku goriva, a turbinski uređaj zahtijeva i znatno dulje vrijeme dok se stavi u pogon. Parnе turbine najviše se upotrebljavaju na brodovima velike snage, a to su ratni brodovi, veliki tankeri, kontejnerski i putnički brodovi.

Sa stanovišta manevriranja brodom vrlo je važno vrijeme potrebno za preokretanja turbine od punog hoda naprijed na puni hod krmom koje iznosi oko 20 sekundi. Vrijeme dok osovina dostigne puni broj okretaja u protivnom smjeru je 60-180 sekundi.

Osim ove vrste strojeva na brodovima se vrlo rijetko upotrebljavaju parni stapni strojevi dok je nešto češća primjena plinskih turbina.

Parni stapni strojevi ugrađuju se na ledolomce, tegljače i ribarske brodove, a prednosti za brodski pogon očituju se u velikoj sigurnosti u pogonu, jednostavnom posluživanju, velikoj trajnosti, dobrom početnom zakretnom momentu, dobrom srednjem zakretnom momentu pri malom broju okretaja, te dobrim manevarskim svojstvima. Osnovni nedostatak je manja ekonomičnost pogona u usporedbi s dizel-motorom, a pri većim snagama i s parnim turbinama, većoj težini i većim dimenzijama uređaja u usporedbi s dizel-motornim ili turbinskim uređajem. Međutim, za potrebe ovog rada valja istaknuti dobre manevarske karakteristike koje se ogledaju u mogućnosti brzog preokretanja stroja, mogućnosti vožnje pri malom broju okretaja, te mogućnosti vožnje punom snagom krmom.

Plinske turbine imaju slabu ekonomičnost u usporedbi s ostalim pogonskim strojevima, te djelomično manja trajnost i manju sigurnost u pogonu. Jedna od glavnih teškoća pri upotrebi plinskih turbina za pogon broda je preokret. Hod krmom se na plinskim turbinama ne može riješiti kao na parnim turbinama ugradnjom kola za hod krmom, jer se u tom slučaju turbina za hod naprijed ne hladi, pa dolazi do pregrijavanja. To je razlog da se plinske turbine ako se koriste na brodovima upotrebljavaju u kombinaciji s prekretnim zupčanicima, električnim prijenosom ili vijcima s prekretnim krilima. Glavne prednosti plinske turbine ogledaju se u jednostavnosti konstrukcije i maloj masi, a nedostaci plinske turbine su velika osjetljivost prema okolnoj temperaturi, osjetljivost prema vlažnom slanom morskom zraku, manja ekonomičnost u usporedbi s dizel-motorom, jak šum ispuha, velike dimenzije ispušnih i plinskih vodova, te neprikladnost za direktno preokretanje. U najnovije doba plinske turbine naglo se usavršavaju, kako bi se prilagodile uporabi na brodovima.

Vrlo značajan brodski pogon je tzv. električni pogon. Ovaj pogon je tzv. sekundarni pogon, tj. električna struja proizvodi se primarnim strojevima, a zatim se upotrebljava za pogon elektromotora koji pogone brodski vijak. Zbog toga se ovakav pogon često naziva pogon s elektroprijenosom. Kao primarni pogonski strojevi kod električnog pogona upotrebljavaju se parne i plinske turbine ili dizel-motori, te se prema tome takvi pogoni dijele u turbo-električni i dizel-električni, a imaju prednost sigurnog preokretanja i manevriranja. Brzookretni i razmjerno mali agregati mogu se smjestiti bilo gdje u unutrašnjosti broda, tako da se može bolje iskoristiti brodski prostor. Za proizvodnju električne struje može se upotrijebiti više agregata, čime se povećava sigurnost pogona. Elektromotori koji se koriste za pogon vijaka dobro se prilagodavaju svim opterećenjima vijaka, te mogu razviti gotovo cijelu snagu kod svih brzina broda. Ova karakteristika je osobito povoljno za tegljače. Ovo svojstvo nema ni jedan drugi pogonski stroj. Dizel-električni i turbo-električni pogon sada se najviše upotrebljava na trajektima (za prijevoz automobila), na tegljačima i na jedinicama koje pri mirovanju moraju obavljati različite poslove, kao npr. jaružala, brodovi za gašenje požara, brodovi s velikim rashladnim uređajima za prijevoz mesa ili voća, itd.

Rezimirajući prethodno izlaganje može se ustvrditi da su dizel motori u pravilu pogodni za manevriranje jer brzo reagiraju na promjenu broja okretaja. Također vrlo je bitan i broj mogućih pokretanja stroja zrakom koji se razlikuje od broda do broda. Neki brodovi imaju neograničeni broj upućivanja dok se neki strojevi mogu uputiti 10 do 12 puta. Plinske turbine vrlo brzo

reagiraju na promjenu stupnja vožnje. Brodovi pokretani parnim turbinama najčešće vrlo sporo mijenjaju broj okretaja. Turbina se bolje može primjenjivati na način da se maksimalno smanje okretaji do onih okretaja pri kojima je brzina broda takva da kormilo još uvijek djeluje.

Ove činjenice potrebno je uzeti u obzir i prilikom razmatranje manevarskih karakteristika broda u cijelosti, kao i prilikom postavljanja uvjeta za definiciju stupnja sigurnosti pri manevriranju u simulacijskom modelu.

Iz prethodnih izlaganja vidljive su razlike u karakteristikama pojedinih vrsta glavnih brodskih strojeva koje utječu na manevriranje brodom, pa je stoga značajno razmotriti i uobičajenu strukturu instaliranih glavnih brodskih strojeva prema vrstama. Dominantni pogonski strojevi u pomorstvu su sporookretni dvotaktni dizelski motori i srednje i brzohodni četverotaktni dizelski motori te vrlo mali broj parnih i plinskih turbina. Struktura glavnih vrsta brodskih pogonskih strojeva prikazana je u priloženoj tablici.

VRSTA POGONSKIH STROJEVA	BROJ STROJEVA	SNAGA STROJEVA
DVOTAKTNI DIZELSKI MOTORI	26 %	68 %
ČETVEROTAKTNI DIZELSKI MOTORI	73 %	30%
PARNE I PLINSKE TURBINE	1 %	2 %

**Tablica 14 Struktura glavnih brodskih strojeva u svjetskoj floti**

Izvor: *Priručnik autora prema Šegulja, I., Metoda odabira brodskog pogonskog stroja sa stanovišta cijene koštanja energije, doktorska disertacija, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, 1997.*

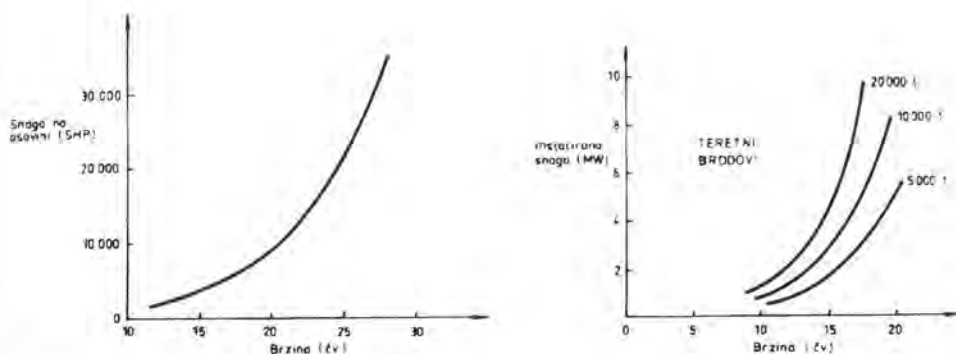
Instalirane snage stroja prema vrstama i veličinama brodova, prema podacima iz Japanskih brodogradilišta prikazane su u priloženoj tablici.

VRSTA BRODA	Dwt [t]	Lpp [m]	B [m]	T [m]	VRSTA STROJA	Snaga na osovini (Shaft Horse Power) shp [KS]
TANKERI	380.000	355	64	23	Turbina	45.000
	250.000	320	52	21	Turbina	31.000
TANKERI	100.000	252	38	17	Diesel	23.000
	100.000	251	38	15	Diesel	21.000
	80.000	237	36	12	Diesel	20.000
	60.000	219	32	12	Diesel	15.000
BRODOVI ZA RASUTI TERET	190.000	285	50	18	Diesel	24.000
	120.000	248	38	18	Diesel	23.000
	80.000	237	36	12	Diesel	17.000
	60.000	218	32	12	Diesel	15.000
	30.000	163	24	11	Diesel	13.000
KLASIČNI TERETNI BRODOVI	20.000	157	26	10	Diesel	17.000
	12.000	146	22	10	Diesel	11.000
BRODOVI ZA PRIJEVOZ AUTOMOBILA	12.500	180	32	9	Diesel	10.400
KONTEJNERSKI BRODOVI (23čv)						
TEU 1940	29.000	213	32	11	Diesel	26.200
TEU 839	23.000	196	30	9	Diesel	30.000

**Tablica 15 Instalirane snage stroja prema vrstama i veličinama brodova**

Izvor: *Priručnik autora prema Notes on Shiphandling, Southampton Institute, Warsash Maritime Centre, Southampton, 1997., str. 7*

Uobičajene instalirane snage strojeva u odnosu na brzinu za razne veličine brodova prikazane su na sljedećim dijagramima.



**Slika 11** Prikaz instalirane snage u odnosu na brzinu za razne veličine teretnih brodova

Izvor: *Basic Ship Theory, Vol. 2, Longman Scientific & Technical, Hong Kong, 1986, str. 642.*

Važnu sastavnicu propulzije broda čine prijenosni uređaji (osovinski vod) koji predstavljaju spoj stroja i propelera tj. sustav koji snagu stroja prenosi na propeler.<sup>64</sup> Osovinski vod sastoji se od osovine propelera, statvene cijevi, i odzivne osovine, a ako je pogonski stroj udaljen od propelerske osovine umetnuta je između njih i međuosovina. Između međuosovine i stroja smještena je odzivna osovina u odzivni ležaj, te se preko njega ostvaruje sila propulzije. Osim ovih osnovnih elemenata osovinski vod može imati i neke dodatne elemente od kojih su za manevriranje brodom važni reduktor, prekretna spojka i spoj s prekretnim propelerom.

Značajke osovinskog voda i način prijenosa snage bitno utječu na manevarske osobine broda. O načinu izvedbe osovinskog voda ovisi sigurnost i vrijeme potrebno za prebacivanje s vožnje naprijed na vožnju krmom i obrnuto što je vrlo važan čimbenik tijekom manevriranja brodom.

Propeler je dio propulzijskog sustava broda koji pretvara snagu pogonskog stroja u porivnu silu i tako pokreće brod. Prema konstrukciji i načinu djelovanja razlikuju se vijčani propeler odnosno brodski vijak, kotač s lopaticama, Voith-Schneiderov propeler tj. cikloidni propeler i dr. Sa stanovišta ovog rada najznačajniji je brodski vijak i njegov utjecaj na manevarska obilježja broda, dok su osobine cikloidnih propelera važne za razmatranje tegljača i njihovih manevarskih osobina. Osim brodskih vijaka treba posebnu pažnju posvetiti i na manevarske propelere odnosno pramčani i krmeni porivnik jer oni također značajno utječu na manevarska obilježja broda.

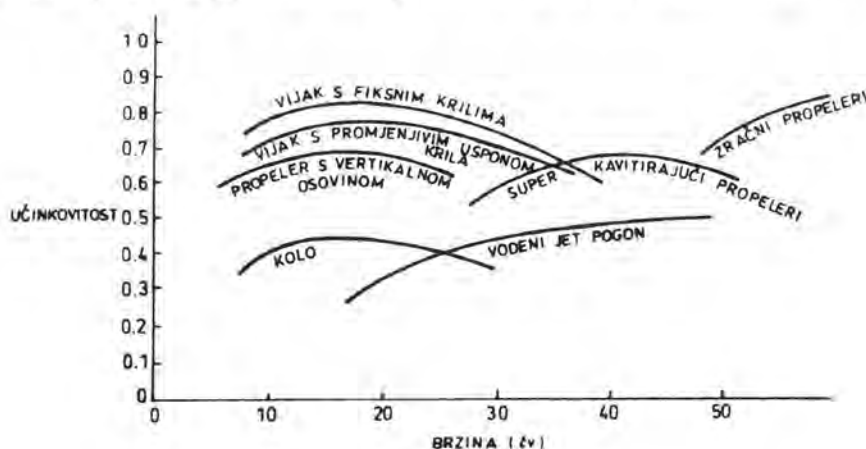
Brodski vijak je najčešća i najvažnija vrsta reaktivnih propulzora koja se susreće kod morskih brodova. Izvedba vijaka može biti različita pa tako vijci mogu biti monolitni ili sastavljeni koji mogu biti izvedeni kao vijci s odvojivim krilima (primjenjuju se na ledolomcima i riječnim brodovima), kod kojih su krila na glavinu pričvršćena vijcima, ili vijci upravljivog uspona. Razvojem tehnologije i današnjeg stupnja razvitka razvile su se i mnogobrojne vrste vijaka, a sve u svrhu poboljšanja njihovih obilježja, a posebno učinkovitosti. To su Kappel vijci, CLT (*Contracted and Loaded Tip*) vijci, itd.

Vrsta brodskog vijka bitno utječe na manevarske osobine broda stoga je važno osim klasičnog monolitnog vijka sa stalnim usponom naglasiti i druge važne vrste kao što su vijci upravljivog uspona, vijci u sapnici, kontrarotirajući vijci i tandem-vijci.<sup>65</sup> Posebno su značajni azimutalni propulzori različitih izvedbi kao što su Azipod propulzori, Schottel SRP, STP i SSP propulzori, Aquamaster propulzori s promjenjivim usponom i mogućnošću okretanja oko svoje osi, Aquamaster Contaz propulzori s mogućnošću okretanja oko svoje osi i kontrarotirajućim

<sup>64</sup> Vijak, brodski, Pomorska enciklopedija, sv. 8, Jugoslavenski leksikografski zavod «Miroslav Krleža», Zagreb, 1989., str. 461.

<sup>65</sup> Vijak, brodski, Pomorska enciklopedija, sv. 8, Jugoslavenski leksikografski zavod «Miroslav Krleža», Zagreb, 1989., str. 462.

vijcima, Niigata Z-peller propulzori, Kawasaki Rexpeller propulzori, Ulstein Compass Thruster propulzori, itd., a njihovo daljnje usavršavanje može se očekivati i u budućnosti.<sup>66</sup>



Slika 12 Približna učinkovitost različitih vrsta propulzije

Osim brodskih vijaka koji služe za ostvarivanje propulzije broda sa stanovišta manevriranja značajno je istaknuti važnost manevarskih propelera (porivnika). Ovi porivnici mogu biti smješteni na pramcu ili krmu. Mogu biti izvedeni kao vijčani propeler u tunelu postavljeni okomito na uzdužnicu broda ili kao izvedbe slične azimutalnim propelerima koje se mogu uvlačiti u trup koji mogu biti smješteni u simetrali broda ili na bokovima. Pramčani, a rjeđe krmni porivnici ugrađuju se na putničkim, kontejnerskim, RO-RO brodovima, te suvremenim brodovima za prijevoz generalnog tereta, dok ih se rjeđe susreće na brodovima za prijevoz rasutog tereta ili velikim brodovima za prijevoz tekućeg tereta. No danas se porivnici pojavljuju i na velikim tankerima te se takvi brodovi mogu privezati sami na odobalnim vezovima. Kod brodova za prijevoz kemikalija te brodova za prijevoz ukapljenih plinova (LNG i LPG brodovi) nema pravila u pogledu postojanja porivnika, tako da neki brodovi imaju, a neki nemaju ugrađene porivnike.

Učinkovitost porivnika ovisi o snazi, uz napomenu da pretvaranje instalirane snage u poriv može ponekad biti i bolje provedeno što treba pripisati boljim osobinama vijaka ili formi tunela.<sup>67</sup> Vrlo je važno napomenuti da učinkovitost porivnika ovisi i o trimu broda odnosno o gazu na pramcu ili krmu, jer ukoliko porivnici nisu dovoljno duboku zaronjeni u vodu ne mogu ni proizvesti odgovarajuću silu potiska. Smatra se, da bi za stvaranje normalne sile potiska morali biti uronjeni najmanje za veličinu promjera propelera porivnika. Kad se razmatra broj potrebnih tegljača za opsluživanje pojedinog broda osim činjenice, da li postoje ili ne postoje porivnici treba uzeti u obzir i njihovu učinkovitost u određenom konkretnom slučaju tj. valja uzeti u obzir trenutni gaz broda na pramcu i krmu. Učinkovitost porivnika ovisi i o brzini broda tako da je njihovo djelovanje zanemarivo pri brzinama broda većim od četiri čvora.

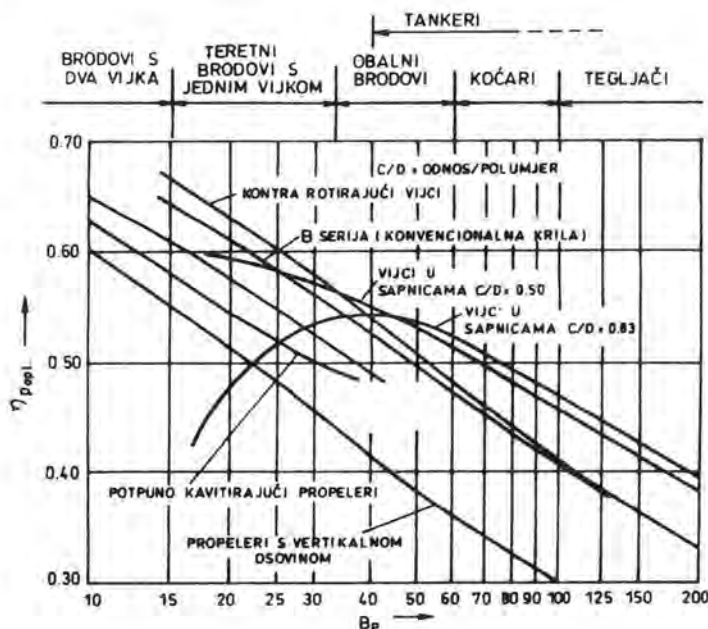
Vrsta i obilježja kormila uz oblik podvodnog dijela broda od neprocjenjivog su značaja za upravljanje brodom odnosno kormilarenje. Na kormilarenje utječu i brzina broda, te vanjske sile koje djeluju na brod. Pod pojmom kormilarenja obuhvaćena su dva različita djelovanja i to skretanje broda iz kursa (okretanje) i vraćanje broda u kurs ako brod iz njega skrene djelovanjem neke sile.

Prema tome kormilo mora omogućiti brodu dobro držanje željenog kursa što je vrlo važno u plovidbi, dok mu za vrijeme manevriranja brodom mora omogućiti brzo i učinkovito skretanje s kursa odnosno okretanje u što manjem prostoru. Ove dvije značajke su djelomično

<sup>66</sup> The Naval Architect, 1-12/1998.

<sup>67</sup> Notes on Shiphandling, Southampton Institute, Warsash Maritime Centre, Southampton, 1997., str. 3.

kontradiktorne, te u ovisnosti o vrsti broda treba dati prednost jednoj odnosno drugoj. Tako npr. lučki tegljači stalno plove i manevriraju u ograničenom području, pa se od takve plovne jedinice traži prvenstveno brzo skretanje iz smjera plovidbe i okretanje u malom krugu. Naprotiv, za brod duge plovidbe održavanje kursa u vožnji mnogo je važnije od skretanja i okretanja u krugu malog promjera.



Slika 13 Usporedba optimalne učinkovitosti za različite vrste propulzije

Kod kormilarenja je važna sila i moment kojim kormilo djeluje na brod, ali je isto tako važna i snaga potrebna da se u stanovitom vremenu kormilo zakrene za neki određeni kut. Sila na kormilo ovisi o brzini broda, o površini kormila, o obliku kormila i o njegovu smještaju na brodu. Djelotvorno zakretanje kormila na brodu izvodi se kormilarskim uređajem, pa stoga mogućnosti kormilarskog uređaja također predstavlja važnu kariku u lancu čimbenika koji utječu na manevarska svojstva broda. Zbog njegove važnosti klasifikacijska društva propisuju posebne uvjete kojima moraju udovoljiti glavni i pomoćni kormilarski stroj.<sup>68</sup>

Opće je poznata karakteristika kormila da mu stupanj učinkovitosti ovisi o brzini kojom se brod kreće. Naime pri manjim brzinama kormilo postaje neučinkovito, dakle upravo pri manevru dolaska i odlaska iz luke ili sidrišta kad najviše treba. Međutim, i u tim slučajevima, postoje razlike između pojedinih vrsta kormila. Djelovanje kormila ovisi i o njegovom smještaju kao i o interakciji između kormila i trupa broda. Postoje razne konstrukcijske izvedbe kormila koja se ugrađuju na brodove određene namjene da bi se zadovoljili pojedini specifični zahtjevi.

Danas se uglavnom izrađuju strujna kormila koja imaju bolje karakteristike s obzirom na otpor i propulziju u odnosu na plosna kormila. Da bi se smanjio moment kormila, a time i potrebna snaga kormilarskog stroja, izrađuju se polubalansna i balansna kormila koja uzrokuju znatno manji moment u odnosu na obična kormila kojima je čitava površina iza osovine kormila. Unutar ove prikazane podjele kormila postoji čitav niz izvedbi koje se međusobno više ili manje razlikuju. Važno je istaknuti da sva ova kormila djeluju na osnovi tlaka vode, tj. brodom se može kormilariti samo u vožnji, pa se ona mogu svrstati u grupu pasivnih kormila. Poboljšanje ove vrste kormila predstavljaju izvedbe kao što su flap kormilo, Schilling kormilo,

<sup>68</sup> Pravila za tehnički nadzor pomorskih brodova, Dio 9., Strojevi, str. 49, Hrvatski registar brodova, Split, 1999.



balansirano reakciono kormilo, Flettner kormilo, Oertz kormilo, te kormilo u obliku rotacionog cilindra.

Međutim, osim ovih osnovnih kormila postoji i čitav niz drugih kormila koja su se razvila kako bi nadoknadila osnovni nedostatak pasivnih kormila koji se očituje u njihovoj ne svrsishodnosti pri malim brzinama broda. U ova kormila mogu se ubrojiti aktivno kormilo, Kitchen kormilo, mlazni uređaj za kormilarenje, okretljiva sapnica, pa i Voith-Schneiderov porivnik.

Manevarska svojstva koja omogućava kormilo ovise uglavnom o njegovoj površini, a potrebne površine mogu se naći u propisima klasifikacijskih ustanova.<sup>69</sup>

Za uspješno manevriranje brodom vrlo je važna i palubna oprema koja se pritom koristi (sidra i sidreni lanci, privezni i tegleni konopi) te palubni strojevi (sidrena vitla, pritezna vitla, te kormilarski uređaj).

Potrebna oprema broda za sidrenje, privez i tegljenje, prema propisima klasifikacijskih ustanova, u pogledu količine, veličine i čvrstoće određuje se temeljem opremnog broja. Proračun opremnog broja temelji se na pretpostavkama brzine vjetera od 25 m/s, brzine morske struje 2,5 m/s i duljini ispuštenog sidrenog lanca od 6 do 10 dubina vode na mjestu sidrenja. Opremini broj za brodove određuje se izrazom:<sup>70</sup>

$$E_n = \Delta^{\frac{2}{3}} + 2Bh + 0,1A$$

gdje su:

- $E_n$  - opremni broj
- $\Delta$  - deplasman broda pri gasu koji odgovara ljetnom nadvođu [t]
- $B$  - širina broda [m]
- $h$  - visina od ljetne vodene linije do gornjeg ruba opločenja gornje palube najgornje palubne kućice [m], prema izrazu:  $h = a + \sum h_i$ , gdje je  $a$  razmak od ljetne vodene linije do gornjeg ruba opločenja gornje palube mjerena na boku na središnjoj okomici u metrima, a  $h_i$  je visina mjerena u simetrali broda svakog reda nadgrađa ili kućice, čija širina prelazi  $0,25 B$ .
- $A$  - površina izložena bočnom vjetru u granicama duljine broda  $L$ , računajući od ljetne vodene linije [m<sup>2</sup>] (pri određivanju površine  $A$  uzima se u obzir samo površina trupa, nadgrađa i kućica po cijeloj duljini broda  $L$ , širih od  $0,25 B$ .)

Karakteristike potrebne oprema broda za sidrenje, privez i tegljenje, temeljem proračunatog opremnog broja za određeni brod određuju se iz posebnih tablica Pravila za tehnički nadzor pomorskih brodova.

Vrste konopa koje se koristi na brodovima ovise o veličini broda, namjeni za koju se pojedini konopi koriste kao i vremenskim uvjetima u kojima se koriste. Najčešće se koriste konopi izrađeni na bazi sintetičkih vlakana. Osim ovih konopa koriste se i miješani konopi te čelik-čela.

Sintetički konopi mogu biti izrađeni od raznih materijala od kojih su najvažniji poliester (Dacron, Terylene), najlon (Polyamide), polipropilen, polietilen, aramid (Kevlar, Twarlon), HMPE (Dyneema) te njihove razne kombinacije.

Miješani konopi izrađuju se također od sintetičkih vlakana, ali im je jezgra od plastičnih niti jer se na taj način povećava čvrstoća konopa.

<sup>69</sup> Pravila za tehnički nadzor pomorskih brodova, Dio 3., Oprema trupa, Hrvatski registar brodova, Split, 1999, str. 5.

<sup>70</sup> Pravila za tehnički nadzor pomorskih brodova, Dio 3., Oprema trupa, Hrvatski registar brodova, Split, 1999, str. 16.

Čelik-čela se izrađuju od čeličnih žica, preporučljivo je da im minimalna otpornost na vlačne sile bude 180 kg/mm<sup>2</sup>. Najčešće se koriste izvedbe 6 · 36 ili 6 · 41 odnosno 6 · 37 žica, uobičajeno sukanih u desno.<sup>71</sup>

Dvije osnovne karakteristike priveznih konopa koje su od presudne važnosti tijekom njihova korištenja pri manevriranju ili boravku broda na vezu su njihova prekidna čvrstoća<sup>72</sup> i rastezljivost. To je razlog da se s obzirom na potrebu ponekad koriste sintetički konopi čija je rastezljivost veća, ali im je čvrstoća manja u odnosu na čelik-čela. Miješani konopi imaju karakteristike između konopa od sintetičkih vlakana i čelik-čela. Uobičajeni prekidne sile mogu se naći u stručnim publikacijama iz ovog područja i uputama proizvođača. Potrebna duljina, broj i prekidna sila priveznih konopa određuje se korištenjem prije spomenutih tablica temeljem opremnog broja.

Za namatanje i pričvršćivanje priveznih konopa i čelik-čela na brodu služe bitve,<sup>73</sup> a za prolaz priveznih konopa s broda na obalu ili plutaču služe ždrijela i zijevalice.

Za prikupljanje i pritezanje priveznih konopa na brodu upotrebljavaju se pritezna vitla različitih izvedbi. Pritezna vitla mogu biti samostalna ili u kombinaciji sa sidrenim vitlima. Pogon priteznih vitala najčešće je parni, električni ili hidraulički. Osovina priteznog vitla na koju se postavlja bubanj može biti vertikalna ili horizontalna. Pritezna vitla mogu imati jedan ili više bubnjeva. Neki bubnjevi mogu biti izvedeni tako da je na njima stalno namotan privezni konop. Pritezna vitla mogu biti i automatska. Svi ovi uređaji kao i uređaji za tegljenje kod brodova koji moraju imati ugrađen takav uređaj trebaju u potpunosti udovoljavati zahtjevima klasifikacijskih ustanova.<sup>74</sup>

Važan čimbenik koji može imati značajan utjecaj pri manevriranju i sigurnosti tijekom manevriranja je sidreni uređaj broda koji obuhvaća opremu za smještaj, držanje, vođenje i zapiranje sidrenih lanaca te za obaranje, izvlačenje i podizanje sidra. U pomorstvu se gotovo isključivo koriste patentna sidra, a na brodovima trgovačke mornarice najčešće su to Hallovo i Byers sidro. Osim klasičnih sidara koja se uobičajeno koriste u pomorstvu moguće je na brodovima koristiti i tzv. sidra povećane sile zadržavanja koja trebaju imati najmanje dvostruko veću silu zadržavanja od uobičajenog sidra iste mase koja imaju odobrenje. Ova sidra mogu biti lakša od klasičnih sidara odnosno mogu imati 75% mase sidara koja se traže prema propisu za klasično patentno sidro.<sup>75</sup>

Sposobnost zadržavanja sidra (engl. *anchor holding efficiency*) ovisit će o vrsti sidra te vrsti morskog dna.<sup>76</sup> Značajnije vrste sidara povećane sposobnosti zadržavanja su tzv. Stockless (US Navy), AC-14, Danforth, Stato (US Navy), Moorfast, Stevin, Stevfix, Stevmud, Hook, itd.

Važno je naglasiti da neka od ovih sidara nisu primjenjiva na brodovima, međutim takva sidra se vrlo uspješno mogu primjenjivati za sidrenje raznih plutača za privez (*Single Buoy Mooring, Multi Buoy Mooring*) ili pak plutajućih gatova. Za sidrenje plutača i plutajućih gatova osim sidara moguće je koristiti i druge načine sidrenja kao što su posebna sidra koja se ukopavaju, sidra gravitacijskog tipa (betonski blokovi) i specijalna sidra čija se sposobnost zadržavanja zasniva na kombinaciji karakteristika gravitacijskog tipa sidara i klasičnih sidara.

<sup>71</sup> Prema pravilima Hrvatskog registra brodova, Dio 3., Oprema trupa, Split, 1999., uzad treba biti elastična, a ovisno o prekidnoj sili, sastav treba biti u skladu s tablicom 4.2.2. str. 23

<sup>72</sup> British Standard Code of practice for Maritime structures, Part 4. Design of fendering and mooring systems, British Standards Institution, 1994., dodatak B, str.46. i str. 47.

<sup>73</sup> Pravila za tehnički nadzor pomorskih brodova, Dio 3., Oprema trupa, Hrvatski registar brodova, Split, 1999, str. 24.

<sup>74</sup> Pravila za tehnički nadzor pomorskih brodova, Dio 9., Strojevi, Hrvatski registar brodova, Split, 1999, str. 57.

<sup>75</sup> Pravila za tehnički nadzor pomorskih brodova, Dio 3., Oprema trupa, Hrvatski registar brodova, Split, 1999, str.17

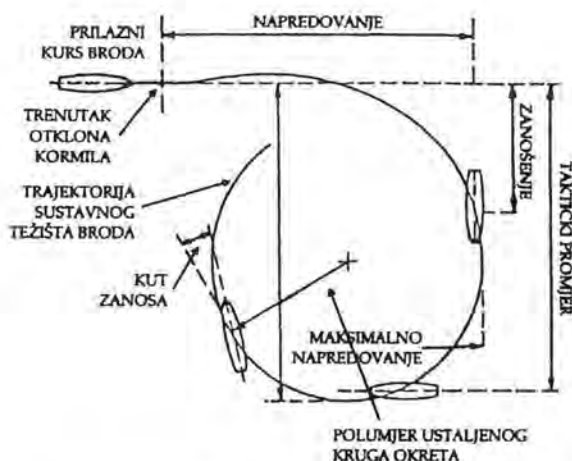
<sup>76</sup> Tsinker, G.P., Floating Ports, Design and Construction Practices, Gulf Publishing Company, Huston, 1986., str. 34.

Ukupan broj uza sidrenog lanca za pramčana sidra određuje se prema istisnini broda, nadvodnoj površini broda izloženoj bočnom vjetru, namjeni broda i području plovidbe. Duljina sidrenih lanaca određuje se temeljem opremnog broja. Da bi sidreni uređaj bio dovoljno siguran njegova izvedba i karakteristike također moraju ispunjavati zahtjeve određene od strane klasifikacijskih ustanova.<sup>77</sup>

Svi dosad analizirani elementi i njihovo međudjelovanje određuju manevarske osobine broda. Osnovna manevarska svojstva broda su slobodan zalet, sposobnost zaustavljanja, izboj krmice, kružnica okretanja, vrijeme prebacivanja stroja od hoda naprijed na hod krmom, itd. Sva ova svojstva imaju svoj upliv na tijek manevra, a to su i sastavni elementi jednog cjelovitog manevra. Ova osnovna manevarska svojstva predmet su izučavanja konstruktora broda, tj. nastoje se dobiti što bolja osnovna manevarska svojstva kako bi bilo lakše i sigurnije manevriranje brodom. Osnovna manevarska svojstva i parametri tih svojstava su predmet međunarodne unifikacije, pa postoje i propisi *IMO*-a koji reguliraju ovo područje.

Međutim, osim poznavanja ovih osnovnih manevarskih svojstava broda za uspješno i sigurno manevriranje brodom nužno je i poznavanje ostalih svojstava broda koji utječu na manevriranje. U ova svojstva pripadaju ponašanje broda pod djelovanjem vjetra ili morske struje, tj. zaokret broda prema vjetru odnosno struji ili zaokret broda od vjetra odnosno struje, zatim bočni zanos pod djelovanjem vjetra ili struje, itd. Većinu ovih utjecaja može se točno spoznati samo na određenom brodu uz praktično iskustvo, međutim poznavanjem nastanka ovih utjecaja može se olakšati upoznavanje istih kao i pomoći u procjeni očekivanih ponašanja broda.

Sve prethodno analizirane značajke broda u ovom poglavlju više ili manje utječu na njegove manevarske osobine u eksploataciji. Neke od njih ovise i o trenutnom stanju broda u eksploataciji, a ova konstatacija odnosi se u prvom redu na stupanj i način nakrcanosti broda.



Slika 14 Elementi kruga okreta broda

Sposobnost okretanja broda uz sposobnost zaustavljanja najvažnije su osnovne komponente manevriranja brodom, te predstavljaju dio složenog manevra. Krug okreta u lijevo i kut okreta u desno kod brodova s jednim vijkom nije jednak pa je potrebno poznavati karakteristike oba kruga okreta. Dobro je poznavati obilježja kruga okreta za razne otklone kormila sve do maksimalnog otklona. Osim poznavanja standardnih manevarskih obilježja broda brodogradilišta na pokusnim vožnjama izvode i neke dodatne pokuse kako bi se uvjerali u zadovoljavajuća manevarska svojstva novogradnji. U ove pokuse valja ubrojiti cik-cak manevar, spiralni manevar i "pull-out" manevar.<sup>78</sup>

<sup>77</sup> Pravila za tehnički nadzor pomorskih brodova, Dio 9., Strojevi, Hrvatski registar brodova, Split, 1999, str. 56.

<sup>78</sup> Ovaj pokus predložio je i razradio Kempf kao metodu za određivanje početnih svojstava kormilarenja.

Prema *IMO Rezoluciji A.751(18)* Privremeni standardi za manevarska obilježja broda (*Interim Standards for Ship Manoeuvrability*) standardi koje moraju zadovoljiti brodovi su sljedeći:

- standardni manevri moraju biti izvedeni bez korištenja bilo kojeg sredstva ili uređaja koji se inače ne koristi pri manevriranju u normalnim okolnostima;
- pokusi manevriranja moraju biti izvedeni za lijevi i desni okret broda te za uvjete dubokog mora i neograničenog akvatorija, mirnih vremenskih prilika, potpuno nakrcanog broda na ravnoj kobilici, ustaljene brzine za započinjanje pokusa (pokusna brzina je brzina od najmanje 90% brzine broda koja se razvija pri korištenju 85% maksimalne izlazne snage stroja);
- manevarska obilježja broda smatraju se zadovoljavajuća ako su zadovoljeni sljedeći kriteriji:
  - o tijekom pokusa okretanja broda (kut otklona kormila  $35^\circ$ ) napredovanje ne smije prijeći 4,5 duljine broda ( $L$ ), a taktički dijametar ne smije biti veći od 5 duljina broda,
  - o tijekom pokusa početne sposobnosti okretanja broda (kut otklona kormila  $10^\circ$  u desno/lijevo) brod ne smije prevaliti više od 2,5 duljine broda do trenutka kad mu se kurs promjeni  $10^\circ$ .
- tijekom pokusa zaošijavanja broda i sposobnosti držanja kursa moraju biti ispunjeni sljedeći kriteriji:
  - o vrijednost prvog kuta prekoračenja u  $10^\circ/10^\circ$  cik-cak testu ne smije prijeći  $10^\circ$  ako je omjer  $L/V$  manji od 10 sekundi,  $20^\circ$  ako je omjer  $L/V$  30 sekundi ili više i  $(5+1/2(L/V))$  stupnjeva ako je omjer  $L/V$  10 sekundi ili više ali manje od 30 sekundi, ( $L$  je duljina broda u metrima, a  $V$  brzina broda u m/s),
  - o vrijednost drugog kuta prekoračenja u  $10^\circ/10^\circ$  cik-cak testu ne smije prijeći gore navedene vrijednosti kriterija za prvo prekoračenje za više od  $15^\circ$ ,
  - o vrijednost prvog kuta prekoračenja u  $20^\circ/20^\circ$  cik-cak testu ne smije prijeći  $25^\circ$ .
- tijekom pokusa sposobnosti zaustavljanja broda prevaljeni put broda od trenutka zapovijedanja naredbe "STROJEVIMA SVOM SNAGOM NATRAG" do trenutka kad se brod zaustavio ne smije prijeći 15 duljina broda, osim iznimno, kad nadležna Uprava može modificirati ove vrijednosti za brodove velikog deplasmana.

Razmatrajući manevriranje brodova različitih vrsta, veličina i obilježja poželjno je na temelju jednog obilježja moći procijeniti ostala obilježja. U tom cilju može dobro poslužiti statistički utvrđen odnos između duljine broda i osnovnih manevarskih obilježja broda, prikazan u priloženoj tablici.

BRUTO TONAŽA	$\log G = 2,65 \lambda - 1,70 \pm 0,08$
BRZINA PLOVIDBE	$\log V = 0,25 \lambda + 0,52 \pm 0,06$
ZAUSTAVNI PUT U NUŽDI	$\log D = 1,46 \lambda + 0,01 \pm 0,18$
NAPREDOVANJE ( $35^\circ$ )	$\log Da = 1,03 \lambda + 0,43 \pm 0,01$
BOČNI POMAK ( $35^\circ$ )	$\log Dt = 1,01 \lambda + 0,17 \pm 0,14$

Tablica 16 Odnosi duljine i manevarskih obilježja broda

Izvor: Zec, D., *Planiranje pomorske plovidbe*, Pomorski fakultet Rijeka, Rijeka, 1997., str. 60.

Sa stanovišta manevriranja brodovima u eksploataciji vrlo je važna i *IMO Rezolucija A.601(15)* Pribavljanje i prikaz informacija o manevarskim svojstvima broda na brodu (*Provision and Display of Manoeuvring Information on Board Ships*) prema kojoj na brodu moraju na zoran način biti prikazana manevarska svojstva broda. Na ovaj način podaci su zorno predočeni zapovjedniku broda i časnicima palube te peljaru. U dodatku ove rezolucije prezentiran je način prikaza informacija o manevarskim svojstvima broda koji sadrži peljarsku

kartu (engl. *Pilot Card*), poster u kormilarnici (engl. *Wheelhouse poster*) te manevarski priručnik (engl. *Manoeuvring booklet*).

Ovako prikazani podaci o manevarskim karakteristikama broda zasigurno predstavljaju povećanje stupnja sigurnosti pri manevriranju brodovima jer svim uključenim osobama u postupke manevriranja brodom pružaju informacije na vrlo pristupačan način. Vrlo je važno naglasiti i to da je ovaj način prikaza osnovnih manevarskih karakteristika broda unificiran te je bitno smanjen problem razumijevanja značenja pojedinih elemenata bez obzira na porijeklo posade broda kao i dio svijeta gdje se izvodi manevar, što također bitno doprinosi općoj sigurnosti pri manevriranju.

Na manevarske osobine broda, uz prethodno razmotrene čimbenike, utječe indirektno i vrsta broda obzirom na tehnologiju prijevoza. Ovaj utjecaj valja promatrati kroz uvjetovanost veličine i obilježja broda o pojedinoj tehnologiji prijevoza. Tako npr. brodovi za prijevoz tekućeg tereta i to u prvom redu sirove nafte su iznimno veliki brodovi koji pripadaju grupi brodova kojima je manevriranje otežano zbog njihove veličine. Odmah iza njih u skupini većih brodova pripadaju i brodovi za prijevoz rasutog tereta. Jedni i drugi obično nemaju pramčani, a ni krmeni porivnik. Brodovi za prijevoz kontejnera i RO-RO brodovi obično imaju porivnike, te je na taj način olakšano manevriranje takvim brodovima. Također, manevarske karakteristike RO-RO brodova obično su bolje zbog izvedbe s dva vijka. Putnički brodovi pak imaju najbolje manevarske osobine jer obično posjeduju dva vijka kao i pramčani porivnik te je njima manevriranje najlakše. Za različite vrste brodova postoje i različita ograničenja tijekom boravka broda na mjestu priveza koja upravo ovise o tehnologiji prekrcaja. Uzevši u obzir ove pretpostavke jasno se ističe sprega između vrste broda obzirom na tehnologiju prijevoza i njegovih manevarskih osobina.

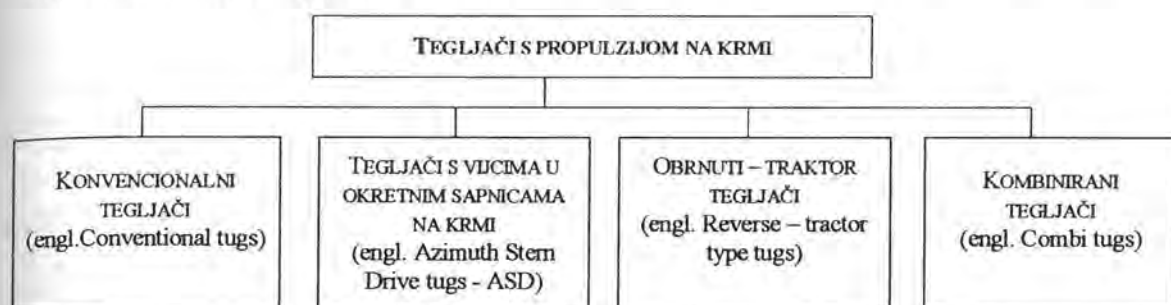
## 5.2 UTJECAJ TEHNIČKO-TEHNOLOŠKIH OBILJEŽJA TEGLJAČA

Tegljači su brodovi građeni za tegljenje drugih plovnih objekata. Prema svojoj namjeni tegljači se dijele na lučke tegljače, tegljače za otvoreno more odnosno oceanske tegljače. Posebne vrste su i tegljači gurači te tegljači ledolomci. Veličina i snaga tegljača razlikuju se u odnosu na način njihova iskorištavanja. Osim njihove osnovne namjene, tegljači se koriste i za spašavanje na moru, gašenje požara, za postavljanje i dizanje sidara, dok se neki konstruiraju tako da bi mogli poslužiti i kao ledolomci. Brodovi vrlo slični tegljačima su specijalni brodovi za opskrbljivanje platformi kojima je to osnovna namjena ali osim toga mogu i tegliti.

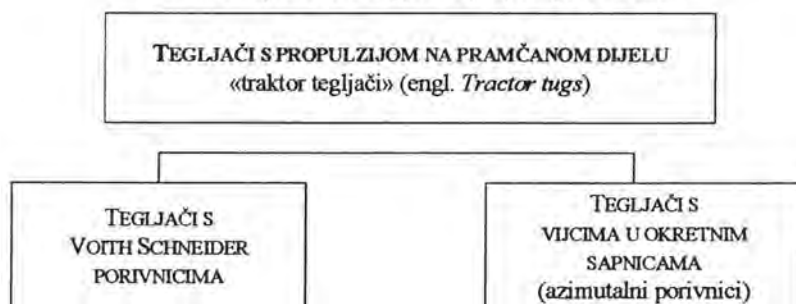
Sa stanovišta ovog rada potrebno je posebno razmotriti lučke tegljače jer su oni osnovni čimbenik manevriranja velikim brodovima kao i vrlo značajan faktor sigurnosti tijekom manevriranja. Lučki tegljači moraju se odlikovati vrlo dobrim manevarskim svojstvima kao i dostatnom vučnom silom. Ove dvije značajke su jasne imajući u vidu luku kao relativno uski akvatorij te veličinu brodova kojima je potrebno asistirati kako bi se manevar mogao izvesti na siguran način, a u relativno kratkom vremenu. Stoga trebaju biti opremljeni učinkovitom i jednostavnom opremom koju će opsluživati malobrojna posada koja se susreće na suvremenim tegljačima. Valja naglasiti da se lučki tegljači međusobno mogu znatno razlikovati u pogledu veličine, snage, brzine i ostalih osnovnih karakteristika odnosno radnih obilježja što ovisi o lučkom području na kojem djeluju, vrstama brodova koje opslužuju te dodatnim funkcijama kojima su namijenjeni. Osim toga važni su čimbenici i metoda tegljenja koja se koristi, raspoloživi tegljači i iskustvo te željeni faktor sigurnosti.

Pogonski uređaji lučkih tegljača najčešće ostvaruju niže okretaje osovine vijka te se time uveća porivna sila. Vrlo često se koriste razne izvedbe broskog vijka u sapnici čime se također povećava porivna sila. Danas se vrlo često koriste cikloidni propeleri s vertikalnim osovinama. Ovi propeleri imaju umanjenu vučnu silu u usporedbi s uobičajenim vijcima u sapnici ali se zato odlikuju visokim stupnjem pokretljivosti koja se postiže s cikloidnim propelerima te sposobnošću razvijanja maksimalnog poriva u svim smjerovima.

Bez obzira na spomenute razne izvedbe tegljača, podjelu tegljača u odnosu na propulziju valja izvesti prema smještaju i vrsti propulzora koji se primjenjuje. Prema smještaju propulzora razlikuju se dvije osnovne vrste i to tegljači s propulzijom na krmenom i tegljači s propulzijom na pramčanom dijelu tegljača.



Slika 15 Podjela vrsta tegljača s propulzijom na krmi



Slika 16 Podjela vrsta tegljača s propulzijom na pramčanom dijelu

Tegljači s propulzijom na krmi imaju kuku za tegljenje smještenu pri sredini, dok traktor tegljači imaju poriv na pramčanom dijelu, a kuku za tegljenje na krmi broda. Ovakav položaj kuke u odnosu na djelovanje propulzije je razumljiv imajući u vidu potreban zakretni moment koji je nužan za manevrabilnost tegljača pri tegljenju. Ovakvim položajem kuke ostvaruje se dovoljna poluga zakretanja.

Tegljači su u svom razvoju pratili veličinu brodova kojima asistiraju pri manevriranju. Najveći lučki tegljači dostižu snagu od 4000 kW pa i veću. Pri potiskivanju tegljačima koji imaju instalirane velike snage postoji opasnost od deformacije brodske konstrukcije. Zbog toga se tegljači moraju svojim pramčanim odbojnicima velike površine upirati u bočno rebro ili poprečnu pregradu, a ne u nepoduprtu oplatu između rebara, da bi se izbjegla oštećenja strukture trupa. Mjesta na koje se naslanjaju tegljači pri potiskivanju su na brodovima posebno označena.

Duljina lučkih tegljača na vodenoj liniji kreće se između 15 i 30 m, a omjer duljine i širine  $L/B$  iznosi 3 do 4. Koeficijent punoće forme  $C_b$  je 0,4 do 0,6, a koeficijent finoće forme  $C_p = 0,45$  do 0,65. Omjer širine prema visini  $B/H$  je stalan i kreće se oko 2, ili tek malo više od 2. Deplasman tegljača varira od oko 80 do 500 t, a omjer snage pogonskog motora prema istisnini  $P/\Delta$  iznosi uobičajeno 2,8 do 4,5 kW/t.<sup>79</sup>

Tegljači se međusobno razlikuju u pojedinim obilježjima no svi se tegljači odlikuju u odnosu na druge brodove specifičnostima koje proizlaze iz njihove namjene.

Glavne dimenzije i opći plan tegljača bitno ovise o snazi, masi, tipu i broju glavnih strojeva te samoj namjeni tegljača. Izvedba nadgrađa i podvodnog dijela broda važan je čimbenik učinkovitosti tegljača. Zbog oblika pramca broda nadgrađe treba biti odmaknuto od

<sup>79</sup> Tegljač, Pomorska enciklopedija, sv. 8, Jugoslavenski leksikografski zavod «Miroslav Krleža», Zagreb, 1989., str. 85.

bokova tegljača kako bi se spriječila oštećenja pri djelovanju kraj samog broda ili u slučaju valjanja. Podvodni plan broda treba biti takav da je propulzija smještena tako da što manje djeluje na učinkovitost djelovanja tegljača pri valjanju tj. da se osigura što bolja pomorstvenost tegljača.

Konstrukcija i postava kormilarnice tegljača treba osigurati dovoljan sektor vidljivosti. Kormilarnica treba biti postavljena tako da vidokrug bude što bliži  $360^\circ$  kako bi zapovjednik imao što bolji pregled pramca, krme i bokova tegljača, a osim toga treba imati i dobru preglednost teglenog užeta i opreme, radne palube, akvatorija između broda i tegljača, broda kojemu se asistira, ostalih tegljača kojima se asistira te smjera kuda se kreće sustav brod-tegljač.

Tijekom manevriranja brodom zapovjednik tegljača treba s zapovjednog mjesta imati sve potrebne informacije iz okoline kao što su smjer i naprezanje teglenog užeta, relativna brzina i smjer broda kojem se asistira, udaljenost od broda kojem se asistira, način kako brod reagira na silu djelovanja tegljača, pri potiskivanju vrlo je važno vidjeti područje dodira broda i tegljača, pomak broda i tegljača, a posebice smjer u odnosu na plovni put, ostali promet, obalu, mjesto priveza, itd. Važno je istaknuti da se u ovisnosti o načinu manevriranja odnosno asistencije teglenom brodu ove informacije mogu dobivati iz potpuno suprotnih smjerova.

Suvremeni tegljači imaju kormilarnice izvedene kao kokpit, s vrlo dobrim sektorom vidljivosti, a obično imaju centralni upravljački pult. S pulta postoji mogućnost otpuštanja kuke, upravljanje vitlima, itd. Poželjno je da tegljač ima više upravljačkih panela, a da pomak ručice bude logičan. Vrlo je značajno omogućiti dobru komunikaciju zapovjednika tegljača s peljarem na brodu suvremenim komunikacijskim sredstvima, pa se preporuča ugradnja dvostruke VHF stanice.

Krmena paluba tegljača mora biti slobodna kako bi se olakšao rad posade tijekom prihvata i otpuštanja brodskog teglenog konopa kao i tijekom tegljenja. Tegljači imaju pune ograde međusobno spojene lukovima za oslanjanje konopa za tegljenje čime im se povećava čvrstoća i izdržljivosti.

Tegljači trebaju biti opremljeni jakim bokobranima koji mogu zaštititi i brod i tegljače od oštećenja te mogućeg proklizavanja tegljača pri potiskivanju. Izbor bokobrana ovisi o smjeru kojim tegljač djeluje (da li vuče ili potiskuje/vuče, da li potiskuje pramcem ili krmom), veličini i snazi tegljača koji su značajni faktor horizontalnog opterećenja i kinetičke energije, veličini površine djelovanja, veličini i vrsti broda kojim se asistira, djeluje li tegljač uz pramac ili krmu, postoji li vertikalni kut trupa broda, vanjski uvjeti kao što su valovi i mrtvo more, konstrukcija pramca i krme tegljača, itd.

Bokobrani trebaju biti zadovoljavajuće energije apsorpcije i sile reakcije, a najčešće se koriste gumeni bokobrani. Koeficijent trenja materijala od kojeg su izrađeni pramčani i krmeni bokobrani treba biti velik (obično  $0,8$ ) kako bi se osiguralo dovoljno trenje da tegljač ne isklizne ako se potiskivanje izvodi pod određenim kutom. Bočni bokobrani trebaju imati mali koeficijent trenja (obično  $0,15$ ) kako bi se omogućilo proklizavanje tegljača kad se nađe uz bok broda što se postiže upotrebom posebnog materijala čime su presvučeni bokobrani.

Pogonski strojevi tegljača moraju udovoljiti zahtjevu da budu pouzdani, čim lakši i manji, jednostavni za rukovanje i održavanje te da svojim karakteristikama omogućuju potpunu iskoristivost snage za slobodnu plovidbu i za tegljenje. Kao glavni strojevi, u tegljače se danas instaliraju isključivo srednjehodni dizelski motori s 250 do 750 okretaja u minuti te brzohodni dizelski motori s preko 750 okretaja u minuti. Koriste se pretežno četverotaktni, a vrlo rijetko dvotaktni vodom hlađeni motori s turbopuhalom i povećanim punjenjem. Motori su spojeni s vijkom preko reduktora, a prijenosni omjeri ovise o broju okretaja motora, brzini broda te snazi motora i veličini tegljača. Postavljanjem reduktora se osim smanjenog broja okretaja osovine povećava i stupanj propulzije te brzina broda, odnosno vučna sila. Moguće su izvedbe s prekretnim spojkama koje omogućavaju odvajanje vijka, odnosno uključivanje vožnje naprijed ili vožnje krmom.

Dizelski električni pogon upotrebljava se češće na velikim tegljačima, a najčešće u kombinaciji s dva dizelska generatora i jednim, ili dva pogonska elektromotora. Kako bi se smanjila masa i prostor strojarnice, ugrađuju se brzohodni dizelski motori s 1200 o/min i više.

Osnovni nedostatak dizelsko električnog pogona su veći investicijski troškovi, dok je osnovni nedostatak direktno prekretnog pogonskog motora veliki potrošak zraka i ograničeni broj upućivanja što je vrlo negativna karakteristika imajući u vidu namjenu lučkih tegljača. Prednost cikloidnih porivnika i vijaka s prekretnim krilima očituje se u mogućnosti manevriranja pri konstantnom broju okretaja motora.

Propulzijske karakteristike tegljača umnogome ovise o njegovoj namjeni. Ako je vijak tegljača projektiran za maksimalnu brzinu u slobodnoj plovidbi ima manji promjer, a veći uspon, od vijka projektiranog za maksimalnu vučnu silu, pa je prema tome i vučna sila takvog propelera slabija, i obrnuto. Vrlo često se pred projektante stavlja zahtjev za velikom brzinom tegljača u slobodnoj vožnji i velikom silom vuče, pa je najčešće potrebno odabrati kompromisno rješenje.

Veća iskoristivost snage motora kako pri tegljenju tako i u slobodnoj plovidbi postiže se upotrebom vijka s prekretnim krilima (promjenjivi uspon), cikloidnim propelerima, postavljanjem vijka unutar Kortove sapnice, ili dizelski-električnim pogonom. Vijak s prekretnim krilima daje maksimalnu iskoristivost pod svim uvjetima promjenom uspona uz konstantni broj okretaja, dok Kortova sapnica dopušta jače opterećenje vijka pa se tako smanjuje promjer vijka i povećava uspon, pri čemu se stupanj iskoristivosti propulzije može povećati do 30%, a sila vuče i do 50%. Zbog mogućnosti da se promjer vijka smanji, Kortova se sapnica osobito često ugrađuje na tegljače s ograničenim gazom, jer je kavitacija mnogo manja.

Prije spomenuti propeleri već su detaljnije obrađeni prilikom razmatranja propulzije broda, a isto se može primijeniti, uz neke specifičnosti, i na tegljače. Međutim, bitna obilježja cikloidnih propelera, bit će istaknuta na ovom mjestu jer su oni specifični i najčešće se pojavljuju upravo na tegljačima, a rjeđe na drugim vrstama brodova. U ovu skupinu pripadaju Voith-Schneiderovi, odnosno Kirsten-Boeingovi propeleri. Ovi propeleri sastavljeni su od većeg broja vertikalnih lopatica, koje su jednoliko raspoređene po horizontalnom obodu ploče propelera. Čitav se propeler okreće oko vertikalne osovine, ali se istodobno i svaka lopatica okreće oko svoje osi. Promjenom ekscentriciteta stvara se poriv u raznim smjerovima. Brodovi koji su opremljeni s dva takva propelera vrlo su pokretljivi, za kormilarenje nije im potrebno kormilo, a mogu se okretati na mjestu. Takvi propeleri podesni su za tegljače kojima je vrlo važna dobra pokretljivost, dakle vrlo pogodno za lučke tegljače. Međutim, nedostatak ovih propelera očituje se u povećanju gaza tegljača, vrlo osjetljivim perajama koje se nalaze ispod trupa tegljača, kao i slabijim rezultatima ako rade pri uzburkanom moru. Osim toga stupanj djelovanja ovih propelera slabiji je nego kod običnog brodskog vijka.

Obilježja tegljača ovisit će u prvom redu o vrsti i snazi propulzije, načina usmjeravanja tegljača, izvedbi trupa i nadgrađa te opremljenosti. Ovi čimbenici utječu na manevarabilnost i pomorstvenost tegljača, a time i na njihovu učinkovitost. Međutim, vučna sila na kuki je posebno važan čimbenik učinkovitosti tegljača te ga stoga treba posebno analizirati.

Stvarna sila vuče  $Z$  u teglenim konopima za klasične tegljače iznosi najčešće od 0,16 do 0,24 kN/kW,<sup>80</sup> a teoretska sila  $Z'$  može se proračunati iz izraza:

$$Z' = \sqrt[3]{2 \cdot \rho \cdot A \cdot P^2}$$

gdje su:

- $\rho$  - gustoća tekućine [t/m<sup>3</sup>]
- $A$  - površina vijčanog kruga [m<sup>2</sup>]
- $P$  - razvijena snaga [kNm/s]

<sup>80</sup> Tegljač, Pomorska enciklopedija, sv. 8, Jugoslavenski leksikografski zavod «Miroslav Krleža», Zagreb, 1989., str. 84.



Za određivanje teoretske sile vuče Kortove sapnice valja koristiti sljedeći izraz:

$$Z'_d = \sqrt[3]{4 \cdot \rho \cdot A_u \cdot p^2}$$

gdje simboli imaju isto značenje kao u prethodnom obrascu, a  $A_u$  je površina presjeka Kortove sapnice na stražnjem rubu.

Omjer stvarne i teoretske sile vuče za normalne vijke iznosi 0,60 do 0,70, a primjenom Kortovih sapnica omjer iznosi 0,70 do 0,80. Stupanj iskoristivosti tegljenja  $\eta_s$  ako je  $v$  brzina tegljača, može se odrediti iz obrasca:

$$\eta_s = \frac{Z \cdot v}{P}$$

Optimalna vrijednost postiže se pri 0,65  $Z_{max}$  do 0,75  $Z_{max}$  tj. sile u vezu, odnosno pri 0,55  $v_{max}$  do 0,65  $v_{max}$  tj. brzine u slobodnoj plovidbi.

Razne vrste tegljača imat će različita obilježja u pogledu pretvaranja snage porivnog stroja u odnosu na vučnu silu na kuki. Približni odnosi prikazani su u priloženoj tablici.<sup>81</sup>

VRSTA PROPULZIJE	SNAGA STROJA [t/100 bhp]	VIČNA SILA [t/100 kW]
VOITH SCHNEIDER PORIVNICI	1,0	1,4
OTVORENI FIKSNI VIJCI	1,3	1,8
AZIMUTALNI PROPULZORI U SAPNICI	1,4	1,9
VIJCI FIKSNI/S ZAKRETNIM KRILIMA U SAPNICI	1,5	2,0

Tablica 17 Odnos između kočene snage stroja i vučne sile na kuki za razne propulzijske sustave

Napomena: Vrijednosti predstavljaju srednju vrijednost za BHP između 2000 i 4000. Za manje snage odnos može biti bolji, a za veće snage slabiji.

Imajući u vidu uvjete u kojima tegljač djeluje tijekom izvođenja manevra u eksploataciji sa stanovišta sigurnosti tegljača pri tegljenju posebnu pažnju valja posvetiti njegovoj stabilnosti. Najkritičniji momenti nastaju kad tegljač manevrira tako da mu konop pod punom silom djeluje okomito na uzdužnicu. Kratkotrajno ova sila u teglenom konopu može premašiti vučnu silu tegljača i za više od 50%. Samo međudjelovanje tegljača i teglenog broda u odnosu na njihovu stabilnost razmatrat će se kasnije, međutim sa stanovišta ovog dijela rada valja se osvrnuti na kriterije stabilnosti koje brod tegljač treba zadovoljiti. Kako na stabilnost tegljača ne utječe bitno stanje nakrcanosti (npr. količina goriva), jer ta stanja međusobno nisu bitno različita, na njegovu stabilnost utječe njegova konstrukcija u pogledu rasporeda masa te forma trupa.

Uvjeti stabilnosti koje trebaju zadovoljiti tegljači sadržani su u propisima klasifikacijskih ustanova. Tako, npr. Hrvatski registar brodova uz opće zahtjeve za stabilnost svih brodova zahtijeva i ispunjenje dodatnih zahtjeva za stabilnost lučkih tegljača i tegljača za sidrišta luka.<sup>82</sup> Zahtjeva se provjera stabilnosti za četiri osnovna pretpostavljena stanja nakrcanosti, te se posebno razmatra dinamička stabilnost kako bi se tegljači oduprli dodatnom nagibnom momentu koji nastaje zbog djelovanja teglenog konopa. Da bi se ispunio posljednji zahtjev kut dinamičkog nagibanja tegljača ne smije biti veći od kuta naplavlivanja ili kuta prevrtanja (prema tome koji je od ovih kutova manji), stoga je potrebno zadovoljiti sljedeći uvjet:

$$K_1 = \sqrt{\frac{l_{dep}}{l_{dh}}} \geq 1,0$$

<sup>81</sup> Hensen, H., Tug Use in Port, A Practical Guide, The Nautical Institute, London, 1997., str.36.

<sup>82</sup> Pravila za tehnički nadzor pomorskih brodova, Dio 4., Stabilnost, Hrvatski registar brodova, Split, 1999, str. 24.

U izrazu oznaka  $l_{dep}$  predstavlja polugu dinamičke stabilnosti tegljača, a oznaka  $l_{dh}$  dinamičku polugu nagibanja.

Da se pri bočnom manevru tegljača njegova stabilnost bila što bolja vučnu kuku treba postaviti čim niže. Nadvođe treba biti dovoljno veliko kako tijekom nagiba paluba ne bi uronila pod vodu, ali preveliko nadvođe djeluje nepovoljno na stabilnost, jer podiže položaj kuke kao i sustavno težište. Kuka za tegljenje mora biti slipna kako bi se u trenutku pogibelji tegleni konop mogao brzo otpustiti. Položaj kuke u visini težišta lateralnog plana, s obzirom na stabilnost tegljača manje je povoljno od položaja kuke na krmu.

Tegljači ovisno o njihovoj namjeni imaju specijalnu opremu za tegljenje kao što su vučna vitla. Međutim, lučki tegljači u pravilu nemaju takva vitla već su opremljeni kukama za vuču. Vrlo važna karakteristika ovih kuka je mogućnost brzog otpuštanja teglenog konopa u slučaju opasnosti.

Tegleni konopi koji se koriste pri tegljenju moraju zadovoljiti propise klasifikacijskih zavoda kako je to naglašeno prilikom razmatranja privezne opreme broda. Pritom, prekidna sila teglenog konopa mora biti veća od 3-F odnosno veća od trostruke nazivne vučne sile, najveća vučna sila ne smije biti veća od 50% prekidne sile konopa.

Pri tegljenju broda tijekom manevriranja koriste se brodski konopi, a rjeđe konopi s tegljača. Bez obzira koji se konopi koriste potrebno je da ti konopi budu prikladne čvrstoće i elastičnosti za način tegljenja koji se primjenjuje. Za tegljenje se upotrebljavaju konopi od sintetičkih vlakana, konopi od sintetičkih vlakana kombinirani s plastičnim nitima te čelična užeta, a u novije vrijeme konopi od karbonskih vlakana.

Dostatna pokretljivost uz dovoljno veliku vučnu silu osnovne su značajke funkcionalnosti lučkih tegljača. Ova konstatacija je jasna imajući u vidu ograničeni prostor u kojemu manevriraju kao i veličinu brodova kojima asistiraju pri manevriranju.

Dobre performanse tegljača omogućit će učinkovitost i sigurnost tijekom tegljenja. Značajniji čimbenici su vrijeme odziva i manevarabilnost. Za lučke tegljače vrijeme odziva treba biti kratko, a manevarabilnost dobra. Ovime se postiže brzi prihvat tegljenog broda uz uvjet da je i rukovanje opremom na tegljaču jednostavno.

Učinkovitost i sigurnost operacija postiže se osim dobrom manevarabilnošću tegljača i dovoljnom vučnom silom, podesnim podvodnim oblikom za rad u različitim uvjetima (pomorstvenost tegljača), dovoljnom stabilnosti te podesnošću opreme za tegljenje. Značajan čimbenik učinkovitosti tegljača je i potreban prostor za manevriranje koji treba biti što manji, a što pak ovisi o manevarabilnosti tegljača, njegovim dimenzijama kao i opremi za tegljenje.

Kormilo i njegove karakteristike vrlo su važne za postizanje zadovoljavajućih manevarskih svojstava tegljača. Površina, veličina otklona kormila i kutna brzina okretanja kormila tegljača bitno su veći nego u trgovačkih brodova. Površina kormila trgovačkog broda iznosi približno 2% površine lateralnog plana broda ( $L \cdot T$ ) dok za tegljača ona može iznositi i više od 6% te površine.

Manevarska svojstva odnosno pokretljivost tegljača znatno se poboljšava primjenom Kortovih sapnica, koje se mogu okretati oko vertikalne osi (umjesto uobičajenih kormila), Voith-Schneiderovim propelerima, ili ugradnjom dva vijka. Ove konstatacije posebno se odnose na rad pri malim brzinama, pri okretanju u mjestu ili u kretanju krmom. Relativno male duljine i omjeri  $L/B$  također pridonose boljoj pokretljivosti tegljača.

Manevarske sposobnosti tegljača ovise umnogome o položaju kuke za tegljenje. Položaj kuke u visini težišta lateralnog plana omogućuje bolju pokretljivost u bočnom manevru, a položaj kuke na krmu olakšava održavanje kursa.

Dobre manevarske osobine tegljača koji sudjeluju u manevriranju brodom jedan su od osnovnih čimbenika sigurnosti tijekom manevra. Takve karakteristike tegljača omogućavaju i relativno brzo i učinkovito manevriranje brodom čime se vrijeme manevriranja smanjuje te se povećava i ekonomski učinak.

Načelno, tegljači s VS porivnicima i okretnim propelerima (poželjno na pramcu) imaju bitno bolja obilježja od tegljača s vijkom u sapnici i međusobno približno slična manevarska obilježja. Manevriranje i upravljivost tegljača s porivnim vijkom u sapnici redovito se "popravlja" postavljanjem pramčanog porivnika pogonjenog posebnim pogonskim uređajem relativno veće snage. Manevrabilnost tegljača ocjenjuju se najčešće brzinom promjene smjera odnosno brojem punih okreta tegljača neopterećenog tegljem u minuti. Većina tegljača sa cikloidnim porivnikom ili rotacionim propelerima postiže do tri okreta u minuti praktično bez uzdužnog ili poprečnog kretanja (oko svoje osi), dok se za tegljače s porivnim vijkom u sapnici broj okretaja kreće do 2 ili manje u velikoj ovisnosti o ugrađenoj snazi pramčanog porivnika. Za tegljače bez pramčanog porivnika ovaj broj je znatno manji jer nužno moraju obavljati manevar vožnjom naprijed/natrag pa je za promjenu smjera od 180° potreban prostor uobičajeno najmanje dvije duljine samog tegljača.

Kako je već naglašeno u suvremenoj praksi najčešće se pri manevriranju koriste tegljači s porivom na krmu kao što su klasični tegljači, tegljači s vijcima u okretnim sapnicama na krmu, obmuti – traktor tegljači, kombinirani tegljači i tegljači s porivom na pramčanom dijelu kao što su tegljači s cikloidnim propulzorima ili s vijcima u okretnim sapnicama, tzv. traktor tegljači te je stoga važno poznavati njihova osnovna obilježja kako bi se mogli usporediti, a posebice u pogledu parametara koji utječu na njihova manevarska obilježja.

KLASIČNI (KONVENCIONALNI) TEGLJAČI (engl. *Conventional tugs*) najčešće su izvedeni s lijevo ili desno okretnim vijkom i s klasičnim kormilom, a za povećanje sile vuče ugrađuju se sapnice. Za povećanje manevarske sposobnosti izvode se alternativne izvedbe kao što su tegljači s jednim vijkom u fiksnoj sapnici, s vijkom u okretnoj sapnici čime je omogućeno i kormilarenje, posebne izvedbe raznih vrsta kormila kao što su kormilo s «flapom», *Schilling* kormilo, *Flanking* kormilo, *Towmaster* sustav, itd., ugradnja pramčanih porivnika u tunelu, pa i izvedbe s dva vijka. Vijci mogu biti s fiksnim ili prekretnim krilima. Ako se vijci vrte prema unutra postiže se efikasnost propulzije, a ako se okreću prema van postiže se bolja manevrabilnost. Bočni pomak tegljača moguć je uz korištenje pramčanog porivnika, a i bez njega ako se vijci vrte unutra. Snaga pri vožnji krmom obično je mala, a značajan je bočni efekt vijka što otežava usmjeravanje tegljača.

Karakteristika ovih tegljača je ekonomičnost, snaga i dobra pomorstvenost ali su ograničeni u manevarskim sposobnostima. Od ovih tegljača se ne može očekivati brzu promjenu položaja i smjera vuče. Također, ovi tegljači vrlo su osjetljivi na interakciju s brodom tijekom tegljenja tako da se vrlo lako mogu naći u nesigurnom i opasnom položaju.

Klasični tegljači, u pravilu, imaju kosu kobilicu, nagiba oko 2 do 5%. Dublji gaz na krmu omogućava smještaj vijka većeg promjera, a time se povećava i stupanj iskoristivosti kao i porivna, odnosno vučna sila. Kuka za vuču postavlja se čim bliže sredini broda, ali ipak iza sustavnog težišta i težišta lateralnog plana, tj. približno oko 5 do 10% iza glavnog rebra odnosno 0,45 duljine vodene linije od krme.

Tijekom izvođenja manevra namijenjeni su u prvom redu za «potiskivanje-povlačenje» (engl. "push-pull"), tegljenje uz bok te u Europskim lukama za tegljenje na teglenom konopu.

KOMBINIRANI TEGLJAČI (engl. *Combi tugs*) predstavljaju klasične tegljače na koje su dodatno ugrađeni neki od porivnih sustava na pramčanom dijelu broda kako bi se poboljšali tradicionalni sustavi propulzije. To mogu biti jednostavni pramčani porivnici u tunelu do sofisticiranih azimutalnih porivnika koji se mogu uvući u trup broda te poboljšati bitno manevarske karakteristike takva tegljača. Osim toga ovi tegljači opremljeni su i kormilima povećane učinkovitosti. Zbog ovih poboljšanja imaju veću učinkovitost od standardnih klasičnih tegljača. Kuka za tegljenje smještena im je približno na 0,45 duljine vodene plovne linije od krme pa djeluju kao i klasični tegljači, a ako s tegleno uže prihvatiti na pramcu mogu djelovati

kao «obrnuti» tegljači. Ovi tegljači mogu imati kuku i na krmu, a u tom slučaju im se pramac zakreće korištenjem pramčanog porivnika.

**OBRNUTI – TRAKTOR TEGLJAČI, POTISKIVAČI** (engl. *Reverse – tractor type tugs, pusher tugs*) konstruirani su s dvije okretne sapnice na krmu tj. s azimutalnim propulzorima. Propulzori su smješteni na 0,1 duljine vodene plovne linije od krme dok je točka potiskivanja i povlačenja na pramcu. Ovi tegljači namijenjeni su povlačenju krmom (kuka na pramcu) ili potiskivanju pramcem. Ponekad imaju i kuku za tegljenje iza nadgrada te djeluju kao klasični tegljači ali s vrlo malom polugom djelovanja. Točka tegljenja na samom pramcu i na krmu iza nadgrada (mala poluga). Pri vožnji krmom snage 10% manja od vožnje naprijed. Tegljači ove vrste pokazuju slaba svojstva pri vuči naprijed.

“TRAKTOR” TEGLJAČI (engl. *Tractor tugs*) mogu biti izvedeni s cikloidnim propulzorima ili s azimutalnim propulzorima, a osnova karakteristika im je specifični smještaj porivnika na pramčanom dijelu tegljača.

Tegljači s cikloidnim propulzorima najčešće imaju ugrađene *Voith Schneider*-ove porivnike. Najčešće su izvedbe s dva simetrično smještena porivnika na pramčanom dijelu broda na približno 0,25 - 0,30 duljine vodene plovne linije od pramca. Postoje izvedbe i s tri propulzora, ali je treći onda smješten prema krmu. Kuka za tegljenje smještena je na 0,1 - 0,2 duljine vodene plovne linije od krme.

Traktor tegljači s vijcima u okretnim sapnicama odnosno azimutalnim propulzorima imaju propulzore smještene na 0,30 - 0,35 duljine vodene plovne od pramca (samo ponegdje na 0,25). Kuka za tegljenje ovih tegljača smještena je na 0,1 duljine vodene plovne linije od krme.

Uspoređujući ovu konfiguraciju s konvencionalnim tegljačem uvida se da je ona potpuno suprotna. Ukoliko tegljač ima vitlo s teglenim konopom duljina tegla može se kontrolirati s zapovjedničkog mosta.

Ova vrsta tegljača otežano održava smjer u slobodnoj plovidbi jer je u tom slučaju porivno sredstvo vrlo blizu točke okretanja broda te je stoga poluga zakretanja vrlo mala. Stabilnost održavanja smjera se povećava ugradnjom velike peraje (engl. *skeg*) na krmu tegljača. Ovi tegljači pogodni su kako za direktno tako i za indirektno povlačenje.

Analizirajući sva obilježja ovih vrsta tegljača prednosti tegljača s cikloidnim propulzorima u odnosu na klasične tegljače očituju se načelno u sljedećem: puna snaga u svim smjerovima djelovanja ( $0^{\circ}$ - $360^{\circ}$ ); kratko vrijeme povećanja snage; velik stupanj manevarabilnosti; moguć brz premještanje položaja pri tegljenju tijekom manevriranja; jednostavan sustav upravljanja; mali rizik pritezanja tegljača; efikasno prevladavanje interakcije tegljača i teglenog broda; poboljšane eksploatacijske mogućnosti tegljača u ograničenim manevarskim područjima kao što su ustave, zatvoreni dokovi, itd.; smanjivanje vrijeme boravka broda u luci zbog smanjenja vremena manevriranja; pouzdanost i robusnost sustava propulzije.

Nedostaci ove vrste tegljača očituju se u prvom redu u: visokim kapitalnim troškovima; manjoj vučnoj sili u odnosu na snagu; popravci i održavanje složenih podvodnih jedinica može biti skupo; tegljenje na otvorenom moru može biti otežano zbog male udaljenosti između točke poriva i točke okretanja broda tj. male poluge okretanja; bočni nagib s maksimalnom snagom broda u stranu može dostići kod velikih tegljača i do  $21^{\circ}$  što povećava rizik oštećenja kad tegljač djeluje uz brod; sofisticirane podvodne jedinice mogu biti oštećene u slučaju nasukanja i/ili slabog podlaganja tegljača tijekom dokovanja; gaz može biti i do 5 m, što predstavlja veliki gaz u odnosu na konvencionalne tegljače; potrebna je posebna i dodatna uvježbanost zapovjednika koji imaju prethodno iskustvo s konvencionalnim tegljačima kako bi se maksimalno iskoristile mogućnosti ove vrste tegljača.

**TEGLJAČI S VIJCIMA U OKRETNIM SAPNICAMA NA KRMU** (engl. *Azimuth Stern Drive tugs – ASD, Multi tugs, Z drive tugs*) predstavljaju na neki način kompromis između konvencionalnih

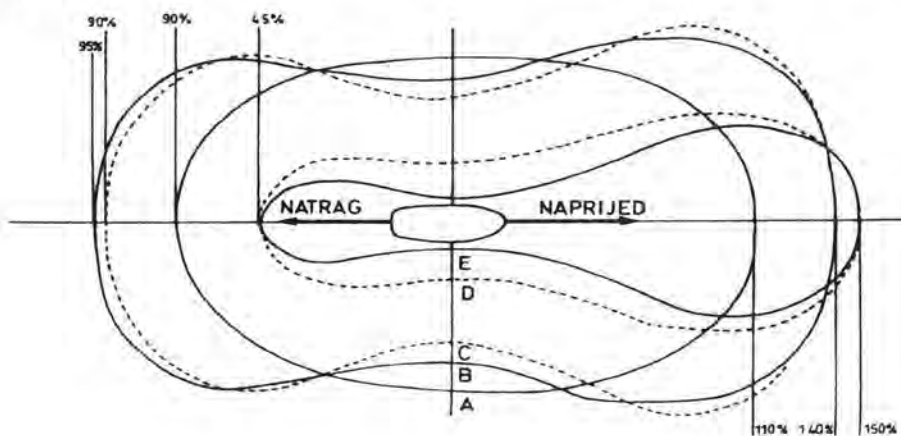
tegljača i tegljača s cikloidnim porivnicima koristeći njihove prednosti. Ova vrsta tegljača može se koristiti s dva mjesta prihvata teglenog konopa, na sredini ili na pramcu. Konstruirani su s okretnim sapnicama odnosno azimutalnim propulzorima smještenim na približno 0,1 duljine vodene plovne linije od krme.

Mogu djelovati kao konvencionalni tegljači ili kao "traktor" tegljači tako se kombiniraju pogodnosti obje vrste. Kuka se nalazi na 0,35 – 0,40 duljine vodene plovne linije od krme. Pri povlačenju krmom djeluju kao «traktor» tegljači s tim da je poluga djelovanja veća, a u tom slučaju koristi se točka tegljenja na pramcu. Tegljači ove vrste mogu imati ugrađen i pramčani porivnik (u tunelu). Snaga vožnje krmom je 5-10% manja od one u vožnji naprijed.

Ako ASD tegljači prihvate tegleni konop na kuku na sredini imaju bitno bolju mogućnost manevriranja u odnosu na klasične tegljače zbog bolje mogućnosti usmjeravanja poriva. Kad se koristi pozicija tegljenja na pramcu, najčešće direktno s pramčanog vitla, ASD tegljač može realizirati svu svoju porivnu silu na način da je privezan uz bok broda tako da vuče ili potiskuje. S cijelom duljinom broda između točke tegljenja i točke djelovanja poriva, ASD tegljač ima vrlo veliku polugu okretanja što se očituje u njegovoj efikasnosti.

Imajući u vidu obilježja ove vrste tegljača valja ga usporediti s tegljačem s cikloidnim propulzorom kako bi se odredile njihove prednosti i nedostatke. Analizirajući obilježja ASD tegljača mogu se zamijetiti sljedeće prednosti u odnosu na tegljače s cikloidnim propulzorima: bolja stabilnost držanja smjera pri većim brzinama; bolja forma trupa za rad na otvorenom moru i rad na plovnim putovima; bolja sila vuče u odnosu na snagu; azimutalne jedinice jednostavne su za vađenje zbog održavanja i popravaka; maksimalni nagib pri bočnom porivu je manji od 15°; mali srednji gaz tegljača do 3 m.

Analizom obilježja ASD tegljača uočavaju se i sljedeći nedostaci: mogućnost bočnog pomaka tegljača nije dobra; pri vožnji krmom svom snagom može nastati dodatni zagažaj na krmi i naplavljivanje krmene palube tegljača; vrlo osjetljiv na pritezanje kad se koristi stražnja točka tegljenja; veći rizik od efekta interakcije s teglenim brodom; često su operacija tegljenja takve da je ograničen prihvata na pramcu tegljača; kompleksan sustav upravljanja; osjetljiviji na oštećenja vijaka.

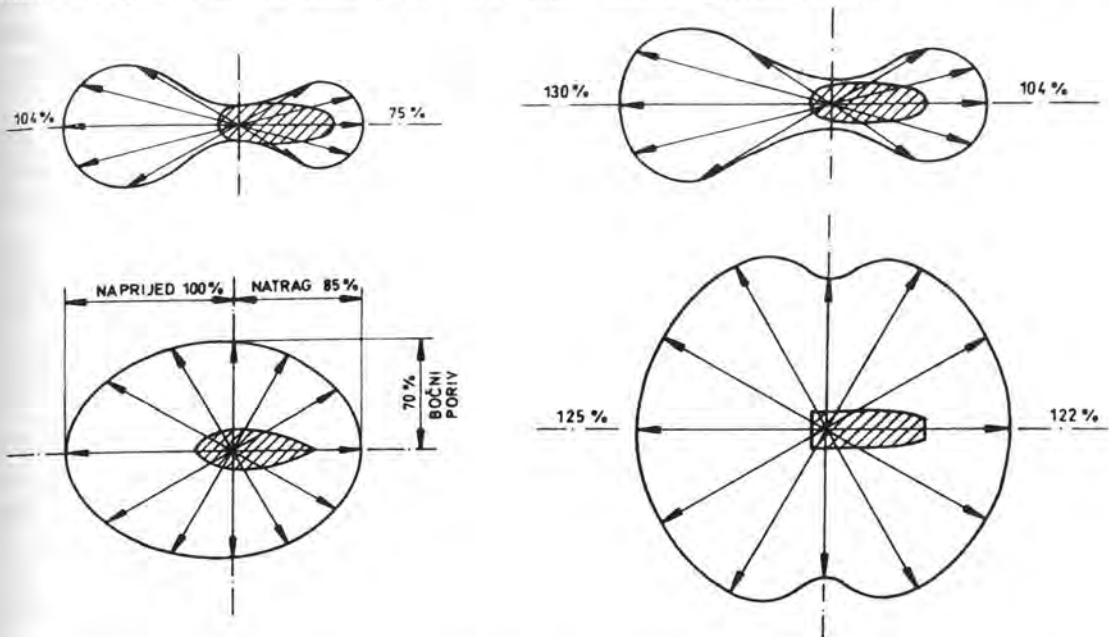


Slika 17 Usporedba vektora poriva za razne vrste tegljača

Izvor: *Priredio autor prema Hensen, H., Tug Use in Port, A Practical Guide, The Nautical Institute, London, 1997., str. 37.*

Sposobnost usmjeravanja poriva za «traktor» tegljače s Voith-Schneider-ovim porivnicima (A), «traktor» tegljače s azimutalnim porivnicima u sapnicama (B), ASD tegljače s vijcima u sapnicama (C), konvencionalne tegljače s dva vijka u sapnicama i pramčanim porivnikom (D) i konvencionalne tegljače s dva vijka u sapnicama (E) prikazana je na priloženim usporednim dijagramima vektora poriva za tegljače iste snage.

Vrlo zoran prikaz djelovanja poriva raznih vrsta tegljača (za vuču u mjestu) u odnosu na klasični tegljač s dva vijka može se vidjeti na priloženim dijagramima poriva.



Slika 18 Djelovanja poriva raznih vrsta tegljača u odnosu na klasični tegljač s dva vijka

Sva ova prikazana obilježja još će se razmatrati pri analizi djelovanja tegljača pri tegljenju i njihovoj interakciji s teglenim brodom, kao i pri analizi ograničenja njihova djelovanja u procesu manevriranja.

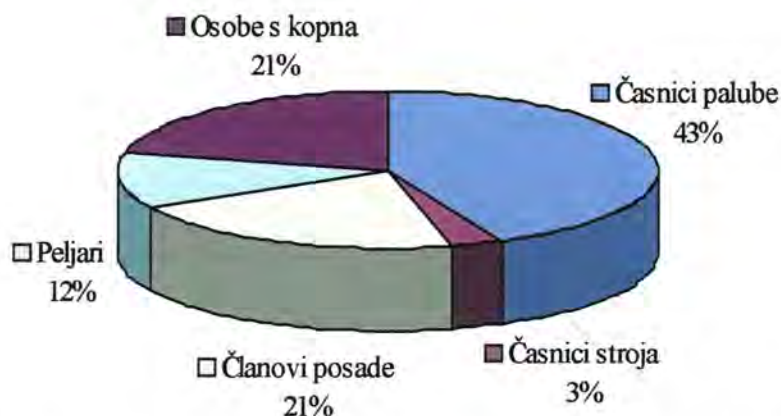
## 6 LJUDSKI FAKTOR – UTJECAJ NA USPJEŠNOST MANEVRIRANJA BRODOM

Razmatrajući podjelu čimbenika koji utječu na manevriranje na unutarnje i vanjske utjecaj ljudskog faktora može se svrstati u jednu i drugu grupu čimbenika što je jasno imajući u vidu da je ljudski faktor prisutan u cijelom sustavu manevriranja.

Ljudski faktor jednom se ogleda kroz utjecaj zapovjednika, peljara, časnika i posade broda koji manevrira te u tom slučaju pripada među unutrašnje čimbenike. Suprotno ovome ljudski faktor, kao vanjski čimbenik javlja se u svim ostalim službama koje sudjeluju pri manevriranju brodom kao što su rad i djelovanje osoba u službi nadzora i upravljanja pomorskom plovidbom, osoblja peljarske službe, zapovjednika i posade tegljača, privezivača te djelatnici lučkih kapetanija i lučkih uprava. Iako je utjecaj djelovanja ovih službi na manevriranje već prikazan kao vanjski čimbenik važno je posebno istaknuti ljudski faktor i njegovo značenje upravo imajući u vidu koliko je on značajan za postizanje određenog stupnja sigurnosti, posebice ako se zna u kolikom postotku nezgoda je on osnovni čimbenik.

Sve tehničke i tehnološke mogućnosti koje se koriste pri manevriranju brodom nisu ostvarive ukoliko nema kvalificiranih osoba koje će upravljati, nadzirati i izvoditi pojedine radnje unutar sustava manevriranja brodom. Iz analize svjetskih nezgoda uvida se vrlo veliki udio ljudskog faktora u nezgodama. Ljudska pogreška je osnovni uzrok šteta na teretu u 50% slučajeva, šteta od onečišćenja morskog okoliša također u 50% slučajeva, osobnih povreda u 65% slučajeva, šteta na imovini u 80 % slučajeva te sudara u 90% slučajeva. Prema istraživanjima *US Coast Guard*-a razdioba akcidenata u pomorskim nezgodama pokazuje da je ljudska pogreška uzrok u 80 % slučajeva dok 20 % slučajeva otpada na mehaničku pogrešku.

Osim visine udjela ljudskog faktora u pomorskim nezgodama valja razmotriti i razdiobu profila tih osoba prema zaposlenju.<sup>83</sup>



Slika 19 Razdioba osoba koje su izazvale pomorske nezgode po zaposlenju

Ljudski faktor najčešće se promatra kroz fenomene kao što su umor, iskustvo, moral, motivacija, upravljačka politika, standardi za stjecanje svjedodžbi, uvjeti službe, okoliš, lojalnost, jezik i uvježbanost.

Spektar ljudskih pogrešaka može se prikazati od jednostavnih pogrešaka do velike nemarnosti sljedećim redoslijedom: nerazumijevanje, propust, nepažnja, kriva posudba i neznanje.

Imajući u vidu ovako nepovoljan odnos u razdiobi pogrešaka javljaju se inicijative mnogih institucija koje se bave pomorskom sigurnošću, pa tako *US Coast Guard*, a u čemu surađuje s *Međunarodnom pomorskom organizacijom, IMO*, uvodi dugoročnu strategiju za uravnoteženje

<sup>83</sup> Studija procjene opasnosti i mjere zaštite, TE Rijeka, Visoka pomorska škola u Rijeci, Rijeka, 1999., str. 12.

sigurnosnog obrasca za objedinjavanje napora za prevenciju nesreća uzrokovanih ljudskom pogreškom nazvanu *People Quality Action Team (QAT)*.<sup>84</sup> Prema ovom istraživanju ljudske pogreške su klasificirane u 5 kategorija i to u upravljanju (pojavnost 30%), statusu operatora (22%), radnom okolišu (20%), odlučivanju (14%) i znanju.

Međutim za cjelovito sagledavanje problema ljudskih pogrešaka valja istaknuti i sljedeće. Visok postotak pojavnosti u ukupnom broju pogrešaka (80 % ljudskih pogrešaka) razumljiv je jer svim procesima upravlja čovjek. Kada bi svi procesi bili automatizirani sve pogreške (100 %) moglo bi se pripisati mehaničkim kvarovima. Za potpuno sagledavanje problema trebalo bi znati koliko pogrešaka i kvarova otkloni posada pa zbog toga ne nastupi akcident. Valja naglasiti da u slučaju da posada ne dobije na vrijeme obavijest o stanju sustava ili njegovu nesavršenom djelovanju, kvar ili nezgoda koji nakon toga nastupi pripisuje se ljudskoj pogrešci, a tehnička nepouzdanost se nigdje ne bilježi. Ako je oprema nedovoljno dobro dizajnirana, a zatim se u radu s tom opremom pogriješi, takva pogreška se također pripisuje ljudskoj pogrešci dok bi određeni postotak trebalo pripisati pogrešci u dizajnu. Nadalje, npr. u avio-industriji oprema se smatra pouzdanom samo 24 sata nakon pregleda dok u pomorstvu, gdje vladaju vrlo nepovoljni uvjeti u okruženju, to je vrijeme daleko dulje. Takvih primjera moglo bi se nabrojiti još mnogo. Kada se na ovakav način razmatra problem ljudske pogreške slika je nešto povoljnija, međutim ova činjenica nikako ne smije umanjiti napore u prevenciji ljudskih pogrešaka.

Uspješan manevar izveden s dovoljnim stupnjem sigurnosti moguće je ostvariti jedino interakcijom između svih čimbenika koji djeluju u sustavu manevriranja. Kako bi se ostvario maksimalni učinak jedan od osnovnih čimbenika osim poznavanja tehnologije izvođenja manevra je i dobra međusobna komunikacija. Imajući u vidu različite dijelove svijeta u kojima se odvija proces manevriranja brodovima te s tim u vezi različite nacionalnosti, kulture, običaje, itd. značajna prepreka zadovoljavajuće učinkovitoj komunikaciji je jezik. Pretpostavka za uspješnu i učinkovitu komunikaciju je korištenje engleskog jezika i to korištenje standardnih fraza za komunikaciju u pomorstvu (*IMO Standard Marine Communication Phrases*). Pritom je najznačajnija komunikacija između zapovjednika i peljara, jer komunikaciju s ostalim čimbenicima koji djeluju u sustavu tijekom manevriranja na lokalnom jeziku može obavljati sam peljar.

Preduvjet za dobro i sigurno izveden manevar je u svakom slučaju dobro pripremljen plan plovidbe od mjesta prihvata peljara do mjesta priveza ili obrnuto pri isplavljenju. Međutim, valja istaknuti da se planiranju ovog specifičnog dijela plovidbe koji u sebi sadrži i manevriranje brodom ne poklanja dovoljna pažnja za što postoji više razloga.

Posebna pozornost danas se posvećuje edukaciji osoba uključenih u pomorski promet, a posebice zapovjednika, časnika i ostalih članova posade u poznavanju ljudskog ponašanja, prepoznavanju i izbjegavanju stresa kao i djelovanju u izvanrednim okolnostima. Dakle, posebna se pažnja posvećuje izučavanju socijalne i psihološke dimenzije u pomorskom sustavu. Ovo je vrlo značajno imajući u vidu različite multinacionalne, multikulturalne, multireligiozne i ostale značajke koje se javljaju u relaciji između osoba koje djeluju u sustavu pomorskog prometa pa tako i u sustavu manevriranja brodom.

Imajući u vidu prethodna razmatranja značajan izvor za analiziranje ljudskog faktora kao važnog i neizostavnog čimbenika sigurnosti je istraživanje *UK P&I Club-a*, «*Ship Visit Program*»<sup>85</sup> na uzorku od 555 brodova.

Posadu zadovoljavajuće razine stručnosti prema propisima države zastave broda ima 90 % brodova. Tri ili više dopunska ovlaštenja ima 57 % časnika, dok svi imaju barem jedno dopunsko ovlaštenje. Valja istaknuti da implementacijom Konvencije STCW 1978/95 ovaj broj značajno raste te da je on danas značajno veći.

<sup>84</sup> Prevention through People: refocusing the safety equation, US Coast Guard, Safety at Sea International, December, 1996, str. 16.

<sup>85</sup> The human factor, UK P&I Club, Safety at Sea International, 5., 6. i 9., 1996.



Istraživanje je pokazalo da 50 % časnika i 90 % zapovjednika ima iznad 15 godina plovidbene prakse.

U pogledu preuzimanju dužnosti pri dolasku na brod rezultati nisu zadovoljavajući jer ¼ časnika nema na raspolaganju ni jedan dan za preuzimanje dužnosti pri dolasku na brod, ¾ do sedam dana, a preko sedam odnosno preko četrnaest dana samo 3 %.

Analizirajući posade brodova prema nacionalnosti dolazi se do spoznaje da 56 % otpada na mješovite posade, a 44 % na jedno nacionalne. Časnici su u 61 % slučajeva jedne nacije, a u 39 % je sastav časnika višenacionalni. Najviše časnika je iz Europske Unije i istočne Europe. Analiziraju li se samo članovi posade nižih zvanja u 63 % slučajeva su one jedno nacionalne, dok kod ostalih uvijek postoji jasna dominantna nacija. Najviše ih ima iz jugoistočne Azije.

Poseban problem na brodu predstavlja sporazumijevanje, a koji se rješava uvođenjem radnog jezika. Radni jezik je u 50 % slučajeva engleski jezik. Ako se ovaj podatak usporedi s podacima o nacionalnosti posade proizlazi da samo 3% članova posada pripadaju nacionalnostima s engleskog govornog područja te se dolazi do zaključka da je približno 90 % posada koje koriste kao radni jezik engleski koji im nije materinji. U ukupnoj strukturi posade bolje vladanje engleskim jezikom pokazuju časnici što je i razumljivo.

## 6.1 POSADA BRODA – NAOBRAZBA, UVJEŽBANOST I USTROJ RADA

Posada broda na čelu sa zapovjednikom je jedan od glavnih čimbenika uspješno izvedenog manevra, a pripadaju u unutrašnje čimbenike.

Polazna osnova pri razmatranju rada zapovjednika i posade je njihova osnovna pomoračka naobrazba od kojih u prvom redu valja istaknuti naobrazbu zapovjednika i časnika. Tijekom naobrazbe, u ovisnosti o položaju na brodu, svaki član posade trebao je usvojiti određena znanja koja su potrebna i koja se primjenjuju pri manevriranju brodom. Za obavljanje određene funkcije na brodu, a shodno stupnju naobrazbe i iskustvu u obavljanju određenih funkcija na brodu tijekom plovidbene službe potrebno je steći i odgovarajuće ovlaštenje prema nacionalnim propisima, a sukladno Konvenciji STCW 78/95.<sup>86</sup>

Razmatrajući naobrazbu zapovjednika i časnika palube u skladu sa STCW Konvencijom 1978/95 uočava se detaljno razrađen program ovog područja glede teoretskih osnova manevriranja, analize čimbenika koji utječu na manevriranje kako i usvajanja tehnologije izvođenja pojedinih specifičnih manevara. Posebice valja istaknuti obveznu uporabu simulatora u uvježbavanju pojedinih specifičnih manevara, a izvođenje istih brodovima raznih vrsta, veličina i manevarskih karakteristika. Standardna obilježja koja tako sofisticirani uređaji trebaju zadovoljiti također su propisani i to u pogledu mogućnosti i vjerodostojnosti prikaza manevra koji se simulira u najrazličitijim uvjetima. Predloženim programom predviđa se i praktična nastava iz ovog područja na školskim brodovima. Analizom cjelokupnog programa jasno se ističe značaj koji se daje ovom području unutar opće naobrazbe.

Osim naobrazbe za osnovna ovlaštenje predviđena je i posebna izobrazba u području manevriranja brodom koja treba povećati osnovna znanja i vještinu. Ova se izobrazba temelji na izvođenju vježbi na posebnim navigacijskim simulatorima. Izobrazba je predviđena dijelom B Konvencije STCW 78/95 (B-V/a). U ovom dijelu Konvencije predviđa se posebna izobrazba pod nazivom "Izobrazba za zapovjednika i I časnika na velikim brodovima i brodovima s neuobičajenim manevarskim svojstvima" (*The Training Course for Master and Chief Officer of Large Ships and Ships with Unusual Manoeuvring Characteristics*). Ovome treba pridodati i posebnu izobrazbu "Simulatori broda i skupni rad na zapovjedničkom mostu" (*Ship Simulator and Bridge Teamwork*) koja je također djelomično vezana za sigurnost pri manevriranju brodovima. U ovom djelu izobrazbe posebice se naglašava potreba skupnog rada na zapovjedničkom mostu tj. međusobnog nadzora kako bi se izbjeglo stvaranje tzv. lanca

<sup>86</sup> International Convention on Standard of Training, Certification and Watchkeeping, 1978/1995.

pogrešaka. Osim toga valja istaknuti značajno isticanje važnosti i načina pripreme cjelovitog plana plovidbe.

Osim prethodno spomenute dodatne izobrazbe brodari unutar svojeg «Sustava upravljanja sigurnošću» (engl. *Safety Management System*) koji se uspostavlja prema obveznom ISM Kodeksu trebaju predvidjeti i drugu dodatnu izobrazbu. Tako se u ovom području vrlo često provodi dodatna izobrazba koja je preuzeta iz zračnog prometa (*Bridge Resource Management*).

Osim poznavanja teoretske podloge manevriranja brodom kao i uvježbavanju na simulatorima, iskustvo i uvježbanost pri izvođenju konkretnog manevra na konkretnom brodu je od neprocjenjive važnosti. Uvježbanost se postiže iskustvom koje se stječe manevriranjem u konkretnim slučajevima ali ovome valja dodati i potrebu izvođenja primjerenih vježbi kao i testiranja odnosno provjera pojedinih manevarskih svojstava broda. Vježbe se uglavnom odnose na one koje su predviđene nekim postupcima u slučaju izvanrednih okolnosti kao što su manevar "Čovjek u moru" i kvar kormilarskog uređaja. Testiranja manevarskih svojstava broda izvode se u brodogradilištu, međutim iste pokuse, osobito one koje se odnose na osnovna manevarska svojstva preporuča se izvesti svakom zapovjedniku kad se prvi put zatekne na nekom brodu. Nažalost, ovo se u uvjetima eksploatacije vrlo rijetko izvodi za što postoje i neki objektivni razlozi, ali bi bez obzira na to, potrebi izvođenja manevarskih testova broda treba pridati daleko veći značaj nego li se to čini.

Važnost zapovjednika i časnika ogleda se i u edukaciji posade glede ispravnog rada i postupaka tijekom manevriranja. Posebno je u toj edukaciji važno istaknuti mjere sigurnosti kojih se valja pridržavati tijekom izvođenja manevra čime se mogu bitno smanjiti nezgode koje mogu imati vrlo ozbiljne posljedice.

Ustroj rada posade tijekom izvođenja manevra također valja posebno razmotriti. Broj članova posade koji sudjeluju u manevriranju brodom i njihove kvalifikacije mogu značajno varirati. Načelno, svaka grupa na pramcu i na krmi treba biti rukovodena od jednog časnika palube. Međutim, na nekim brodovima bez trećeg časnika palube ponekad to nije moguće postići. Također, ponekad zbog nedovoljnog broja članova posade tijekom manevra koristi se posada koja ne pripada posadi palube već je regrutirana iz drugih službi na brodu. Na zapovjedničkom mostu osim zapovjednika obično se nalaze jedan časnik palube i kormilar. Međutim, i tu mogu postojati izuzeci. U pogledu časnika koji sudjeluje pri manevru na zapovjedničkom mostu, u ovisnosti o tradiciji, to može biti treći časnik palube ili prvi časnik palube. U prvom slučaju najiskusniji časnik nalazi se na pramcu što je s tog stanovišta vrlo dobro imajući u vidu složenost djelovanja pri manevriranju na pramcu posebice u pogledu djelovanja u izvanrednim okolnostima. Osim ovakva ustroja rada treba istaknuti i neke specifičnosti kao npr. kod Ro-Ro brodova kad najiskusniji časnik treba biti na krmi jer takvi brodovi pristaju krmom na obalu, a vrlo je važno i sigurno spuštanje i postavljanje krmene rampe. Međutim, ovakav ustroj rada nije povoljan sa stanovišta familjarizacije prvog časnika palube s upravljanjem manevriranjem brodom koju će prihvatiti kad bude unaprijeden za zapovjednika. Nadalje, valja istaknuti da kod nekih brodova na linijama s kratkim vremenom između ticanja dvaju luka na manevrima priveza i odveza sudjeluju samo časnici u straži dok se ostali časnici odmaraju što dodatno utječe na stupanj sigurnosti pri manevriranju.

Kod brodova s malim brojem članova posade postoje slučajevi da zajedno s peljarom na brod dolazi skupina kvalificiranih privezivača koji će sudjelovati u privezivanju broda.

Za uspješnost izvođenja manevra važna je interakcija između svih članova posade. Ona se osim poznavanja tehnologije rada pri izvođenju manevra postiže i međusobnom komunikacijom kako tijekom pripreme manevra tako i tijekom izvođenja samog manevra. Najvažniji segment je komunikacija između zapovjednika i časnika, ali ne treba zanemariti ni komunikaciju između časnika i posade palube koja sudjeluje pri izvođenju manevra.

Stupanj educiranosti i uvježbanosti posade kao i učinkovitost ustroja rada posebno dolazi do izražaja u slučaju nastupa izvanrednih okolnosti.

## 6.2 SLUŽBA NADZORA I UPRAVLJANJA POMORSKOM PLOVIDBOM

U pogledu kriterija za imenovanje, kvalifikacije i uvježbavanje *VTS* operatora postoji već spominjana rezolucija *IMO*<sup>87</sup> u čijem su drugom dodatku ovi kriteriji definirani. Način i složenost djelovanja osoblja unutar službe ovisi o funkciji koju pojedina osoba obavlja, o stupnju službe nadzora i upravljanja pomorskom plovidbom, o složenosti navigacije u području *VTS* službe kao i o gustoći prometa.

Ne postoji jedinstvena praksa u svijetu u pogledu prethodne naobrazbe koju treba posjedovati osoblje službe nadzora i upravljanja pomorskom plovidbom. Stupanj naobrazbe, znanja i sposobnosti ovit će i o stupnju službe nadzora i upravljanja pomorskom plovidbom koji je uspostavljen. Analizirajući postojeću praksu u svijetu najboljim pristupom može se smatrati upošljavanje osoblja iz redova iskusnih zapovjednika i časnika palube što je značajna pretpostavka kvalitetnog kadra. Međutim, valja naglasiti da se u ovom slučaju osoblje nalazi u suprotnoj ulozi negoli na brodu i s posebnom odgovornošću o čemu valja neprestano voditi računa.

Imajući u vidu prethodno razmatranje, a u svrhu unapređenja rada osoblja kao i povećanja stupnja sigurnosti u djelovanju sustava za osoblje je predviđena posebna izobrazba. Pritom u skladu sa statusom osoblja valja razlikovati izobrazbu za operatere *VTS* sustava te izobrazbu za *VTS* nadglednika što je viši stupanj. Predviđeno je više nivoa izobrazbe i uvježbavanja i to temeljni, napredni, na višoj razini i obnavljanje znanja. Izobrazba i uvježbavanje može se odvijati u predavaonicama, simulatorima kao i na poslu u stvarnom sustavu.

Učinkovitost rada operatora bitno je determinirana komunikacijom. Problem komunikacije najčešće je vezan za jezik, koji bi trebao biti engleski prema već spomenutim standardnim frazama za komunikaciju u pomorstvu.

Veliki napredak u ovom području te pri izbjegavanju komunikacijskih barijera predstavlja primjena sustava izvještavanja s brodova u kojem su standardizirani kriteriji uspostave sustava<sup>88</sup> te način i vrsta informacija koje se koriste pri izvještavanju.<sup>89</sup>

Osim redovitih poslova koje osoblje treba obavljati u ovisnosti o određenom stupnja službe nadzora i upravljanja pomorskom plovidbom koji je uspostavljen jedna od zadaća osoblja je i pružanje informacija zainteresiranim osobama. Iako pružanje određene vrste informacija ovisi o režimu javnosti pojedine informacije osoblje dolazi u kontakt s javnošću pa je upravo odnos s javnošću vrlo značajan. Imajući u vidu ovu činjenicu edukaciji osoblja i u ovom segmentu treba posvetiti posebnu pažnju.

Posebna vrsta usluga koja se može pružati u okviru *VTS* službe tzv. peljarenje na daljinu odnosno peljarenje broda s obale (engl. *Shore Based Pilotage*). U tom slučaju položaj osoblja vrlo je specifičan i predstavlja posebnu tehnologiju vođenja broda. Imajući u vidu složenost ovakvih operacija ovaj dio posla trebali bi obavljati iskusni peljari uz obveznu posebnu edukaciju posebice u pogledu specifičnosti koje se pritom javljaju.

Zoran prikaz razvoja sustava imenovanja, kvalifikacije i uvježbavanja *VTS* operatora prema rezoluciji *IMO A.857* prikazan je u shemi priloženoj rezoluciji.

<sup>87</sup> Resolution A.857(20), Adopted on 27 November 1997, Guidelines for Vessel Traffic Services, Annex 2, Guidelines on Recruitment, Qualifications and Training of VTS Operators, International Maritime Organization (IMO), London, 1997.

<sup>88</sup> Resolution MSC.43(64), Adopted on 9 December 1994., Guidelines and Criteria for Ship Reporting Systems, International Maritime Organization (IMO), London, 1994.

<sup>89</sup> Resolution A.851(20), Adopted on 27 November 1997., General Principles for Ship Reporting Systems and Ship Reporting Requirements, Including Guidelines for Reporting Incidents Involving Dangerous Goods, Harmful Substances and/or Marine Pollutants, International Maritime Organization (IMO), London, 1997.

### 6.3 PELJARI I PELJARSKA SLUŽBA

Peljarska služba, a poglavito peljari su u cijelom sustavu manevriranja jedna od najznačajnijih karika za sigurno izvođenje manevra. Peljar svoje iskustvo u manevriranju brodovima konkretnim akvatorijem kao i poznavanje lokalnih prilika daje na raspolaganje zapovjedniku u obliku savjeta. Pritom zapovjednik ostaje prva osoba odgovorna za brod. Međutim, bez obzira na to, oblik međusobne suradnje na zapovjedničkom mostu može biti dvojak. Na čelu skupine na zapovjedničkom mostu može biti zapovjednik, a peljar je samo savjetnik, dok u suprotnom ulogu čelne osobe može prihvatiti peljar kad on izravno vodi navigaciju uz nadgledanje sa strane zapovjednika.

Zbog njihova zahtjevnog i izuzetno složenog i odgovornog posla zahtijeva se i posebna edukacija. Povrh posjedovanja osnovnog ovlaštenja zapovjednika broda, budući peljari trebaju savladati dodatnu izobrazbu koja u prvom redu obuhvaća praktično sudjelovanje u određenom broju konkretnih manevra, te nakon toga položiti peljarski ispit te tako steći ovlaštenje pomorskog peljara. U pojedinim zemljama svijeta mogu postojati različiti načini dobivanja ovog ovlaštenja. Današnji trend u razvijenim zemljama svijeta je posebna edukacija s posebnim naglaskom na radu na simulatorima za manevriranje uz korištenje raznih modela brodova i varijaciju uvjeta pri manevriranju.

Važnu ulogu imaju i disponenti u peljarskim postajama koji ostvaruju komunikaciju s brodom tako da i taj dio osoblja treba biti educiran u skladu s tim poslom.

Učinkovitost peljara i cijele peljarske službe, ovisi i o broju angažiranih peljara u odnosu na broj brodova koje treba peljariti kao i vrijeme provedeno u peljarenju pojedinog peljara. Vrijeme peljarenja kao i vrijeme zauzetosti peljara dakako ovisi o udaljenosti i načinu ukrcaja/iskrcaja na mjestu ukrcaja/iskrcaja peljara.

Kad se razmatra utjecaj ljudskog faktora na sigurnost manevriranja brodova odnos između peljara i zapovjednika broda je od neprocjenjive važnosti. Ova tvrdnja odnosi se kako na samo izvođenje manevra što je već spomenuto takao i na njegovu pripremu.

U pogledu pripreme manevra posebnu pozornost valja posvetiti planiranju plovidbe od mjesta ukrcaja peljara do mjesta priveza ili obrnuto pri odvezu. Planiranje plovidbe koju bi trebao izraditi zapovjednik broda trebalo bi obuhvatiti plovidbu između dva mjesta priveza, a obično se planira samo plovidba između mjesta iskrcaja i mjesta ukrcaja peljara, tako da dio plovidbe s peljarem na brodu ostaje nepokriven. Za ovo u praksi postoji niz objašnjenja koja kreću od činjenice da zapovjednik ne poznaje lokalne prilike osim iz pomorskih publikacija koje mu često nisu dostupne pa se rađe prepušta peljaru. Peljari pak ne poznaju konkretan brod što je također nedostatak pri planiranju djela plovidbe s peljarom koju katkad pripreme sami peljari i donesu takav plan već gotov na brod. Stoga bi plan plovidbe s peljarem trebalo zajedno analizirati, eventualno ispraviti i kao takvoga ga prihvatiti. No, valja naglasiti da ponekad za to nema dovoljno vremena. Za to postoji više razloga, kao što su npr. blizina mjesta ukrcaja peljara samom području gdje je potrebno započeti s konkretnim manevriranjem. Na području mjesta prihvata peljara velikih svjetskih luka obično je gust promet kojem treba također posvetiti dužnu pažnju, itd.

### 6.4 ZAPOVJEDNIK I POSADA TEGLJAČA

Posada tegljača, a posebno zapovjednik je vrlo važan faktor sigurnog izvođenja manevra broda. Posebno je važno da zapovjednici tegljača poznaju tehnologiju manevriranja brodom uz pomoć tegljača, osobito interakciju između broda i tegljača pri manevriranju te mogućnosti pojedine vrste tegljača. S tim u vezi je segment edukacije zapovjednika tegljača osobito važan.

Stoga je potrebno da zapovjednici tegljača trebaju imati osnovno ovlaštenje zapovjednika broda ali i posebno iskustvo u radu tegljačima određene vrste i manevarskih obilježja. Nepravilno djelovanje tegljača može dovesti do nezgode broda kojem se asistira pri

manevriranju, a još je opasnija činjenica da mogu ugroziti sigurnost samog tegljača što može dovesti do tragičnih posljedica.

Edukacija zapovjednika tegljača, osim u upoznavanju teoretskih osnova tehnologije manevriranja i upoznavanja rada određenom vrstom tegljača te uvježbavanja pojedinih manevara u praksi, može biti značajno unapređenja korištenjem simulatora kojima je moguće simulirati najrazličitije situacije te iskustvo stjecati na taj način. Ovo je vrlo učinkovit način za upoznavanje kao i dodatno uvježbavanje korištenja raznih vrsta tegljača pri raznim vrstama manevrima, s različitim vrstama brodova, pri različitim vanjskim uvjetima i različitim postavama pristana i obilježjima prilaznog akvatorija. Dakako da tako dobivene spoznaje kasnije treba provesti i provjeriti u praksi.

## 6.5 PRIVEZIVAČI I NJIHOVA UVJEŽBANOST

Osobe koje pomažu pri privezu i odvezu brodova tzv. privezivači obično nemaju posebnu izobrazbu već se obično regrutiraju od osoba vičnih obavljanju ove vrste poslova. Privezivači koji upravljaju privezivačkim brodicama trebaju imati potrebno znanje i ovlaštenje za rukovanje takvom vrstom brodicama. Međutim, želi li se postići zadovoljavajući stupanj sigurnosti cijelog sustava potrebno je da privezivači poznaju u osnovnim crtama tehnologiju manevriranja brodovima, posebno u onom dijelu koji se odnosi na dolazak broda na obalu i sam privez, te odvez i način odlaska od obale. Osim toga osobe moraju biti upoznate s uobičajenim opasnostima i mjerama sigurnosti kako općim tako i osobnim koje je potrebno poštivati pri privezu ili odvezu brodova.

Kod privezivača je potrebno izgraditi svijest o njihovoj važnosti u odvijanju procesa manevriranja kako bi se postigao dovoljan stupanj sigurnosti.

Posebno je važna njihova uloga pri odvijanju manevra pri lošijim vremenskim uvjetima kad je cijeli postupak otežan, a samo izvođenje treba biti brže i bez prava na pogrešku jer ponovljeni pokušaj izvođenja nekog dijela priveza ili odveza može dovesti do neželjenih posljedica.

## 6.6 DJELATNICI LUČKIH KAPETANJA I LUČKIH UPRAVA

Djelovanje ovih institucija ovisi o njihovim nadležnostima i ovlastima koje u svim dijelovima svijeta nisu jednake. Stoga će u raznim područjima svijeta njihov utjecaj na sustav manevriranje biti različit. Utjecaj ovih institucija na samo izvođenje pojedinog manevra je indirektan i nema direktnog upliva.

Djelovanje djelatnika lučkih kapetanija očituje se u nadzoru nad sigurnošću plovidbe što na sustav manevriranja utječe u vidu nadzora nad poštivanjem uspostavljenih ograničenja, zabranama uplovljavanja ili isplovljenja, zadržavanjem broda zbog utvrđenih nedostataka, itd. Za obavljanje ovih poslova potrebno je da djelatnici budu educirani u ovom području. Potrebno je poznavati opasnosti pri manevriranju pojedinim vrstama brodova, poznavati samu tehnologiju manevriranja, djelovanje vanjskih i unutrašnjih čimbenika kako bi u određenom trenutku mogli donijeti pravilnu odluku u pogledu određenog postupka. Stoga je potrebno da djelatnici lučkih kapetanija koji sudjeluju u nadzoru sigurnosti pomorske plovidbe, kao i djelatnici u inspeksijskim službama na brodovima budu osobe s pomorskim obrazovanjem nautičkog smjera te da posjeduju primjerena ovlaštenja u službi palube. Važan aspekt djelovanja djelatnika lučkih kapetanija očituje se u njihovoj savjetodavnoj ulozi pri izradbi studija sigurnosti glede režima plovidbe, manevriranja i boravka brodova na pojedinim novim vezovima ili postojećim vezovima ako se na takve vezove žele prihvaćati brodovi drukčijih veličina i obilježja kao i u kasnijoj analizi i prihvaćanju takvih studija. Zbog svih tih razloga djelatnici lučkih kapetanija trebaju imati i dodatnu visokostručnu naobrazbu u pojedinim područjima koje se odnose na sigurnost plovidbe.

Utjecaj djelatnika lučkih uprava na sustav manevriranja je indirektan i ogleda se u njihovom dodjeljivanju pojedinog mjesta priveza kako bi se mogle obaviti lučke operacije za određenu vrstu i tehnologiju broda. Indirektno utječe i na vrijeme boravka broda na vezu zbog prilika koje vladaju na lučkom području, a za čiju efikasnost treba brinuti lučka uprava organizacijom pojedinih djelatnosti, dodjeljivanja koncesija na pojedina lučka područja, itd. Imajući u vidu sve ove zadatke, pojedine osobe u službama lučke uprave trebaju imati pomorsku naobrazbu nautičkog smjera te znanja koja omogućavaju razumijevanje svakog segmenta djelovanja sustava manevriranja, kako bi uspješno mogli djelovati u interakciji s ostalim osobama odnosno čimbenicima u sustavu manevriranja. Poznavanje ovog područja na visokostručnoj razini potrebno je pri planiranju i projektiranju razvoja lučkog područja u kojem djelatnosti lučkih uprava zasigurno sudjeluju.

## 7 SIGURNOSNI UVJETI I OGRANIČENJA PRI MANEVIRANJU BRODOM I TIJEKOM BORAVKA BRODA NA MJESTU PRIVEZA

Postupci tijekom manevra dolaska i odlaska broda, kao i tijekom boravaka broda na mjestu priveza moraju osigurati dovoljan stupanj sigurnosti broda, drugih plovila kao i lučke infrastrukture i suprastrukture. Osim toga zadovoljavanje općeg stupnja sigurnosti zasigurno će indirektno značajno utjecati i na zaštitu morskog okoliša. Da bi se osigurao dovoljan stupanj sigurnosti potrebno je u svakom konkretnom slučaju sustavno sagledati sve čimbenike koji utječu na manevriranje brodom kao i njihovo međudjelovanje.

Tijekom manevriranja brodom na njegovo kretanje djeluju sile koje se mogu podijeliti u tri osnovne kategorije.



Slika 20 Vrste sile koje djeluju na brod

Sile koje se mogu kontrolirati pod neposrednom su kontrolom zapovjednika. U ove sile mogu se ubrojiti sile koje razvija stroj, sile brodskog vijka, sile kormila pramčanih i krmenih porivnika, sidara i sidrenih lanaca, vučne sile tegljača te sile priveznih konopa.

Silama na koje se može utjecati moguće je u odgovarajućim granicama mijenjati veličinu i smjer djelovanja te na taj način ostvariti željeni učinak tijekom manevriranja.

Sile koje se mogu djelomično kontrolirati su sile koje se javljaju zbog interakcije brodskog trupa s okolnim čimbenicima kao što su obala, dno u akvatoriju u kojem se manevrira, te drugi brodovi. U tim slučajevima javljaju se fenomeni kao što su tzv. efekt ruba plovnog puta (engl. *bank efekt*), efekt plitke vode (engl. *shallow water efekt*), interakcija između brodova (engl. *ship to ship interaction*) te već obrađeni dodatni zagažaj (engl. *squat*). Zapovjednik može regulirati veličine ovih sile indirektno pravovremenim i točnim djelovanjem na sile koje se mogu kontrolirati, a koje su u tom trenutku na raspolaganju, u prvom redu kontroliranjem brzine broda.

Sile koje nije moguće kontrolirati su vanjske prirodne sile: vjetar, morske struje, valovi, led, itd. Silama na koje nije moguće utjecati bitno je poznavati intenzitet i smjer djelovanja odnosno pretpostaviti njihov utjecaj na brod. Ove sile ne mogu se regulirati, ali se pravilnim manevriranjem odnosno korištenjem sila kojima se može upravljati, mogu kompenzirati (smanjiti) u određenoj situaciji kad utječu negativno ili iskoristiti kad su pozitivne.

Manevriranje brodom predstavlja spoj znanja, tj. razumijevanja djelovanja raznih čimbenika na manevriranje i vještine u primjeni tog znanja. Da bi osoba koja manevrira brodom mogla koristiti, umanjiti ili se suprotstaviti djelovanju pojedinih sila vrlo je važno kako ocijeniti i percipirati pojedine sile. Donošenje odluka tijekom manevriranja temelji se u prvom redu na poznavanju činjenica kao što su poznavanje veličine sila, poznavanje brodskih mogućnosti i ograničenja, poznavanje lokalnih prilika, plan plovidbe odnosno manevriranja, postojanje alternativa u slučaju izvanrednih okolnosti, itd. Poduzimanje akcija tijekom manevriranja kao i izdavanje naredbi također se temelji na percepciji u prvom redu kursa, brzine, smjera kretanja, udaljenosti, sile koje djeluju na brod, itd. Može se zaključiti da se osjećaj za brod i okolnosti razvijaju kombinacijom znanja i procjene zapovjednik. Procjene pri rukovanju brodom bazirane su najčešće u cijelosti na znanju i viđenju situacije. Pritom se može reći da se samo udaljenost

može odrediti direktnim vizualnim motrenjem. Kurs i smjer kretanja moguće je odrediti u međusobnom odnosu nekog djela broda i objekta na obali ili korištenjem instrumenata. Brzina se najčešće određuje indirektno prema znakovima koji indiciraju brzinu ili korištenjem instrumenata. Procjena veličine i smjera djelovanja sila najdalje su od vizualnih opažanja. Fizički osjećaj broda prema veličini sile ne postoji. Ovaj osjećaj temelji se na konceptualnom procjenjivanju obilježja broda. Pri razvijanju ovog osjećaja znanje je dominantan faktor, ali je vrlo važno i praktično iskustvo. Poznavanje ove činjenice je vrlo važno jer korištenje metode pokušaja i promašaja u sustavu manevriranja brodom nije primjenjivo.

Pri svakom planiranju konkretnog manevra potrebno je dakle odrediti utjecaj vanjskih sila koje djeluju na brod u akvatoriju u kojem se manevrira pri dolasku ili odlasku broda, te utjecaj vanjskih sila koje djeluju na brod kad je privezan ili usidren na predviđenom mjestu. Stupanj sigurnosti ovisit će o dovoljnoj dubini i širini plovnog puta pa je potrebno i ovaj utjecaj posebno sagledati. Vrlo važan čimbenik o kojem ovisi stupanj sigurnosti manevra je kinetička energija broda odnosno udarna energija broda pri pristajanju. Nadalje, potrebno je analizirati sam brod kojim se manevrira kao i njegova manevarska svojstva, a osobito se to odnosi na djelovanje porivnika te mogućnost usmjeravanja sile poriva. Svakako treba analizirati i način korištenja i djelovanje privezne opreme broda odnosno analizirati mogućnosti koje ta oprema pruža. Manevriranje brodovima koje se istražuje u ovom radu podrazumijeva korištenje tegljača, pa je i poznavanje manevarskih osobina tegljača na koje se može računati u konkretnom slučaju također od neprocjenjive vrijednosti. Osim poznavanja karakteristika broda i tegljača potrebno je poznavati i interakciju između njih odnosno mogućnosti koje se pružaju pri manevriranju. Poradi cjelovitog sagledavanja problema potrebno je uzeti u obzir i ostale interakcije koje se javljaju tijekom manevriranja kao što su interakcija između broda i obale odnosno ruba plovnog puta, morskog dna ili brodova u prolazu.

Način izvođenja pojedinog manevra ovisit će o međudjelovanju osnovnih prije nabrojanih čimbenika kao i osobinama prilaznog puta, raspoloživog akvatorija, vrste obale i njene privezne opreme te organizacijsko-tehnološke podrške manevriranju.

Stupanj sigurnosti tijekom manevriranja i boravka broda na pristanu je vrlo složeno pitanje koje ovisi o stupanju sigurnosti koji se ugrađuje u projekt, stupanju sigurnosti koji se primjenjuje u izgradnji, stupnju sigurnosti osoba te općem stupnju sigurnosti tijekom eksploatacije.

Razmatrajući sigurnost tijekom manevriranja i boravka broda na pristanu valja imati na umu da obalne građevine nisu konstruirane za tzv. katastrofične situacije koje mogu rezultirati čak i njihovim rušenjem. Obalne građevine projektirane su i konstruirane u prvom redu tako da izdrže sile koje nastaju pri normalnim eksploatacijskim uvjetima tj. opremljene su sustavom bokobrana koji će apsorbirati normalnu udarnu energiju broda na način da će spriječiti oštećenja broda i/ili obale. Da bi se zadovoljio ovaj uvjet prilazna brzina broda načelno ne bi smjela biti veća od 2/3 brzine prilaza za koju je konstruirana obala, a udarna energija broda ne bi smjela prijeći apsorpcijsku energiju bokobrana. Međutim, osim za normalne uvjete obalne građevine projektirane su da s manjim oštećenjima mogu izdržati i tzv. akcidentne situacije jer se konstruiraju tako da izdrže horizontalne sile 20-25% veće od pretpostavljene udarne energije broda u normalnim eksploatacijskim uvjetima. Sustav bokobrana obično se konstruira tako da može izdržati dvostruko veće sile od onih u normalnim eksploatacijskim uvjetima. Pod akcidentnim situacijama podrazumijevaju se kvar na stroju broda ili tegljača, pucanje priveznih ili teglenih konopa, iznenadne promjene uvjeta vjetera i morskih struja te ljudska pogreška.

Sigurnost osoba ovisi o općoj sigurnosti na brodu i u luci odnosno terminalu. Stoga je interakcija između ova dva sustava zasigurno neobično važna. Sigurnost osoba također ovisi o vrsti i izvedbi luke odnosno terminala te uspostavi i organizaciji mjera sigurnosti kako preventivnih tako i planova za djelovanje u slučaju nastupa izvanrednih događaja. Pritom se ističu planovi za djelovanje u slučaju požara ili eksplozije na brodu ili terminalu, ozljeda osobe ili osoba iz bilo kojeg razloga, onečišćenja morskog okoliša, itd.



## 7.1 UTJECAJ VJETRA, MORSKIH STRUJA I VALOVA NA BROD

### 7.1.1 Utjecaj vjetra na brod

Utjecaj vjetra na brod tijekom manevriranja kao i tijekom boravka broda na vezu zasigurno je jedan od najznačajnijih vanjskih prirodnih faktora. Stoga je utjecaj vjetra na brod potrebno detaljno razmotriti.

Djelovanje vjetra na brod definirano je veličinom i smjerom sile vjetra. Sila vjetra određuje se izrazom:

$$F_v = p \cdot A$$

gdje je:

- $F_v$  - sila vjetra [N]
- $p$  - specifični pritisak vjetra [ $\text{N}/\text{m}^2$ ]
- $A$  - bočna površina nadvodnog djela broda [ $\text{m}^2$ ]

Funkcionalna veza između brzine vjetra i specifičnog pritiska vjetra koji djeluje na brod, izražava se obrascem:

$$p = C_v \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$$

- $C_v$  - koeficijent otpora zraka tijela izloženog vjetru
- $\rho$  - gustoća zraka [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
- $v$  - brzina vjetra [ $\text{m}/\text{s}$ ]

Koeficijent  $C_v$  ovisi o obliku tijela, a prema mjerenjima *Hughens-a* na brodskim modelima srednja vrijednost ovog koeficijenta iznosi  $C_v=1,186$ . Koeficijent je bezdimenzionalan. Vjetar maksimalne brzine, s kojom se obično računa kod proračuna sile vjetra, je hladan vjetar, pa se može računati s gustoćom  $\rho = 1,293 \text{ kg}/\text{m}^3$ . Ova vrijednost odgovara temperaturi od  $t = 0^\circ\text{C}$  i normalnom barometarskom pritisku od  $1,01325$  hektopascala.

Ako se gornje vrijednosti uvrste u obrazac za proračun pritiska vjetra proizlazi da je specifični pritisak vjetra jednak umnošku koeficijenta  $k$  i kvadrata brzine vjetra:<sup>90</sup>

$$p = k \cdot v^2 = 0,76675 \cdot v^2$$

Za točnije izračune, u konkretnim slučajevima kad je poznata temperatura zraka u trenutku puhanja vjetra, potrebno je koristiti odgovarajuću gustoću zraka za konkretnu temperaturu.

Za sve ove proračune konkretnu brzinu vjetra potrebno je točno izmjeriti anemometrom. Međutim, u pomorstvu često nije moguće izmjeriti brzinu vjetra, pa se ona procjenjuje temeljem Beaufort-ove skale.

Prema Beaufortovoj skali ako je  $v$  srednja brzina vjetra u  $\text{m}/\text{s}$ , a  $B$  stupanj jačine vjetra brzina vjetra može se odrediti uz pomoć empirijske formule:

$$v = 0,836 \cdot \sqrt{B^3}$$

Brzina vjetra koja ulazi u proračune mora biti brzina vjetra na 10 metara visine iznad površine mora. Ukoliko je brzina vjetra izmjerena na nekoj drugoj visini treba je ispraviti i svesti na brzinu vjetra na visini od 10 metara, pa se u tu svrhu može koristiti sljedeći izraz:

$$V_w = v_w \cdot \left(\frac{10}{h}\right)^{\frac{1}{7}}$$

<sup>90</sup> Petković I., Prikaz numeričkih vrijednosti krivulja brzina i specifičnih pritisaka vjetra iznad mora na bok broda u novim mjernim jedinicama, Simpozij "Teorija i praksa brodogradnje", Split, 1982, str. 4.193 - 4.203

gdje su:

$V_w$	-	brzina vjetra na visini od 10 m [m/s]
$v_w$	-	brzina vjetra na visini h [m/s]
$h$	-	visina na kojoj je mjerena brzina [m]

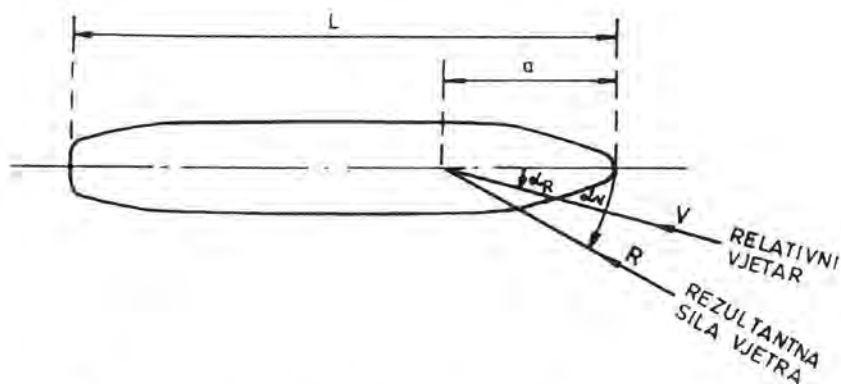
Pri proračunu sila vjetra koji djeluju na brod vrlo je značajno računati sa signifikantnim srednjim brzinama vjetra. Dakle treba uzeti u obzir srednje brzine vjetra koje će imati utjecaj na brod. Signifikantna srednja brzina vjetra ovisi o periodu prirodnog odziva broda, a on ovisi o vrsti i veličini broda te stanju nakrcanosti. Uz vjerodostojne brzine vjetra s kojima će se računati valja uzeti u obzir i udare vjetra.

Za točniji proračun sile vjetra, kako je već naglašeno u poglavlju 3., potrebno je uzeti u obzir i promjenu brzine vjetra s visinom. Najpoznatiji bezdimenzionalni koeficijenti promjene brzine vjetra i specifičnog pritiska vjetra s visinom, koji se obično koriste, dobiveni su istraživanjima *Schoeneicha*<sup>91</sup>, a koriste se i koeficijenti prema «Prijedlogu» Sovjetske delegacije<sup>92</sup> na Konferenciji SOLAS, 1960 godine. Za točan proračun trebalo bi također koristiti bezdimenzionalne koeficijente za konkretno područje ako oni postoje.

Brzina vjetra  $v_h$  na određenoj visini h, ako je  $v_{10}$  brzina vjetra na visini 10 m, a  $k_b$  odnos brzine vjetra na nekoj visini h i brzine vjetra na visini 10 m ( $v_h/v_{10}$ ) može se odrediti izrazom:

$$v_h = v_{10} \cdot k_b$$

Prethodna razmatranja vrijede pod pretpostavkom da vjetar puše okomito na površinu broda izloženu vjetru. Pristup određivanju sile vjetra i njenog utjecaja na brod kad je kut upada vjetra različit od 90° u odnosu na uzdužnicu broda je nešto drukčiji.



Slika 21 Djelovanje sile vjetra na brod u ovisnosti o kutu djelovanja vjetra

U literaturi postoji prikaz načina određivanja otpora broda kad vjetar djeluje po određenim kutom u odnosu na uzdužnicu.<sup>93</sup> Posebno se pristupa problemu u slučaju kada brod miruje i u slučaju kada se kreće zbog toga što je koeficijent otpora zraka različit za brod u mirovanju od onoga kada se brod kreće.

Sa stanovišta ovog rada potrebno je odrediti silu vjetra na brod kad vjetar puše pod nekim određenim kutom te odrediti uzdužnu i poprečnu komponentu te sile jer će one izravno djelovati na smjer i veličinu pomaka broda u prostoru. Ove sile mogu se odrediti sljedećim izrazima:

<sup>91</sup> Schoeneich, *Der Windwiderstand bei Seeschiffen*, Schiffbau No.4, Berlin, 1911., str. 121. – 129.

<sup>92</sup> Report of the delegation of the Union of Soviet Socialist Republics at the International Conference on the Safety of Life at Sea, *Intact stability*, London, 1960, str. 1. – 36.

<sup>93</sup> \*\*\*, *Naval Architecture*, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, New York, 1967., str 315.

$$Fv_{(\alpha)} = C_v \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot (A_L \cdot \sin \alpha_v + A_T \cdot \cos \alpha_v)$$

$$Fv_{L(\alpha)} = C_v \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot (A_L \cdot \sin^2 \alpha_v + A_T \cdot \cos \alpha_v \cdot \sin \alpha_v)$$

$$Fv_{T(\alpha)} = C_v \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot (A_L \cdot \sin \alpha_v \cdot \cos \alpha_v + A_T \cdot \cos^2 \alpha_v)$$

gdje su:

- $Fv_{(\alpha)}$  - sila vjetra kad vjetar puše pod nekim određenim kutom  $\alpha_v$  u odnosu na uzdužnicu broda [N]
- $C_v$  - koeficijent otpora zraka tijela izloženog vjetru za neki određeni kut upada vjetra
- $\rho$  - gustoća zraka [ $\text{kg/m}^3$ ]
- $v$  - brzina vjetra [m/s]
- $A_T$  - poprečna (frontalna) površina nadvodnog djela broda [ $\text{m}^2$ ]
- $A_L$  - lateralna površina nadvodnog djela broda [ $\text{m}^2$ ]
- $\alpha_v$  - kut upada vjetra u odnosu na simetralu broda [ $^\circ$ ]
- $Fv_{L(\alpha)}$  - uzdužna komponenta sile vjetra kad vjetar puše pod nekim određenim kutom  $\alpha_v$  u odnosu na uzdužnicu broda [N]
- $Fv_{T(\alpha)}$  - poprečna komponenta sile vjetra kad vjetar puše pod nekim određenim kutom  $\alpha_v$  u odnosu na uzdužnicu broda [N]

Kada se brod kreće treba računati s relativnim kutom upada vjetra koji se razlikuje od smjera stvarnog vjetra. Ako se poznaje smjer i brzina stvarnog vjetra relativna brzina vjetra određuje se kako slijedi:

$$v_R = \sqrt{v_b^2 + v^2 + 2 \cdot v_b \cdot v \cdot \cos \alpha_v}$$

gdje su:

- $v_R$  - relativna brzina vjetra [m/s]
- $v_b$  - brzina broda [m/s]
- $v$  - brzina vjetra [m/s]
- $\alpha_v$  - kut upada stvarnog vjetra u odnosu na simetralu broda [ $^\circ$ ]

Relativni kut upada vjetra  $\alpha_R$  određuje se izrazom:

$$\alpha_R = \arcsin\left(\frac{v}{v_R} \cdot \sin \alpha_v\right)$$

Suvremena praksa određivanja sile vjetra na brod kad vjetar puše pod određenim kutom polazi od pretpostavke da valja odrediti koeficijent otpora vjetra u ovisnosti o kutu upada.

Prema rezultatima istraživanja vrijednosti koeficijenata otpora zraka  $C_{L\varphi}$  japanskih autora<sup>94</sup> predlaže se određivanje ovih vrijednosti koristeći sljedeće izraze:

- teretni brodovi:  $C_{L\varphi} = 1,325 - 0,050 \cos 2\varphi - 0,350 \cos 4\varphi - 0,175 \cos 6\varphi$
- tankeri za ulje:  $C_{L\varphi} = 1,200 - 0,083 \cos 2\varphi - 0,250 \cos 4\varphi - 0,117 \cos 6\varphi$
- putnički brodovi:  $C_{L\varphi} = 1,142 - 0,142 \cos 2\varphi - 0,367 \cos 4\varphi - 0,133 \cos 6\varphi$

Udaljenost od pramca na kojoj djeluje rezultantna sila vjetra, prikazana u postocima duljine broda od pramca, može se odrediti na slijedeći način koristeći empirijski izraz:

$$\frac{a}{L} = 0,291 + 0,0023 \cdot \varphi$$

<sup>94</sup> Rawson, K.J., Tupper, E.C., Basic Ship Theory, Longman Scientific & Technical, New York, 1984., str. 446

gdje su:

- $a$  - udaljenost od pramca na kojoj djeluje rezultantna sila vjetra [m]
- $L$  - duljina broda [m]
- $\varphi$  - kut upada relativnog vjetra u odnosu na simetralu broda [°]

Smjer djelovanja rezultantne sile vjetra u odnosu na simetralu broda nije jednak kao i smjer vjetra i može se odrediti izrazom:

$$\alpha = \left[ 1 - 0,15\left(1 - \frac{\varphi}{90}\right) - 0,80\left(1 - \frac{\varphi}{90}\right)^3 \right] \cdot 90$$

Razmatrajući problem određivanja sile vjetra na brod uvida se da je najnepouzdanija vrijednost veličina koeficijenta otpora zraka koja dakako ovisi o obliku i veličini nadvodnog djela broda. Točnije vrijednosti ovih koeficijenata moguće je odrediti samo na konkretnim istraživanjima pojedine vrste i veličine brodova i to najčešće na modelima.

Vrlo značajno istraživanje objavljeno je u studiji "Predviđanje sila vjetra i morskih struja na vrlo velike brodove za prijevoz sirove nafte".<sup>95</sup> Istraživanje je provedeno za brodove ukupne nosivosti od 150000 do 500000 tona s nadgrađem na krmi. Posebno je istraživana utjecaj za stanja brod u balastu i brod potpuno nakrcan teretom. Osim toga uzeta je u obzir i razlika između brodova s klasičnim pramcem (s bulbom) i eliptično-cilindričnim pramcem (bez bulba). U ovoj studiji posebno su prikazani izrazi za silu vjetra koja djeluje okomito na lateralni (bočni) dio broda, a posebno za silu vjetra koja djeluje u smjeru uzdužnice tj. na poprečni (frontalni) dio broda, te je dan i izraz za moment zakretanja broda zbog djelovanja sile vjetra. Osim osnovnog načina proračuna prikazan je alternativni način u kojem se posebno računaju sile na pramčanom, a posebno na krmenom dijelu broda.

Na veličinu sile vjetra utječe i veličina horizontalne površine broda, pa neki autori uzimaju pri proračunu i dodatnu površinu koju pribrajaju na površinu izloženu vjetru. Uobičajeno se za veličinu dodatne površine uzima 10% ukupne horizontalne površine broda. Valja istaknuti da ovaj postupak nije potreban ako postoje dobri koeficijenti otpora zraka za određeni brod jer oni u sebi sadrže i ovaj utjecaj.

Vrlo vrijedan izvor za praktično određivanje sile vjetra na brod uzimajući u obzir koeficijente otpora vjetra za različite vrste brodova je *British Standard Code of Practice*.<sup>96</sup>

### 7.1.2 Utjecaj morske struje na brod

Utjecaj morske struje na brod tijekom manevriranja najčešće je daleko manji od utjecaja vjetra jer su brzine morskih struja u lukama relativno male, međutim na nekim područjima su one znatne pa mogu bitno utjecati na brod tijekom manevriranja, ponekad daleko više nego li to utječe vjetar. Ova činjenica naročito dolazi do izražaja na otvorenim obalnim i odobalnim vezovima gdje brzine morskih struja mogu biti znatne. Osim toga na takve vezove pristaju veliki i vrlo veliki brodovi koji imaju vrlo velike podvodne površine na koje djeluje morska struja posebice kad su krcati teretom. Prema tome, za potpuno sagledavanje problema djelovanja vanjskih sila koje utječu na manevriranje brodom kao i na sigurnost tijekom boravka broda na mjestu priveza, treba utjecaju morske struje pridati također dužnu pažnju.

Djelovanje morske struje na brod može se prikazati izrazom:

$$F_{MS} = C_{MS} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_v \cdot v_{MS}^2 \cdot A$$

<sup>95</sup> Prediction of wind and current loads on VLCCs, Oil Companies International Marine Forum (OCIMF), London, 1977., a studiju je izradio Exxon Research and Engineering Co. u suradnji s University of Michigan i Netherlands Ship Model Basin.

<sup>96</sup> Maritime structures, British Standard Code of Practice, Part 1. General criteria, British Standard Institution, 1984.

gdje su:

$F_{MS}$	-	sila morske struje koja djeluje na brod [N]
$C_{MS}$	-	koeficijent otpora vode tijela izloženog morskoj struji
$\rho_v$	-	gustoća morske vode u kojoj se nalazi brod [ $\text{kg/m}^3$ ]
$v_{MS}$	-	brzina morske struje [m/s]
$A$	-	bočna površina podvodnog dijela broda [ $\text{m}^2$ ]

I u ovom slučaju lako se uvida da je najnepouzdaniji faktor koeficijent otpora vode  $C_{MS}$ . Ovaj koeficijent ovisi o obliku podvodnog djela broda, duljini broda, te odnosu gaza broda prema dubini vode. Koeficijent je bezdimenzionalan, a njegove vrijednosti predmet su mnogih istraživanja.

Vrijednost koeficijenta prema *Callet-u*<sup>97</sup> za duboku vodu i finije oblike podvodnog dijela broda (stariji brodovi) iznosi  $C_{MS} = 1,2$ . Za moderne brodove s velikim koeficijentima punoće deplasmana  $C_{MS} = 2,3$ , a za vrlo velike brodove nakrcane do teretne vodene linije može poprimiti vrijednost do  $C_{MS} = 6,0$ .

Pri određivanju sile morske struje koja djeluje na brod na vezu prema autoru C. A. Thoresen<sup>98</sup> koriste se sljedeće vrijednosti koeficijenta otpora vode  $C_c$  ako morska struja djeluje okomito na lateralnu podvodnu površinu broda:

$C_c = 1,0 - 1,5$  za duboku vodu

$C_c = 2,0$  za dubinu vode dvostrukog gaza broda

$C_c = 3,0$  za dubinu vode 50% veću od gaza broda

$C_c = 6,0$  za dubinu vode približno jednaku gazu broda

Ako morska struja djeluje paralelno s uzdužnicom broda koeficijent poprima vrijednosti između  $C_c = 0,2$  i  $0,6$ .

Pojednostavljeni izraz za silu morske struje, kao što je to bilo u slučaju vjetra, nije moguće koristiti zbog velike razlike u koeficijentima otpora kao i razlike u gustoćama vode.

Vrlo značajno istraživanje vezano za što točnije određivanje vrijednosti koeficijenta je već prije spomenuta studija "Predviđanje sila vjetra i struja na vrlo velike brodove za prijevoz sirove nafte".<sup>99</sup> Kako je već naglašeno istraživanje je provedeno na modelima za brodove ukupne nosivosti od 150000 do 500000 tona, a vrijede i sve prethodno spomenute napomene. Posebno su prikazani izrazi za silu morske struje koja djeluje okomito na podvodni lateralni (bočni) dio broda, a posebno za silu morske struje koja djeluje u smjeru uzdužnice tj. na podvodni poprečni (frontalni) dio broda. Isto tako prikazan je i izraz za moment zakretanja broda zbog djelovanja sile morske struje. U konkretnom proračunu prikazano je rezultantno djelovanje sile vjetra i sile morske struje.

Vrlo značajan pristup za praktično određivanje sile morske struje na brod uzimajući u obzir koeficijente otpora morske struje za različite vrste brodova te različite dubine ispod kobilice daje već spomenuti *British Standard Code of Practice*.<sup>100</sup>

Za točnije određivanja sile morske struje u proračune valja ulaziti sa srednjom brzinom morske struje. Ako je poznata brzina struje od površine mora do morskog dna za različite dubine, srednja brzina može se odrediti prema sljedećem izrazu:

<sup>97</sup> Babić L., Pomorski objekti u betonu, Epoha - Redakcija specijalnih izdanja Beograd, Beograd, 1968., str. 112.

<sup>98</sup> Thoresen, C.A., Port Design, Guidelines and Recommendations, Tapir Publishers, Trondheim, Norway, 1988., str. 133.

<sup>99</sup> Prediction of wind and current loads on VLCCs, Oil Companies International Marine Forum (OCIMF), London, 1977., a studiju je izradio Exxon Research and Engineering Co. u suradnji s University of Michigan i Netherlands Ship Model Basin.

<sup>100</sup> Maritime structures, British Standard Code of Practice, Part 1. General criteria, British Standard Institution, 1984.

$$V_c'^2 = 1/T \int_0^T v_c'^2 \cdot ds$$

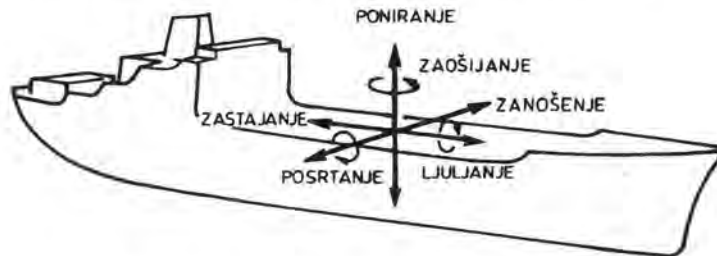
gdje su:

$V_c'$	-	srednja brzina morske struje [m/s]
$v_c'$	-	brzina morske struje na pojedinoj dubini [m/s]
$T$	-	gaz broda [m]
$s$	-	dubina mora mjerena od površine [m]

U slučaju da nije poznat cijeli profil brzine morske struje, može se uzeti u obzir već spomenuta brzina morske struje na polovini gaza ili brzinu odrediti uz pomoć dijagrama faktora ispravaka za razne dubine.

### 7.1.3 Utjecaj valova na brod

Valovi na brod djeluju na način da uzrokuju gibanje broda koje je vrlo složeno i nepravilno. Na gibanje broda u prvom redu utječu valovi, a zatim vjetar i morska struja. Gibanje broda na valovima razmatra se u području pomorstvenosti broda odnosno odziva broda na djelovanje valova. Složeno gibanje broda može se rastaviti u šest temeljnih gibanja od kojih su tri translatorna u smjeru koordinatnih osi, a tri rotacijska oko tih osi.

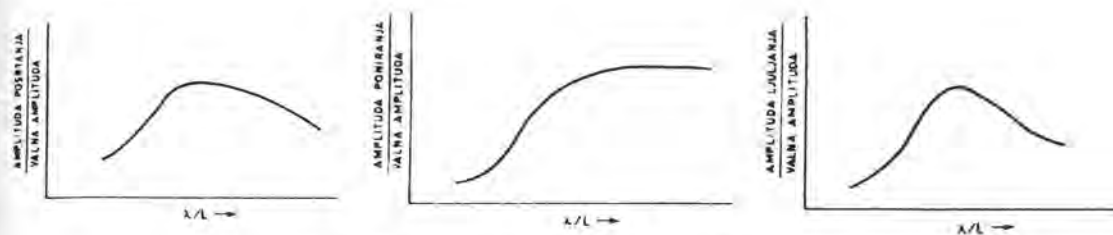


Slika 22 Gibanja broda - šest stupnjeva slobode

U translatorna gibanja ubrajaju se gibanja u smjeru uzdužne osi tzv. zastajanje (engl. *surging*), gibanja u smjeru poprečne osi tzv. zanošenje (engl. *swaying*) i gibanje u smjeru vertikalne osi tzv. poniranje (engl. *heaving*). Rotacijska gibanja su gibanja oko uzdužne osi tzv. ljuljanje (engl. *rolling*), oko poprečne osi tzv. posrtanje (engl. *pitching*) i oko vertikalne osi tzv. zaošijavanje (engl. *yawing*). Svaki od ovih pomaka broda predstavlja poteškoću pri manevriranju. Međutim, kako se pretpostavlja da se manevriranje brodom radi priveza i odveza odvija u lukama ili na terminalima koji su više ili manje zaklonjeni od valova to je ovaj utjecaj daleko manji nego li u plovidbi na otvorenom moru.

Veličina pojedinih gibanja broda osim što ovisi o veličini i smjeru djelovanja vanjskih utjecaja ovisi i o veličini i obliku broda koja pak ovisi o vrsti broda tako da će se odziv različitih brodova razlikovati u istim uvjetima. Sljedeći vrlo važan faktor koji utječe na gibanje broda je period djelovanja vanjskih sila u odnosu na prirodni period odziva broda. Prirodni period odziva većih brodova za normalni sustav priveza iznosi jednu minutu i više. Stoga mali periodi djelovanja vanjskih sila neće utjecati na pomak broda.

Karakteristične krivulje odziva broda u funkciji odnosa amplitude gibanja i amplitude vala te duljine vala naprema duljini broda prikazane su na sljedećim dijagramima.



Slika 23 Karakteristične krivulje odziva broda

Za potrebe ovog rada u kontekstu djelovanja raznih vanjskih sila na brod tijekom manevriranja treba prikazati djelovanje sile valova na translatorno pomicanje broda kao i na zakretanje broda. Sa stanovišta boravka broda na vezu djelovanje valova je vrlo značajno zbog određivanja graničnih vrijednosti dozvoljenih gibanja broda.

Sila valova koji djeluju na lateralnu površinu broda može se prikazati izrazom: <sup>101</sup>

$$F_{val} = C_{val(\varphi)} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_v \cdot g \cdot L \cdot \left( \frac{Hs}{2} \right)^2$$

gdje su:

- $F_{val}$  - sila kojom djeluje val [N]
- $C_{val(\varphi)}$  - iskustveni koeficijent
- $\rho_v$  - gustoća vode [ $\text{kg/m}^3$ ]
- $g$  - gravitacijska konstanta [ $\text{m/s}^2$ ]
- $L$  - duljina broda između okomica [m]
- $Hs$  - signifikantna valna visina [m]

## 7.2 POTREBNA ŠIRINA PLOVNOG PUTA I ODREĐIVANJE POTREBNE DUBINE MORA NA PRILAZNIM PLOVNIM PUTOVIMA I MJESTU PRIVEZA

Dovoljna širina i dubina plovnog puta kao i dovoljna dubina na mjestu priveza temeljni su čimbenici sigurnosti tijekom plovidbe prilaznim područjem te tijekom boravka broda na mjestu priveza.

Načela određivanja potrebne širine plovnog puta već su detaljno prikazane u poglavlju 3, a kako se širina plovnog puta tijekom eksploatacije ne mijenjaju, osim u izvanrednim okolnostima, ovo je veličina s kojom pri plovidbi i manevriranju valja računati ali je na ovom mjestu nije potrebno ponovo posebno analizirati.

Dubina vode na prilaznom području kao i na mjestu priveza vrlo je važan čimbenik sigurnosti pri manevriranju. O standardima potrebne dubine na prilaznim plovnim putovima i mjestu priveza također je razmatrano u poglavlju 3. Međutim, kako se radi o veličini koja za isti brod može biti različita u ovisnosti o trenutnom gazu, trimu ili brzini broda, te ovisi i o trenutnoj dubini koja ovisi o raznim čimbenicima vezanim u prvom redu za plimu i oseku, potrebno se osvrnuti na metodologiju određivanja potrebne dubine za sigurnu plovidbu ili boravak broda na mjestu priveza.

Za određivanje dubine vode na području manevriranja za potrebe praktične primjene može se koristiti izraz:

$$D = T + Z_1 + Z_2 + Z_3$$

gdje su:

- $D$  - minimalna dubina za sigurno manevriranje brodom (za najmanje razine vode);
- $T$  - gaz broda (maksimalni gaz nakrcanog broda) uzimajući u obzir i gustoću vode;

<sup>101</sup> Hensen, H., Tug Use in Port, A Practical Guide, The Nautical Institute, London, London, 1997., str. 77.

- $Z_1$  - neto dubina ispod kobilice (engl. *Net Under Keel Clearance – Net UKC*) koja ovisi o vrsti dna;
- $Z_2$  - vertikalno pomicanje broda (poniranje i uzdizanje na valovima), dodatni zagažaj i promjena trima, promjena razine uslijed promjene atmosferskog pritiska;
- $Z_3$  - zamuljivanje između dva jaružanja, pogreška u jaružanju, pogreška u mjerenju dubine.

Vrijednosti  $Z_1$  i  $Z_2$  zajedno nazivaju se i bruto dubina ispod kobilice (engl. *Gross Under Keel Clearance – Gross UKC*).

Gomji izraz se koristi pri određivanju potrebne dubine nekog plovnog područja pri projektiranju te ga se može vrlo dobro iskoristiti i za određivanje potrebne dubine mora tijekom eksploatacije u konkretnom slučaju. Jasno da u konkretnom slučaju treba uzeti u obzir trenutnu razinu mora zbog plime i oseke i trenutni gaz broda.

Neto dubina ispod kobilice ovisi o vrsti dna, a za mekana (muljevita) dna ova vrijednost iznosi  $Z_1 = 0,3 - 0,5 m$ , za pjeskovita najmanje  $Z_1 = 0,5 m$ , dok za tvrda (stjenovita) dna iznosi najmanje  $Z_1 = 1,0 m$ .

Vertikalno pomicanje broda (poniranje i uzdizanje na valovima) (engl. *heave*) može se približno odrediti u odnosu na visinu vala ( $0,5 \cdot h$ ), a za manje brodove  $2/3$  visine vala. Za velike brodove periodi valova manji od 10 sekundi gotovo da i nemaju utjecaja.

Dodatni zagažaj (engl. *squat*) i promjena trima (engl. *out-of-trim*) javlja se zbog efekta usisa koji nastaje između dna i broda kad se brod kreće u plitkoj vodi. Ovaj efekt postaje značajan kad je dubina manja od dvostrukog gaza. Dodatni zagažaj povećava se s povećanjem duljine broda i brzine kretanja te smanjenjem dubine ispod kobilice UKC i širine kanala.

Promjena razine vode uslijed promjene atmosferskog pritiska približno je jednaka  $0,009 m$  za  $1 hPa$ .

Zamuljivanje između dva jaružanja ovisi o vrsti dna kao i jačini lokalnih struja, a vrijednost se dobiva stalnim praćenjem i mjerenjem dubine u akvatoriju. Pogreška u jaružanju ovisi o tehnologiji kojom se jaružanje izvodi, a pogreška u mjerenju dubine ovisi o tehnologiji mjerenja.

Za različita plovna područja na prilazima pristanima i na samim pristanima, imajući u vidu sigurnost plovidbe, minimalna bruto dubina ispod kobilice trebala bi biti sljedeća:<sup>102</sup>

- 30% maksimalnog gaza broda - za otvorena morska područja te velike brzine broda i područje izloženo valovima;
- 25% maksimalnog gaza broda - za kanale izložene valovima;
- 20% maksimalnog gaza broda - za područja manevriranja i pristajanja izložena valovima;
- 15% maksimalnog gaza broda - za zaštićena područja manevriranja i pristajanja;

Načelno u odnosu na brzinu broda, za plovidbu u kanalu odnos dubine i gaza broda  $D/T$  treba biti  $1,3$  za brzine manje od  $6 \text{ čv}$ , a  $1,5$  za veće brzine.

### 7.3 ODREĐIVANJE UDARNE ENERGIJE I PRILAZNE BRZINE BRODA PRI PRISTAJANJU

Udarne energija broda pri pristajanju jedan je od faktora kome pri manevriranju odnosno određivanju faktora sigurnosti pri manevriranju treba posvetiti posebnu pozornost. Naime, prilikom manevra pristajanja uz obalu postoji opasnost od udara broda o obalu pri čemu može doći do oštećenja broda i/ili obale. Sigurnim manevrom pristajanja smatra se onaj manevr koji neće prouzročiti niti jedno od ovih oštećenja. Da bi se to postiglo poduzimaju se odgovarajuće

<sup>102</sup> Thoresen, C.A., Port Design, Guidelines and Recommendations, Tapir Publishers, Trondheim, Norway, 1988., str.239.



mjere pri projektiranju obala, a s druge strane vrlo važna pretpostavka za izbjegavanje oštećenja je manevriranje na siguran način tj. manevriranje prema određenim pravilima struke.

Različiti utjecaj na manevriranje imaju masivne obale u odnosu na obale lakih konstrukcija. Masivne obale su nepopustljive za razliku od lakih obala koje elastičnim popuštanjem na sebe preuzimaju eventualni udar broda o obalu, a da se pri tome brod ne ošteti.

U svrhu smanjenja utjecaja udara broda o obalu prilikom pristajanja kao i sigurnog boravka broda na vezu između broda i obale postavljaju se elastični umeci tzv. bokobrani različitih izvedbi. No, bez obzira na izvedbu svima je zajednička karakteristika da umanjuju silu direktnog udara broda o obalu. Pritom valja naglasiti da će se na masivnim obalama, koje su nepopustljive, postaviti veći broj bokobrana veće elastičnosti. Za obale lakih konstrukcija nije potreban toliki broj bokobrana jer dio ublažavanja sile udara preuzima sama konstrukcija svojom elastičnošću.

Shodno specifičnim karakteristikama pojedine vrste obale i sama dozvoljena brzina prilaza biti će različita. Brzina prilaza ovisi i o veličini broda ali i trenutnim uvjetima okoliša.

Za razmatranje problematike udara broda o obalu prilikom izvođenja manevra pristajanja vrlo je važno da li brod pristaje vlastitim porivnim strojem ili se manevar pristajanja izvodi uz pomoć tegljača. Razlika proizlazi iz različitosti izvođenja ova dva manevra. Valja naglasiti da se manevar pristajanja kod većih teretnih brodova, čije je manevriranje i osnovna tema ovog rada, najčešće izvodi uz pomoć tegljača. Prilikom pristajanja broda uz pomoć vlastitog porivnog stroja sam manevar izvodi se najčešće na način da brod prilazi obali po određenim oštrim kutom, te se zaustavlja vožnjom krmom i pravovremenim postavljanjem pramčanog springa. Kod manevriranja uz pomoć tegljača brod najčešće prilazi paralelno ili pod vrlo malim kutom prema obali, a kad se dovoljno približi obali, osim uz potiskivanje tegljača privlači se i uz pomoć svojih priveznih konopa. Dakako da je mogućnost udara veća kod pristajanja bez pomoći tegljača. Međutim, bez obzira na ove činjenice danas kad se manevrira vrlo velikim brodovima i uz pomoć velikog broja tegljača uvijek postoji mogućnost udara broda o obalu. Ova opasnost je tim veća ako se zna da ovi brodovi mogu imati masu i do nekoliko stotina tisuća tona.

Brod u svom kretanju razvija određenu kinetičku energiju koja je vrlo važan faktor u određivanju udarne energije broda pri pristajanju. Pri pristajanju brod na bokobrane ne djeluje cjelokupnom kinetičkom energijom, već se dio te energije troši na usputne pojave, pa se postavlja pitanje koliki dio te energije preuzimaju bokobrani. Ovaj proračun je teoretski vrlo složen jer ovisi o velikom broju faktora. Faktori koji utječu na prijenos energije broda na bokobrane mogu se podijeliti u tri grupe:

- utjecaj položaja točke udara u odnosu na težište mase broda, utjecaj zakrivljenosti broskog trupa u točki sudara, utjecaj elastičnosti bokobrana;
- utjecaj otpora vodenog jastuka između broda i masivne obale, utjecaj hidrodinamičke mase i utjecaj elastičnosti brodske konstrukcije;
- utjecaj načina pristajanja.

Valja imati u vidu da su bokobrani dimenzionirani tako da prigušuju dio kinetičke energije broda. Pritom se razmatra samo prvi udar koji je ujedno i najjači. Pretpostavka je da se sljedeći udari događaju kad je bokobran već vraćen u normalno stanje.

Veličina djela energije koju prigušuje bokobran u velikom djelu ovisi o načinu na koji je brod udario u bokobran. U slučaju da do udara dođe u samom težištu broda brod će se odbiti od bokobrana i ostati uspravan. U slučaju da je do udara došlo iznad ili ispod težišta broda brod će se zaljuljati oko svoje horizontalne osi. Ako do udara dođe u horizontalnoj ravnini težišta broda, ali ispred ili iza težišta broda u uzdužnom smjeru, doći će do zaokreta broda oko vertikalne osi kroz težište broda. Za potrebe proračuna u praksi uzima se da je težište nakrcanog broda na polovici duljine broda.

Ukoliko brod pri pristajanju udari istovremeno u više bokobrana energija sudara prenosi se na više bokobrana, a energija koja otpada na jedan bokobran dobije se podjelom ukupne

energije. Bokobrani nisu dimenzionirani za havarijske udare tj. udare velikom brzinom koja nije uobičajena pri pristajanju jer bi to dovelo do vrlo neekonomičnih rješenja, pa ovu činjenicu treba imati svakako u vidu prilikom izvođenja manevra pristajanja odnosno isplovljenja.

Kod laganih obala bokobran štiti obalu, dok kod masivnih obala bokobran u prvom redu štiti brod. Naime kod laganih obala pri udaru broda o obalu može doći do velikih oštećenja, pa i do rušenja obale, dok kod masivnih obala dolazi samo do neznatnog oštećenja ruba obale u blizini točke udara.

Presudnu ulogu u razmatranju problematike udara broda o obalu ima udarna energija koja se pritom javlja. Udarana energija broda pri pristajanju te sila koja se pritom javlja određuje se koristeći jedan od sljedećih pristupa:

- teoretska metoda;
- empirijska metoda;
- statistička metoda;
- matematička metoda.

Da bi se odredila udarna energija broda odnosno energija koju pri pristajanju trebaju prigušiti bokobrani valja najprije definirati kinetičku energiju broda pri kretanju.

Teoretska metoda oslanja se na uobičajeni izraz za određivanje kinetičke energije i može se odrediti prema izrazu:

$$E_{bk} = \frac{1}{2} \cdot Mv \cdot v^2 = \frac{1}{2} (Mb + Mh) \cdot v^2$$

gdje su:

- $E_{bk}$  - kinetička energija broda [kNm];
- $Mv$  - virtualna masa jednaka je deplasmanu broda  $Mb$  zajedno s hidro-dinamičkom masom vode  $Mh$  [t];
- $v$  - brzina broda [m/s].

Sa stanovišta sigurnosti veličina kinetičke energije broda vrlo je značajan čimbenik koji valja uzeti u obzir također i pri sidrenju broda s jednim ili dva sidra, te pri pristajanju broda na jednu ili više plutača. O kinetičkoj energiji broda posebno treba voditi računa pri manevriranju velikih brodova.

Prilikom pristajanja broda uz obalu na sustav bokobrana djeluje samo dio prije prikazane kinetičke energije, tj. djeluje tzv. udarna energija broda koja se može odrediti izrazom:

$$E_{ub} = \frac{1}{2} \cdot Mb \cdot v_0^2 \cdot C_B$$

gdje su:

- $E_{ub}$  - udarna energija broda [kNm];
- $Mb$  - deplasman broda [t];
- $v_0$  - komponenta brzine broda okomita na pristan [m/s];
- $C_B$  - koeficijent pristajanja (engl. *Berthing coefficient*).

Komponenta brzine broda okomita na pristan ovisi o kutu prilaza broda pristanu  $\alpha$  te se određuje po izrazu:

$$v_0 = v \cdot \sin \alpha$$

Prema tome, općenito za bilo koji kut pristajanja, može se koristiti izraz za udarnu energiju broda kako slijedi:

$$E_{ub} = \frac{1}{2} \cdot Mb \cdot (v \cdot \sin \alpha)^2 \cdot C_B$$

Koeficijent pristajanja  $C_B$  sastoji se od više faktora, a može se odrediti izrazom:

$$C_B = C_H \cdot C_E \cdot C_C \cdot C_S$$

gdje su:

- $C_H$  – faktor hidrodinamičke mase;
- $C_E$  – faktor ekscentriciteta;
- $C_C$  – faktor efekta vodenog jastuka;
- $C_S$  – faktor elastičnosti.

Imajući u vidu opseg ovog rada nije potrebno detaljno razmatrati svaki pojedini faktor već će se pri modeliranju upotrebljavati uobičajene vrijednosti.

Koeficijent hidrodinamičke mase vode prema raznim autorima varira od  $0,5 D$  do  $3,6 D$ , ali se preporučuje računati s koeficijentom  $C_H = 1,5$  za odnos dubine vode naprema gazu broda  $1,5$  ili više te koeficijentom  $C_H = 1,8$  kad je taj odnos  $1,1$ .

Faktor ekscentriciteta ovisi o udaljenosti točke udara od težišta broda o kojoj pak ovisi koliki će dio ukupne kinetičke energije broda djelovati na obalu, a koliki će se dio te energije utrošiti na zakretanje broda. Naime, ukupna energija prenijet će se na obalu odnosno bokobrane samo u slučaju ako se brod nasloni na obalu točno u visini svog težišta. Približno se može uzeti da je težište broda na polovini njegove duljine što znači da u slučaju da se broda nasloni na obalu na polovini duljine na obalu djeluje ukupna udarna energija broda. U svim drugim slučajevima na obalu će djelovati samo određeni dio te energije. Kako se najčešće brod najprije naslanja na obalu na približno  $1/4$  njegove duljine, na obalu se prenosi samo polovina ukupne udarne energije broda ( $E' = 1/2 \cdot E$ ;  $C_E = 0,5$ ). Općenito se za standardne manevre pristajanja može se računati kod kontinuiranog sustava bokobrana s koeficijentom  $C_E = 0,5$  do  $0,6$ , a kod pojedinačnih priveznih stupova (utvrđica) s bokobranom  $C_E = 0,7$  do  $0,8$ .

Faktor efekta vodenog jastuka  $C_C$  koji se stvara između broda i obale pri pristajanju ovisi o vrsti konstrukcije pristana pa se za masivne obale uzima  $C_C = 0,8$ , za djelomično pune obale  $C_C = 0,9$ , a za otvorene obale (na pilotima)  $C_C = 1,0$ .

Faktor elastičnosti  $C_S$  ovisi o elastičnoj deformaciji broda i obale. Elastičnost oplata broda je mala pa ona ima minimalni utjecaj na ovaj koeficijent. Elastičnost obale ovisi o vrsti konstrukcije obale te vrsti bokobrana. Kod masivnih obala svu elastičnost ostvaruju bokobrani dok kod obala na pilotima dio elastičnosti ostvaruje i obala svojim elastičnim popuštanjem pri udaru broda. Vrijednost ovog faktora kreće se od  $C_S = 0,9$  za mekani sustav bokobrana do  $C_S = 1,0$  za tvrdi sustav bokobrana. Mekani sustav bokobrana podrazumijeva bokobrane koji se pri udaru broda deformiraju više od  $15$  cm, dok tvrdi sustav bokobrana podrazumijeva deformaciju manju od  $15$  cm.

Kad su razmotreni osnovni utjecajni parametri pri definiranju udarne energije broda treba odrediti i brzinu prilaza obali čiji je utjecaj od velikog značenja pogotovo imajući u vidu da je udarna energija broda proporcionalna kvadratu prilazne brzine.

Brzina broda pri pristajanju koja će zadovoljiti sigurnosne kriterije ovisi o:

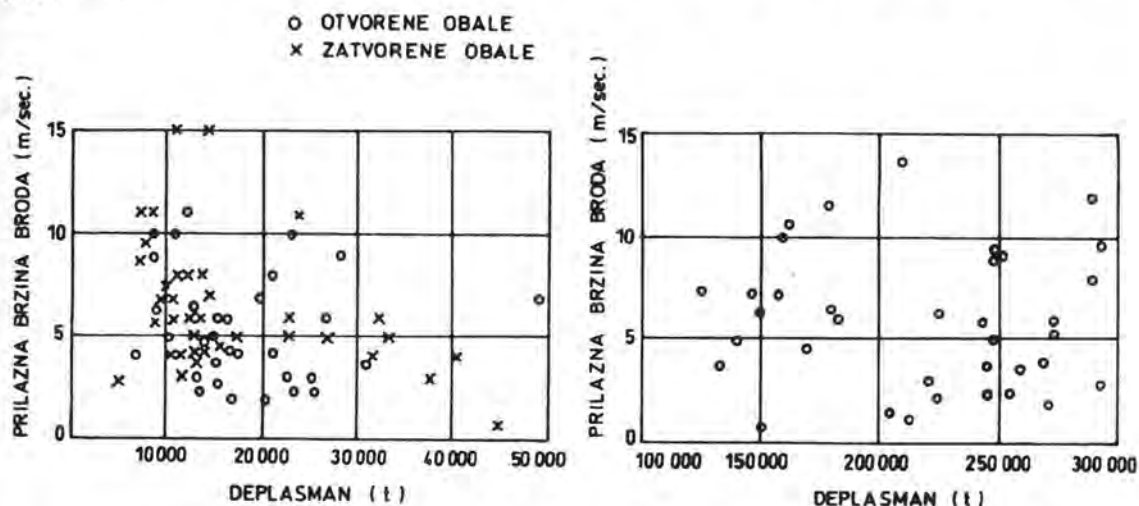
- veličini i vrsti broda;
- načinu kretanja broda tijekom približavanja pristanu;
- frekvenciji dolazaka (povećanje frekvencije dolazaka povećava brzinu prilaza obali pa tako npr. trajekti i ro-ro brodovi često imaju brzine prilaza obali između  $0,4$  i  $1,0$  m/s);
- eventualnom korištenju tegljača;
- brzini vjetrova, brzini morske struje i stanju mora u akvatoriju pristana;
- mogućim drugim ograničenjima u kretanju broda tijekom približavanja pristanu;
- opterećenjima koje može izdržati obala tijekom udara broda o obalu;
- postojanju uređaja za mjerenje brzine prilaza broda obali.

Prema "Engineering Design Principles" brzina prilaza pri pristajanju određuje se samo na temelju deplasmana broda, a predložene su veličine prikazane u tablici.

DEPLASMAN BRODA [t]	BRZINA PRISTAJANJA [m/s]
2.000	0,22
5.000	0,15
10.000	0,13
20.000	0,11
40.000	0,10
100.000	0,09
200.000	0,08

Tablica 18 Brzina prilaza broda obali pri pristajanju

Japanska sekcija PIANC<sup>103</sup> istražila je odnos između deplasmana broda i prilazne brzine broda za velike teretne brodove, a rezultati tih istraživanja prikazani su na priloženim dijagramima.



Slika 24 Odnos između deplasmana broda i prilazne brzine broda (za velike teretne brodove)

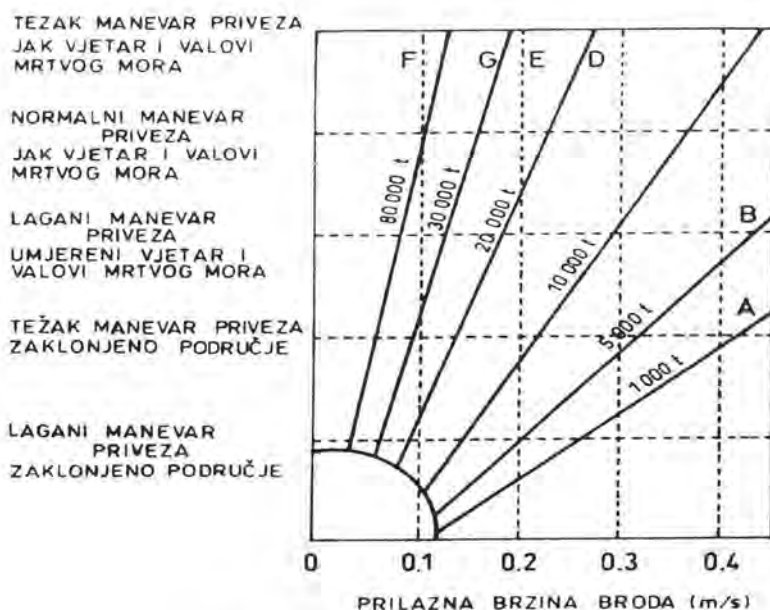
Imajući u vidu sve prije spomenute čimbenike kao i iskustvena saznanja približne brzine prilaza obali ne bi smjele biti veće od:

- Za velike brodove koji pristaju uz asistenciju tegljača
- $v = 0,10$  m/s za vrlo dobre vremenske uvjete
  - $v = 0,15$  m/s u najvećem broju slučajeva
  - $v = 0,25$  m/s za vrlo loše uvjete uz utjecaj vjetera i morskih struja
- Za sve brodove koji pristaju bez asistencije tegljača  $v = 0,20 - 0,25$  m/s

Približne brzine prilaza broda obali moguće je odrediti i iz priloženog dijagrama<sup>104</sup>

<sup>103</sup> Japanese National Section of PIANC, Design of Fender System, 1980.

<sup>104</sup> PIANC Report of the International Commission for Improving the Design of Fender Systems. Supplement to Bulletin No 45 (1984)



Slika 25 Prilazne brzine broda obali

Osim na prije prikazani način energiju broda pri pristajanju (udarna energija broda) može se odrediti empirijskim izrazom u odnosu na deplasman (tzv. Kanadska formula):<sup>105</sup>

$$E_{ub} = \frac{D}{120 + D^{0.5}}$$

gdje su:

- $E_{ub}$  - energija broda pri pristajanju (udarna energija broda) [tm];  
 $D$  - deplasman broda [t].

Ovako dobivena energija koristi se za dimenzioniranje krajnjih bokobrana ili bokobrana na pojedinačnim priveznim mjestima. Za unutrašnje bokobrane ovako dobivenu energiju treba umanjiti za polovicu njene veličine ( $E' = 1/2 \cdot E_{ub}$ ).

Statistička metoda određivanja udarne energije broda bazira se na mjerenju ove energije i kasnijoj statističkoj obradi rezultata. Na ovaj način određena udarna energija broda uključuje čimbenike kao što su brzina pristajanja, hidrodinamička masa vode, faktor ekscentriciteta i sve ostale relevantne faktore. Međutim ovako određene vrijednosti udarne energije broda treba koristiti s osobitom pažnjom za nove pristane, a treba uzeti u obzir i razliku koja se javlja u slučaju pristajanja nakrcanog broda u odnosu na brod u balastu, itd.

Temeljem istraživanja veličine udarne energije broda ovom metodom za pristane umjereno izložene vjetru i valovima te pretpostavivši umjerenu brzinu prilaza može se računati sa sljedećim veličinama:<sup>106</sup>

$E_{ub} = 2,60$  tm za 1000 DWT za najveću silu koja djeluje na bokobran;

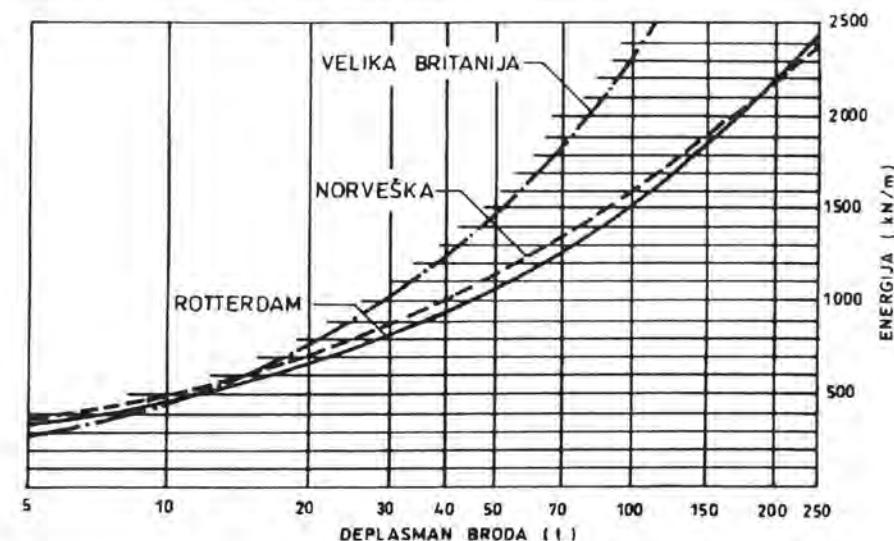
$E_{ub} = 1,55$  tm za 1000 DWT za najveću radnu silu koja djeluje na bokobran.

Za pristane smještene u zaštićenim lukama i pristane gdje se obično vezuju brodovi u balastu može se računati s 5/8 ove energije. Za izložene pristane potrebno je energiju uvećati za 50%.

<sup>105</sup> Giergraf, M. "Practical Aspects of Dock Fender Design" Proceedings of the Twenty-fourth Congress, PIANC, SII-4, Lenjingrad, 1977.

<sup>106</sup> Dent, E.G., Saurin, B.F. "Tanker Terminals – Berthing structures", Symposium on Tanker and Bulk Carriers Terminal, London, Institute of Civil Engineers, 1969.

Usporedba između izmjerenih udarnih energija broda u luci Rotterdam, preporučenim vrijednostima prema "British Code of Practice" i norveškim standardima za uobičajeno zaštićene pristane u funkciji deplasmana broda dana je u priloženom dijagramu. Prema norveškom standardu za obalne građevine ako su izložene jakom vjetru i utjecaju morske struje ili je manevar pristajanja složen treba računati s 50% većom energijom, a za građevine na otvorenom moru udarnu energiju broda treba povećati 100%.



Slika 26 Usporedba izmjerenih udarnih energija broda tijekom pristajanja

Matematička metoda još se razvija, a bazira se na matematičkom modeliranju. Za primjenu ove metode potrebno je razviti matematički model koji bi u potpunosti opisao kretanje broda tijekom manevra prilaza obali i samog priveza. Iz tako postavljenog modela zatim bi trebalo odrediti udarnu energiju broda za različite uvjete.

Osim udarne energije broda pri pristajanju potrebno je razmotriti silu trenja koja se javlja između broda i obale odnosno bokobrana. Silu trenja može se odrediti izrazom:

$$F_t = \mu \cdot P$$

gdje su:

- $F_t$  – sila trenja između broda i bokobrana [kN];
- $\mu$  – koeficijent trenja između broda i bokobrana;
- $P$  – sila udara broda u bokobran [kN].

Koeficijenti trenja su sljedeći:

- $\mu = 0,25$  za trenje između čelika i čelika;
- $\mu = 0,4$  do  $0,6$  za trenje između čelika i drva;
- $\mu = 0,7$  za trenje između čelika i gume.

Dio udarne energije broda prigušuju bokobrani svojom energijom apsorpcije dok se drugi dio energije troši u silu reakcije koju moraju izdržati brod i obala. Stoga je poznavanje udarne energije broda te apsorpcijske energije bokobrana vrlo važno jer o njima ovisi kolika će biti sila reakcije. O veličini sile reakcije i površini na koju se naslonio brod ovisi da li će doći do oštećenja brodskog trupa pri maneuvru pristajanja. Ne postoji jednoznačno određena veličina

dozvoljenog pritiska na trup broda za sve vrste i veličine broda ali se kao gruba aproksimacija mogu uzeti sljedeće vrijednosti:<sup>107</sup>

- brodovi za prijevoz generalnog tereta:		
	$D < 20000 \text{ t}$	400 – 700 kN/m <sup>2</sup>
	$D > 20000 \text{ t}$	300 – 500 kN/m <sup>2</sup>
- brodovi za prijevoz kontejnera:		
	1. i 2. generacije	300 – 500 kN/m <sup>2</sup>
	3. i 4. generacije	200 – 300 kN/m <sup>2</sup>
- tankerí:		
	$D < 60000 \text{ t}$	250 – 350 kN/m <sup>2</sup>
	$D > 60000 \text{ t}$	300 – 400 kN/m <sup>2</sup>
- brodovi za prijevoz rasutih tereta:		150 – 250 kN/m <sup>2</sup>
- brodovi za prijevoz ukapljenih plinova:		150 – 250 kN/m <sup>2</sup>

Osim ovih vrijednosti generalno je pravilo da otpornost trupa broda na udar mora biti najmanje jednaka hidrostatskom pritisku koji djeluje na trup broda.

#### 7.4 ANALIZA DJELOVANJA I KORIŠTENJA SIDRENE I PRIVEZNE OPREME BRODA

Prilikom razmatranja djelovanja privezne opreme broda treba u prvom redu razmotriti djelovanje sidra i sidrenog uređaja te priveznih konopa i priveznih uređaja.

Sidro i sidreni uređaj može se koristiti pri normalnom sidrenju, zaustavljanju broda u izvanrednim okolnostima, manevriranju uz pomoć sidra (okret na sidru, izvlačenje broda s mjesta priveza, namjerno oranje sidra u svrhu kontroliranja kretanja broda, itd.), a sam sidreni lanac može se koristiti i za privez pramca broda.

Tijekom manevriranja većim brodovima korištenje priveznih konopa (springova) i sidra predviđa se samo u izvanrednim okolnostima, dakle da bi se izbjegla ili umanjila štetna posljedica. Naime, tehnologija manevriranja većim brodovima podrazumijeva korištenje dovoljnog broja tegljača te dovođenje broda uz pristan i potom njegovo privezivanje. Ipak valja naglasiti da je korištenje sidra i privezne opreme vrlo značajno pri manevriranju manjim brodovima posebno u pojedinim dijelovima svijeta.

Sidro i sidreni uređaj normalno se koriste pri sidrenju s jednim ili dva sidra. Manevru sidrenja treba posvetiti dužnu pažnju, posebice kad se sidre veći brodovi, jer su sile koje se javljaju u dijelovima sidrenog uređaja vrlo velike, a njihovo prekoračenje može izazvati znatne štete i dovesti u pitanje sigurnost cijelog manevra sidrenja.

Sigurnost broda tijekom boravka broda na mjestu priveza postiže se pravilnim postavljenjem i korištenjem priveznih konopa. Pritom valja uzeti u obzir i određena ograničenja i mogućnosti koja pružaju privezni konopi i cijeli sustav priveza.

Kako bi se pravilno procijenile mogućnosti djelovanja sidra i sidrenog uređaja te priveznih konopa, a sve u svrhu zadovoljavanja kriterija sigurnosti pri manevriranju, a posebice tijekom boravka broda na mjestu priveza, potrebno je ovu problematiku detaljnije razmotriti.

Pri procjeni mogućnosti korištenja sidara i sidrene opreme broda posebno valja imati u vidu da je ta oprema namijenjena, pa prema tome i podesna za redovite postupke sidrenja, a nije projektiranja za djelovanje u izvanrednim okolnostima kao npr. zadnje sredstvo u slučaju kvara

<sup>107</sup> Thoresen, C.A., Port Design, Guidelines and Recommendations, Tapir Publishers, Trondheim, Norway, 1988., str.239.

stroja ispred obale, u oluji ili sredstvo koje daje mogućnost zaustavljanja broda ako se kreće prebrzo bez druge mogućnosti zaustavljanja.

Na osnovu opće prihvaćenih stručnih kriterija pretpostavlja se da će brod ostati na sidru uz ispunjene uvjeta da dno dobro drži, da se sidri u zaštićenim ili poluzaštićenim vodama te pri vjetru do olujne jačine 8 Bf.

Kako je već istaknuto danas se uobičajeno koriste obična patentna sidra, od kojih se najčešće koriste *Halls* i *Byers* te sidra povećane sposobnosti zadržavanja, od kojih se najviše koristi tzv. *Admiralty Cast 14 (AC 14)*.

Za odabir načina sidrenja kao i razumijevanje tehnologije sidrenja od neprocjenjive je važnosti poznavanje vrste sidra na brodu i njegovih obilježja jer je sila zadržavanja za svaku vrstu sidra različita. Maksimalna sila zadržavanja postignuta je u trenutku neposredno prije nego li je sidro počelo orati ali bez smanjenja njegove stabilnosti. Važan pojam je efikasnost zadržavanja sidra  $E_{zs}$  koja predstavlja odnos između sile zadržavanja sidra  $F_z$  i njegove mase  $m_s$ , a određuje se izrazom:

$$E_{zs} = \frac{F_z}{m_s}$$

Sidrenjem, sidro i sidreni lanac suprotstavljaju se rezultantnoj sili koja predstavlja skup svih vanjskih djelovanja na brod, a koja ga nastoji pomaknuti iz njegova trenutnog položaja. Pravilna duljina i težina sidrenog lanca koja zajedno sa sidrom mora izdržati silu  $H$ , na određenoj dubini vode  $h$ , uz aproksimaciju da je težina lanca po dužnom metru njegove horizontalne projekcije  $q$  uvijek jednaka, može se odrediti jednadžbom fleksibilne lančaničice.<sup>108</sup>

U slučaju da je kut  $\alpha_B$  (kut između tangente na sidreni lanac i morskog dna) jednak nuli, vertikalna komponenta sile u škopcu sidra bit će jednaka nuli, dok će duljina sidrenog lanca  $L$  biti jednaka  $L_{opt}$ . Prema tome vrijedi izraz:

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

Kut  $\alpha_B$  treba se kretati između  $3^\circ$  i  $6^\circ$  što znači da će za ovaj uvjet duljina sidrenog lanca biti manja.

Minimalna duljina projekcije sidrenog lanca na morsko dno (za kut  $\alpha_B \leq 6^\circ$ ) može se odrediti prema sljedećem obrascu:

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

Vertikalne komponente sile u sidrenom ždrijelu  $V_A$  i škopcu sidra  $V_B$  su:

$$V_A = H \cdot \operatorname{tg} \alpha_A \quad V_B = H \cdot \operatorname{tg} \alpha_B$$

Sidro je najefikasnije kad na njega djeluje horizontalna sila povlačenja od sidrenog lanca koji leži na morskom dnu. Prema tome cilj koji treba ostvariti je dovoljna duljina ispuštenog sidrenog lanca kako bi se postigao željeni učinak. Ukoliko je ispuštena nedovoljna duljina sidrenog lanca snaga zadržavanja bit će smanjena približno sljedećim odnosima koje valja poznavati za praktičnu primjenu:

<sup>108</sup> Tsinker, G.P., *Floating Ports, Design and Construction Practices*, Gulf Publishing Company, Huston, 1986., str.302.



KUT INKLINACIJE SIDRENOG LANCA NA SIDRU	POSTOTAK OD MAKSIMALNE SILE ZADRŽAVANJA NA SIDRU
5°	80 %
10°	60 %
15°	40 %

Duljina sidrenog lanca koju treba koristiti osim prethodno iznijetih činjenica ovisi i o brojnim čimbenicima kao što su karakteristike zadržavanja sidra, vrijeme boravka broda na sidru, jačina vjetrova, morskih struja, veličine područja u kojem se brod može kretati na sidru, vrsta sidrenog lanca, odnos dubine mora naprema gazu ( $h/T$ ), itd.

Postoje mnoge preporuke za određivanje potrebne duljine ispuštenog sidrenog lanca koje se međusobno više ili manje razlikuju. Prema istraživanju među članovima *Nautical Institute*, duljina ispuštenog lanca u funkciji veličine broda dana je odnosom duljine ispuštenog sidrenog lanca i dubine vode.

VELIČINA BRODA (DWT)	ODNOS ( $L/h$ )	
	NAKRČAN BROD	BROD U BALASTU
20.000-50.000	7	9
50.000-90.000	7	9
> 90.000	6	8

Tablica 19 Duljina ispuštenog lanca za različite veličine brod

Nepravilno izvođenje manevra sidrenja i nedovoljno održavanje sidrene opreme dovodi do mnogih šteta i gubitaka sidara posebno na velikim brodovima što ima za posljedicu velike troškove što dokazuju mnoga istraživanja nastalih šteta od strane klasifikacijskih ustanova, a među njima se posebno ističe *Lloyd's Register of Shipping*.

Iako se kod velikih brodova pri manevriranju ne koristi sidro, velikom broju manjih brodova korištenje sidra pri manevriranju je od neprocjenjive vrijednosti pogotovo kad manevriraju bez asistencije tegljača. Što više, neke manevre bilo bi bez sidra nemoguće izvesti.

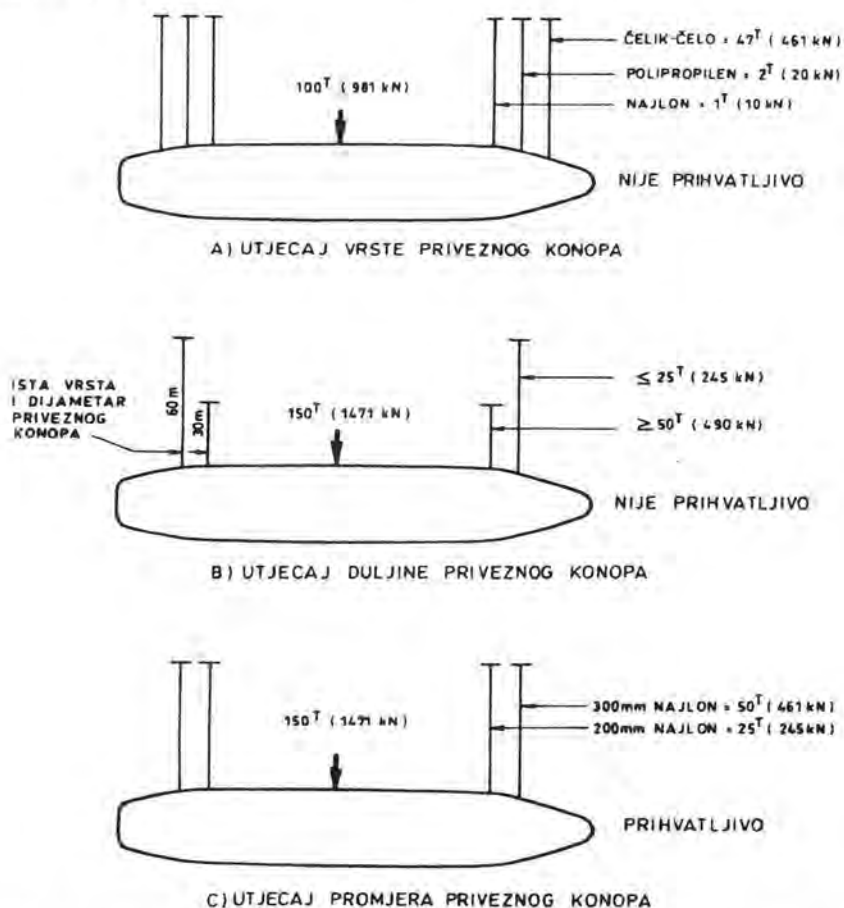
Bez obzira što ponekad nije potrebno koristiti sidro pri manevru pristajanja, potrebno ga je ponekad oboriti kako bi ga se kasnije koristilo pri manevru isplovljenja. Kako će se i gdje obarati sidro ovisi o konkretnoj situaciji i načinu izvođenja pojedinog manevra. Pritom valja naglasiti da se sidro načelno može koristiti na dva načina. Jedan način pretpostavlja obaranje sidra na povoljnoj poziciji i otpuštanje dovoljne duljine sidrenog lanca sa željom da sidro zadrži brod te se na taj način brod zakreće uokolo sidra. Drugi način odnosi se na postupak namjernog oranja sidra i na taj način kontroliranja brzine i zakretanja broda. Međutim, valja naglasiti da su obje vrste manevra vrlo osjetljive te zahtijevaju veliku uvježbanost posade i odgovarajući sidreni uređaj i opremu.

Za manevar oranja jednog ili dva sidra moraju se zadovoljiti određeni uvjeti, a uvijek valja imati u vidu da se s opterećenjima ostane u granicama tehničkih mogućnosti sidrene opreme. Vrsta morskog dna je od najveće važnosti za oranje sidra, a najbolje rezultate se postiže na mekanom mulju. Dno također mora biti bez zapreka kao što su električni kablovi, cjevovodi, stijene, itd. Sidra uobičajeno oru upravo ispod broda, unutar njegove širine pa treba postojati dovoljan UKC da bi se izbjeglo oštećenje trupa broda. Duljina ispuštenog sidrenog lanca u vodi ne treba prelaziti 1,5 dubine mora (pojedini izvori, spominju dvije dubina mora). Naime, ako se ova vrijednost prekorači sidro će se vjerojatno ukopati i početi držati.

Pri određivanju vrste kao i broja priveznih konopa koje treba postaviti na pojedino mjesto na brodu prilikom priveza potrebno je poznavati opterećenja koja ti konopi mogu izdržati. Ako je poznata ukupna sila koja djeluje na brod iz određenog pravca npr. sila djelovanja vjetrova, valova, morskih struja itd. onda se na temelju tog podataka može odrediti raspored i broj priveznih konopa za siguran privez broda, odnosno siguran boravak broda na vezu.

Dva osnovna obilježja priveznih konopa su prekidno opterećenje i rastezljivost pa o ta dva parametra treba voditi računa pri planiranju sustava priveza.

Rastezljivost jednog priveznog konopa ovisi o materijalu od kojeg je izrađen kao i o vrsti izrade te duljini i promjeru konopa. Rastezljivi konopi prigušuju dinamičke sile koje se javljaju na vezu, međutim takav vez omogućava veće pomicanje broda što kod nekih tehnologija prekrcaja nije dopustivo. Rastezljivost je vrlo značajna i u raspodjeli opterećenja po pojedinim priveznim konopima. U tom smislu valja izbjegavati paralelno postavljanje priveznih konopa različite rastezljivosti i iste duljine. Isto tako, ne preporuča se paralelno postavljanje priveznih konopa iste rastezljivosti, a različite duljine. Osnovno je načelo postavljanje priveznih konopa na način da svaki preuzme približno isti postotak svoje prekidne čvrstoće. Prikaz ovih razmatranja dan je na priloženoj slici.

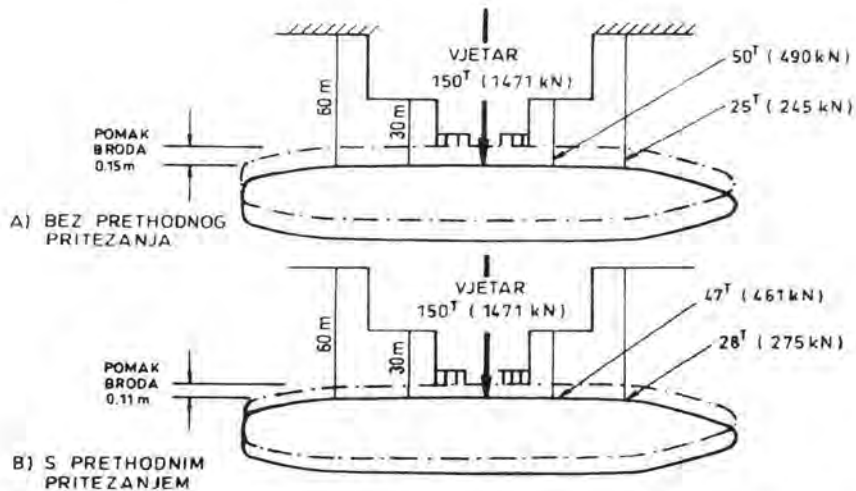


Slika 27 Utjecaj vrste, duljine i promjera priveznog konopa na sposobnost zadržavanja broda

Amplituda gibanja broda na vezu osim što ovisi o vanjskim silama koje djeluju na brod ovisi i o rasporedu priveznih konopa kao i o njihovoj zategnutosti. Prethodna zategnutost priveznih konopa postiže se pritezanjem konopa priteznim vitlom kako bi na konopu bilo prisutno određeno opterećenje prije djelovanja vanjskih sila na brod. Na taj način smanjit će amplitude gibanja broda. Prikaz efekta prethodnog pritezanja priveznog konopa prikazan je na priloženoj slici.

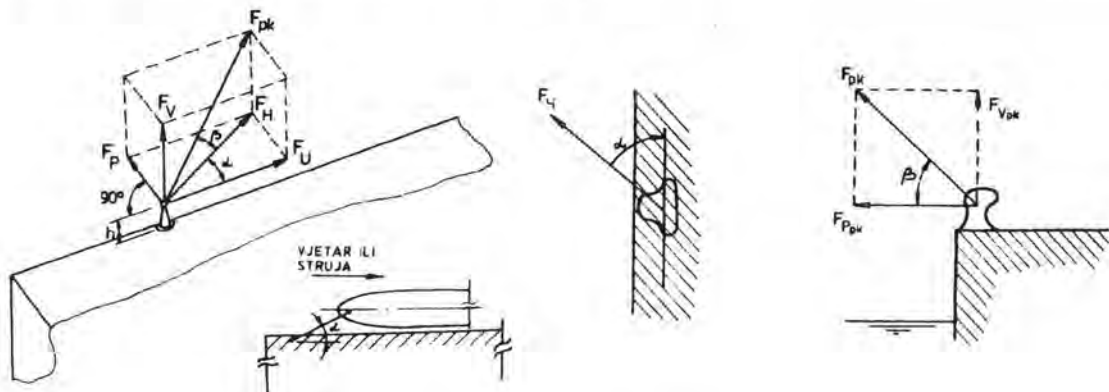
Normalno pritezanje priveznog konopa pri privezu iznosi oko 10% prekidne čvrstoće konopa, dok se pod prethodnim pritezanjem konopa, da bi se smanjile oscilacije broda na vezu, podrazumijeva pritezanje od 20% prekidne čvrstoće.

Privezni konopi kojima se brod priveže ne djeluju pod najpovoljnijim kutovima s toga treba ovaj problem posebno razmotriti kako bi se mogao donijeti zaključak o broju i rasporedu priveznih konopa koji će jamčiti sigurnost broda tijekom boravka na vezu. Uz pomoć rezultata ovih razmatranja biti će moguće prosuditi i granične veličine vanjskih utjecaja naročito utjecaja vjetrova kod kojih će trebati pojačati broj priveznih konopa odnosno pri kojima će trebati napustiti mjesto priveza.



Slika 28 Utjecaj prethodnog pritezanja priveznih konopa na privezani brod

Privezni konopi kojima je brod vezan postavljeni su pod različitim kutovima u odnosu na uzdužnicu broda, kao i pod različitim kutovima s obzirom na horizontalnu ravninu. To je razlog da pri proračunu sila kojima se privezni konopi suprotstavljaju djelovanju vanjskih sila koje djeluju na brod valja proračunavati pojedine komponente. Pritom se proračunavaju veličine poprečnih, uzdužnih i vertikalnih komponenti uz pomoć kojih se određuju stvarne sile kojima je brod vezan promatrajući osnovne smjerove koji se razmatraju. To su u prvom redu smjer okomit na uzdužnicu broda, te smjer paralelan s njom tj. potrebno je proračunati poprečne i uzdužne komponente sila koje se javljaju u priveznim konopima.



Slika 29 Kutovi djelovanja priveznih konopa

Važno je naglasiti da je stvarna sila zadržavanja pojedinog priveznog konopa u poprečnom ili uzdužnom smjeru manja od sile koja se na njemu razvija tijekom priveza. Zanemarivanje ove činjenice može bitno ugroziti sigurnost broda te je pri svakom planiranju priveza treba svakako uzeti u obzir.

## 7.5 ANALIZA DJELOVANJA PORIVNIKA I KORMILA

Silu koju stvaraju brodski porivni vijci određena je snagom glavnog broskog stroja i stupnjem efikasnosti brodskih vijaka. Smjer djelovanja ove sile moguće je mijenjati promjenom položaja kormila pri čemu se u stanovitoj mjeri mijenja i veličina stvorene sile. Zbirno obilježje kretanja broda prouzročeno djelovanjem sila porivnih vijaka, kormila i trupa naziva se manevarskim obilježjima broda i za svaki brod prikazano je na manevarskom dijagramu koji brod mora posjedovati.

Mogućnosti i ograničenja djelovanja pojedinih vrsta porivnika uz položaj točke okretanja broda je od iznimne važnosti za manevaranje brodom. U vrsti i snazi porivnog stroja te samog porivnika ovisi učinkovitost pojedinog manevra.

Porivnik osim sile poriva pri vožnji naprijed ili natrag stvara i dodatne efekte koji mogu pozitivno ili negativno utjecati na ponašanje broda tijekom manevra. Poznavanje ovih učinaka kao i njihovih intenziteta od neprocjenjive je vrijednosti u pripremi i kasnijoj realizaciji željenog manevra. Ove popratne pojave su u prvom redu izboj zbog otpora vode, djelovanje vodenog mlaza na kormilo pri vožnji naprijed ili na svod krmice i trup broda pri vožnji krmom.

Veličinu tih pojedinih sila je vrlo teško točno odrediti u konkretnom slučaju ali se približno mogu odrediti na temelju nominalne snage na osovini (*SHP* – *Shaft horse power*).<sup>109</sup> Sila poriva koja se javlja pri vožnji krmom iznosi približno 50 - 60% sile poriva pri vožnji naprijed. Bočni poriv (izboj) pri vožnji krmom iznosi približno 5 - 10% sile poriva koja se razvija pri vožnji krmom. Sila koja se javlja pri tzv. «*kick ahead*» manevru iznosi približno 45% sile poriva pri vožnji naprijed. Sila poriva u odnosu na nominalnu snagu određuje se približno prema omjeru 100:1 odnosno 100 konjskih snaga na osovini  $\approx 1 t$  ( $100 \text{ SHP} \approx 1 t$ ).

Djelovanjem porivnika uz pravilno korištenje kormila moguće je ostvariti pojedine specifične manevre koji se uspješno mogu koristiti tijekom izvođenja cjelovitog manevra. Pritom valja istaknuti kontrolu broda kad se kreće malom brzinom zbog neučinkovitosti kormila pri takvim brzinama uz pomoć tzv. «*kick ahead*» manevra, zatim okretanje broda djelovanjem kormila, poriva i izboja u odnosu na točku okretanja broda, itd.

Pri manevaranju velikim brodovima uz uporabu tegljača stroj se vrlo rijetko koristi pa prema tome ne dolaze do izražaja prije spomenute popratne pojave. Međutim stroj se koristi u izvanrednim okolnostima ili za zaustavljanje broda prije započinjanja posljednje faze manevra priveza, kao i tijekom prilaza mjestu započinjanja stvarnog manevra.

Djelovanje porivnika u uskoj je vezi i s njihovom vrstom jer je poznato da postoje porivnici alternativne izvedbe. Dakle, osim klasičnih brodskih vijaka s fiksnim usponom koji mogu biti desno okretni ili lijevo okretni postoje i brodovi s više vijaka, vijkom ili vijcima s promjenjivim usponom, vijcima u sapnici, vijcima u okretnim sapnicama, itd. Osim ovih vijaka valja istaknuti i pramčane odnosno krmene porivnike. Kod svih ovih vrsta vijaka potrebno je poznavati njihova obilježja u pogledu njihova djelovanja, a posebno se to odnosi na djelovanje izboja.

Većina brodova ima jedan klasični vijak i jedno kormilo, koji su projektirani u prvom redu za normalnu plovidbu imajući u vidu ekonomičnost. Sa stajališta manevarskih obilježja broda to je vrlo nepovoljno, posebno kad se radi o brodovima koji često plove u ograničenim vodama odnosno koji često manevriraju. U cilju postizanja boljih manevarskih obilježja broda, a istovremeno imajući u vidu ekonomičnost pojedini brodovi opremaju se vijcima ili kormilima drukčijih obilježja od tradicionalnih. Postoje također i brodovi koji su u potpunosti projektirani da zadovolje visoke kriterije manevarskih obilježja te imaju u potpunosti drukčije propulzijske i kormilarske sustave.

Zbog postizanja veće sile poriva na brodovima gdje je to važno ugrađuju se vijci u sapnici. Sa stanovišta manevaranja potrebno je znati da takvi vijci nemaju izboja ili je on zanemariv.

<sup>109</sup> Notes on Shiphandling, Southampton Institute, Warsash Maritime Centre, Southampton, 1997., str. 10.

Takoder, valja naglasiti da je fiksna sapnica projektirana zbog ekonomičnosti za kretanje broda naprijed a ne za vožnju krmom, tako da je sila poriva pri vožnji krmom vrlo slaba. Kako bi se postigle bolje manevarske sposobnosti ugrađuju se sapnice koje mogu rotirati pa služe i kao kormilo, a moguća je i izvedba gdje sapnica rotira zajedno s vijkom te postaje azimutalni porivnik (engl. *azimuth drive*). Mogu se ugrađivati i dvostruke jedinice azimutalnih porivnika. No, valja naglasiti da su ova rješenja česta na tegljačima, a ne na oceanskim brodovima.

Posebnu tehnologiju manevriranja predstavlja manevriranje brodovima s dva vijka, koje ima svoje posebnosti ali manevriranje brodovima čini lakšim i sigurnijim. Pri razmatranju ove vrste manevriranja valja uzeti u obzir međudjelovanje raznih čimbenika koji utječu na učinkovitost izvođenja manevra od kojih su najznačajniji izvedba i položaj kormila, učinak okretnog momenta, smjer vrtnje vijaka odnosno učinak izboja, položaj točke okretaja broda te sposobnost okretanja.

Sa stanovišta manevriranja vrlo je važan odnos između brzine broda i režima rada stroja (stupnja vožnje) jer ovaj odnos utječe na vodeni tok koji pritječe kormilu, a ovaj pak na zakretanje broda. Ako je brzina broda manja od režima rada stroja povećava se poluga zakretanja (točka okretanja broda pomiče se naprijed zbog odnosa otpora i ubrzavanja broda) te se smanjuje krug okretanja. U slučaju da je brzina broda jednaka režimu rada stroja brod će imati uobičajena obilježja upravljanja brodom. Ako je brzina broda veća od režima rada stroja smanjuje se vodeni tok na kormilo i povećava se promjer kruga okretanja. Stoga je vrlo važno ako je ikako moguće održavati malu brzinu broda kako bi se po potrebi mogao ostvariti dodatni poriv, a time i povećani vodeni tok čime će se povećati sila djelovanja kormila.

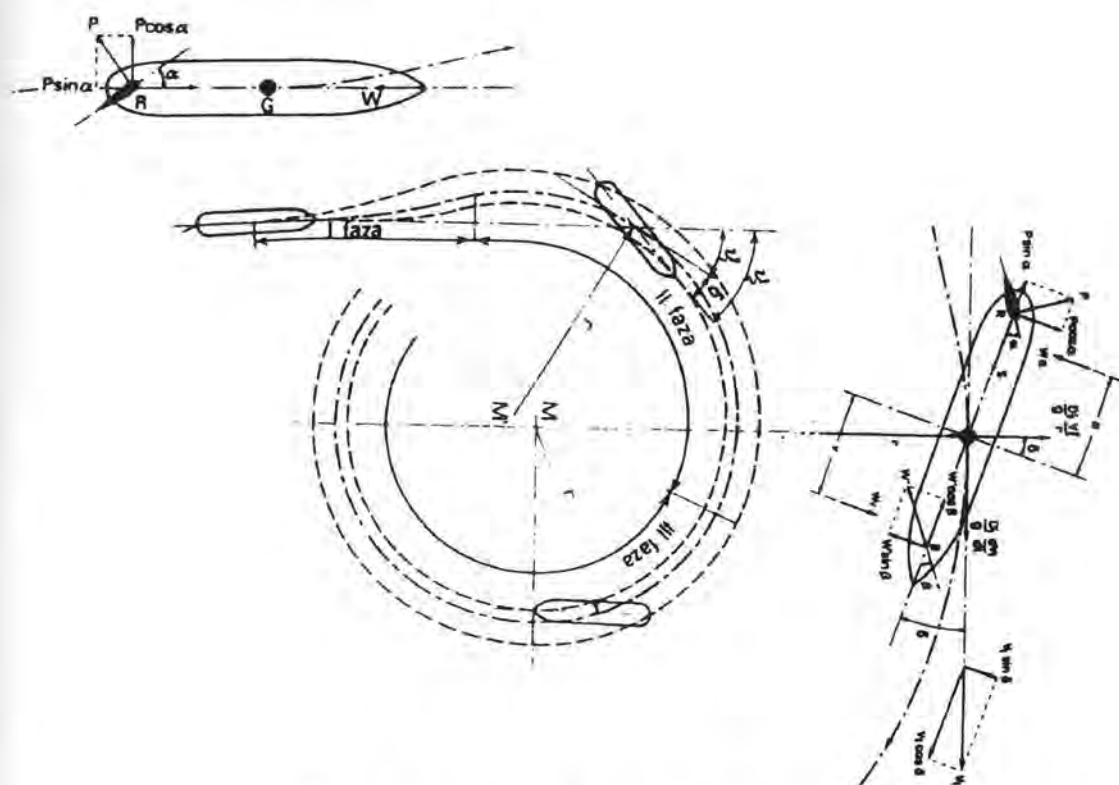
Značajno poboljšanje manevarskih obilježja broda pri lučkom manevriranju ostvaruje se korištenjem pramčanih porivnika. Učinkovitost pramčanog porivnika ovisi o mnogim čimbenicima kao što su njegova vrsta, snaga, položaj, trenutni gaz broda, brzina broda, itd. Peljari su često potpuno pravilno, nepovjerljivi prema mogućnostima pramčanog porivnika, pogotovo ako se zbog njegova postojanja pri manevriranju koristi jedan tegljač manje. Ovo nepovjerenje je jasno imajući u vidu njihovu neučinkovitost zbog starosti, starih električkih ili hidrauličkih rješenja, slabog održavanja, čest ostanak bez energije ili nedovoljna snaga. Pouzdani pramčani porivnici suvremene tehnologiju, jakih i pouzdanih pogonskih jedinica ugrađuju se na suvremene brodove, velike trajekte, istraživačke brodove i druge posebne brodove. Na suvremene brodove često se ugrađuju i krmeni porivnici.

Sposobnost okretanja broda uz sposobnost zaustavljanja najvažnije su osnovne komponente manevriranja brodom, te predstavljaju dio složenog manevra. Stoga je okretanje broda kao osnovnu komponentu manevriranja brodom potrebno detaljnije analizirati kako bi se dobila jasnija predodžba o složenosti manevra okreta broda.

Za usmjeravanje broda, uz poriv i oblik trupa najznačajnije je kormilo kojim se postiže zakretni moment. Kad je kormilo u središnjem položaju, sila otpora broda i porivna sila broskog vijka djeluju u istom pravcu, iako u obrnutom smjeru. Potrebna je neka dodatna sila da brod skrene iz trenutnog kursa. Zakretom kormila stvara se povećani tlak na jednoj strani i smanjeni tlak na suprotnoj strani lista kormila te se stvara uzgon uslijed koga nastaje sila djelovanja kormila. Zakretanjem kormila nastaje na površinu kormila okomita sila  $P$ , koja djeluje izvan ravnine simetrije broda. Ta sila stvara u početnim trenucima bočno pomicanje broda, tj. zanošenje, a zatim postepeno okretanje i nagibanje broda oko svoje uzdužne, vertikalne i poprečne osi. Djelovanjem kormila želi se postići samo okretanje broda oko vertikalne osi, a sva druga skretanja su nepoželjna ali neizbježne posljedice djelovanja kormila. Razmatrajući problematiku okretanja broda, zbog djelovanja kormila, uočavaju se tri karakteristične faze.

Prva je faza vrijeme od trenutka skretanja kormila do trenutka kad se brod počinje okretati. Skretanjem kormila za kut  $\alpha$  nastaje sila kormila. Jedna njezina komponenta,  $P \cdot \sin \alpha$ , nepoželjna je, jer samo povećava otpor broda. Druga komponenta,  $P \cdot \cos \alpha$ , stvara poprečnu silu

na uzdužnu okomitu os broda, uz istovremeni moment  $P \cdot \cos \alpha \cdot RG$  s obzirom na točku trenutačnog okretišta broda. Ta komponenta sa svojim momentom mora, prije početka okretanja broda, svladati moment tromosti brodske mase zajedno s znatnim dijelom vodene mase koja se nalazi neposredno oko brodskoga trupa. Prije nego što svlada moment tromosti mase, djelovanje poprečne komponente odražava se jedino u pomicanju čitavog broda u poprečnom smjeru okomitom na uzdužnicu broda. Pomicanje je izrazitije na krmi nego li na pramcu. Prva faza traje kratko, ali poprečno pomicanje broda, osobito njegove krme, može biti znatno pogotovo kod širokih brodova malog gaza. Prema tome, brod u prvim trenucima neposredno nakon otklanjanja kormila, proizvodi upravo suprotno gibanje od onog željenog. Ovu činjenicu valja tijekom manevriranja imati u vidu kako bi se izbjegle moguće nezgode, npr. bočni udar broda o obalu ili o drugi, paralelno postavljen brod.



Slika 30 Karakteristične faze okretanja broda

Druga faza započinje okretanjem brodskog pramac u željenom smjeru, u trenutku kad moment sile kormila nadvladava moment tromosti brodske mase i dijela vode oko njega. Tijekom druge faze brzina okretanja neprestano raste. Sili kormila pomaže komponenta sile otpora broda, koja prestaje djelovati u uzdužnoj simetrali broda. S porastom brzine okretanja smanjuje se polumjer kruga u kojemu se brod okreće. Brod nastavlja okretanje po krivulji čiji se polumjer zakrivljenosti smanjuje s tim da mu je tijekom okretanja pramac stalno bliže središtu kruga nego krma. Za vrijeme okretanja promatraču se na brodu čini da se brod okreće oko točke okretanja koje se obično nalazi približno na  $\frac{1}{4}$  duljine broda od pramac. Tokom druge faze neprestano se mijenjaju veličine sile i momenata djelovanja kormila te otpora broda.

Treća faza nastupa u trenutku kad se uravnoteže sve sile i momenti i to sile otpora broda, poriva vijka, moment sile kormila, centrifugalna sila brodske mase i sile tromosti mase. Tada se brod započinje okretati konstantnom brzinom u krugu istoga polumjera. Pramc se i dalje kreće po znatno manjem krugu nego krma. Brod se okreće oko točke okretanja broda koja se nalazi

približno na  $1/3$  duljine broda od pramca. Ova faza okretanja broda konstantnom brzinom po konstantnom krugu započinje obično nakon što je brod promijenio kurs za  $100^\circ$  do  $120^\circ$ .

Polumjer kruga okretanja kao i ostali elementi kruga okretanja ovise o formi broda, o površini i smještaju kormila te o brzini broda.

Neželjena posljedica djelovanja kormila odražava se u nagibu broda oko uzdužne osi. Uzrok ovih nagiba je u različitim visinama hvatišta pojedinih sila nastalih prilikom okretanja. Najveći kut nagiba nastaje u drugoj fazi okretanja broda zbog djelovanja centrifugalne sile.

Sa stanovišta manevriranja brodom najslabija obilježja pokazuju upravo tradicionalna i konvencionalna kormila, koja se nalaze na najvećem dijelu brodova u svijetu. Pri plovidbi otvorenim morem osnovna im je zadaća održavanje smjera, dok im je pri manevriranju vrlo važna sposobnost okretanja broda. Dakle kormila trebaju zadovoljiti dva suprotna zahtjeva. Pri velikim brzinama znatne promjene kursa mogu se lako postići otklonom kormila oko  $35^\circ$  (tj. do maksimalnog otklona), međutim pri malim brzinama to nije dovoljno. Klasično kormilo nije hidrodinamički efikasno preko kuta otklona  $35^\circ$  ili u nekim slučajevima  $45^\circ$ . Za svaki kut otklona preko  $45^\circ$ , vodeni tok uokolo kormila, posebno na strani niskog tlaka postaje sve više turbulentan, a kormilo postaje daleko manje učinkovito. Imajući u vidu ova ograničenja, klasično kormilo, tijekom manevriranja pri malim brzinama u ograničenim vodama postaje vrlo neučinkovito. Ovi nedostaci nastoje se poboljšati alternativnim rješenjima kormila kao što su konvencionalno kormilo s dodatkom preklopa (*flapa*) na stražnjem bridu kormila, ugradnjom rotirajućeg cilindra vertikalno na prednji brid kormila, oblikovana kormila (engl. *shaped rudders*) kojima je prednji dio eliptičnog oblika, a prema stražnjem dijelu postaje konkavan uobičajeno se nazivaju "*Single Schilling Rudder*", dva *Schilling* kormila, itd. Osim ovdje spomenutih vrsta postoje i drugi visoko sofisticirani sustavi ali se oni ne upotrebljavaju na brodovima trgovačke flote koji su predmet promatranja ovog rada.

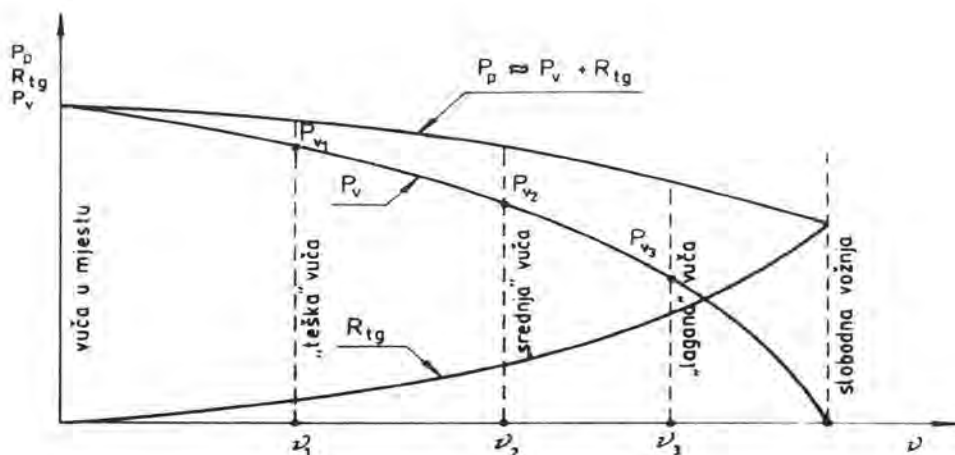
## 7.6 LUČKO TEGLJENJE - INTERAKCIJA BRODA I TEGLJAČA

Sa stanovišta učinkovitosti lučkog tegljenja kao i sigurnosti tijekom izvođenja manevra interakcija između broda i tegljača je od iznimnog značenja. Upravo željenom interakcijom postiže se željeni utjecaj odnosno nadzor nad željenim kretanjem i pozicioniranjem broda.

Razmatrajući interakciju broda i tegljača tijekom operacije tegljenja odnosno učinkovitost pri tegljenju valja poći od dinamičke jednadžbe kretanja sustava tegljač-brod. Kako bi se postavila dinamička jednadžba kretanja pri tegljenju treba uzeti u obzir sve aktivne i pasivne sile koje djeluju na sustav u pravcu kretanja. Sile koje se pritom razmatraju su porivna sila broda tegljača ( $F_p$ ), otpor tegljača ( $R_t$ ), otpor tegljenog broda ( $R_b$ ), sila inercije tegljača i sila inercije tegljenog broda. Sile poriva i težine tegljenog broda ne uzimaju se u obzir jer u ovom slučaju djeluju u pravcu kretanja. Otpor tegljenog broda približno je jednak sili vuče ( $F_v$ ) koja se javlja u teglenom konopu, tako da između ove dvije sile postoji korelacija. Ove dvije sile nisu jednake jer tegleni konop zatvara određeni kut u odnosu na horizontalnu ravninu, a također ni sam tegleni konop ne predstavlja pravac.

Otpor broda jednak je sili vuče na kuki pod uvjetom da je horizontalni i vertikalni kut djelovanja teglenog konopa jednak nuli. U tom slučaju  $F_v = R_b$ . Međutim u praksi lučkog tegljenja redovito se javljaju horizontalni i vertikalni kutovi različiti od nule što bitno utječe na silu u teglenom konopu, a djelomično i učinkovitost tegljenja. Ako se brod ne kreće u smjeru svoje uzdužnice povećava se i otpor broda koji direktno utječe na povećanje potrebne sile propulzije.

Proračun vučne sile tegljača  $F_v$  izvodi se najtočnije dinamometrijskim ispitivanjima pri različitim režimima rada glavnog stroja. Na osnovu takvih ispitivanja izrađuje se tzv. dijagram vuče, a jedan takav dijagram za tegljač s vijkom prikazan je na priloženoj slici.



Slika 31 Dijagram vuče tegljača

Vučna sila tegljača na kuki uz manevarske sposobnosti tegljača najvažniji su čimbenici koji određuju učinkovitost korištenja tegljača. Načelno, učinkovitost tegljača određena je njegovom sposobnošću da prenese silu sukladno sljedećem izrazu:

$$m \cdot \Delta v = \int Fp dt$$

gdje je  $m$  ukupna masa,  $\Delta v$  promjena brzine,  $Fp$  porivna sila, a  $dt$  diferencijal vremena. Iz izraza proizlazi da je ostvareno kretanje isključivo posljedica porivne sile i sposobnosti porivnog stroja da tu silu stvara određeno vrijeme.

Izbor broja tegljača koji će sudjelovati u manevriranju brodom određen je pored ukupne sile vuče tegljača i sukladno manevarskim obilježjima tegljača, vrsti i veličini broda i njegovim manevarskim obilježjima, obilježjima prilaznog područja, izloženošću i vrsti pristana, trenutnim meteorološkim i oceanografskim uvjetima te složenosti samog manevra. Broj tegljača za manevriranje brodovima neuobičajenih svojstava potrebno je odrediti od slučaja do slučaja.

Način korištenja tegljača pri manevriranju brodom ovisi i o području Svijeta (peljarskom okrugu) u kojem se manevar izvodi, pa iako se ne može govoriti o jedinstvenom načinu manevriranja i korištenja tegljača u cijelom Svijetu mogu se istaknuti sljedeći osnovni čimbenici:

- vrsta broda kojem se asistira;
- broj brodova koji manevriraju u istom akvatoriju;
- uvjeti okoliša (meteorološki i oceanografski);
- navigacijska ograničenja;
- veličina i vrsta dostupnih tegljača;
- fiskalna politika;
- uobičajena povijesna i tradicijska iskustva;
- nivo iskustva svih osoba uključenih u operacije.

Valja istaknuti da je sila koju ostvaruje brod svojim porivnicima dovoljna za upravljanje kretanjem broda u približno uzdužnom smjeru, a zanemarivo mala u slučaju potrebe bočnog kretanja ili pružanja otpora bočnom djelovanju vanjskih sila, npr. vjetera. U tom slučaju velik je doprinos koji se ostvaruje djelovanjem lučkih tegljača. Pri korištenju lučkih tegljača valja razlikovati nekoliko bitnih čimbenika i to:

- ukupnu porivnu silu tegljača odnosno ukupnu snagu tegljača;
- broj tegljača;
- manevarska obilježja tegljača.



Valja razlikovati dvije osnovne situacije: slučaj pri kojem se porivna sila tegljača koristi za postavljanje broda na željeni položaj pri čemu nema vanjskih utjecaja i slučaju pri kojem porivna sila tegljača mora, pored inercije mase broda, savladati i druge vanjske sile.

U slučaju kad na brod djeluju vanjske sile tada vučna sila jednog ili više tegljača  $F_v$  kroz određeno razdoblje mora biti veća od vanjske sile  $F_o$  u istom vremenu:

$$\int_{t_1}^{t_2} F_v(t) dt > \int_{t_1}^{t_2} F_o(t) dt$$

Kada na brod i tegljač ne djeluju vanjske sile tada je, prema prethodno navedenom izrazu, moguće postaviti brod u željeni položaj i s tegljačem ili tegljačima manje snage uz postizanje manje brzine kretanja uz razmjerno dulje vrijeme potiskivanja ili tegljenja.

Naravno, zbog praktičnih razloga (obavljanja manevra u razumnom vremenu prikladnom lučkim djelatnostima) u praksi se primjenjuje stanoviti iskustveni razmjer između potisne sile i ukupne mase tegljenog ili potiskivanog broda. U stanovitoj manjoj mjeri poteškoću može predstavljati zaustavljanje kretanja broda odnosno oduzimanje njegove inercije (kinetička energija velikih brodova prije započinjanja manevra priveza može biti vrlo velika). Postavljanjem velikih i teških brodova prije započinjanja manevra priveza u prikladan položaj te pažljivim i pravovremenim korištenjem tegljača ovo praktično nikad ne predstavlja veću poteškoću.

Pri određivanju ukupno potrebne sile vuče tijekom manevriranja određenim brodom valja naročito uzeti u obzir sljedeće pretpostavke:

- da li je brod opremljen pramčanim porivnikom;
- osnovne sile koje djeluju na brod su sila vjetrova i sila morske struje (pri proračunu sile vjetrova treba uzeti u obzir i faktor mahovitosti vjetrova  $1,2$ );
- potrebna sila za učinkovito pomicanje i kontrolu kretanja broda nasuprot djelovanju sile vjetrova i morskih struja mora biti približno  $30\%$  veća od sile koja je potrebna za zadržavanje broda na mjestu uslijed djelovanja ovih sila.

Imajući u vidu ove pretpostavke, ukupno potrebna vučna sila za sigurno izvođenje manevra može se odrediti po sljedećem obrascu:

$$F_v = f_s \cdot F_u$$

gdje su:

- |       |   |                                       |
|-------|---|---------------------------------------|
| $F_v$ | - | ukupna sila vuče [kN]                 |
| $f_s$ | - | faktor sigurnosti                     |
| $F_u$ | - | ukupna sila koja djeluje na brod [kN] |

Zbog neujednačenog djelovanja tegljača kad se manevar izvodi s više tegljača, u ovisnosti o načinu proračuna vučne sile, te željenog stupnja sigurnosti preporuča se računati s faktorom sigurnosti od  $1,3$  do  $1,5$ .

Tijekom manevra poželjno je koristiti više tegljača jer je time omogućeno njihovo brzo i učinkovito korištenje na različitim položajima uokolo broda. Međutim, valja naglasiti da prevelik broj tegljača smanjuje njihovu ukupnu učinkovitost imajući u vidu raspoloživi prostor za manevriranje odnosno mogućnost otežavanja međusobnog kretanja i djelovanja.

Prilikom odabira vrste tegljača, mjesta njihova prihvata, njihova načina djelovanja potrebno je imati u vidu interakciju između broda i tegljača u skladu s mogućnostima i ograničenjima pojedine vrste tegljača. Imajući u vidu postojeću praksu u svijetu, najveću važnost u operacijama lučkog tegljenja imaju vrste tegljača kao što su klasični tegljači, tegljači s vijcima u okretnim sapnicama na krmi, obrnuti – traktor tegljači, kombinirani tegljači i tegljači s porivom na pramčanom dijelu kao što su tegljači s cikloidnim propulzorima ili s vijcima u

okretnim sapnicama, tzv. traktor tegljači. Posebno valja razmotriti mogućnosti i ograničenja ovih vrsta tegljača koji se koriste za praćenje broda na plovnom putu (engl. *escort tugs*).

Na učinkovitost tegljenja bitno utječu horizontalni i vertikalni kut djelovanja teglenog konopa. Utjecaj horizontalnog i vertikalnog kuta na horizontalnu komponentu sile povlačenja očituje se u proporcionalnom povećanju sile u teglenom konopu s porastom kuta, ali ne i u smanjenju sile vuče. Učinkovitost tegljenja ovisi o kutu pod kojim djeluje tegleno užo na način da znatno utječe na manevarabilnost tegljača odnosno mogućnost održavanja smjera kao i na njegovu sigurnost sa stanovišta stabilnosti. Ova činjenica u prvom redu se odnosi na horizontalni kut između teglenog konopa i uzdužnice tegljača. Sila vuče koju proizvodi tegljač odnosno njena horizontalna komponenta ne ovisi o vertikalnom kutu. Međutim, valja naglasiti da veliki vertikalni kut može indirektno negativno utjecati na silu vuče, posebno kod tegljača s porivom na krmu, zbog tendencije podizanja krme tegljača pa se nastoji da taj kut bude što manji. Smanjivanje vertikalnog kuta postiže se dovoljnom duljinom teglenog užeta.

Žele li se u potpunosti razmotriti utjecajni čimbenici na učinkovitost manevriranja brodom valja razmotriti i utjecaj stabilnosti broda na manevriranje. Ovu problematiku valja sagledati iz dva aspekta i to: utjecaj stabilnosti na manevriranje brodom i utjecaj manevriranja brodom na sigurnost broda u pogledu stabilnosti. No imajući u vidu opseg ovog rada ovo područje neće se posebno razmatrati.

Osim vrlo važne učinkovitosti djelovanja tegljača na tegleni brod koja je osnovni čimbenik koji definira tijek manevra vrlo je važna i sigurnost samog tegljača pri manevriranju. Provedenim istraživanjima nezgoda tegljača koje su imale za posljedicu ljudske žrtve uvida se da je u svim akcidentima osnovni uzrok interakcija tegljenog broda i samog tegljača. Dok su dimenzije brodova rasle enormnom brzinom tegljači su ostali relativno mali. Rasla je snaga, a vrsta propulzije je promijenjena. Veći brodovi u istim lučkim akvatorijima imali su manje okolnog vodenog prostora te nije bilo poželjno da rastu dimenzije tegljača. Sigurnost tegljača pri tegljenju usko je povezana s njegovom stabilnošću.

Najznačajniji čimbenici koji utječu na vrstu i način djelovanja tegljača su vrste luke i prilaza, uvjeti u okolišu, vrsta i veličina broda kojemu se asistira, servis koji se zahtijeva osim manevriranja u lukama i brodogradilištima kao što su tegljenje *offshore* jedinica, tegljenje barži, plovnih dizalica, gašenje požara i kontrola onečišćenja, itd.

Čimbenici koju utječu na metodu tegljenja koja će se primjenjivati u određenom slučaju ovisi o postavi luke, pristana ili terminala, vrsti i veličini broda, uvjetima u okolišu, navigacijskoj složenosti prilaznog plovnog puta (rijeke, kanali, prilaz luci), prolazu ispod mostova ili kroz dokove, tradiciji, iskustvu te zahtjevima sigurnosti u pojedinoj luci.

Vrsta asistencije tegljača koja se zahtijeva ovisit će o:

- brodu – vrsti, veličini, gazu, odnosu duljine/širine, stanju nakrcanosti, površini izloženoj vjetru i morskoj struji te manevarabilnosti;
- vezu i akvatoriju za manevriranje – vrsta i veličina veza, postava (smjer), prostornost mjesta priveza, manevarski prostor oko veza, veličina kruga okretanja, dubina mora, utjecaj vjetra, morskih struja i valova, raspoloživost privezivačkih brodica;
- trajektoriji plovidbe – širina, duljina, dubina, veličina zavoja na plovnom putu, maksimalno dozvoljena brzina, pomorski promet koji se očekuje, prolaz kraj privezanih brodova, utjecaj struja, vjetra, valova, plitke vode, sprudova, itd.

Tegljači se uobičajeno mogu koristiti za asistenciju tijekom priveza ili odveza ili tijekom plovidbe prema i od mjesta priveza. Najveća razlika u načinu djelovanja tijekom manevriranja javlja se zbog različitih brzina broda.

Tegljači koji asistiraju tijekom plovidbe trebaju biti učinkoviti pri brzinama između 3 i 6 čv, a često i do 10 čv te omogućiti brodu upravljivost i kontrolu brzine kao i kompenzirati utjecaj vjetra i morske struje tijekom plovidbe dok brod još ima određenu brzinu.

Kad se tegljači koriste pretežno za manevre priveza i odveza asistencija tegljača može obuhvatiti:

- fazu prilaza bazenu za okretanje;
- okretanje broda u bazenu za okretanje;
- operacije priveza i odveza.

Tijekom manevra priveza i odveza uz pomoć tegljača valja kontrolirati transverzalnu brzinu broda prema vezu i kompenzirati utjecaj vjetera i morske struje tijekom priveza i odveza. U tim slučajevima je brzina broda vrlo mala ili 0 pa tegljači trebaju u potpunosti kontrolirati pomake broda u željenom smjeru kao i odupiranje djelovanju vanjskih sila.

Jasno je da su ovdje prikazane sposobnosti pojednostavljene i da je svaki manevar specifičan te se može sastojati od više elemenata koji mogu djelovati interaktivno.

Valja naglasiti da je pri brzinama 3-6 čv utjecaj vjetera, valova i struja na brod značajna, brod ima veći kut zanosa, a sposobnost kormilarenja je umanjena dok je pri brzini broda većoj od 6 čv učinkovito djelovanje tegljača vrlo upitno.

Postoje različiti načini asistencije tegljača u različitim dijelovima svijeta koji se mogu bitno razlikovati u ovisnosti o lokalnim uvjetima. Međutim, može se reći da postoje dvije osnovne metode tegljenja i to:

- povlačenje broda na teglenom konopu,
- djelovanje tegljača na boku broda.

U prvom slučaju povlačenja na teglenom konopu može se izvoditi povlačenjem na pramcu ili krmu. Pritom tegleni konop treba biti duljine najmanje 1,5 duljine tegljača. Ovaj način tegljenja najčešće se prakticira u Europi.

U drugom slučaju djelovanja tegljača na boku broda tegljač može biti privezan s jednim užetom pri metodi potiskivanja-povlačenja (*push-pull*) ili s 1, 2 ili 3 užeta pri tegljenju uz bok. Ove metode najčešće se koriste u području USA i zapadnog Pacifika.

Metode koje se najčešće koriste razmatrajući svjetska iskustva, pretpostavivši da se koriste dva tegljača, su sljedeće:

- tegljači uz bok tijekom prilaza mjestu priveza te potiskuju ili potiskuju/povlače tijekom priveza;
- pramčani tegljač uz bok, krmeni na teglenom konopu tijekom prilaza, a potiskuje/povlači tijekom pristajanja i priveza;
- tegljači na teglenom konopu na pramcu i krmu tijekom prilaza i tijekom priveza;
- tegljači povlače na teglenom konopu tijekom prilaza, a potiskuju/povlače tijekom pristajanja;
- kombinacija ovih metoda tegljenja.

Metoda tegljenja na teglenom konopu može biti direktna ili indirektna. Kod direktne metode, sila vuče se ostvaruje neposrednim djelovanjem sile poriva tegljača dok se kod indirektno metode tegljenja sila vuče ostvaruje otporom podvodnog dijela tegljača, a sila poriva se koristi samo za postavljanje tegljača u prikladan položaj za ostvarivanje ove metode. Valja naglasiti da se ovaj način tegljenja može ostvariti samo kad se tegleni brod kreće.

Koja će se metoda koristiti u konkretnom slučaju ovisi o mnogim čimbenicima kao što su složenost manevra, veličina broda te vrsta tegljača koji se koriste. Osobito je važan odnos između vrste tegljača i metode asistiranja koja se primjenjuje.

Konvencionalni tegljači pogodni su za prihvat broda i tegljenje na pramcu, dok su «obrnuti» tegljači bolji na krmu ili za operacije «potiskivanja-povlačenja». Kad djeluju indirektno nešto su lošiji od «traktor» tegljača. Jednostavno prelaze s vuče na potiskivanje, a pogodni su i za djelovanje na boku broda.

Posebno područje u razmatranju sustava manevriranja predstavlja manevriranje uz pomoć tegljača u ledu, međutim imajući u vidu opseg ovog rada ovaj problem neće se posebno

razmatrati. Osim načina korištenja tegljača u ledu vrlo je važan i odabir vrste tegljača koji mogu osigurati dovoljan stupanj pouzdanosti za izvođenje operacija tegljenja u uvjetima leda.

Djelovanje tegljača na tegljeni brod bit će različito u ovisnosti o tome da li je brod zaustavljen ili se kreće naprijed ili natrag. Također, djelovanje tegljača ovisi o tome da li se brod tegli na teglenom konopu ili djeluje uz bok broda. Pritom se u ovim načelnim razmatranjima pretpostavlja da je brod na ravnoj kobilici, u dubokoj vodi, bez vjetera, utjecaja struja ili morskih mijena te nije pod utjecajem drugih čimbenika ili sila osim pod djelovanjem sile vuče tegljača prihvaćenim na pramcu i krmu broda.

Prikazane značajke u korištenju tegljača tijekom manevriranja su načelna i ne mogu se koristiti direktno u pojedinim praktičnim situacijama ali su vrlo korisna pri promišljanju manevra u konkretnoj situaciji. Pojedini načini rada tegljača se u nekim dijelovima svijeta razlikuju pa nije moguće dati generalna pravila, međutim ova razmatranja mogu poslužiti kao koristan pristup problemu i razumijevanju pojedinog načina rada. Imajući u vidu ova saznanja, te njihovom primjenom u praktičnom radu kao i izučavanju ovih zakonitosti u istraživanjima, moguće je sigurnost tijekom manevriranja brodom podići na daleko višu razinu.

Za učinkovito korištenje tegljača vrlo je važno pozicionirati tegljače u ispravan položaj, a da bi se to postiglo potrebno je znati sljedeće:

- koji je željeni pomak i/ili manevar broda;
- da li će se brod pretežno kretati naprijed, natrag, bočno ili će biti zaustavljen;
- gdje se nalazi točka okretanja broda;
- gdje će biti prihvaćeni tegljači u odnosu na točku okretanja broda;
- koja vrsta tegljača se koristi.

U ovom razmatranju najznačajnija je interakcija između položaja tegljača i točke okretanja broda o čemu posebno treba voditi računa pri planiranju izvođenja željenog manevra.

U mnogim lukama svijeta flota tegljača sastoji se od više vrsta tegljača, a vrlo često i većine konvencionalnih tegljača uz samo manji broj suvremenih tegljača. Stoga je za peljare i zapovjednike brodova nužno da poznaju djelovanje i mogućnosti obje vrste tegljača. Cijela flota sa suvremenim tegljačima je rijetkost zbog visokih kapitalnih troškova, posebne izobrazbe zapovjednika, itd.

Pri korištenju dvaju ili više tegljača tijekom manevriranja brodom, ako oni nisu svi jednakih karakteristika potrebno je posebnu pozornost posvetiti njihovom rasporedu uokolo broda. Pritom treba tegljače postaviti tako da bi se maksimalno iskoristile prednosti pojedine vrste tegljača, a da bi njihove eventualne manjkavosti imale što manji utjecaj na manevriranje brodom. Pri razmatranju problema određivanja snage i broja tegljača valja imati na umu da se vučna sila ne može postići odmah kao i to da smjer djelovanja nije moguće odmah promijeniti, a ove karakteristike ovise i o brzini kretanja sustava brod-tegljači kroz vodu.

Načelno, tegljače s cikloidnim propelerima ili okretnim porivnicima valja dati prednost pri njihovom postavljanju na pramcu i krmu broda dok tegljačima s vijkom u sapnici treba dati prednost pri dugotrajnijem potiskivanju ili tegljenju po bokovima broda. Također, tegljače s vijcima u sapnici ili okretnim porivnicima smještenim na krmu tegljača valja dati prednost u slučaju potiskivanja broda. Tegljačima s okretnim propelerima na pramčanom dijelu broda ili s cikloidnim propelerima prednost valja dati pri tegljenju ili okretanju broda korištenjem duljih teglenih konopa.

Za lučke tegljače s klasičnim porivom karakteristično vrijeme i ograničenja su sljedeća:

- ograničenje u pogledu maksimalne brzine tijekom prihvata teglenog užeta i mogućeg pružanja asistencije brodu je 6 čv;
- vrijeme za prihvaćanje i privezivanje teglenog užeta je 8 minuta;
- vrijeme za otpuštanje teglenog užeta je 30 sekundi;
- vrijeme potrebno za postizanje pune sile povlačenja 2 minute;
- vrijeme potrebno za promjenu smjera povlačenja za 45° iznosi 45 sekundi.

Za traktor tegljače ili ASD tegljače ovo vrijeme je daleko kraće, a ograničenja manja.

Temeljem raščlambe uputa o korištenju tegljača u sjevernoeuropskim lukama,<sup>110</sup> približno istih prostornih i meteorološko-oceanografskih obilježja, dolazi se do broja tegljača koje se preporuča koristiti pri manevru.

DEPLASMAN BRODA [t]	UKUPNA PORIVNA SILA [kN]	BROJ TEGLJAČA
15.000 – 30.000	400 – 600	2
30.000 – 60.000	600 – 800	2 – 3
60.000 – 120.000	800 – 1.000	3 – 4
120.000 – 160.000	900 – 1.100	4
160.000 – 200.000	1.000 – 1.300	4 – 5
200.000 – 250.000	1.200 – 1.400	4 – 6
250.000 – 300.000	1.300 – 1.500	5 – 6

Tablica 20 Ovisnost broja tegljača i njihove porivne sile o veličini broda

U tablici predloženog broja i ukupne porivne sile tegljača pretpostavlja se korištenje tegljača kojima se bitno ne razlikuju porivna sila i manevarske osobine te mjesta priveza koji ne iziskuju posebno složene manevre.

Potrebna broj tegljača može se približno odrediti i koristeći iskustveni izraz:

$$F_T = INT \left( \frac{F_V + \frac{DWT}{300} + 750}{F_g} + 0,5 \right)$$

U prethodnom izrazu  $F_T$  je najmanji broj tegljača,  $F_V$  sila vjetra u kN,  $DWT$  ukupna nosivost broda, a  $F_g$  prosječna vučna sila tegljača.

#### 7.7 OPĆE MJERE SIGURNOSTI TIJEKOM MANEVRIRANJA I BORAVKA BRODA NA MJESTU PRIVEZA

Postizanje zadovoljavajućeg stupnja sigurnosti tijekom manevriranja i boravka broda na mjestu priveza postiže se određivanjem ograničenja te unapređenjem opremljenosti prilaznog plovnog puta u svim segmentima kao i samog mjesta priveza, a i ostalim organizacijskim mjerama sigurnosti.

Određivanje maksimalno prihvatljivih brzina vjetra, morskih struja, visina valova i drugih vanjskih utjecaja tijekom manevriranja i boravka broda na mjestu priveza vrlo je složeno pitanje jer ono ovisi o njihovoj međusobnoj interakciji. Osim toga granične brzine ovise o vrsti i veličini broda, tegljačima, zaštićenosti mjesta priveza, itd.

Osim određivanja graničnih vrijednosti značajan faktor sigurnosti predstavlja opremljenost pristana odnosno terminala, prilaznog plovnog puta kao i mjere za povećanje stupnja sigurnosti tijekom manevriranja i boravka broda na mjestu priveza.

Unapređenje sigurnosti tijekom plovidbe prilaznim područjem i manevriranjem u akvatoriju mjesta priveza postiže se dostatnom opremljenošću plovnog područja navigacijskim oznakama i sustavima za navigaciju, organizacijom nadzora i upravljanja pomorskom plovidbom, dodatnom edukacijom svih osoba koje utječu na sigurnost ovog specifičnog djela putovanja kao i posebno važnom planiranju plovidbe u «peljarskim vodama». Svi ovi segmenti već su detaljnije razmotreni u prethodnim poglavljima.

<sup>110</sup> Korištene su preporuke koje se primjenjuju u lukama Dunkirk, Nantes-St.Nazaire, Le Havre, London, Malmo, Manchester, Milfor Haven, Medway, Rostock, Rotterdam, Southampton, Stockholm i Tees.

Opremljenost pristana odnosno terminala opremom za praćenje manevra priveza ili odveza, te praćenje broda tijekom boravka na vezu vrlo je važna i svrsishodna sa stanovišta sigurnosti uopće. Ova oprema može biti više ili manje sofisticirana. Opremom se mogu mjeriti i pratiti sljedeći parametri:

- brzina i smjer vjetrova i morskih struja te visina valova;
- brzina prilaza broda obali, udaljenost od obale te kut prilaza obali tijekom svih faza manevra priveza;
- sile priveznih konopa na priveznim kukama, priteznim vilcima, itd.;
- pomicanje broda na vezu.

Vrijednosti ovih parametara moguće je pratiti u kontrolnoj sobi pristana odnosno terminala, na pokazivaču na samom pristanu ili pak na prenosnom računaru na brodu. Poznavanjem ovih parametara moguće je manevriranje brodom podići na znatno veći stupanj sigurnosti jer se trenutne vrijednosti mogu stalno uspoređivati s graničnim vrijednostima te ih u slučaju potrebe korigirati. U slučaju da neki parametri na koje se ne može utjecati prijeđu granične vrijednosti moguće je manevr odgoditi odnosno napustiti mjesto priveza ako je brod vezan.

Praćenjem vremena potrebnog za izvođenje pojedinog manevra na mjestima gdje takvi sofisticirani uređaji postoje uvidjelo se da je korištenjem ovih mogućnosti vrijeme potrebno za završnu fazu manevra smanjeno za 30 do 40%. Ova činjenica je jasna imajući u vidu da zapovjednici odnosno peljari zbog nepoznavanja točne vrijednosti trenutnih parametara koji utječu na manevriranje brodom iz sigurnosnih razloga prilaze sporije nego što to uvjeti konkretnog manevra dozvoljavaju. Načelno, brzina prilaza obali u normalnim uvjetima ne bi trebala biti veća od 2/3 brzine prilaza za koju je projektirana obalna konstrukcija, a kut prilaza broda obali ne veći od 3° do 5°.

Mjere za povećanje stupnja sigurnosti tijekom boravka broda na vezu protežu se u više smjerova od kojeg je osnovni koordinacija i interakcija između osoba na brodu i osoba na obali prije započinjanja manevra priveza, tijekom manevra priveza te tijekom boravka broda na vezu. U tom smislu koordinacija između broda i obale kod nekih vrsta brodova (posebno tankera) formalizirana je uvođenjem propisanog popisa provjere (engl. *Ship/Shore Safety Check List*).

Općenito se stupanj sigurnosti u lukama odnosno terminalima povećava uvođenjem nekog koncepta nadzora i upravljanja sustava priveza (engl. *Port/Terminal Mooring System Management*) koji može obuhvaćati sljedeće:

- unapređenje uputa za siguran privez broda u konkretnim uvjetima u okolišu;
- poznavanje manevarskih obilježja i privezne opreme broda prije njegova dolaska;
- provjera brodske privezne opreme nakon vezivanja kako bi se eventualno modificirale upute za sigurno rukovanje opremom na vezu, a imajući u vidu stanje opreme i njeno održavanje, uvježbavanje posade, itd.;
- periodična provjera priveznih konopa vizualno ili opremom za mjerenje na priveznim kukama;
- poduzimanje bilo kakvog postupka koji će biti svrsishodan za zaustavljanje prekrcajnih operacija, odvajanje prekrcajnih uređaja ako se takvi koriste te micanje broda s veza ukoliko nisu ostvareni odgovarajući uvjeti za njegov siguran boravak na vezu.

Dobra praksa u lukama i terminalima je imenovanje osobe zadužene za maritimnu sigurnost. Odgovorna osoba (engl. *Port Captain*) ujedno je važna za ostvarivanje međusobne koordinacije zajedno s peljarem i zapovjednikom broda. Ovakva koordinacija potrebna je već pri projektiranju i tijekom izgradnje pristana.

Valja naglasiti da je pojam sigurnosti tijekom boravka broda na mjestu priveza daleko širi od segmenta maritimne sigurnosti i u prvom redu uključuje i sigurnost pri rukovanju teretom tj. prekrcajnim operacijama. No, taj segment nije predmet istraživanja ovog rada.

### 7.7.1 Međudjelovanje osnovnih čimbenika tijekom manevriranja broda

Sile na koje se ne može utjecati potrebno je posebno promotriti te poznavati njihov intenzitet i smjer djelovanja. S aspekta sigurnosti tijekom manevriranja najpotrebnije je odrediti djelovanje ukupne sile vjetrova, morske struje i valova kad djeluju na brod okomito na lateralnu površinu jer u tom slučaju sila poprima najveću vrijednost, pa prema ovoj sili treba dimenzionirati broj i veličinu tegljača te njihova manevarska obilježja. Promatrajući problem sa stanovišta sigurnosti ovakav pristup je potreban jer se tijekom manevra brod može naći u takvom položaju u odnosu na rezultantno djelovanje vanjskih sila. Pritom valja računati s brzinom vjetrova i morskih struja te visinom valova za koje je dozvoljen manevar dolaska i priveza ili manevar odveza i odlaska broda u konkretnom akvatoriju. S druge strane imajući u vidu postojeća obilježja tegljača i najveći broj tegljača koji može biti uposlen tijekom jednog manevra opslužujući jedan brod obzirom na veličinu akvatorija u kome se manevar odvija može se odrediti i maksimalna sila vjetrova koja se može dozvoliti odnosno maksimalne veličine pojedinog parametra za koje se može dozvoliti izvođenje manevra priveza ili odveza broda. U svim ovim proračunima treba imati u vidu i faktor sigurnosti.

Manevriranje uz pomoć tegljača predstavlja bitno povećan stupanj sigurnosti. Na taj način manevriranje brodom je lakše i brže, a u slučaju kvara na nekom od sustava broda važnom za manevriranje, djelovanje tegljača na kontrolu kretanja broda je vrlo brzo. Uobičajeni faktor sigurnosti koji se uzima u obzir pri određivanju broja i obilježja potrebnih tegljača iznosi 1,3 do 1,5. Naime, pretpostavlja se da vučna sila tegljača mora biti najmanje 30% veća od ukupne sile koja djeluje na brod da bi se brodom moglo uspješno manevrirati. Veći faktor sigurnosti valja primjenjivati na složenije manevre. Prema tome faktor sigurnosti trebao bi u sebi uključivati i složenost manevra koja ovisi o raspoloživom prostoru, složenosti samog manevra prilaza, zaštićenosti akvatorija manevriranja, vrsti i veličini broda, broju tegljača koji se koristi, vanjskih sila koje djeluju na brod itd. Također, veći faktor sigurnosti valja primjenjivati kod broda sa slabijim manevarskim svojstvima koja ovisi o mnogim čimbenicima koji su detaljno razmotreni u radu. U obzir valja uzeti i vrijednosti faktora opasnosti manevra odnosno opasnosti za brod pri manevriranju koji je funkcija dubine ispod kobilice (UKC) tijekom izvođenja manevra, vrsti dna, širini akvatorija, vrsti obalnog ruba, itd. Na ovako definirane faktore sigurnosti predlaže se uvrštavanje i dodatnog faktora sigurnosti koji ovisi o vrsti tereta koji brod prevozi. Ovaj faktor treba odrediti uzimajući u obzir opasnost tereta koji brod prevozi i vjerojatnost akcidenata kojem je izložena pojedina vrsta broda. Na taj način faktori sigurnosti bili bi različiti što je i opravdano jer sve vrste brodova ne predstavljaju isti stupanj opasnosti za morski okoliš odnosno njegovo onečišćenje, kao i za opću sigurnost broda, pristana i osoba.

Ovako određeni faktori sigurnosti mogu se koristiti za manevar priveza broda uz obalu dok za jednostavnije manevre kao što su manevri priveza u četverovez, na plutaču/plutače ili sidrenja s jednim ili s dva sidra, mogu se koristiti manji faktori sigurnosti. Manevri odveza i isplavljenja obično su jednostavniji pa se i zbog toga faktori sigurnosti mogu umanjiti.

Osim mogućnosti pojedinih vrsta tegljača i s tim u vezi odabrane tehnologije izvođenja manevra zasigurno pri razmatranju međudjelovanja valja imati na umu i sve dosad u ovom poglavlju podrobnije objašnjene čimbenike kao što su djelovanje brodskih porivnika, kormila te interakcije broda i obale, dna, ostalih brodova u akvatoriju, itd.

Na temelju prikazane metodologije proračuna i poznavanja lokalnih meteoroloških i oceanografskih prilika moguće je odrediti, za konkretan pristan i njemu pripadajući akvatorij kao i akvatorij sidrišta neke karakteristične brzine vjetrova, morske struje i visine valova koje uvjetuju početak ili prekid nekih operacija.

Uz ove zahtjeve treba imati u vidu da postoje i dodatni čimbenici koji utječu na izvođenje pojedine operacije. Osim graničnih vrijednosti koje se odnose na sigurnost samoga broda u obzir treba uzeti i granične vrijednosti koje utječu na rad i učinkovitost privezivačkih brodica i tegljača. Ukoliko su granične vrijednosti za ova plovila manja od graničnih vrijednosti broda,

generalno je pravilo da se u određivanju općih mjera sigurnosti ove vrijednosti najprije moraju uzeti u obzir. Ova činjenica je potpuno jasna imajući u vidu da sigurnost pojedinog manevra ovisi o svakom elementu posebno odnosno ovisi o učinkovitosti i sigurnosti pojedinog elementa sustava manevriranja.

Ograničenja za učinkovit rad suvremenih privezivačkih brodica sa stanovišta sigurnosti je brzina vjetera od 12-15 m/s odnosno signifikantna visina valova od 1,0 do 1,3 m nakon čega se učinkovitost bitno smanjuje.

Ograničenja za siguran i učinkovit rad klasičnih tegljača je signifikantna visina valova od 1,0 do 1,5 m, dok za suvremene tegljače s cikloidnim porivnicima ovo ograničenje iznosi 1,5 m. Nakon ovih vrijednosti tegljači gube znatno na svojoj učinkovitosti djelovanja.

Vrlo važan čimbenik koji utječe na manevriranje brodom je i odnos između brzine vjetera i brzine broda. Ako je ovaj odnos poprima vrijednosti od 6 do 7 za brodove s visokim nadgradima kao što su kontejnerski brodovi, brodovi za prijevoz automobila, brodovi u balastu manevriranje tim brodovima bit će vrlo otežano.<sup>111</sup> Za nakrcane brodove manevriranje je jako otežano kad taj odnos poprimi vrijednost 10.

Ograničenje može predstavljati i mogućnost ukrcaja peljara na brod, koja pak ovisi o načinu ukrcaja i sredstvu koje se pritom koristi kao što su npr. peljarska brodice ili čak i helikopter.

Prilikom razmatranja problema određivanja graničnih uvjeta potrebno je uz dosad navedeno svakako uzeti u obzir da li se radi o manevru pristajanja i priveza ili odveza i isplovljenja. Načelno je manevar pristajanja složeniji i zahtjevniji, ali svaki konkretni manevar tj. njegovu složenost i način izvođenja treba posebno analizirati te temeljem takve analize zaključiti o stupnju sigurnosti manevra.

Pri određivanju karakterističnih graničnih vrijednosti pri manevriranju brodom valja odrediti sljedeće:

1. granični uvjeti pri kojima je moguće izvoditi manevar dolaska i priveza broda;
2. granični uvjeti pri kojima je moguće izvoditi manevar odveza i odlaska.

Brzina vjetera i drugi čimbenici pri kojima brod mora napustiti pristan ovisi i o direktnom i indirektnom utjecaju intenziteta tih čimbenika (djelovanje vjetera, vjetrovnih valova, štige, morske struje, itd.), ali i sigurnosti za vrijeme napuštanja pristana što ovisi o složenosti isplovljenja s pristana. Načelno, sa stanovišta napuštanja mjesta priveza u slučaju nastupa izvanrednih okolnosti, potrebno je brod privezati tako da bi manevar odveza i isplovljenja s mjesta priveza bio što lakši i brži. Valja istaknuti, da je vrlo često sigurnije ostati privezan uz pojačanje veza nego li napuštati pristan, a napuštanje pristana je nerijetko i nemoguće pri većim brzinama vjetera. Pritom osim veličine utjecaja valja svakako uzeti u obzir i smjer djelovanja. Tako npr. u slučaju da vjetar puše prema pristanu brod neće moći krenuti bez asistencije tegljača, ako je situacija obmota tj. kad vjetar puše od obale taj efekt moguće je ponekad iskoristiti kao pomoć pri isplovljenju.

Za uspješan manevar potrebno je poznavati manevarske sposobnosti broda, lokalne posebnosti kao i trenutne meteorološke i oceanografske uvjete, mogućnosti tegljača koji asistiraju pri manevriranju te interakciju svih spomenutih čimbenika. Imajući u vidu nabrojene čimbenike jasno je da treba postojati uska suradnja između zapovjednika broda koji poznaje brod i peljara koji poznaje lokalne prilike kako bi se postigla željena interakcija što treba rezultirati uspješnim manevrom.

### 7.7.2 Međudjelovanje osnovnih čimbenika tijekom boravka broda na mjestu priveza

Prilikom razmatranja sigurnosti tijekom boravka broda na mjestu priveza valja krenuti od sila koje su značajne i kojima je brod izložen. Ove sile nastaju uslijed djelovanja pojava kao što

<sup>111</sup> Dredging Coastal Ports, An assessment of the issues, Washington 1985.



su vjetar, vjetrovni valovi, morska struja, hidrodinamička sila koja se javlja između broda i obale, hidrodinamička interferencija od brodova u prolazu, oceanski ili dugi valovi mrtvog mora, tsunami, valovi uzrokovani brodovima u prolazu u uskim kanalima, plima i oseka, promjena u gazu ili trimu broda nastalih zbog prekrcajnih operacija, led i druge manje značajne pojave.

U praksi je potvrđeno da ukoliko je sigurnost broda na mjestu priveza zadovoljena u pogledu djelovanja sile vjetra i morske struje bit će zadovoljena i u pogledu ostalih djelovanja. Međutim ako se radi o luci odnosno pristanu na koji bitno utječe djelovanje nekih drugih sila, djelovanje tih sila svakako treba uzeti u obzir. Na ovom mjestu valja naglasiti da djelovanja valova treba promatrati u prvom redu u odnosu na dozvoljeno gibanje broda zbog djelovanja valova.

Za određivanje dimenzija kao i broja priveznih konopa koje treba postaviti na pojedino mjesto na brodu prilikom priveza potrebno je poznavati opterećenja koja ti konopi mogu izdržati. Ako je poznata ukupna sila koja djeluje na brod iz određenog pravca npr. sila djelovanja vjetra, morskih struja, valova, itd. onda se na temelju tih podataka može odrediti raspored i broj priveznih konopa za siguran privez broda, odnosno siguran boravak broda na mjestu priveza. Privezni konopi kojima se brod priveže ne djeluju pod najpovoljnijim kutovima pa s toga treba ovaj problem posebno razmotriti kako bi se mogao donijeti zaključak o broju i rasporedu priveznih konopa koji će jamčiti sigurnost broda tijekom boravka na mjestu priveza.

Uzimajući u obzir ove čimbenike biti će moguće prosuditi i granične veličine vanjskih utjecaja naročito utjecaja vjetra kod kojih treba pojačati broj priveznih konopa odnosno pri kojima treba napustiti mjesto priveza.

Optimalni privez uz pristan ostvaruje se postavljanjem dovoljnog broja priveznih konopa odgovarajućih obilježja, a načela kojih se treba držati pri planiranju sustava priveza imajući u vidu zadovoljavajući stupanj sigurnosti broda tijekom njegova boravka na mjestu priveza mogu se sažeti u sljedeća:

- privezni konopi trebaju se postaviti što je više moguće simetrično u odnosu na sredinu broda jer se na taj način osigurava bolji raspored opterećenja po pojedinim konopima;
- pramčane i krmene privezne konope treba postaviti što bliže pramcu i krmi broda;
- bočni konopi trebaju se postaviti što je više moguće okomito na uzdužnicu broda te što više prema pramcu i krmi broda (horizontalni kut u odnosu na uzdužnicu broda ne bi smio biti manji od  $75^\circ$ );
- springovi trebaju biti što je više moguće postavljeni paralelno s uzdužnicom broda (horizontalni kut u odnosu na uzdužnicu broda ne bi smio biti veći od  $10^\circ$ ), a treba ih postaviti od priveznih točaka koje su smještene na približno četvrtini duljine broda od pramca ili krme;
- vertikalni kut djelovanja priveznih konopa treba biti što manji, preporuča se da ne bude veći od  $25^\circ$ , a ne bi smio prelaziti  $30^\circ$ ;
- ako je moguće za vez broda treba upotrebljavati privezne konope iste vrste i čvrstoće na svim priveznim mjestima, a ako to nije moguće ovaj uvjet treba zadovoljiti za sve privezne konope koji se postavljaju u istu svrhu i na isto mjesto, npr. svi springovi, svi bočni konopi, svi pramčani i krmni konopi;
- ako se na čeličnoj užadi koriste sintetički nastavci (engl. *tail*), onda njihova vrsta i čvrstoća mora biti jednaka na svim priveznim konopima postavljenim u istu svrhu (duljina ovog sintetičkog nastavka je približno 11 m, a prekidna čvrstoća najmanje 25% veća od prekidne čvrstoće čeličnog užeta na koga se postavlja);
- privezne konope koji se postavljaju u istu svrhu i na isto mjesto trebaju biti približno iste duljine između mjesta priveza na brodu i obali;
- optimalna duljina priveznih konopa trebala bi biti između 35 i 50 m.

Pri proračunu potrebnog broja i rasporeda priveznih konopa valja imati u vidu i činjenicu da je sa stanovišta sigurnosti potrebno postaviti toliko priveznih konopa da proračunata sila koja djeluje na brod ne prelazi 55% prekidnog opterećenja postavljenih konopa.

Osim spomenutih osnovnih načela planiranja veza potrebno je u svakom pojedinom slučaju uzeti u obzir lokalne radne uvjete i uvjete okoliša te postavu pristana kao i obilježja broda. Tako npr. ako na određenom pristanu pojačano djeluju vjetar i morska struja moguće je postaviti privezne konope asimetrično na način da se više priveznih konopa postavi na onaj dio broda odakle djeluju veće sile. Istraživanja su pokazala da je za brodove s nadgrađem na krmu poprečna sila uslijed djelovanja vanjskih čimbenika veća oko 10% na krmu u donosu na silu na pramcu.<sup>112</sup>

Veličine djelovanja sila tijekom boravka broda na vezu odnosno standardi u pogledu obilježja privezne opreme broda prikazani su u Standardnim uvjetima okoliša (engl. *Standard Environmental Criteria*)<sup>113</sup>.

Maksimalno dozvoljeni pritisak na trup broda ovisi o mnogim faktorima kao što su vrsta i veličina broda, priroda površine bokobrana (da li je tvrd ili fleksibilan) i mjestu površine dodira u odnosu na brodska rebra ili uzdužna pojačanja, itd.

Reakcija bokobrana ovisi i o horizontalnom i vertikalnom kutu između broskog trupa i bokobrana u mjestu dodira pa zbog toga tijekom boravka broda na mjestu priveza treba voditi računa i o kutu djelovanja opterećenja prema pojedinom bokobranu, deformaciji (stiješnjenju) pojedinog bokobrana i ukupno apsorbiranoj energiji svih bokobrana i slobodnom prostoru između broskog trupa i obalne konstrukcije.

Proračun djelovanja sile vjetra, morske struje i valova prema obali okomito na lateralnu površinu broda koristi se i za proračun djelovanja broda na bokobrane dok je brod vezan na pristanu. U ovom slučaju računa se s veličinama pojedinih parametara koji su veći nego li u slučaju proračuna djelovanja sile vjetra u toku manevriranja brodom što je razumljivo imajući u vidu da brod mora sigurno boraviti na mjestu priveza i pri djelovanju većih sila. Na temelju ovih proračuna moguće je dimenzionirati broj i obilježja bokobrana koji moraju omogućiti siguran boravak broda na vezu pri dozvoljenim uvjetima. Ako su pojedini bokobrani, npr. oni na krajevima pristana, proračunati da izdrže udarnu energiju broda pri pristajanju, onda će moći izdržati i sile kojima brod djeluje na bokobrane tijekom boravka na mjestu priveza.

Učinak broda na privezne konope, uslijed djelovanja vanjskih sila, treba analizirati promatrajući komponentu okomitu na uzdužnicu broda te komponentu paralelnu s uzdužnicom.

Na konkretnoj lokaciji treba uzeti u obzir i zaklonjenost mjesta priveza u odnosu na djelovanje vjetra, valova i morskih struja. Učinak vjetar može biti bitno smanjen ako je mjesto priveza zaklonjeno građevinama (npr. obalnim skladištima).

Osim određivanja graničnih vrijednosti obzirom na djelovanja broda na privezne konope vrlo je važno odrediti i granične vrijednosti u pogledu pomaka broda na vezu.

Djelovanje vanjskih sila na brod odnosno pojedine komponente tih sila ovise osim o brzini vjetra i morske struje te visini valova i o smjeru djelovanja ovih čimbenika.

Sa stanovišta sigurnosti potrebno je za svako mjesto priveza odrediti učestalost djelovanja pojedinih čimbenika u odnosu na smjer i brzinu vjetra, morskih struja i visinu valova. Temeljem toga moguće je odrediti i maksimalno zajedničko djelovanje pojedinih čimbenika u pojedinim smjerovima.

Za svako mjesto priveza, temeljem poznavanja maksimalne brzine i smjera djelovanja vjetra i morskih struja, treba odrediti komponento djelovanje rezultantne sile na brod te na

<sup>112</sup> Oil Companies International Marine Forum (OCIMF), Mooring Equipment Guidelines, Witherby & Co. LTD., London, 1997., str. 46.

<sup>113</sup> Oil Companies International Marine Forum (OCIMF), Mooring Equipment Guidelines, Witherby & Co. LTD., London, 1997., str. 22.

osnovu tih proračuna odrediti polarni dijagram sila. Na taj način dobiva se zoran uvid u smjer i intenzitet djelovanja rezultantne sile.

Temeljem poznavanja prikazane metodologije za izvođenje ovih proračuna te poznavanjem lokalnih meteoroloških prilika moguće je odrediti za konkretan pristan ili mjesto sidrenja broda neke karakteristične brzine vjetra, morske struje i visine valova koje uvjetuju početak ili prekid određenih operacija.

Potrebno je odrediti sljedeće granične vrijednosti:

1. granični uvjeti pri kojima treba pojačati vez (dodati privezne konope),
2. granični uvjeti pri kojima treba prekinuti operacije ukrcaja ili iskrcaja,
3. granični uvjeti pri kojima treba napustiti mjesto priveza,
4. granični uvjeti pri kojima treba napustiti mjesto sidrenja i skloniti se u zaklonište.

Za svaki spomenuti zahtjev treba imati u vidu da postoje i dodatni čimbenici koji utječu na izvođenje pojedine operacije.

Brzina vjetra do koje brod može izvoditi prekrcajne operacije vezana je i za vrstu prekrcajnog uređaja i njegove tehnološke mogućnosti u odnosu na vjetar, a zatim i na djelovanje ostalih čimbenika koji utječu na brod a djeluju zajedno s vjetrom (npr. valovi, štiga, itd.).

Brzina vjetra kod koje brod mora napustiti pristan ovisi i o direktnom i indirektnom utjecaju pojačanja vjetra na pristan (djelovanje vjetra, vjetrovnih valova, štige, itd.), ali i sigurnosti za vrijeme napuštanja pristana što ovisi o složenosti isplovljenja s pristana. Postoje razne preporuke za određivanje graničnih vrijednosti za brzinu vjetra.<sup>114</sup> Valja naglasiti da je najtočnije granične vrijednosti proračunati za svaki pojedini slučaj posebno uzimajući u obzir konkretne podatke o brodu, mjestu priveza i vrijednostima utjecaja čimbenika iz okoliša. Na temelju poznavanja vrste i obilježja konstrukcije pristana može se odrediti da li brod može trajno ostati na vezu bez obzira na stanje u okolišu.

Prilikom određivanja graničnih vrijednosti potrebno je uzeti u obzir brzinu vjetra u interakciji s djelovanjem morskih struja, valova, itd. te na temelju ovih vrijednosti odrediti veličinu sila koje će djelovati na brod u određenoj kombinaciji, kao i gibanja broda koje će zbog toga nastati.

Granične vrijednosti brzine vjetra za prekrcajna sredstva kao što su oprema za prekrcaj teških tereta, kontejnerski mostovi, prekrcajni tornjevi, itd. je uobičajeno oko 20 m/s bez obzira na smjer djelovanja vjetra.<sup>115</sup> Nakon tih brzina vjetra prekrcaj ne samo da je nesiguran već je i vrlo neučinkovit. Ova brzina vjetra ne utječe kao ograničenje kod vrsta prekrcaja kao što je npr. ro-ro tehnologija osim ako takva brzina vjetra ne utječe na prekomjerno pomicanje broda.

Sa stanovišta sigurnosti broda tijekom manevriranja i boravka broda na privezu, a naročito tijekom izvođenja prekrcajnih operacija vrlo je važno poznavati utjecaj valova i drugih čimbenika na pomake broda odnosno maksimalno dozvoljene pomake broda. U navigacijskom smislu najvažnije je zaošijavanje koje utječe na držanje kursa te poniranje i posrtanje o kojem ovisi trenutni gaz broda. Dozvoljeni pomaci broda na mjestu priveza tijekom boravka broda na vezu kao i tijekom izvođenja prekrcajnih operacija bitno ovise o osobinama sustava bokobrana, sustava veza te vrsti broda odnosno tehnologiji prekrcaja koja se primjenjuje. Ograničenja u gibanju broda mogu se promatrati s tri aspekta i to:

- sigurnosno ograničenje koje brod ne smije prijeći da bi se izbjeglo oštećenje broda, privezne opreme ili obale i obalnih instalacija;
- operativno (radno) ograničenje koje brod ne smije prijeći da bi ukrcajno/iskrcajne operacije mogle teći neometano s aspekta efikasnosti i sigurnosti izvođenja operacija;
- ograničenje lučkih vlasti ili operatora broda.

<sup>114</sup> Thoresen, C.A., Port Design, Guidelines and Recommendations, Tapir Publishers, Trondheim, Norway, 1988., str.57.

<sup>115</sup> Rules for the Design of Hoisting Appliances, Federation European de la Manutention, Paris

Najveći utjecaj na gibanje broda ima sustav valovlja, pa su u sljedećoj tablici prikazane maksimalno prihvatljive visine signifikantnih valova  $H_s$  na mjestu priveza za razne vrste i veličine brodova.<sup>116</sup> Vrijednosti u tablici vrijede za valove koji dolaze s pramca i za valne periode od 10 sekundi. Za bočne valove i veće valne periode treba uzeti manje vrijednosti.

VRSTA BRODA	VISINA VALOVA [m]
BRODICE U MARINAMA	0,15
RIBARSKI BRODOVI	0,40
BRODOVI ZA PRIJEVOZ GENERALNOG TERETA (< 30.000 DWT)	0,70
BRODOVI ZA PRIJEVOZ RASUTOG TERETA (< 30.000 DWT)	0,80
- II - (30.000 – 100.000 DWT)	0,80 – 1,50
BRODOVI ZA PRIJEVOZ TEKUĆEG TERETA (< 30.000 DWT)	1,00
- II - (30.000 – 100.000 DWT)	1,00 – 1,70
PUTNIČKI BRODOVI	0,70

Tablica 21 Maksimalno prihvatljive visine signifikantnih valova  $H_s$  na mjestu priveza za razne vrste i veličine brodova

Utjecaj gibanja broda na sigurnost i efikasnost prekrcaja je od neprocjenjive važnosti. U priloženoj tablici prikazane su maksimalne visine signifikantnih valova za razne vrste brodova.<sup>117</sup>

VRSTA BRODA	MAKSIMALNE VISINE VALOVA $H_s$ [m]	
	s pramca ili krme $\varphi = 0^\circ$	bočno $\varphi = 45^\circ - 90^\circ$
BROD ZA PRIJEVOZ GENERALNOG TERETA	1,0	0,8
BROD ZA PRIJEVOZ KONTEJNERA, Ro-Ro BROD	0,5	-
BROD ZA PRIJEVOZ RASUTOG TERETA, 30.000 – 100.000 DWT, TJEKOM UKRCAJA TERETA	1,5	1,0
BROD ZA PRIJEVOZ RASUTOG TERETA, 30.000 – 100.000 DWT, TJEKOM ISKRCAJA TERETA	1,0	0,8 – 1,0
BROD ZA PRIJEVOZ TEKUĆEG TERETA, < 30.000 DWT	1,5	-
BROD ZA PRIJEVOZ TEKUĆEG TERETA, 30.000 – 200.000 DWT	1,5 – 2,5	1,0 – 1,2
BROD ZA PRIJEVOZ TEKUĆEG TERETA, > 200.000 DWT	2,5 – 3,0	1,0 – 1,5

Tablica 22 Maksimalne visine signifikantnih valova za efikasan prekrcaj raznih vrsta brodova

Osim razmatranja prihvatljive visine valova na mjestu priveza sa stanovišta sigurnosti broda uopće kao i sigurnosti i efikasnosti prekrcaja vrlo je važno poznavati i maksimalno dozvoljeno gibanje broda u odnosu na mjesto priveza, a u odnosu na mogućnosti priveznog sustava te prekrcajne opreme. Stoga je u priloženoj tablici prikazan relativni odnos važnosti pojedine vrste gibanja za sigurnost i efikasnost prekrcaja za različite vrste brodova.<sup>118</sup>

<sup>116</sup> Thoresen, C.A., Port Design, Guidelines and Recommendations, Tapir Publishers, Trondheim, 1988.

<sup>117</sup> Velsink, H., PIANAC Bulletin No. 56

<sup>118</sup> Per Bruun, Mooring and Fendering Rational Principles in Design, The International Harbour Congress, Antwerp, 1983.

SMJER POMAKA BRODA

	HORIZONTALNI POMACI			VERTIKALNI POMACI		
	ZASTAJANJE	ZANOŠENJE	ZAOŠLIJANJE	LJULJANJE	POSRTANJE	PONIRANJE
VLCC	**	**	**	*	*	*
BROD ZA UGLJEN	***	**	**	*	*	*
BROD ZA ŽELJ. RUDU	***	**	**	*	*	*
BROD ZA ŽITO	***	**	**	*	*	*
OPSKRBLJIVAČ	***	**	**	**	**	**
BROD ZA GEN. TERET	***	**	**	**	**	**
LPG	***	***	***	**	**	**
LNG	***	***	***	**	**	**
LO/LO BROD	***	***	***	***	**	**
RO-RO BROD	***	***	***	***	***	**
	* manja važnost			*** velika važnost		

Tablica 23 Relativni odnos važnosti pojedine vrste gibanja za sigurnost i efikasnost prekrcaja različitih vrsta brodova

Stvarne veličine pomaka broda na mjestu priveza tijekom prekrcajnih operacija za valne periode između 60 s i 120 s za brodove veće od 200 m prikazane su u priloženoj tablici.<sup>119</sup>

VRSTA BRODA	ZASTAJANJE [m]	ZANOŠENJE [m]	PONIRANJE [m]	ZAOŠLIJANJE [°]
BROD ZA PRIJEVOZ TEKUĆEG TERETA	± 2,0	± 0,5	± 0,5	1,0
BROD ZA PRIJEVOZ RASUTOG TERETA	± 1,5	± 1,0	± 0,5	0,5
BROD ZA PRIJEVOZ UKAP. PRIRODNOG PLINA	± 0,2	± 0,1	± 0,1	0,5
BROD ZA PRIJEVOZ KONTEJNERA	± 0,5	± 0,3	± 0,3	0,5
RO-RO BROD (VEZ UZ PRISTAN)	± 0,3	± 0,2	± 0,1	0,2
RO-RO BROD (VEZ OKOMITO NA PRISTAN)	± 0,1	0,0	± 0,1	0,2

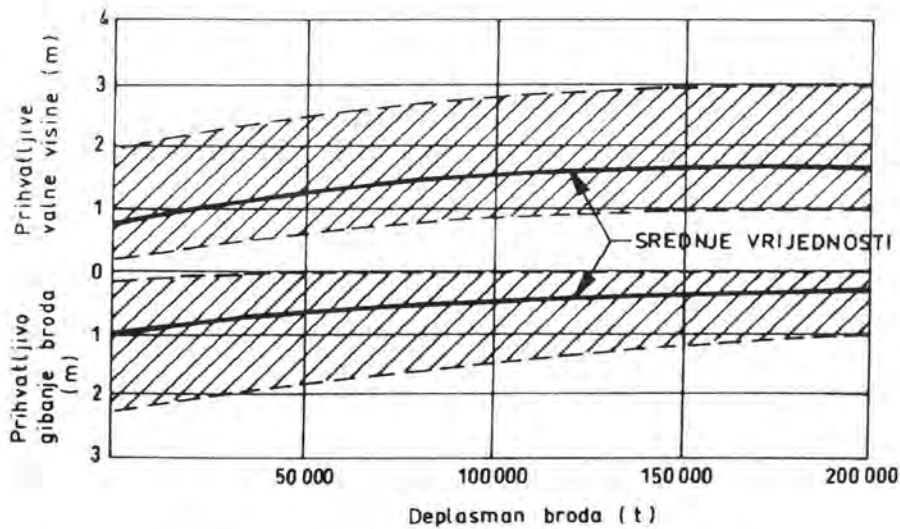
Tablica 24 Stvarne veličine pomaka broda na mjestu priveza tijekom prekrcajnih operacija

Analizirajući prethodno prikazane vrijednosti prihvatljivog gibanja broda lako se uviđa da je najveća osjetljivost brodova za prijevoz ukapljenih plinova, brodova za prijevoz kontejnera i Ro-Ro brodova što jasno proizlazi iz tehnologije prekrcaja tih vrsta brodova.

Zbog važnosti poznavanja veličine prihvatljive valne visine i amplitude gibanja broda na vezu kad se razmatra sigurnost broda na vezu tijekom prekrcajnih operacija provode se razna istraživanja na modelima i u stvarnosti. Rezultati jednog takvog istraživanja prikazani su u sljedećem dijagramu.<sup>120</sup>

<sup>119</sup> Per Bruun, Port Engineering, 1981.

<sup>120</sup> Bratteland, Lecture Notes on Port Planning and Engineering, Norwegian Institute of Technology, 1981.



Slika 32 Prihvattljive valne visine i gibanje broda

Kad su prijeđena prije prikazana ograničenja najprije se prekidaju prekrcajne operacije, a ako su vrijednosti takve da je i sigurnost broda na mjestu priveza upitna treba isploviti s veza. Ako je pri isplovljenju potrebna asistencija tegljača valja imati u vidu i njihova ograničenja. Ukoliko su ona manja od onih koja se primjenjuju za dotični brod mjesto priveza treba napustiti pri graničnim vrijednostima za tegljače.

Iz prikazanog vidljivo je koliko su ograničenja u pogledu gibanja broda važna za učinkovito i sigurno odvijanje lučkih operacija te stoga ovaj aspekt valja posebno uzeti u obzir tijekom izrada studija sigurnosti postojećih mjesta priveza kao i prilikom projektiranja novih.

## 8 MODEL SUSTAVA MANEVRIRANJA BRODOM

Osnovni cilj ovog rada je definiranje načela za modeliranje sustava manevriranja brodom (konceptualni model) te konkretno modeliranje jednog manevra sa stanovišta potrebnog broja, sile vuče i obilježja tegljača imajući u vidu zadovoljavajući stupanj sigurnosti. Ovaj cilj moguće je dostići primjenom specifičnog modela koji u sebi treba sadržavati model pomorskog prometa te dodatno parametre okoliša kao što su luka i prilazno područje, meteorološka i oceanografska stanja u akvatoriju luke, raspoloživost i obilježja tegljača te obilježja brodova koji se pojavljuju u sustavu.

Konceptualni modeli sadrže komponente koje nisu jasno definirane u smislu teoretskih kategorija. Kreiranje konceptualnih modela predstavlja početnu fazu modeliranja i temelj je 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.

Analiza postupka razvijanja modela sustava manevriranja brodom izvodi se analiziranjem načina definiranja luke i prilaznog plovnog puta, meteoroloških i oceanografskih obilježja luke i prilaznog plovnog područja, dolazaka brodova, njihove vrste i obilježja te broja i obilježja tegljača. Osim toga analiziraju se zakonitosti odvijanja specifičnih procesa kao i njihovo trajanje. U tim analizama obuhvaćen je i problem postavljanja graničnih uvjeta, a posebna pažnja posvećena je definiranju izlaznih podataka i načelima za evaluaciju rezultata.

U prvom dijelu ovog poglavlja, imajući u vidu opseg rada, definirat će se konceptualni model sustava manevriranja brodom, a pojedini njegovi dijelovi biti će objektivizirani.

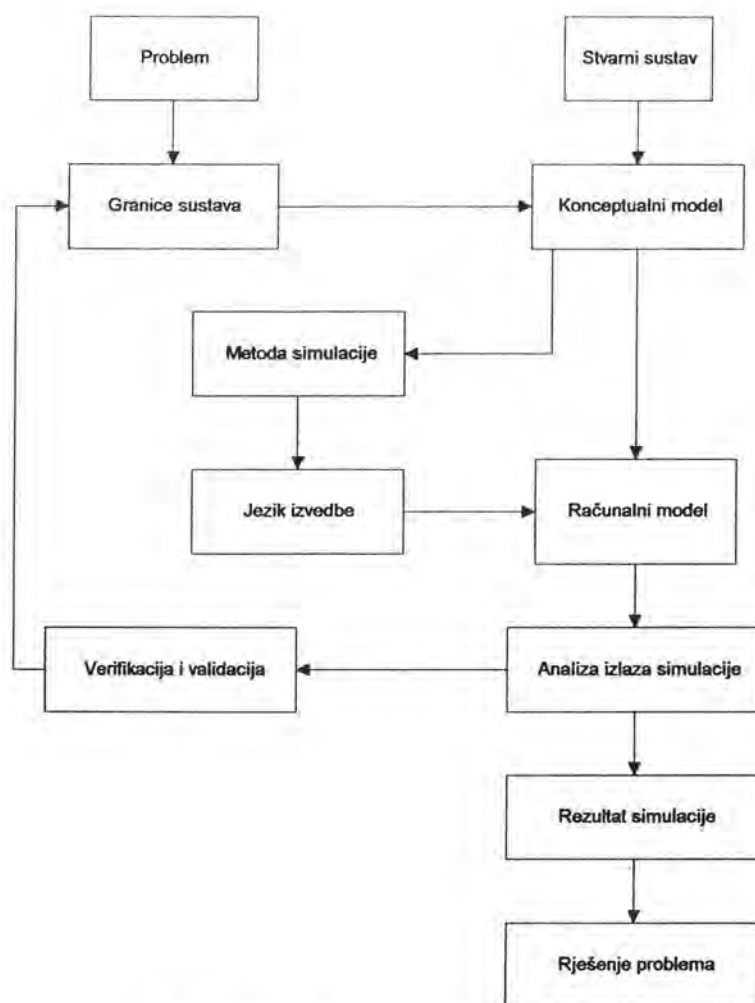
U drugom dijelu ovog poglavlja prikazan je razvoj konkretnog modela jednog manevra s definiranjem algoritama za izradu simulacijskog modela, a prikazani su i dobiveni rezultati te njihova analiza.

### 8.1 POSTUPAK RAZVIJANJA MODELA SUSTAVA MANEVRIRANJA

Već je naglašeno da model sustava manevriranja u sebi treba sadržavati specifični model pomorskog prometa. Prema ciljevima planiranja može se definirati približni model ili detaljni model. Pri kreiranju simulacijskog modela pomorskog prometa može poslužiti priloženi dijagram.

Postupak kreiranja modela sastoji se u određivanju granica sustava koje pak ovise o vrsti problema koga treba riješiti, a zatim u opisivanju modela što znači da u granicama sustava treba prikazati (shematizirati) realnost. Na koji način će se opisati pojedini postupak također ovisi o problemu koji se rješava. Kad su granice definirane i stvarnost shematizirana može se izraditi računalni model. Takav model valja pomno analizirati pri čemu je verifikacija i vrednovanje modela najvažniji i najteži zadatak.

U sljedećem dijagramu prikazani su koraci u izradi simulacijskog modela.



Slika 33 Provedba simulacijskog procesa

### 8.1.1 Definiranje ulaznih podataka i graničnih uvjeta

Modelom valja simulirati dinamičko ponašanje stanja na plovnom putu odnosno luke s puno stohastičkih ulaznih parametara. Oni su generalno opisani matematičkim formulacijama funkcija distribucije. Pritom valja definirati određene segmente kojima će se opisati stanje na određenom plovnom putu, a to su ujedno i ulazni parametri od kojih će prikaz najvažnijih biti razmotren u nastavku.

#### 8.1.1.1 Definiranje postave luke i obilježja prilaznog plovnog područja

U ovisnosti o konkretnoj luci treba definirati osnovna obilježja lučke postave, a koje utječu na razvijanje modela odnosno njegovih pojedinih segmenata. U tom kontekstu valja definirati vrste lučkih terminala i njihov broj, maritimna i prekrcajna obilježja pristana, te navigacijska obilježja prilaznog plovnog puta.

Broj i vrsta terminala značajni su za kasnije definiranje vrsta brodova koji koriste luku. Dakle valja definirati vrste terminala prema namjeni ( $T_v$ ) kao što su npr. terminal za generalni teret (TGT), rasuti teret (TRT), ro-ro teret (TRO-RO), kontejnere (TCONT), ulja (TOIL), kemikalije (TCHEM), ukapljene plinove (TGAS), putnički terminal (TP), itd. Nadalje, da bi se točnije definirala vrsta brodova koji koriste luku valja uzeti u obzir i mogućnost da se terminal iznimno može koristiti i za drugu vrstu tereta (npr.  $T_v = TGT (TRT, TRO-RO, TCONT)$ ). Međutim, valja



istaknuti da je vrlo teško odrediti zakonitost po kojoj se javljaju ovakve situacije. Ovaj problem u modelu moguće je postaviti na način da se uzme postotak pojavljivanja ovakve situacije u prošlom vremenu ili pretpostaviti njenu učestalost i kombinacije pojavljivanja za neki budući period koji se analizira.

Potrebno je nadalje definirati da li je terminal ukrcajni ( $T_{UK}$ ) ili iskrcajni ( $T_{IS}$ ), ili ukrcajno/iskrcajni ( $T_{UK/IS}$ ) jer o ovoj činjenici ovisi djelomično i vrijeme zadržavanja broda u luci ali i vrlo važna činjenica koja indirektno definira u kom stanju nakrcanosti brod dolazi na terminal odnosno odlazi s terminala.

Osim vrsta terminala i dolaska brodova zbog prekrcaja potrebno je uzeti u obzir i eventualno pružanje drugih vrsta usluga unutar lučkog sustava zbog kojeg će dolaziti brodovi (npr. pružanje usluga opskrbe gorivom, postojanje brodogradilišta ili remontnih brodogradilišta, itd.). Također za preciznije definiranje vremena trajanja pojedinih operacija potrebno je definirati udaljenosti između pojedinih točaka u lučkom sustavu koje su značajne u sustavu manevriranja. Tako je u ovisnosti o konkretnoj postavi luke potrebo definirati udaljenosti kao što su međusobna udaljenost pojedinih terminala  $d_1$ , udaljenost pojedinog terminala od baze tegljača  $d_2$ , udaljenost mjesta prihvata tegljača od baze tegljača  $d_3$ , udaljenost mjesto prihvata tegljača od pojedinog terminala  $d_4$ , udaljenost mjesto otpuštanja tegljača do mjesta prihvata tegljača  $d_5$ , udaljenost mjesta otpuštanja tegljača do pojedinog terminala  $d_6$ , udaljenost mjesta ukrcaja/iskrcaja peljara od pojedinog terminala  $d_7$ , itd.

Osim ovih udaljenosti potrebno je za pojedini pristan odrediti i udaljenost stvarnog manevriranja u dolasku ( $d_{manD}$ ) te udaljenost stvarnog manevriranja u odlasku ( $d_{manO}$ ). U lukama u kojima se na prilaznim plovnim putovima koriste tegljači za praćenje brodova (*escorting tugs*) potrebno je definirati i duljinu na kojoj se brodovi prate u dolasku ( $d_{escD}$ ) ili u odlasku ( $d_{escO}$ ).

Na pojedinom terminalu valja definirati broj pristana ( $P_i$ ,  $i=1, n$ ). Definiranje pristana s maritimnog stanovišta podrazumijeva definiranje njegove duljine, maksimalne duljine broda koji se može prihvatiti te dubine na pristanu odnosno maksimalnog gaza broda.

Pri detaljnom definiranju pristana može se uzeti u obzir da li je pristan masivne gradnje (gravitacijska obala) ili lagane gradnje (raščlanjena obala na pilotima). Temeljem ove činjenice i poznavanjem energije apsorpcije i sile reakcije bokobrana moguće je odrediti maksimalne brzine prilaza za pojedine vrste i veličine brodova. Osim na ovaj način maksimalne brzine prilaza može se odrediti i generalno temeljem uobičajenih brzina prilaza obali različitih vrsta i veličina brodova što se za potrebe definiranja ovakvog modela može smatrati zadovoljavajućim.

U smislu prekrcajnih obilježja pristana valja definirati broj prekrcajnih sredstava, njihovu vrstu i kapacitet odnosno kapacitet cijelog pristana kao i maksimalnu širinu broda u odnosu na mogućnost zahvata prekrcajnih sredstava ako ona predstavljaju ograničenje.

Imajući u vidu prethodno razmatranje potrebno je definirati maksimalnu i minimalnu veličina broda, a prikladna mjera za izraz ovog parametra je ukupna nosivost.

Da bi se u modelu mogla određivati zauzetost pristana u pojedinom trenutku vremena potrebno je definirati da li se na jednom pristanu mogu prihvatiti dva ili više manjih brodova. U jednom slučaju dva ili više brodova neće se moći prihvatiti na terminalu ako je njihova duljina prevelika, a u drugom slučaju bez obzira što bi se po dimenzijama oni mogli prihvatiti oni se neće moći prihvatiti ukoliko na pristanu postoji samo jedno prekrcajno sredstvo, a brod nema raspoloživa svoja prekrcajna sredstva. Međutim, zbog složenosti definiranja ovih slučajeva zadovoljavajućim rješenjem može se smatrati generaliziranje na način da se prihvatiti načelo: jedan pristan - jedan brod.

Pri definiranju navigacijskih obilježja prilaznog plovnog puta vrlo je važno definirati dubinu i širinu plovnog puta te da li je moguća jednosmjerna ili dvosmjerna plovidba. Temeljem ovih podataka kasnije valja odrediti maksimalni gaz i širinu brodova koji će se prihvaćati. Maksimalni gaz odnosno UKC treba odrediti uzimajući u obzir i morske mijene tamo gdje je

njihov utjecaj značajan. U pojednostavljenom modelu može se pretpostaviti da određena veličina broda ako može pristati na pristan može i proći prilaznim plovnim putem.

U detaljnom razmatranju valja uzeti u obzir i broj, namjenu i veličinu sidrišta kako bi se definirao njihov kapacitet imajući u vidu sigurnosne zahtjeve. Stoga valja uzeti u obzir značajke kao što su kvaliteta dna, dubina, zaštićenost sidrišta, itd.

### **8.1.1.2 Definiranje meteoroloških i oceanografskih obilježja luke i prilaznog plovnog područja**

U modelu je potrebno definirati meteorološke i oceanografske uvjete odnosno definirati brzinu i smjer vjetera, brzinu i smjer morske struje, visinu i smjer rasprostiranja valova, eventualni led odnosno zaleđenost, uvjete vidljivosti, itd. Osim konkretnih vrijednosti pojedinih parametara valja definirati i njihovu promjenu u vremenu. Sve vrijednosti trebaju biti temeljene na klimatološkim istraživanjima za određeno područje. Ove vrijednosti moguće je prikazati funkcijom razdiobe u vremenu, ako takve postoje za pojedino konkretno područje ili pak tabelarno na načina da se prikaže intenzitet i učestalost pojavljivanja. Temeljem vrijednosti za brzinu vjetera i brzinu morske struje valja odrediti sile koje u određenom trenutku djeluju na brod. Valove valja promatrati u pogledu ograničenja gibanja broda, ograničenja učinkovitog djelovanja tegljača i privezivačkih brodica, a ne u pogledu djelovanja sila na brod. Za morsku struju i valove moguće je vrijednosti odrediti u korelaciji s brzinom vjetera.

Za detaljniji proračun potrebno je znati koliko pojedini oceanografski ili meteorološki parametar utječe na izvođenje manevra na određenom pristanu odnosno da li utječe na započinjanje manevra. Stoga bi bilo potrebno odrediti faktore zaklonjenosti za vjetar i valove. Tako npr. za vjetar  $V_{STVARNI} = k \cdot V_v$ , a za valove  $H_{STVARNI} = k \cdot H_v$ . Međutim, pristup koji bi bio primjeren za korištenje u modelu mogao bi se bazirati na prethodnom definiranju graničnih uvjeta pri kojima je manevriranje na pojedinom pristanu moguće. Ova ograničenja mogla bi se ugraditi pri definiranju pojedinog terminala odnosno pristana.

Vidljivost je također značajan čimbenik za sigurno izvođenje manevra. Za mnoge luke ovaj čimbenik nije potrebno uzimati u obzir ali za pojedine luke horizontalnu vidljivost treba uzeti u obzir kao limitirajući faktor izvođenja manevra.

Za većinu luka u svijetu je postojanje ledenih santi na prilaznom putu i problem zaleđivanja luke i prilaznog područja čimbenik koji se može zanemariti ali za pojedine luke predstavlja smetnju manevriranju brodova, a značajan utjecaj ima i na zatvorenost luke u određenom dijelu godine kao i na činjenicu da brodovi dolaze i odlaze u konvojima iza ledolomca u određenim intervalima vremena.

Morske mijene odnosno plimu i oseku u prvom redu valja promatrati u kontekstu utjecaja na dubinu mora na plovnom putu i mjestu priveza broda, a u ovisnosti o ovoj dubini brod određenih karakteristika može ili ne može uploviti ili isploviti. Međutim valja imati u vidu da manji brodovi mogu ulaziti dok veći moraju čekati. Također, potrebno je uzeti u obzir ne samo trenutno stanje već i ono koje će biti kad brod dođe na položaj za koga se određuje dubina. Ako je luka dokovska ("zatvorena") o plimi i oseci ovisi kad će luka biti otvorena odnosno zatvorena. Kad je luka zatvorena nema plovidbe ni većih ni manjih brodova. Ovaj čimbenik moguće je vezati za prilazno područje odnosno pristan.

Za točno rješenje problema promjenu nivoa vode uslijed plime i oseke potrebno je ugraditi originalni proračun vremena nastupa i amplituda, a pojednostavljenje je moguće korištenjem raspodjele.

### **8.1.1.3 Definiranje broja i obilježja tegljača**

Pri definiranju tegljača u prvom redu valja definirati njihov broj i obilježja za određenu luku odnosno plovnim park.

Definiranje broja tegljača, kako je već naglašeno, moguće je na način da se definira neograničeni broj tegljača, tj. činjenica da u svakom trenutku vremena postoji raspoloživi tegljač kako bi se u istraživanju mogao analizirati broj i vrijeme zauzetosti tegljača ili na način da se definira ograničeni broj tegljača čime se može analizirati vrijeme zauzetosti pojedinog tegljača kao i vrijeme čekanja brodova na započinjanje manevra zbog nedostatka raspoloživih tegljača. Ograničeni broj tegljača moguće je odrediti temeljem broja tegljača za konkretni postojeći ili planirani lučki sustav kao i neki drugi broj tegljača kako bi se mogle izvoditi analize učinka broja tegljača na sustav.

Osim definiranja broja tegljača iznimno je važno i definiranje njihovih obilježja od kojih su najznačajnije sila vuče, vrsta propulzije, duljina, brzina tegljača, te ostale značajke kao što su njihova alternativna namjena za spašavanje, gašenje požara, itd.

Međutim sa stanovišta modela dovoljno bi bilo definiranje vrste tegljača s obzirom na vrstu i položaj propulzije jer ovaj parametar u prvom redu definira manevarska svojstva tegljača, duljine tegljača (LT) koja je značajna pri određivanju potrebnog prostora za manevriranje i sile vuče tegljača ( $F_{vuče}$ ) koja je od iznimne važnosti pri određivanju potrebnog broja tegljača u odnosu na djelovanje vanjskih sila. Sve ove vrijednosti valja odrediti temeljem stvarnih podataka za određeni plovni park tegljača ili aproksimativno na temelju uobičajenih obilježja pojedine vrste tegljača.

Sa stanovišta raspoloživosti tegljača u određenom trenutku vremena potrebno je definirati i mogući broj radnih sati dnevno i godišnje. Također, u detaljnijoj razradi modela valja definirati i ostale poslove zbog kojih tegljači mogu biti nedostupni kao što su npr. da li tegljač može sudjelovati u operacijama tegljenja teglenice u svrhu prijevoza tereta, da li tegljač može sudjelovati u operacijama tegljenja plovne dizalice, da li tegljač može sudjelovati u gašenju požara, da li tegljač može sudjelovati u spašavanju na moru, da li tegljač može sudjelovati u operacijama tegljenja broda u svrhu spašavanja, itd. Ako navedeni poslovi u pojedinom lučkom sustavu imaju značajan udio u vremenu korištenja tegljača valja odrediti vjerojatnosti njihova pojavljivanja. U pojednostavljenom modelu za luke gdje taj udio nije previše velik mogu se i zanemariti.

Kako bi se mogao točno odrediti broj potrebnih tegljača i njihovih obilježja u prvom redu njihove sile vuče potrebno je definirati model pojedinačnog manevra. Za dobivanje konkretnih rezultata potrebno je definirati matematički model jednog pojedinačnog manevra, a s ulaznim podacima koji proizlaze iz cjelokupnog modela sustava manevriranja brodom. Detaljna definicija i postavljanje jednog takvog modela biti će prikazano u posebnom poglavlju.

#### **8.1.1.4 Definiranje dolazaka brodova, njihove vrste i obilježja**

##### **A) ZAKONITOST DOLASKA BRODOVA**

Broj brodova koji dolaze u određenu luku moguće je odrediti indirektno temeljem godišnjeg prometa brodova ili preciznije direktno temeljem broja dolazaka brodova u određenom vremenskom periodu. Za pomorski prometni tijek istraživanja su pokazala da dolazak brodova slijedi Poissonovu razdiobu.<sup>121</sup>

Razdioba broja prispjelih brodova - *Poissonova razdioba*

$$P_{n(t)} = \frac{(q \cdot t)^n}{n!} \cdot e^{-qt}$$

$q$  – količina prometa (ukupna)

$P_{(t)}$  – vjerojatnost da će u vremenu  $t$  pred luku pristići  $n$  brodova

<sup>121</sup> D. Zec, Planiranje pomorske plovidbe, Pomorski fakultet Rijeka, Rijeka, 1997., str. 78.

Zakoničnost dolazaka brodova opisana je i procjenjujući razdiobu vremena između dva dolaska broda, koja je vrlo često za trgovačke brodove reprezentirana funkcijom negativne eksponencijalne razdiobe.<sup>122</sup>

Razdioba vremena između dva dolaska – *Negativna eksponencijalna razdioba*

$$F(t) = 1 - e^{-\mu t}$$

$\mu$  - mjera (norma) dolazaka (*arrival rate*),

## B) ZAKONITOST DOLAZAKA BRODOVA PO VRSTI I VELIČINI

Da bi se okarakterizirala razdioba ukupne nosivosti za različite vrste brodova u ovisnosti o konkretnoj luci, trenutno ne postoji generalna formulacija. Ukupna nosivost je izabrana zbog toga što je to mjera koja najbolje obilježava veličinu broda osim kod putničkih brodova gdje valja računati s deplasmanom ili bruto tonažom i brodova za prijevoz kontejnera gdje se računa s TEU jedinicama.

Vrsta brodova koji dolaze u luku ovisit će u prvom redu o vrsti terminala koje luka ima u svom sastavu. Vrste brodova koje određena luka može primiti moguće je odrediti direktno da se uzmu vrste iz određenog uzorka ili indirektno u odnosu na vrste terminala koji su definirani u lučkom području. Vrsta broda ovisi o teretu kojeg prevozi, a u modelu ih se može vezati za terminal ili svrhu dolaska broda kao što je nadopuna zaliha, goriva, popravak, izrada novog broda u brodogradilištu, itd. Vrste brodova koje se može definirati u modelu su npr. brod za generalni teret (GCS), brod za rasuti teret (BC), Ro-Ro brod (Ro-Ro), brod za prijevoz ulja (OT), brod za prijevoz kemikalija (CT), brod za prijevoz ukapljenih plinova (GC), brod za prijevoz kontejnera (CV), putnički brod (PS), itd. Broj dolazaka određene vrste brodova može se odrediti prema određenoj razdiobi ili konkretnim postocima dolaska određene vrste brodova.

Razdiobu broja brodova po veličini (prema ukupnoj nosivosti, TEU jedinicama ili bruto tonaži) valja odrediti prema stvarnim ili planiranim vrijednostima. Jedno od polazišta može biti određivanje razdiobe na temelju podataka za svjetsku flotu. U konkretnom slučaju valja uzeti u obzir ograničenja u pogledu veličine brodova za određenu luku. Razdioba broja brodova po veličini za ukupnu svjetsku flotu i određene vrste brodova određena na temelju *International Statistics List*, ISL statistike<sup>123</sup> prikazana je u nastavku.

Za ukupnu svjetsku flotu razdioba koja najbolje reprezentira ovaj problem je Lognormalna razdioba.

*Lognormalna razdioba*

$$f(x) = \frac{1}{(x - \min) \sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{[\ln(x - \min) - \mu]^2}{2\sigma^2}\right)$$

$\min$  -  $\min x$

$\mu$  - srednja vrijednost uključene normale

$\sigma$  - standardna devijacija uključene normale

Također, razdioba broja pojedine vrste brodova po veličini koji dolaze u luku moguće je odrediti na temelju podataka određene vrste brodova svjetske flote ili bolje tako da se razdioba broja brodova po veličini opiše u formi tablice za konkretnu luku. Pritom valja uzeti konkretne podatke iz prošlog vremena ili pretpostavljene podatke za buduće vrijeme.

<sup>122</sup> Approach Channels A Guide for Design, Final report of the joint Working Group PIANC and IAPH, in cooperation with IMPA and IALA, Supplement to Bulletin No. 95, PIANC, Bruxelles, 1997, str.55.

<sup>123</sup> Shipping Statistics and Market Review (SSMR), Institute of Shipping Economics and Logistics - ISL, Bremen, Germany, Volume 45,1/2 (2001).

BRODOVI ZA PRIJEVOZ GENERALNOG TERETA
<i>Lognormalna razdioba</i>
$f(x) = \frac{1}{(x - \min)\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{[\ln(x - \min) - \mu]^2}{2\sigma^2}\right)$
min - min x $\mu$ - srednja vrijednost uključene normale $\sigma$ - standardna devijacija uključene normale

BRODOVI ZA PRIJEVOZ RASUTOG TERETA
<i>Gamma razdioba</i>
$f(x) = \frac{(x - \min)^{\alpha-1}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \exp\left(-\frac{[(x - \min)]}{\beta}\right)$
min - min x $\alpha$ - parametar oblika > 0 $\beta$ - parametar skale > 0

OBO BRODOVI
<i>Gamma razdioba</i>
$f(x) = \frac{(x - \min)^{\alpha-1}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \exp\left(-\frac{[(x - \min)]}{\beta}\right)$
min - min x $\alpha$ - parametar oblika > 0 $\beta$ - parametar skale > 0

BRODOVI ZA PRIJEVOZ KONTEJNERA
<i>Erlangova razdioba</i>
$f(x) = \frac{(x - \min)^{m-1}}{\beta^m \Gamma(m)} \exp\left(-\frac{[(x - \min)]}{\beta}\right)$
min - min x $m$ - parametar oblika = pozitivni cijeli broj $\beta$ - parametar skale > 0

BRODOVI ZA PRIJEVOZ SIROVE NAFTE U RAZLIVENOM STANJU
<i>Lognormalna razdioba</i>
$f(x) = \frac{1}{(x - \min)\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{[\ln(x - \min) - \mu]^2}{2\sigma^2}\right)$
min - min x $\mu$ - srednja vrijednost uključene normale $\sigma$ - standardna devijacija uključene normale

BRODOVI ZA PRIJEVOZ KEMIKALIJA U RAZLIVENOM STANJU
<i>Lognormalna razdioba</i>
$f(x) = \frac{1}{(x - \min)\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{[\ln(x - \min) - \mu]^2}{2\sigma^2}\right)$
min - min x $\mu$ - srednja vrijednost uključene normale $\sigma$ - standardna devijacija uključene normale

BRODOVI ZA PRIJEVOZ UKAPLJENIH PLINOVA
<i>Lognormalna razdioba</i>
$f(x) = \frac{1}{(x - \min)\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{[\ln(x - \min) - \mu]^2}{2\sigma^2}\right)$
min - min x $\mu$ - srednja vrijednost uključene normale $\sigma$ - standardna devijacija uključene normale

PUTNIČKI BRODOVI
<i>Beta razdioba</i>
$f(x) = \int_0^1 x^{p-1} (1-x)^{q-1} dx$
$p$ - parametar > 0 $q$ - parametar > 0

Za točnije definiranje broja brodova po veličini valjalo bi iz statistike za svjetsku flotu izbaciti brodove veličina koji se u luci ne prihvaćaju pa onda odrediti raspodjelu. Dakako, najtočnije je razdiobu odrediti iz točnog broja brodova za konkretnu luku.

Poznavanje veličine broda prispjelog u određenom trenutku vrlo je značajno za model jer će se temeljem njegove veličine (najčešće na temelju ukupne nosivosti) odrediti ostala obilježja broda koja utječu na samo izvođenje manevra. To su u prvom redu deplasman i gaz broda te njegove nadvodne i podvodne površine. Međutim ove vrijednosti potrebno je odrediti i u ovisnosti o činjenici da li brod dolazi na ukrcaj ili iskrcaj ili djelomičan ukrcaj odnosno djelomičan iskrcaj ili pak djelomičan ukrcaj/iskrcaj.

Pritom treba krenuti od sljedećih pretpostavki: pri dolasku na ukrcaj pretpostaviti dolazak broda u balastu (*ballast condition*), pri dolasku na iskrcaj pretpostaviti dolazak nakrcanog broda

(*full loaded condition*), najveći problem javlja se pri definiranju stupnja nakrcanosti pri dolasku na djelomičan ukrcaj, pri dolasku na djelomičan iskrcaj ili pri dolasku na djelomičan ukrcaj/iskrcaj. Stanja nakrcanosti pri odlasku valja odrediti u korelaciji sa stanjima pri dolasku.

Određivanje ovih parametara treba vezati na terminal na način da se definira da li je terminal ukrcajni ili iskrcajni, ukrcajno/iskrcajni (u ovom slučaju može se uzeti vjerojatnost ukrcaja ili iskrcaja tereta) ili će se na terminalu teret djelomično ukrcavati ili iskravati (vjerojatnost količine ukrcanog ili iskrvanog tereta). Posljednja dva čimbenika, a posebno zadnji vrlo je teško konkretno odrediti pa je potrebno pojednostavljeno.

Osim veličine i dimenzija broda temeljem poznavanja vrste broda potrebno je odrediti i ostale značajke broda važne za manevriranje kao što su vrsta i snaga stroja, broj i vrsta vijaka, broj, smještaj i snaga porivnika. Dakako, da ni ove elemente nije moguće točno odrediti već ih se može definirati temeljem uobičajenog pojavljivanja za određenu vrstu i veličinu brodova.

### **8.1.2 Definiranje algoritma modela sustava manevriranja brodom i definiranje vremena trajanja pojedinih procesa u modelu**

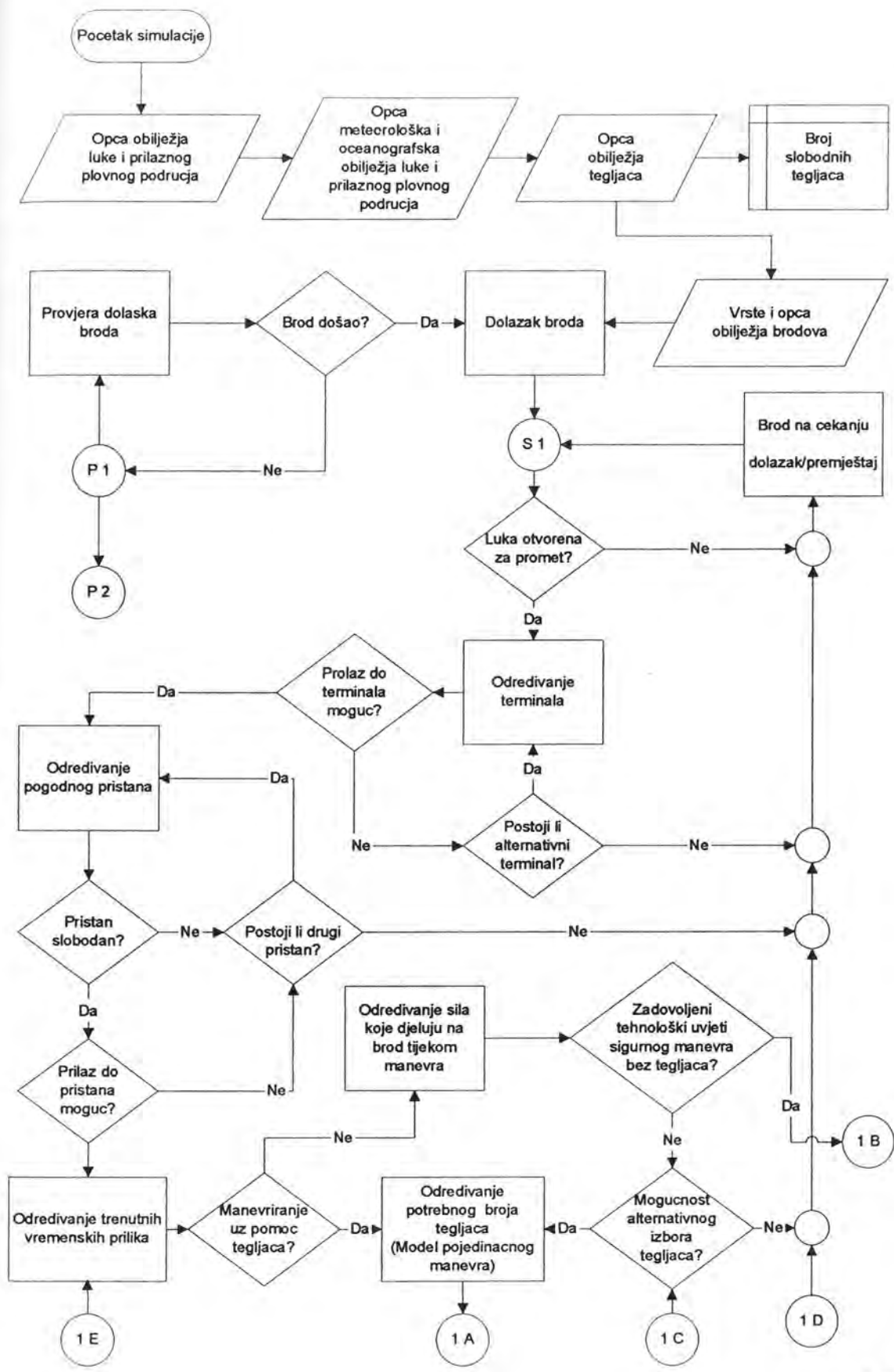
U ovom poglavlju prikazan je algoritam sustava manevriranja brodom te je definiran način određivanja vremena trajanja pojedinih procesa s problemima i ograničenjima koja se pritom javljaju.

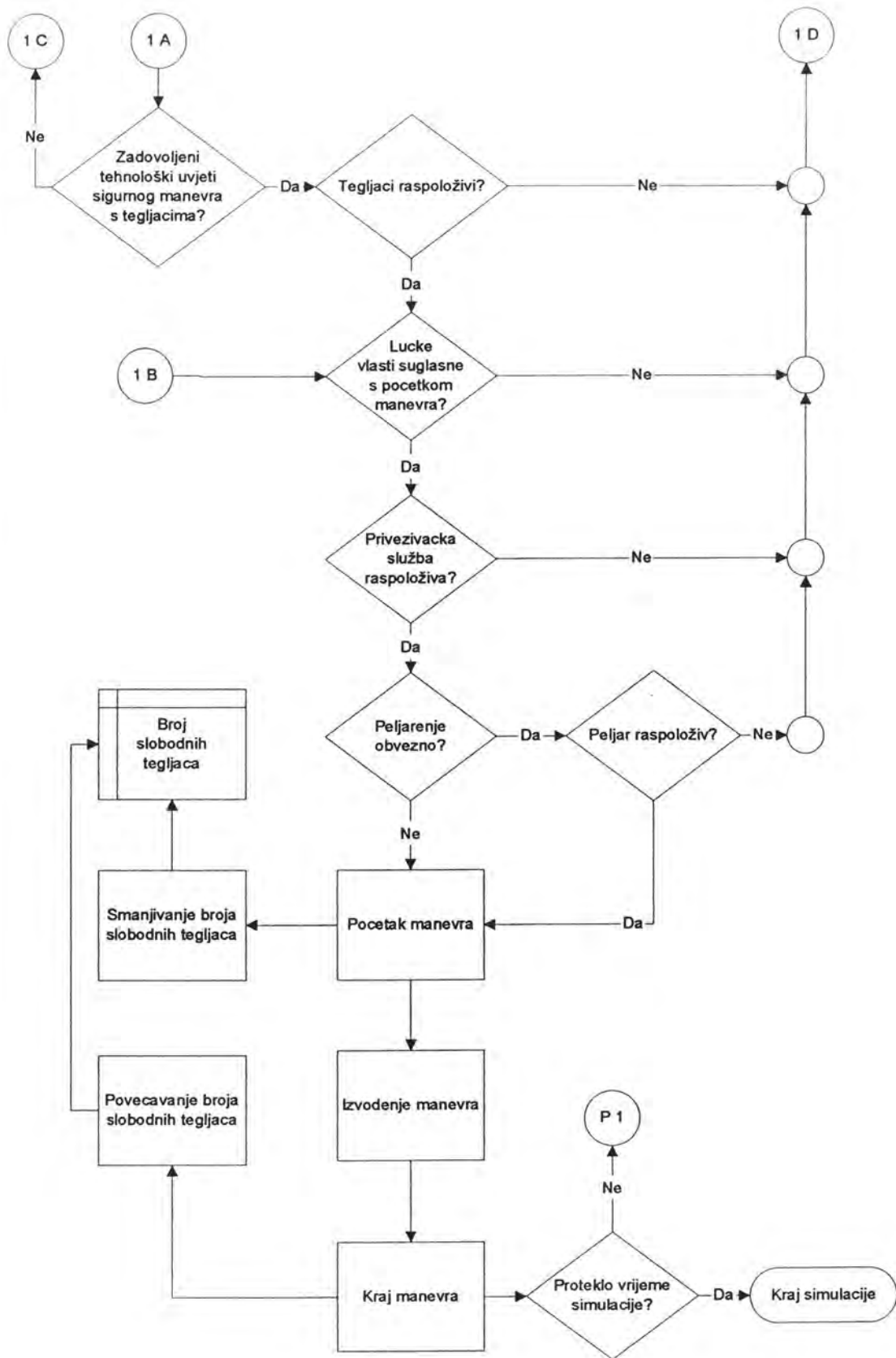
#### **8.1.2.1 Algoritam modela sustava manevriranja brodom**

Temeljem analize utjecajnih čimbenika u sustavu manevriranja brodom, a koji su definirani u prethodnim razmatranjima, postavljen je algoritam modela istraživanog sustava. Algoritam prikazuje način provedbe i odlučivanja pri postavljanju modela sustava manevriranja brodom. Razrada samog algoritma zadovoljava sa stanovišta postavljanja konceptualnog modela. Za objektiviziranje i daljnju razradu modela pojedine dijelove prikazanog algoritma valja detaljno razraditi.

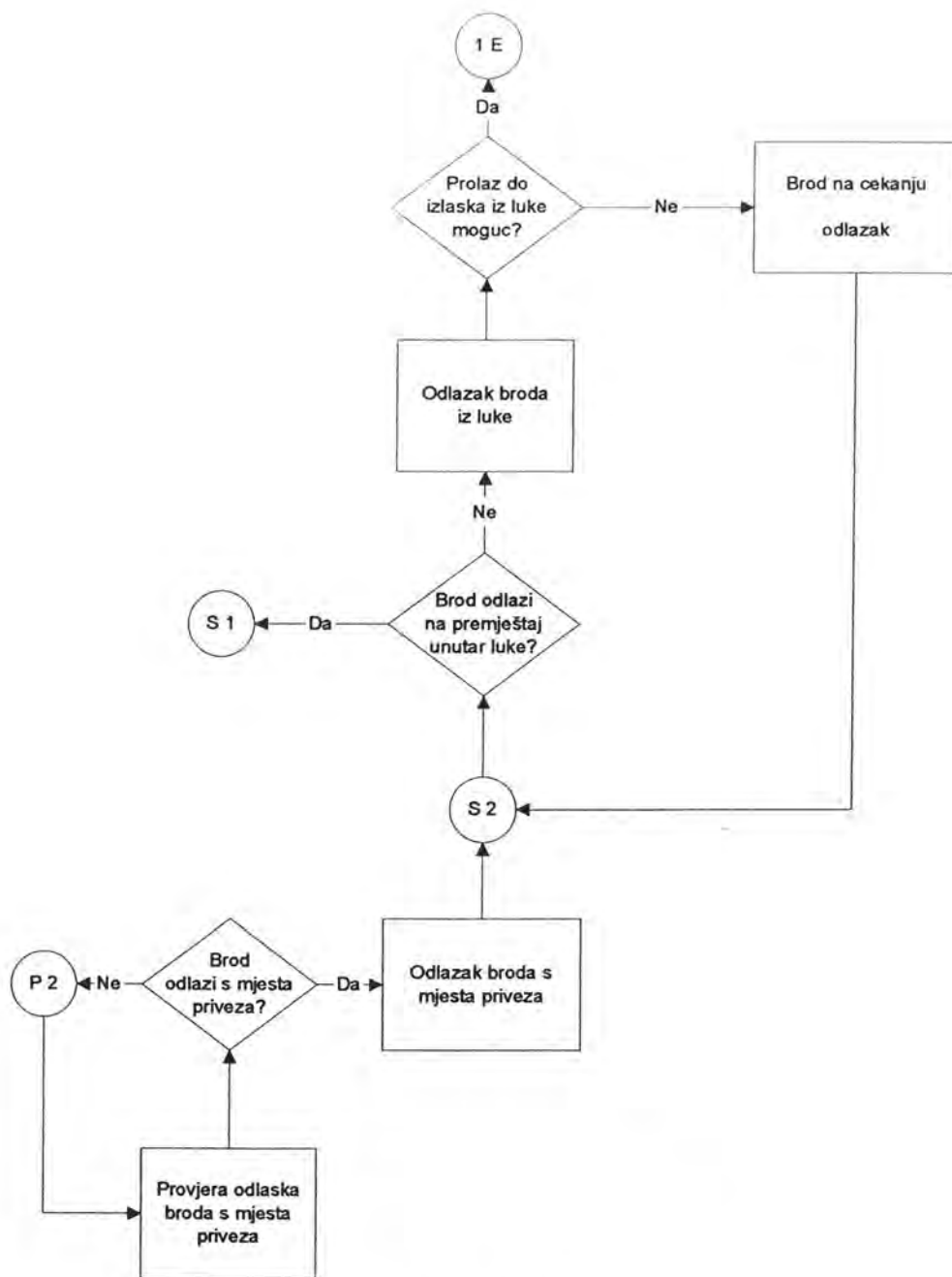
Zbog izuzetne multidisciplinarnosti i interdisciplinarnosti područja istraživanja postavljen model je zamišljen modularno kako bi se u njegovom daljnjem razvoju pojedini dijelovi mogli posebno detaljno razvijati sudjelovanjem jednog ili više eksperata za pojedino područje. Ovim pristupom cijeli model i njegova primjena mogu dati bolje kvalitativne i kvantitativne rezultate istraživanja.

Predloženi algoritam modela sustava manevriranja brodom prikazan je u nastavku.







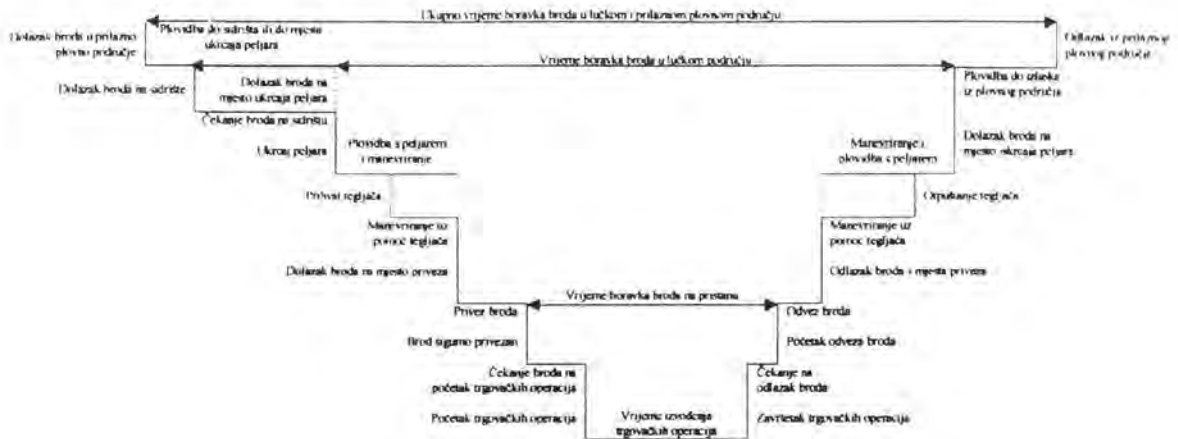


Slika 34 Algoritam modela sustava manevriranja brodom

### 8.1.2.2 Definiranje vremena trajanja pojedinih postupaka u modelu

U modelu valja definirati vrijeme trajanja pojedinih postupaka kao što su vrijeme plovidbe broda prilaznim plovnom putom i trajanje manevra, vrijeme boravka broda na mjestu priveza, vrijeme čekanja na početak manevra, itd.

Ukupno vrijeme boravka broda u lučkom i prilaznom plovnom području može se načelno prikazati sljedećim dijagramom razdiobe ukupnog vremena boravka.



Slika 35 Dijagram razdiobe ukupnog vremena boravka broda u lučkom i prilaznom plovnom području

Izvor: *Privedio i adaptirao autor prema Tomić, I., Prometna tehnologija luka, Sveučilište u Zagrebu, Centar prometnih znanosti, Institut prometnih znanosti, Zagreb, 1986., str. 166.*

#### A) VRIJEME PLOVIDBE BRODA PRILAZNIM PLOVNIM PUTOM I TRAJANJE MANEVRA

Vrijeme plovidbe broda prilaznim plovnim putem ovisit će o njegovoj duljini i brzini plovidbe broda tim plovnim putem. Ovo vrijeme na različitim plovnim putovima ne varira značajno, tako da se na vrijeme plovidbe konkretne vrste broda s zadovoljavajućom točnošću može primijeniti usko granična normalna razdioba. Ako na određenom prilaznom plovnom putu postoje određena ograničenja u pogledu brzine plovidbe onda vrijeme plovidbe plovnom putom valja odrediti temeljem te brzine. Ako se brzina plovidbe označi s  $V_p$ , a duljina plovnog puta s  $d$ , može se pisati sljedeći izraz:

$$t_{\text{plovidbe}} = f(V_p, d)$$

Vrijeme trajanja manevra daleko je teže odrediti jer ovisi o mnogim čimbenicima koji mogu u konkretnom slučaju značajno varirati. Ovo vrijeme vrlo je bitan čimbenik u analizi cjelokupne problematike i postavljanju simulacijskog modela. Naime o tom vremenu direktno ovisi koliko će se manevra obaviti u određenoj jedinici vremena. Podrazumijeva se da brzina pojedinog manevra ne smije smanjiti sigurnost tijekom samog manevra. Da bi se ostvario ovaj uvjet potreban je određeni broj tegljača određenih obilježja. Ovaj broj i obilježja ovise i o vrsti i veličini broda, složenosti manevra u konkretnom slučaju, te utjecaju meteoroloških i oceanografskih prilika. Koliki broj tegljača i kakvih obilježja za pojedini manevra u određenom akvatoriju definiran je u djelu koji govori o stupnju sigurnosti manevra. Svi ovi čimbenici jasno utječu na vrijeme trajanja pojedinog manevra. U simulacijski model mogu se ugraditi prosječna vremena za pojedine pristane, veličine i vrste brodova, vremenske uvjete, itd.

Vrijeme trajanja manevra obično nije jednako pri dolasku u odnosu na vrijeme trajanja manevra pri odlasku, pa i ovu činjenicu valja uzeti u obzir.

Vrijeme trajanja manevra treba promatrati i na način usporedbe s konkurentskom lukom jer ni u tom slučaju ne smije biti velikih disproporcija ako se gleda cjelokupni prometni pravac. Dvije luke mogu imati objektivno i veliku razliku u mogućnosti izvođenja pojedinog manevra, međutim luka u kojoj je to vrijeme dulje, ono se može skratiti upotrebom većeg broja snažnijih tegljača boljih manevarskih obilježja jer je već napomenuto da se određeni stupanj sigurnosti ne smije narušiti.

Pri planiranju novih luka ili terminala potrebno je ovu činjenicu uzeti u obzir, te projektirati dovoljan prostor za manevriranje.

Vrijeme trajanja manevra na prvi pogled se ne čini tako značajno u analizi vremena boravka broda u luci, međutim ovo vrijeme ima važan utjecaj na učinkovitost sustava prihvata i otpreme broda. Problem trajanja manevra i učinak na sustav prihvata i otpreme broda potrebno je zbog toga sustavno sagledati.

Dulje trajanje manevra ako se pretpostavi određeni broj tegljača prouzrokovat će veću zauzetost tegljača, a time i produljiti vrijeme čekanja drugih brodova na usluge tegljenja. U slučaju da se želi zadržati nepromijenjeno vrijeme čekanja drugih brodova na usluge tegljača potrebno je povećati broj tegljača što pretpostavlja dodatne troškove. Prema tome s ovog gledišta uočava se da vrijeme trajanja manevra izravno utječe na učinkovitost cijelog sustava.

Promatra li se ukupno vrijeme boravka broda u luci ono se sastoji od vremena provedenog u čekanju na privez i vremena provedenog na privezu, te vremena potrebnog za odlazak broda iz luke. Vrijeme provedeno na čekanju na privez sastoji se od vremena provedenog u čekanju na sidrištu tj. vremena čekanja na početak manevra ulaska u luku i samog manevra ulaska u luku i priveza. Vrijeme potrebno za odlazak iz luke zapravo podrazumijeva vrijeme potrebno za manevar odlaska.

Promatrajući tako vrijeme cjelokupnog boravka broda u luci ne čini se da na manevriranje otpada značajni dio vremena. Ova pretpostavka nije u potpunosti opravdana, a pogotovo nije opravdana za brodove suvremenih tehnologija. Naime, boravak brodova suvremenih tehnologija u luci potrebno je što više smanjiti jer ovo vrijeme bitno utječe na ekonomsku učinkovitost ovih brodova. Prema tome takvi brodovi zbog visokorazvijenih tehnologija prekrcaja relativno malo vremena utroše na sam ukrcaj ili iskrcaj, pa je vrijeme trajanja manevriranja u cjelokupnom vremenu boravka broda u luci značajna veličina. Treba napomenuti da ti brodovi, a to su u prvom redu brodovi za prijevoz kontejnera i RO-RO brodovi, upravo zbog skraćivanja tog vremena imaju ugrađena dodatna tehnička rješenja kao što su pramčani i krmeni porivnici, vijke u okretljivim sapnicama, dva vijka, itd.

Međutim udio vremena provedenog u manevriranju u odnosu na cjelokupno vrijeme boravka u luci ili terminalu postaje značajno i za velike brodove za prijevoz masovnih tereta kao što su tankeri i brodovi za prijevoz rasutog tereta. Naime, ovi brodovi su u pravilu veliki brodovi kojima je manevriranje otežano i vrlo složeno, što ima utjecaj na vrijeme trajanja manevra kako u dolasku, tako i u odlasku. S druge strane suvremene tehnologije ukrcaja ili iskrcaja omogućavaju vrlo velike kapacitete što smanjuje vrijeme provedeno u obavljanju trgovačkih operacija čime udio vremena provedenog u manevriranju postaje veći u cjelokupnom boravku broda u luci ili terminalu.

Uzevši u obzir prethodna razmatranja te temeljem udaljenosti definiranih pri definiranju lučkog područja moguće je odrediti dio vremena trajanja jednog manevra u dolasku ili odlasku, vrijeme zauzetosti tegljača pri manevru dolaska ili odlaska kao i vrijeme zauzetosti peljara na brodu pri manevru dolaska ili odlaska.

Manevar dolaska kako i manevar odlaska moguće je podijeliti u tri sukcesivne faze koje prate slijed izvođenja samog manevra.

U prvu fazu manevra dolaska pripada vrijeme potrebno za plovidbu manevarskom brzinom od mjesta prihvata tegljača ( $MPT_x$ ) do točke započinjanja stvarnog manevra pristajanja. Ova točka obično ovisi o konkretnom pristanu kao i o obilježjima broda. Drugu fazu čini vrijeme potrebno za manevriranje brodom brzinom koja opada od manevarske do brzine pristajanja odnosno maksimalne brzine pristajanja na putu od mjesta započinjanja stvarnog manevra pristajanja do pristana. Brzinu, a time i vrijeme trajanja ove operacije vrlo je teško odrediti, stoga je u modelu valja pretpostaviti za konkretni pristan. U treću fazu valja ubrojiti vrijeme koje je potrebno da se brod sigurno veže kad je već na poziciji veza. Ovo vrijeme također je teško odrediti jer ovisi i o konkretnoj luci odnosno državi gdje se nalazi pristan, a funkcija je i vrste broda, ukupne nosivosti, meteoroloških i oceanografskih prilika, itd. Za

potrebe modela moguće ga je relativno točno odrediti u odnosu na broj konopa koje treba privezati.

U prvu fazu manevra odlaska spada vrijeme potrebno da se brod odveže od pristana, a pritom ga pridržavaju tegljači. Za vrijeme trajanja ove faze vrijede sve napomene izložene pri razmatranju vremena trajanja treće faze pri manevru dolaska. U modelu ovo vrijeme valja definirati u odnosu na broj konopa koje treba odvezati. U vrijeme zauzetosti tegljača valjalo bi uključiti i vrijeme dok tegljači čekaju početak manevra odveza prihvaćeni na brod. Druga faza pretpostavlja vrijeme potrebno za manevriranje brzinom koja raste od nule do manevarske brzine na putu od pristana do mjesta završetka stvarnog manevra isplovljenja. Duljina ovog puta ovisi o konkretnoj luci, ali i obilježjima broda te je u modelu valja pretpostaviti. Treću fazu čini vrijeme potrebno za plovidbu manevarskom brzinom od mjesta završetka stvarnog manevra isplovljenja do mjesta otpuštanja tegljača ( $MOT_x$ ).

Imajući u vidu prethodna razmatranja, ali i ostale faktore koji mogu bitno determinirati vrijeme trajanja manevra načelno se može pisati da je to vrijeme funkcija brzine broda tijekom pojedinih faza manevriranja  $V_m$ , duljine manevarskog akvatorija  $d_m$ , manevarskim osobinama broda  $B_m$ , meteorološkim i oceanografskim uvjetima na području manevriranja  $U_m$ , broju i obilježjima tegljača  $T$ , složenosti manevra  $f_{sm}$ , ljudskom čimbeniku u sustavu manevriranja brodom  $L_f$ , zahtjevanom stupnju sigurnosti  $f_{sig}$ , itd.

$$t_{\text{manevriranja}} = f(V_m, d_m, B_m, U_m, T, f_{sm}, L_f, f_{sig}, \dots)$$

Ovim vremenima trajanja manevra za analizu zauzetosti tegljača valja pridodati i vrijeme koje je potrebno da tegljači stignu od određenog mjesta (baze, drugog terminala, mjesta otpuštanja tegljača na nekom terminalu) do mjesta prihvata tegljača za manevr dolaska ili mjesta priveza za manevr odlaska. Ova vremena se u modelu mogu odrediti prosječnom vrijednošću ili odrediti temeljem brzine tegljača i duljini plovidbe.

Također, u vrijeme zauzetosti tegljača valja uračunati vrijeme koju eventualno tegljač provede na određenom mjestu priveza uz privezani brod u stanju pripravnosti ako propisi sigurnosti to zahtijevaju.

Želi li se model iskoristiti i za analizu provedenog vremena peljara na brodu odnosno ukupno vrijeme angažiranja peljara za jedan manevr potrebno je na vrijeme trajanja manevra pridodati provedeno vrijeme peljara na brodu prije prihvata tegljača odnosno nakon otpuštanja tegljača te vrijeme provedeno na putu na brod i s broda. U modelu se ova vremena mogu uzeti prosječna ili odrediti točnije temeljem stvarnih udaljenosti.

Ovo vrijeme ovisit će o načinu dolaska ili odlaska peljara na/s broda. Osim najčešćeg dolaska i odlaska peljara peljarskom brodicom u pojedinim lukama svijeta dolazak i odlazak peljara na/s broda na mjestu ukrcaja ili iskrcaja peljara moguć je helikopterima, a vrlo često peljar nakon priveza odlazi, te prije odveza na brod dolazi automobilom. Također, valja napomenuti da mogu postojati kombinacije kad peljar na peljarenje dolazi direktno s prethodnog peljarenja koje je završilo iskrcajem na mjestu iskrcaja peljara ili nekom pristanu.

## B) VRIJEME BORAVKA BRODA U LUCI

Vrijeme boravka broda u luci je sa stanovišta ovog modela, koji u prvom redu razmatra sustav manevriranja brodovima, važno zbog određivanja vremena zauzetosti pristana ( $t_{\text{ZPRIST}}$ ). Ovo vrijeme sastavljeno je od određenih segmenata kao što su vrijeme potrebno za obavljanje formalnosti prihvata ( $t_{\text{PRIH}}$ ) i otpreme broda ( $t_{\text{OTPR}}$ ), vrijeme potrebno za prekrcaj broda ( $t_{\text{PREK}}$ ), vrijeme potrebno za boravak broda na pristanu zbog ostalih razloga ( $t_{\text{OST}}$ ), a može ga se definirati na sljedeći način:

$$t_{\text{zprist}} = t_{\text{prih}} + t_{\text{prek}} + t_{\text{ost}} + t_{\text{otpr}}$$

Vrijeme potrebno za obavljanje formalnosti prijvata i otpreme broda valja odrediti fiksno imajući u vidu uobičajeno vrijeme za određenu luku odnosno državu.

Vrijeme potrebno za prekrcaj broda ovisit će o prekrcajnoj normi i količini tereta koji se prekrcava te je stoga u modelu potrebno definirati ova dva parametra.

Prekrcajna norma ovisit će u prvom redu o broju i vrsti prekrcajnih sredstava na pristanu te činjenici da li se koriste obalna ili brodska prekrcajna sredstva. Prema tome prekrcajna norma se u modelu može konkretizirati za određeni pristan ali pritom valja uzeti u obzir i veličinu broda i vrstu tereta odnosno eventualna ograničenja u svezi s ovim parametrima. Naime, osim što pojedini tereti odnosno tehnologija prekrcaja tih tereta ima svoja ograničenja koja utječu na norme ukrcaja ili iskrcaja, tako pojedini brodovi osim tehničkih imaju i tehnološka ograničenja prekrcaja. Tako npr. kod brodova za prijevoz masovnih tereta prekrcajna norma ovisi i o kapacitetu istovremenog balastiranja odnosno debalastiranja, pa je kod tih brodova prekrcajna norma ograničena obično na određeni postotak ukupne nosivosti.

Vrijeme boravka broda na pristanu zbog ukrcaja ili iskrcaja valja nadalje odrediti temeljem veličine broda (najčešće ukupne nosivosti) i prekrcajne norme. Ovaj način dobar je za ukrcajne ili iskrcajne terminale, međutim kad se radi o djelomičnom ukrcaju ili iskrcaju (npr. terminal za generalni teret, kontejnerski terminal) ovaj način je nepouzdan. Točno bi bilo ovo vrijeme odrediti na temelju točno ukrcanog ili iskrcanog tereta. Dakle, ovaj način određivanja količine ukrcanog odnosno iskrcanog tereta može biti vrlo dobra aproksimacija za terminale na kojima se teret samo ukrcava ili samo iskrcava odnosno za terminale na kojima se uglavnom cjelokupni teret ukrcava ili iskrcava kao što su terminali za rasuti teret ili tekući teret. U tim slučajevima korisna nosivost jednaka je prekrcanom teretu za vrste brodova koji prema prirodi svog načina poslovanja ukrcavaju odnosno iskrcaavaju cjelokupan teret. Međutim, ova aproksimacija nije dovoljno dobra za terminale na kojima se teret i ukrcava i iskrcava ili se prekrcava samo dio tereta. U tom slučaju valjalo bi uvesti tzv. koeficijent prekrcaja ( $k_p$ ) uz pomoć kojeg bi se, u odnosu na korisnu nosivost, odredio teret koji će se prekrcavati.

U definiciji terminala njegova vrsta je važna, kao što je već naglašeno, i za definiranje vrste brodova koji pristižu u luku kao i za definiranje stanja nakrcanosti brodova o kojima pak ovise neki parametri koji su važni za definiranje manevra ali na temelju vrste terminala valja odrediti u ovom kontekstu i koeficijent prekrcaja. Pritom je važno da li je terminal ukrcajni ili iskrcajni, ili jedno i drugo. Tako npr. relativno točno se može odrediti kod terminala za masovne terete, bilo da je terminal ukrcajni ( $T_{UK}$ ) ili iskrcajni ( $T_{IS}$ ), da je koeficijent prekrcaja  $k_p = 1,0$ . Međutim koeficijent prekrcaja, kako je već naglašeno, teško je odrediti za terminale na kojima se izvodi i ukrcaj i iskrcaj ( $T_{UK/IS}$ ). Koeficijent prekrcaja kod ovakvih terminala trebalo bi odrediti temeljem vjerojatnosti odnosno prosjeka za uobičajenu praksu na konkretnom terminalu (npr.  $k_p = 0,5$ ). Sljedeći problem koji se javlja u razmatranju ove problematike je odnos između količine tereta koji se ukrcava ili iskrcava, kao i da li se dio tih radnji izvodi istovremeno. Količina tereta koja se ukrcava ili iskrcava može se prikazati odnosnom između ukrcanog i iskrcanog tereta, a taj odnos trebalo bi također odrediti temeljem vjerojatnosti odnosno prosjeka za uobičajenu praksu na konkretnom terminalu (npr.  $k_{UK} : k_{IS} = 0,4 : 0,6$ ). Međutim valja naglasiti da je ove vrijednosti vrlo teško definirati točno, te je nužno pojednostavljenje, također ove vrijednosti utjecat će i na stanje nakrcanosti broda pri dolasku i odlasku što je razmatrano ranije.

Analizirajući prethodna razmatranja ali i ostale čimbenike koji determiniraju ovaj problem, vrijeme trajanja prekrcaja načelno se može pisati kao funkcija količine tereta za prekrcaj  $T_p$ , koeficijentu prekrcaja  $k_p$  za djelomičan ukrcaj, iskrcaj ili istovremeni ukrcaj/iskrcaj, prekrcajnoj normi  $Q$ , itd.

$$T_{prekrcaja} = f(T_p, k_p, Q, \dots)$$

Vrijeme potrebno za boravak broda na pristanu može se produljiti i zbog nekih drugih razloga kao što su npr. nepovoljni vremenski uvjeti, nadopuna goriva i zaliha, popravak,

fumigacija, deratizacija, poseban carinski ili drugi pregled broda, itd. Vrijeme trajanja ovih razloga vrlo je teško odrediti. Eventualno, na temelju konkretnih vrijednosti za neki pristan ovo vrijeme moglo bi se odrediti raspodjelom odnosno postotkom vremena. U modelu se mogu zanemariti ( $t_{OST} = 0$ ), tim više što je pretpostavka da terminal radi normalno pa se brodovi dodatno ne zadržavaju zbog ovih razloga.

Vrijeme boravka putničkih brodova u luci valja direktno definirati temeljem uobičajenog vremena zadržavanja takvih brodova.

Iz prethodnih razmatranja je vidljivo koliko je složeno određivanje vremena zadržavanja broda u luci kad se problemu pristupi na detaljan način kako je prikazano. Kako bi se pojednostavnilo određivanje vremena boravka broda u luci odnosno zauzetosti pristana ovo vrijeme često se može definirati Erlangovom- $k$  funkcijom razdiobe,<sup>124</sup> koja se može prikazati izrazom:

$$F(t) = ((k\mu)^k t^{k-1} e^{-k\mu}) / (k-1)!$$

gdje su:

- $t$  – stohastički parametar koji može biti npr. vrijeme između dva dolaska specifične flote
- $k$  – cjelobrojni parametar oblika (veća vrijednost  $k$  implicira manju varijancu  $\mu$ )
- $\mu$  – mjera (norma) dolazaka (*arrival rate*), tj. broj dolazaka u jedinici vremena

#### C) VRIJEME ČEKANJA BRODA NA POČETAK MANEVRA

Osim prije razmotrenih vremena trajanja pojedinih postupaka u modelu valja uzeti u obzir i vrijeme čekanja broda na početak manevra koji može ovisiti o velikom broju čimbenika. Kako je ova činjenica vrlo važna za pravilno postavljanje modela potrebno je ove čimbenike detaljnije obrazložiti.

Već je naglašeno da bi sa stanovišta broda koji treba uslugu tegljača bilo idealno da je vrijeme čekanja što kraće odnosno da ne postoji čekanje, dok je brodaru koji pruža usluge tegljenja interes da mu tegljači budu što više iskorišteni. Prvi uvjet doveo bi do potrebe za velikim brojem tegljača što je vrlo neracionalno. Međutim, prilikom definiranja broja raspoloživih tegljača koji bi pružili zadovoljavajuću uslugu tegljenja bez velikog čekanja na tu uslugu, potrebno je uzeti u obzir veliki broj čimbenika, te ih definirati u ovisnosti o tim čimbenicima.

Ako se ovaj problem promatra samo kroz broj brodova koji u određenom trenutku čekaju na manevar ulaska ili izlaska iz luke dobiva se vrlo nerealna slika. Naime, vrijeme čekanja ma manevar ulaska ili izlaska iz luke ne ovisi samo o raspoloživosti dovoljnog broja tegljača već i o nizu drugih čimbenika. Pritom valja naglasiti da se pretpostavlja da peljarska služba, privezivačka služba, te državni organi i ostale komercijalne organizacije neće utjecati na odvijanje manevra broda. Ako se izuzmu ovi čimbenici onda ostaju čimbenici koje zasigurno u ovoj analizi treba uzeti u obzir, a to su čimbenici o kojima izravno ovisi vrijeme čekanja na manevar ulaska ili izlaska iz luke. Neki od ovih čimbenika utječu na vrijeme čekanja na manevar ulaska ili izlaska iz luke, a poneki u određenom trenutku utječu na samo jedan od ovih manevara. Čimbenici koje treba uzeti u obzir u ovom razmatranju su u svakom slučaju:

- nemogućnost ulaska u luku zbog zauzetosti pojedinog pristana za privez određenog broda,
- nemogućnost ulaska u luku zbog zauzetosti terminala ili luke u cijelosti, pa i zakrčenosti luke,
- nemogućnost ulaska ili izlaska iz luke zbog nedovoljne dubine vode izazvane osekom ili drugim meteorološkim čimbenicima,

<sup>124</sup> Approach Channels A Guide for Design, Final report of the joint Working Group PIANC and IAPH, in cooperation with IMPA and IALA, Supplement to Bulletin No. 95, PIANC, Bruxelles, 1997, str.55.

Sagledavši problem na ovaj način javljaju se dva zaključka. Prvi je zaključak da nije potrebno uvijek imati toliki broj tegljača koji bi mogli prihvatiti brod čim se pojavi u akvatoriju luke ili je spreman za isplovljenje jer manevar dolaska odnosno odlaska neće uvijek moći biti izveden istog trenutka jer ovisi i o drugim čimbenicima. Drugi zaključak se nameće sam po sebi, a odnosi se na potrebu za istovremenim izvođenjem velikog broja manevara nakon prestanka uvjeta koji su doveli do prekida operacija manevriranja. Naime, za vrijeme prekida operacija manevriranja brodovi su nastavili dolaziti, te je u jednom trenutku kad su se stekli uvjeti za izvođenje operacija manevriranje broj brodova koji traže usluge tegljenja vrlo velik. Prema tome javlja se zastoje i čekanje na operacije tegljenja koga u normalnim uvjetima ne bi bilo, tj. nastale su kao izravna posljedica zastoja u tim operacijama zbog prije navedenih čimbenika.

Prema tome općenito se može zaključiti da je potrebno imati veći broj tegljača zbog utjecaja ovih čimbenika u odnosu na onaj koji bi se mogao pretpostaviti prema prometu brodova. Svi ovi čimbenici skraćuju vrijeme u kojem je manevriranje moguće što jasno uz određeni konstantan broj brodova koji traže uslugu tegljenja povećava broj manevara u jedinici vremena.

#### D) OSTALE PRETPOSTAVKE VAŽNE ZA MODEL

Osim prethodno razmotrenih čimbenika koji utječu na ponašanje sustava postoje i drugi koje ne treba ispustiti iz vida. Međutim, kako je osnovno polje interesa model sustava manevriranja sa stanovišta pružanja usluge tegljenja brodova, a i sam utjecaj ovih čimbenika je vrlo teško precizno opisati, valja pretpostaviti da broj peljara odnosno peljarska služba, te broj privezivača odnosno privezivačka služba ne predstavljaju ograničavajući faktor što gotovo u potpunosti odgovara stvarnosti. Isto tako valja pretpostaviti da državni organi i ostale organizacije koje sudjeluju u sustavu prijehata i otpreme broda nisu ograničavajući faktor u odvijanju manevriranja brodom. Ove pretpostavke u potpunosti vrijede u normalnim uvjetima odvijanja prijehata i otpreme broda. Međutim, postoje određene okolnosti kad ovi čimbenici predstavljaju ograničavajući faktor tj. imaju direktan utjecaj na vrijeme odvijanja manevra. Najvažniji slučajevi vezani za rad državnih organa su neizdavanje brodu dozvole za slobodan promet s obalom, neizdavanje dozvole za odlazak iz luke, zaustavljanje broda iz bilo kojeg razloga, a slučajevi vezani za rad ostalih komercijalnih organizacija očituju se u pokretanju raznih zahtjeva za zaustavljanje broda, neprihvatanje pisma spremnosti od broda, itd.

### 8.1.3 Izlazni podaci i ocjena (evaluacija) rezultata

#### A) IZLAZNI PODACI

Izlazni podaci, kako je već naglašeno, trebaju obilježavati ponašanje sustava. Ako ulazni podaci nepravilno variraju, izlazni podaci simulacije će također pokazivati nepravilne varijacije. To znači da treba primijeniti statističku analizu izlaznih podataka.

Razradom ovog konceptualnog modela, ako se krene od pretpostavke da je broj tegljača neograničen, moguće je analizirati broj potrebnih tegljača i vrijeme njihove zauzetosti u manevriranju ili na dolasku i odlasku s pozicije manevriranja i to dnevno, godišnje ili neki određeni period vremena. Moguća je analiza vršnih i minimalnih opterećenja te temeljem rezultata određivanje potrebnog broja tegljača za učinkovito funkcioniranje sustava.

Ako se pak krene od pretpostavke da je broj tegljača ograničen (konkretan postojeći broj, broj tegljača koji se planira koristiti, broj tegljača uz planirano povećanje, itd.) moguće je odrediti vrijeme zauzetosti tegljača i broj angažiranih tegljača u određenom trenutku te vrijeme čekanja brodova na tegljače (u dolasku i u odlasku) nakon što su svi raspoloživi tegljači angažirani. Analizirajući rezultate nakon povećanja raspoloživog broja tegljača metodom iteracije moguće je također odrediti njihov optimalni broj sa stanovišta učinkovitosti.

Osim toga razradom ovakvog konceptualnog modela moguće je određivati vrijeme čekanja brodova odnosno razdiobu broskog vremena čekanja i vrijeme boravka broda u luci. Također, može se dobiti vrijeme čekanja brodova zbog zauzetosti pristana, nedostatka tegljača, meteoroloških i oceanografskih čimbenika, itd.

Ukoliko se u ovakav model ubace određeni ekonomski parametri i komponente moguće ga je proširiti i svrsishodno koristiti u razmatranju ekonomskih utjecaja u sustavu. Ovaj cilj može se postići ugrađivanjem funkcije troškova<sup>125</sup> za pojedine procese čime će se moći analizirati struktura i veličina pojedinih troškova.

Koristeći specifični model simulacije prometnog tijeka s težištem na sustavu manevriranja moguće je definirati i maksimalni kapacitet luke u odnosu na sustav manevriranja koristeći prihvatljivo vrijeme čekanja broda na započinjanje manevra i vrijeme boravka broda u luci kao kriterija te utjecaj promjene eksploatacijskih pravila koji proizlaze od sigurnosnih zahtjeva na vrijeme čekanja broda.

## B) OCJENA (EVALUACIJA) REZULTATA

Kako je već istaknuto ocjena odnosno evaluacija rezultata vrlo je značajan i složen postupak pri modeliranju. Vrlo često o kvaliteti ovog postupka ovisi svrsishodnost i kvaliteta cjelokupnog modeliranja. Ocjena se izvodi kroz verifikaciju i vrednovanje (validaciju) modela.

Verifikacija predstavlja proces u kojem se osigurava da računalni program precizno korespondira matematičkom modelu. Verifikacija se odnosi na pitanja:

- Da li su ulazni parametri i logičke strukture modela korektno prikazane?
- Da li je model implementiran korektno u računalni kod?

Sljedeći korak je vrednovanje koje predstavlja proces u kojem se osigurava da izlazi iz modela točno oponašaju odnose ponašanja originalnog realnog sustava. Cilj procesa vrednovanja je izrada modela koji vrlo vjerno opisuje pravo ponašanje sustava tako da može utjecati kao zamjena za stvarni sustav i omogućiti pokuse.

Vrednovanje modela postiže se kalibracijom modela koja je iterativni proces uspoređivanja modela i ponašanja stvarnog sustava i korištenje uočenih razlika za poboljšanje modela. Pritom se obično najprije izvodi vrednovanje temeljem samog izgleda rezultata (tzv. *face validation*), a nakon toga se izvode posebne detaljne analize. Ove analize najčešće su matematičke ili statističke. Ocjena rezultata ovisi i o konačnom cilju istraživanja.

Ako je cilj sigurnost i pouzdanost tada vjerojatnost pogreške tijekom prolaza plovnim putom i samog manevriranja treba biti minimizirana.

Ako je cilj ekonomska učinkovitost, onda rezultat prikazuje kako smanjiti troškove ili maksimizirati dobit (*benefits*). U slučaju sustava manevriranja brodom to je onda uspoređivanje troškova ulaganja u sustav u odnosu na troškove čekanja i kašnjenja brodova.

U svrhu optimizacije sustava manevriranja brodom, imajući u vidu ostvarenje cilja sigurnosti i pouzdanosti kao i ekonomske učinkovitosti sustava, treba poznavati međuodnos između strukture i ponašanja unutar sustava manevriranja s jedne strane i pridruženog vremena čekanja s druge strane.

Analizirajući razmatranja iz ovog poglavlja uvida se složenost problema s velikim brojem varijabli koji bitno determiniraju izlazne vrijednosti odnosno rezultate koje se želi odrediti postavljanjem ovog modela. Stoga je razmatranje cijelog problema i prikaz rezultata teoretski moguće ostvariti primjenom n-dimenzionalnih prostora.

Osnovni prostor prikaza rezultata sastoji se od najmanje pet dimenzija koje čine:

- luka, **a**
- prilazno plovno područje, **b**

<sup>125</sup> Fishwick, P. A., *Simulation Model Design and Execution, Building digital Worlds*, Prentice Hall, Inc., New Jersey, 1995., str. 65.



- meteorološko i oceanografsko stanje, c
- obilježja i raspoloživost tegljača, d
- obilježja brodova, e

Svaki ovaj prostor sadržava u sebi višedimenzionalni podskup prostora, pa se tako podprostor luke sastoji najmanje od podprostora slijedećih dimenzija:  $a_1$  broj terminala,  $a_2$  vrsta terminala,  $a_3$  mogućnost pružanja dodatnih vrsti usluga,  $a_4$  postojanje brodogradilišta ili remontnih brodogradilišta,  $a_5$  smještaj terminala unutar luke,  $a_6$  dubina, širina, prostornost i druga obilježja lučkog akvatorija,  $a_7$  broj pristana,  $a_8$  vrsta pristana,  $a_9$  namjena pristana, duljina,  $a_{10}$  dubina i druga obilježja pristana,  $a_{11}$  međusobne udaljenosti terminala, baze tegljača, itd.,  $a_{12}$  udaljenosti mjesta prihvata odnosno otpuštanja tegljača,  $a_{13}$  udaljenosti mjesta ukrcaja odnosno iskrcanja peljara,  $a_{14}$  duljine stvarnog manevriranja u dolasku ili odlasku,  $a_{15}$  potreba praćenja broda tegljačem/ima u dolasku ili odlasku,  $a_{16}$  sidrišta,  $a_n$  ...

Sam pristan ima daljnji podskup prostora dimenzija, npr.  $a_{8-1}$  duljina pristana,  $a_{8-2}$  dubina na pristanu,  $a_{8-3}$  vrsta gradnje pristana,  $a_{8-4}$  vrsta i obilježja prekrcajnih sredstava,  $a_{8-5}$  broj prekrcajnih sredstava,  $a_{8-1}$  zauzetost pristana,  $a_{8-n}$  ...

Funkcija prilaznog plovnog područja može se prikazati u podprostoru slijedećih dimenzija:  $b_1$  duljina prilaznog plovnog puta,  $b_2$  dubina,  $b_3$  širina,  $b_4$  vrsta obale,  $b_5$  vrsta dna,  $b_6$  mogućnost jednosmjerne ili dvosmjerne plovidbe,  $b_7$  utjecaj morskih mijena,  $b_8$  utjecaj meteoroloških i oceanografskih čimbenika,  $b_9$  pokrivenost navigacijskim sustavima,  $b_{10}$  postojanje službe praćenja i upravljanja pomorske plovidbe,  $b_{11}$  veličina prometa,  $b_n$  ...

Dimenzije meteorološkog i oceanografskog stanja potrebno je rastaviti u podprostor s dimenzijama:  $c_1$  brzina vjetra i promjena brzine vjetra u vremenu,  $c_2$  smjer vjetra i njegova promjenu u vremenu,  $c_3$  zaklonjenost područja u odnosu na vjetar,  $c_4$  vidljivost,  $c_5$  postojanje leda,  $c_6$  brzina morske struje,  $c_7$  smjer morske struje,  $c_8$  valovi, visina i smjer napredovanja,  $c_9$  utjecaj morskih mijena,  $c_n$  ...

Dimenzija tegljača može se raščlaniti u podprostor dimenzija:  $d_1$  broj tegljača,  $d_2$  vrsta tegljača,  $d_3$  duljina tegljača,  $d_4$  brzina tegljača,  $d_5$  sila vuče tegljača,  $d_6$  vrsta propulzije,  $d_7$  smještaj propulzora,  $d_8$  manevarska svojstva,  $d_9$  alternativna namjena tegljača,  $d_{10}$  zauzetost tegljača,  $d_n$  ...

Nadalje zauzetost tegljača se npr. može definirati u podprostoru dimenzija:  $d_{10-1}$  dnevna,  $d_{10-2}$  godišnja,  $d_{10-3}$  tegljenje teglenica i ostalog,  $d_{10-4}$  pomoć u gašenju požara,  $d_{10-5}$  pomoć u traganju i spašavanju na moru.

Najkompleksnija za pomorca je dimenzija obilježja brodova. U ovom podprostoru mogu se definirati elementi:  $e_1$  zakonitost dolaska brodova po vrsti i veličini,  $e_2$  vrsta broda,  $e_3$  dimenzije brodova,  $e_4$  vrsta i snaga strojeva,  $e_5$  broj i vrsta vijaka,  $e_6$  pramčani i krmeni porivnici,  $e_7$  stanje nakrcanosti,  $e_8$  manevarska svojstva broda,  $e_9$  trgovačke operacije koje će izvoditi,  $e_{10}$  vrsta manevra,  $e_{11}$  složenost manevra,  $e_{12}$  vrijeme boravka broda u luci,  $e_{13}$  sigurnost pri pojedinim fazama,  $e_n$  ...

Vrsta broda može se raščlaniti npr.:  $e_{2-1}$  brod za generalni teret,  $e_{2-2}$  brod za rasuti teret,  $e_{2-3}$  ro-ro brod,  $e_{2-4}$  tanker za prijevoz ulja,  $e_{2-5}$  tanker za prijevoz kemikalija,  $e_{2-6}$  brod za prijevoz ukapljenih plinova,  $e_{2-6}$  brod za prijevoz kontejnera,  $e_{2-7}$  putnički brod,  $e_{2-n}$  ...

Vrijeme boravka broda u luci može se raščlaniti u:  $e_{12-1}$  vrijeme plovidbe prilaznim plovnim putom,  $e_{12-2}$  vrijeme trajanja manevra,  $e_{12-3}$  vrijeme potrebno za privezivanje,  $e_{12-4}$  vrijeme čekanja tegljača,  $e_{12-5}$  čekanje na privez,  $e_{12-6}$  vrijeme boravka broda na mjestu priveza,  $e_{12-7}$  čekanje zbog nepovoljnih vremenskih uvjeta,  $e_{12-8}$  čekanje na deratizaciju, fumigaciju, ...,  $e_{12-9}$  carinski ili drugi pregled broda,  $e_{12-10}$  vrijeme čekanja tereta,  $e_{12-11}$  boravak u luci zbog nepredviđenih okolnosti: nevrijeme, ratne prilike, štrajk,  $e_{12-n}$  ...

Posebno kompleksan je faktor sigurnosti koji se slojevito provlači kroz sve faze dolaska, boravka i odlaska broda iz luke. Zasigurno je najvažniji i o njemu ovise svi parametri, radnje i predostrožnosti koje se poduzimaju.

U nemogućnosti da se cjelovito analizira ponašanje broda u ovako mnogo dimenzionalnom prostoru s još nizom podprostora koji i sami imaju svoje podprostore, potrebno je uvođenje niza konstanti. Konstante su u podprostorima podprostori s jednom dimenzijom manje, a u osnovnom prostoru prostor s jednom dimenzijom manje. U tako ograničenom sustavu moguće je neke elemente parcijalno sagledati.

U ovom kompleksnom modelu mnogo dimenzionalnog prostora sa slojevitim mnogo dimenzionalnim podprostorima uzimani su konstantnima mnogi parametri čime se lakše dobiva uvid u djelovanje sustava manevriranja brodom. Model omogućava varijaciju konstanti i tako stjecanje kompleksnijeg uvida u zahtjeve koje može nametnuti sutrašnjica posebice u pogledu stupnja sigurnosti u sustavu manevriranja brodom.

Prikazom mogućnosti definiranja problema korištenjem n-dimenzionalnih prostora jasno je istaknuta složenost i slojevitost istraživanog problema. Imajući u vidu opseg ovog rada neće se koristiti tako složen pristup. Proračuni su ostvareni fiksiranjem dijela varijabli u modelu. Variranjem slobodnih varijabli ulaznih podataka u realnim granicama simulirani su razni uvjeti u modelu. Konkretni rezultati istraživanja prikazani su u sljedećem poglavlju.

## 8.2 MODEL POJEDINAČNOG MANEVRA

Pri postavljanju modela manevriranja broda valja uzeti u obzir načelo sigurnosti. Pritom je vrlo važno definirati i kriterije sigurnosti koji će se koristiti.

Racionalno mjerenje sigurnosti te prihvaćanje standarda prema kojem bi trebalo prosuđivati određeni plovni put odnosno određeni manevar ne postoji te nema jedinstvenog pristupa u pomorskom svijetu. Ne postoje međunarodni kriteriji prema kojima bi se prosuđivala sigurnost npr. kao što to postoji za procjenu pomorskih rizika. Analizom brodskih nezgoda uočeno je da je samo mali broj nezgoda moguće pripisati projektu plovnog puta odnosno postavi luke, a daleko veći broj se odnosi na ljudski faktor.

Dobru suvremenu praksu predstavlja rješavanje problema sigurnosti postavljanjem određene sigurnosne margine koja se koristi u mnogim lukama svijeta. Detaljnom analizom konkretne situacije ili projekta, kad se odredi pomorski rizik te kad su dostupne kvantitativne mjere sigurnosti moguće je prosudbu izvesti na način da se odredi da li je razina sigurnosti dovoljna ili ne.

Općenito razmatrajući problem preporuča se koristiti pristup primarnih i sekundarnih kriterija. Primarni kriterij odnosi se na sigurnost ljudskih života što predstavlja primarnu motivaciju za smanjenje rizika, a ogleda se u pogledu sigurnosnih preporuka, legislative, itd. Prema tome primarni kriterij za pomorski rizik i vrijednost rizika ljudskih života koji je prihvatljiv za društvo osnovni je cilj procjene pomorskog rizika.

Međutim, korištenje samo primarnog kriterija nije dovoljno pri razmatranju sigurnosti lučkog sustava općenito, a zasigurno ni pri razmatranju sustava manevriranja, tako da treba uzeti u obzir i sekundarne kriterije. Ovi kriteriji određeni su brojem incidenata koji su se dogodili u prošlosti. Sekundarni kriteriji mogu poprimiti brojne forme, među kojima se one u mnogim lukama svijeta najčešće određuju metodama pokušaja i promašaja. Ove metode sve više postaju probabilističke, a manje determinističke.

Detaljnije razmatranje ovih kriterija koji se preporučuju za prosudbu sigurnosti, kad su jednom određeni simulacijski podaci, biti će prikazano u posljednjem poglavlju ovog rada.

Imajući u vidu prethodno razmatranje pri izradi modela valja imati u vidu uobičajene mjere sigurnosti koje se primjenjuju u svjetskim lukama, a koje su opisane u prethodnim poglavljima. Također, valja naglasiti da se osnovni cilj modela manevriranja koji se sastoji u određivanju potrebnog broja tegljača koji su potrebni za sigurno odvijanje određenog manevra, danas u praksi definira na licu mjesta gotovo isključivo temeljem iskustva. U ovom modelu algoritmi će se zasnivati na znanstveno utemeljenim činjenicama osim onih koje je potrebno stručno i iskustveno procijeniti.

Ovako postavljen model manevriranja brodom može se koristiti kao potprogram za definiciju broja, vučne sile i vrste potrebnih tegljača u modelu sustava manevriranja brodom. U tom slučaju ulazni podaci generiraju se iz prije opisanog specifičnog modela pomorskog prometa s težištem na sustavu manevriranja.

Ukoliko se ulazni podaci definiraju za konkretni manevar u praksi, model se može koristiti kao ekspertni sustav.

Osim definiranja potrebnog broja tegljača pri manevriranju sa stanovišta sigurnosti može se definirati i model određivanja potrebnih parametara sigurnosti pri boravku broda na mjestu priveza što zahtijeva malo drukčiji pristup problemu.

Za postavljanje modela vrlo je važno točno definirati čimbenike koji utječu na način izvođenja pojedinog manevara kao i na broj tegljača. Pri definiranju potrebnog broja tegljača pri izvođenju manevara osim utjecaja meteoroloških i oceanografskih uvjeta na području manevriranja, čimbenika vezanih za brod koji će manevrirati valja uzeti u obzir neke dodatne čimbenike koji definiraju stupanj sigurnosti manevara, kao što su vrsta manevara koji se izvodi i faktor složenosti manevara, opasnost manevara, manevrabilnost broda, opasnost tereta, itd.

Za definiranja potrebnog broja tegljača odnosno njihove vučne sile valja krenuti od određivanja utjecaja vjetra, morskih struja i valova na brod određene veličine i obilježja te kasnije tako određene vrijednosti ispraviti za faktore sigurnosti.

### 8.2.1 Modeliranje utjecaja vjetra, morske struje i valova na brod

Imajući u vidu razmatranja iz prethodnih poglavlja pri definiciji veličina pojedinih utjecaja, mogu se koristiti algoritmi koji će biti prikazani u nastavku.

Utjecaj vjetra na brod opisan je djelovanjem sile vjetra  $F_{vjetar}$  koja se može definirati kao funkcija relativne brzine  $Vr_v$ , i kuta upada vjetra  $\alpha_r$  koji djeluje na brod, nadvodne površine broda  $A_{Lv}$ , gustoće zraka  $\rho_z$  te koeficijenta otpora tijela izloženog vjetru  $C_{v(\alpha)}$ .

$$F_{vjetar} = f(Vr_v, A_{Lv}, \rho_z, C_{v(\alpha)})$$

$$C_{v(\alpha)} = f(\text{oblik nadvodne površine}, \alpha)$$

$$\text{sila vjetra - lateralna} \quad \Rightarrow \quad F_{vjetar} = C_{v(\alpha)} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_z \cdot v_r^2 \cdot A_{Lv}$$

$$\text{relativna brzina vjetra} \quad \Rightarrow \quad Vr_v = \sqrt{v_b^2 + v_v^2 + 2 \cdot v_b \cdot v_v \cdot \cos \alpha_v}$$

$$\text{relativni kut upada vjetra} \quad \Rightarrow \quad \alpha_r = \arcsin\left(\frac{v_v}{Vr_v} \cdot \sin \alpha_v\right)$$

Utjecaj morske struje na brod može biti prikazan djelovanjem sile morske struje  $F_{morska\ struja}$  koja se može definirati kao funkcija brzine  $V_{ms}$  i kuta upada morske struje  $\alpha$  koja djeluje na brod, podvodne površine broda  $A_{Lms}$ , gustoće vode  $\rho_v$  te koeficijenta otpora tijela izloženog morskoj struji  $C_{ms(\alpha)}$ .

$$F_{morska\ struja} = f(V_{ms}, A_{Lms}, \rho_v, C_{ms(\alpha)})$$

$$C_{ms(\alpha)} = f(\text{oblik podvodne površine}, UKC, \alpha)$$

$$\text{sila morske struje - lateralna} \quad \Rightarrow \quad F_{morskastruja} = C_{ms(\alpha)} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_v \cdot v_{ms}^2 \cdot A_{Lms}$$

Utjecaj valova na brod može biti prikazan djelovanjem sile vala  $F_{valovi}$ , a može se definirati kao funkcija signifikantne visine vala  $Hs$ , duljine broda  $L$  na trenutnoj vodenoj liniji, gustoće vode  $\rho_v$ , i koeficijenta otpora tijela izloženog valovima  $C_{val(\alpha)}$ .

$$F_{valovi} = f(Hs, L, \rho_v, C_{val(\alpha)})$$

$$C_{val(\alpha)} = f(\text{oblik površine djelovanja vala}, \alpha)$$

$$\text{sila valova - lateralna} \Rightarrow F_{valovi} = C_{val(\alpha)} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_v \cdot g \cdot L \cdot \left(\frac{Hs}{2}\right)^2$$

Također kao ulazni podatak valja odrediti granične vrijednosti pojedinih utjecaja. Ovo je najbolje učiniti u ovisnosti o mjestu priveza te vrsti i veličini broda. Pritom valja imati na umu ograničenja u pogledu mogućnosti tegljača, privezivačkih brodica, itd. Ako su vrijednosti veće od ograničenja, manevar se neće izvoditi te će brod čekati na početak manevara. Ovo vrijeme u modelu treba bilježiti.

### 8.2.2 Definiranje faktora sigurnosti

Na proračunate utjecaje vanjskih sila, kako je već naglašeno u poglavlju o sigurnosti, valja dodati određeni faktor sigurnosti. Analizirajući faktor sigurnosti uviđa se da bi on trebao biti sastavljen od većeg broja komponenti. Stoga se u razmatranju ovog problema, a kako bi u modelu ovaj faktor sigurnosti bio što osjetljiviji na razne utjecaje, predlaže njegovo rastavljanje na komponente.

Potrebnu vučnu silu tegljača  $F_{v_{NT}}$  potrebnu za izvođenje manevara, uz dovoljan stupanj sigurnosti, može se definirati kao funkciju deplasmana  $D$  i duljine broda  $L_{OA}$ , traženog faktora sigurnosti  $f_{SIG}$  te ukupnoj veličini vanjskih sila  $F_u$ .

$$F_{v_{NT}} = f(D, L_{OA}, f_{SIG}, F_{vjetar}, F_{morska\ struja}, F_{valovi})$$

$$F_{v_{NT}} = f_{SIG} \cdot F_u$$

Ukupni faktor sigurnosti može se prikazati sljedećom funkcijom:

$$f_{SIG} = f(f_{SLOŽENOSTI\ MAN.}, f_{MAN.\ SVOJSTVA\ BRODA}, f_{OPASNOSTI\ MAN.}, f_{OPAS.\ TERETA})$$

$$f_{SIG} = f_{SLOŽENOSTI\ MAN.} + f_{MAN.\ SVOJSTVA\ BRODA} + f_{OPASNOSTI\ MAN.} + f_{OPAS.\ TERETA}$$

Koju kombinaciju predloženih faktora treba uzeti u obzir u pojedinom slučaju određuje ekspertna skupina imajući u vidu utjecajne čimbenike analizirane u ovom radu, a temeljem poznavanja uvjeta za svaki prilazni plovni put, područje manevriranja i pojedino mjesto priveza. U nastavku su prikazani utjecajni čimbenici u funkciji pojedinog faktora te kategorizacija faktora s predloženim veličinama.

U raščlambi faktora te vrednovanja utjecaja pojedinog faktora na sustav manevriranja brodom korišteno je osim teoretskih spoznaja i iskustvo peljara i zapovjednika s kojima su obavljani neformalni interview-i.<sup>126</sup> Za daljnja detaljna i sveobuhvatna istraživanja predlaže se izvođenje formalnih anketa čiji bi se rezultati koristili pri definiranju faktora i veličine njihova utjecaja, tako i pri vrednovanju rezultata cjelokupnog istraživanja.

<sup>126</sup> Neformalni interview-i s peljarima lučkog područja Rijeka te zapovjednicima i časnicima palube tijekom izvođenja naprednih programa izobrazbe na navigacijskom simulatoru iz područja manevriranja brodom na Pomorskom fakultetu u Rijeci.

#### A) FAKTOR SLOŽENOSTI MANEVRA ( $f_{SLOŽENOSTI\ MAN}$ )

Vrijednosti faktora složenosti manevra funkcija je u prvom redu vrste manevra, površine akvatorija u kojem se manevar odvija i složenosti samog manevra prilaza, zaštićenosti akvatorija manevriranja, vidljivosti, vanjskih sila koje djeluju na brod, veličine broda, itd. Pod vrstom manevra podrazumijeva se manevriranje u dolasku ili odlasku i to uz obalu, u četverovez, na plutaču/plutače ili sidrenje s jednim ili s dva sidra. Manevri odveza i isplovljenja obično su jednostavniji pa i ovu činjenicu valja ugraditi u konkretni faktor složenosti manevra.

$$f_{SLOŽENOSTI\ MAN} = f(\text{vrsta manevra, površina akvatorija, složenost manevra prilaza, zaštićenost akvatorija, vidljivost, vanjske sile, veličine broda})$$

Osim vrste manevra, težinu manevra definira i raspoloživost prostora za manevriranje. Dakako da je manevar lakši što je taj prostor veći. Pritom je vrlo važan odnos površine akvatorija u kojem se manevrira u odnosu na površinu broda i površinu potrebnu za rad tegljača odnosno površinu potrebnu za sustav brod-tegljači.

Ako se složenost manevra podijeli u tri kategorije (složen manevar, umjereno složen manevar, jednostavan manevar) predlaže se usvajanje sljedećih faktora:

jednostavan manevar	⇒	$f_{SLOŽENOSTI\ MAN} = 1,20$
umjereno složen manevar	⇒	$f_{SLOŽENOSTI\ MAN} = 1,30$
složen manevar	⇒	$f_{SLOŽENOSTI\ MAN} = 1,40$

#### B) FAKTOR MANEVARSKIH SVOJSTAVA BRODA ( $f_{MAN.\ SVOJSTVA\ BRODA}$ )

Vrijednosti faktora manevarskih svojstava broda ovise o mnogim čimbenicima koji su detaljno razmotreni u radu pa se načelno može pisati sljedeća funkcija:

$$f_{MAN.\ SVOJSTVA\ BRODA} = f(\text{manevarskih obilježja broda})$$

Ako se vrste brodova svrstaju u tri kategorije prema njihovim manevarskim svojstvima (dobra, umjerena, slaba) predlaže se usvajanje sljedećih faktora:

dobra manevarska svojstva	⇒	$f_{MAN.\ SVOJSTVA\ BRODA} = 0,00$
umjerena manevarska svojstva	⇒	$f_{MAN.\ SVOJSTVA\ BRODA} = 0,05$
slaba manevarska svojstva	⇒	$f_{MAN.\ SVOJSTVA\ BRODA} = 0,10$

#### C) FAKTOR OPASNOSTI MANEVRA ( $f_{OPASNOSTI\ MAN}$ )

Vrijednosti faktora opasnosti manevra odnosno opasnosti za brod pri manevriranju, funkcija su dubine ispod kobilice (UKC) tijekom izvođenja manevra, vrsti dna, širini akvatorija, vrsti obalnog ruba, itd.

$$f_{OPASNOSTI\ MAN} = f(\text{UKC, vrsta dna, širina akvatorija, vrsta ruba obale})$$

Ako se opasnost pri manevriranju svrsta u tri kategorije (mala opasnost pri manevriranju, umjerena opasnost pri manevriranju, velika opasnost pri manevriranju) predlaže se usvajanje sljedećih faktora:

mala opasnost pri manevriranju	⇒	$f_{OPASNOSTI\ MAN} = 0,00$
umjerena opasnost pri manevriranju	⇒	$f_{OPASNOSTI\ MAN} = 0,05$
velika opasnost pri manevriranju	⇒	$f_{OPASNOSTI\ MAN} = 0,10$

#### D) FAKTOR OPASNOSTI TERETA ( $f_{OPAS.\ TERETA}$ )

Faktor opasnosti tereta odnosi se na opasnost koju predstavlja vrsta tereta koju brod prevozi za sam brod i okolinu. Vrijednost faktora opasnosti tereta funkcija je vrste tereta koju brod prevozi odnosno stupnja njegove opasnosti.

$$f_{OPAS. TERETA} = f(\text{stupanj opasnosti tereta})$$

Ako se kategorizacija prema opasnosti tereta izvede u tri kategorije (mala, umjerena, velika) predlaže se usvajanje sljedećih faktora:

mala opasnost tereta	⇒	$f_{OPAS. TERETA} = 0,00$
umjerena opasnost tereta	⇒	$f_{OPAS. TERETA} = 0,05$
velika opasnost tereta	⇒	$f_{OPAS. TERETA} = 0,10$

U navedene kategorije prema opasnosti tereta predlaže se uključiti sljedeće vrste brodova obzirom na terete koje prevoze:

mala opasnost tereta	- brodovi s generalnim teretom,
	- ro-ro brodovi, brodovi za rasuti teret,
	- brodovi za prijevoz kontejnera – bez opasnog tereta,
	- putnički brodovi
umjerena opasnost tereta	- tankeri za ulja te brodovi s generalnim teretom,
	- ro-ro brodovi,
	- brodovi za rasuti teret,
	- brodovi za prijevoz kontejnera (s značajnim udjelom opasnog tereta)
velika opasnost tereta	- tankeri za prijevoz kemikalija,
	- visoko zapaljivih naftnih produkata,
	- brodovi za prijevoz ukapljenih plinova

### 8.2.3 Definiranje modela pojedinačnog manevra

Pri proračunu sila tijekom manevriranja treba računati s pretpostavkom da vanjski utjecaji djeluju okomito na najveću izloženu površinu što će proizvesti i najveće sile. Naime, sa stanovišta sigurnosti, ovaj postupak je nužan jer treba pretpostaviti da tijekom manevra brod može doći u takav položaj da na njega djeluje maksimalna sila vanjskih utjecaja. U prethodnom razmatranju zaključeno je da treba uzeti u obzir i određeni faktor sigurnosti.

$$F_{U_{lateral}} = (Fv_{Lateral} + Fms_{Lateral} + Fval_{Lateral}) \cdot f_{SIG}$$

$$F_{U_{lateral}} = \left\{ \left[ Cv_{(\varphi)} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_z \cdot v_r^2 \cdot A_{L_r} \right] + \left[ Cms_{(\varphi)} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_v \cdot v_{ms}^2 \cdot A_{L_{ms}} \right] + \left[ Cval_{(\varphi)} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_v \cdot g \cdot L \cdot \left( \frac{Hs}{2} \right)^2 \right] \right\} \cdot f_{SIG}$$

$$F_{U_{lateral}} = \left\{ \left[ Cv_{(\varphi)} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_z \cdot v_r^2 \cdot A_{L_r} \right] + \left[ Cms_{(\varphi)} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_v \cdot v_{ms}^2 \cdot A_{L_{ms}} \right] + \left[ Cval_{(\varphi)} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_v \cdot g \cdot \left( \frac{A_{L_{ms_{full}}}}{T_{full}} \right) \cdot \left( \frac{Hs}{2} \right)^2 \right] \right\} \cdot f_{SIG}$$

Izrazi li se lateralna nadvodna površina broda izložena djelovanju vjetru, lateralna podvodna površina broda izložena djelovanju morskih struja i duljina broda u korelaciji s ukupnom nosivosti broda (DWT) prema metodi *The Port and Harbour Research Institute, Ministry of Transport Japan*,<sup>127</sup> za razne vrste brodova, a sila se izrazi u kN, prethodni izraz može se prikazati u sljedećem obliku:

<sup>127</sup> The Port and Harbour Research Institute, Ministry of Transport, Japan, Technical Note No. 348, 1984.

BRODOVI ZA PRIJEVOZ GENERALNOG TERETA (ako su potpuno nakrcani)

$$F_{U_L} = \left[ C_{V(\varphi)} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_s \cdot v_c^2 \cdot (8,770 \cdot DWT^{0,498}) / 1000 \right] + \left[ C_{ms(\varphi)} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_s \cdot v_{ms}^2 \cdot (3,495 \cdot DWT^{0,608}) / 1000 \right] + \left[ C_{val(\varphi)} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_s \cdot g \cdot \left( \frac{3,495 \cdot DWT^{0,608}}{\sqrt{\frac{DWT}{1000}} + 5} \right) \cdot \left( \frac{H_s}{2} \right)^2 / 1000 \right] \cdot f_{SR}$$

BRODOVI ZA PRIJEVOZ GENERALNOG TERETA (ako su u balastu)

$$F_{U_L} = \left[ C_{V(\varphi)} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_s \cdot v_c^2 \cdot (9,641 \cdot DWT^{0,333}) / 1000 \right] + \left[ C_{ms(\varphi)} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_s \cdot v_{ms}^2 \cdot (1,404 \cdot DWT^{0,627}) / 1000 \right] + \left[ C_{val(\varphi)} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_s \cdot g \cdot \left( \frac{3,495 \cdot DWT^{0,608}}{\sqrt{\frac{DWT}{1000}} + 5} \right) \cdot \left( \frac{H_s}{2} \right)^2 / 1000 \right] \cdot f_{SR}$$

BRODOVI ZA PRIJEVOZ TEKUĆIH TERETA (ako su potpuno nakrcani)

$$F_{U_L} = \left[ C_{V(\varphi)} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_s \cdot v_c^2 \cdot (5,964 \cdot DWT^{0,322}) / 1000 \right] + \left[ C_{ms(\varphi)} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_s \cdot v_{ms}^2 \cdot (3,198 \cdot DWT^{0,611}) / 1000 \right] + \left[ C_{val(\varphi)} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_s \cdot g \cdot \left( \frac{3,198 \cdot DWT^{0,611}}{\sqrt{\frac{DWT}{1000}} + 5} \right) \cdot \left( \frac{H_s}{2} \right)^2 / 1000 \right] \cdot f_{SR}$$

BRODOVI ZA PRIJEVOZ TEKUĆIH TERETA (ako su u balastu)

$$F_{U_L} = \left[ C_{V(\varphi)} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_s \cdot v_c^2 \cdot (5,943 \cdot DWT^{0,362}) / 1000 \right] + \left[ C_{ms(\varphi)} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_s \cdot v_{ms}^2 \cdot (1,629 \cdot DWT^{0,610}) / 1000 \right] + \left[ C_{val(\varphi)} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_s \cdot g \cdot \left( \frac{3,198 \cdot DWT^{0,611}}{\sqrt{\frac{DWT}{1000}} + 5} \right) \cdot \left( \frac{H_s}{2} \right)^2 / 1000 \right] \cdot f_{SR}$$

BRODOVI ZA PRIJEVOZ RASUTOG TERETA (ako su potpuno nakrcani)

$$F_{U_L} = \left[ C_{V(\varphi)} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_s \cdot v_c^2 \cdot (4,390 \cdot DWT^{0,548}) / 1000 \right] + \left[ C_{ms(\varphi)} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_s \cdot v_{ms}^2 \cdot (2,723 \cdot DWT^{0,623}) / 1000 \right] + \left[ C_{val(\varphi)} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_s \cdot g \cdot \left( \frac{2,723 \cdot DWT^{0,623}}{\sqrt{\frac{DWT}{1000}} + 5} \right) \cdot \left( \frac{H_s}{2} \right)^2 / 1000 \right] \cdot f_{SR}$$

BRODOVI ZA PRIJEVOZ RASUTOG TERETA (ako su u balastu)

$$F_{U_L} = \left[ C_{V(\varphi)} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_s \cdot v_c^2 \cdot (5,171 \cdot DWT^{0,580}) / 1000 \right] + \left[ C_{ms(\varphi)} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_s \cdot v_{ms}^2 \cdot (1,351 \cdot DWT^{0,633}) / 1000 \right] + \left[ C_{val(\varphi)} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_s \cdot g \cdot \left( \frac{2,723 \cdot DWT^{0,623}}{\sqrt{\frac{DWT}{1000}} + 5} \right) \cdot \left( \frac{H_s}{2} \right)^2 / 1000 \right] \cdot f_{SR}$$

Uz predloženu funkciju za određivanje potrebne vučne sile i broja tegljača za izvođenje manevra uz dovoljan stupanj sigurnosti, potrebno je definirati dodatna ograničenja odnosno funkcije ograničenja.

Na broj i potrebnu vučnu silu tegljača sa stanovišta sigurnosti osim vremenskih prilika utječu i drugi parametri. Pritom valja definirati minimalni broj tegljača bez obzira na djelovanje vanjskih sila odnosno minimalni broj tegljača u idealnim uvjetima. Osim minimalnog valja odrediti i maksimalni broj tegljača koji mogu sudjelovati u jednom manevru.

Na minimalni broj tegljača i silu vuče utječe u prvom redu veličina broda i složenost pojedinog manevra. Analizirajući svjetska iskustva, te imajući u vidu sigurnost manevra uz korištenje tegljača, minimalni broj tegljača  $nT_{min}$  za određeni manevar ako je  $L_{OA}$  duljina broda preko svega, može se približno definirati izrazom oblika  $a \cdot x^b$ , pa se predlaže koristiti sljedeći izraz:

$$nT_{min} = 0,107 \cdot Lo_a^{0,585}$$

Maksimalni broj tegljača, valja razumjeti kao ograničenje, a ovisit će o veličini broda i raspoloživom prostoru u akvatoriju manevriranja. Naime, maksimalni broj tegljača potrebno je definirati jer povećanjem broja tegljača ne samo da se smanjuje njihova učinkovitost zbog

nedovoljnog manevarskog prostora već u pitanje dolazi i sigurnost samih tegljača. Maksimalni broj tegljača  $nT_{max}$  u donosu na duljinu broda moguće je približno odrediti koristeći sljedeći izraz:

$$nT_{max} = 0,063 \cdot Loa^{0,771}$$

Osim broja tegljača potrebno je definirati i minimalno potrebnu vučnu silu za učinkovito zaustavljanje broda. Ova sila vuče u korelaciji je s kinetičkom energijom broda pri kretanju odnosno s udarnom energijom broda pri pristajanju. Pri modeliranju ovih energija mogu se koristiti algoritmi prikazani u nastavku.

Kinetičku energiju broda  $E_{kb}$ , ako je masa broda odnosno deplasman  $M_b$ , hidrodinamička masa vode  $M_h$  te brzina broda  $v$  može se prikazati sljedećim izrazom:

$$E_{kb} = \frac{1}{2} \cdot (M_b + M_h) \cdot v^2$$

Kinetičku energiju broda u ovom slučaju valja odrediti u ovisnosti o manevarskoj brzini broda.

Udarnu energija broda  $E_{ub}$ , ako je deplasman  $D$ , brzina prilaza broda obali  $Vb_p$ , a koeficijent pristajanja  $C_B$  funkcija koeficijenta hidrodinamičke mase vode  $C_H$ , koeficijenta ekscentriciteta  $C_E$ , koeficijenta vodenog jastuka  $C_C$  te koeficijenta elastičnosti sustava bokobrana  $C_S$  može se prikazati sljedećim izrazom:

$$E_{ub} = \frac{1}{2} \cdot D \cdot Vb_p^2 \cdot C_B \qquad C_B = C_H \cdot C_E \cdot C_C \cdot C_S$$

Dozvoljena brzina prilaza broda obali za pojedini pristan je također vrlo važna pa ovu brzinu također valja ugraditi u obilježja pristana. Ova brzina kako je već naglašeno ovisi o vrsti gradnje obale (masivna ili lagana) i vrste sustava bokobrana ali i o veličini broda kao i o složenosti manevra pristajanja te vremenskim uvjetima. Ovu brzinu moguće je definirati u odnosu na uobičajene za određenu veličinu broda i složenost manevra pristajanja ili točnije za određenu dozvoljenu udarnu energiju koja ovisi o obilježjima pristana proračunati prilaznu brzinu u odnosu na deplasman broda.

Imajući u vidu prethodna razmatranja model proračuna udarne energije broda može se prikazati na sljedeći način:

$$E_{ub} = \frac{1}{2} \cdot D \cdot Vb_p^2 \cdot C_H \cdot C_E \cdot C_C \cdot C_S$$

Ako se deplasman potpuno nakrcanog broda i deplasman broda u balastu izraze u korelaciji s ukupnom nosivosti broda (DWT) prema metodi *The Port and Harbour Research Institute, Ministry of Transport Japan*, za razne vrste brodova, prethodni izraz može se prikazati kako slijedi:

BRODOVI ZA PRIJEVOZ GENERALNOG TERETA (potpuno nakrcani)  $E_{ub} = \frac{1}{2} \cdot (2,463 \cdot DWT^{0,936}) \cdot Vb_p^2 \cdot C_H \cdot C_E \cdot C_C \cdot C_S$

BRODOVI ZA PRIJEVOZ GENERALNOG TERETA (u balastu)  $E_{ub} = \frac{1}{2} \cdot [0,199 \cdot (2,463 \cdot DWT^{0,936})^{1,084}] \cdot Vb_p^2 \cdot C_H \cdot C_E \cdot C_C \cdot C_S$

BRODOVI ZA PRIJEVOZ TEKUĆIH TERETA (potpuno nakrcani)  $E_{ub} = \frac{1}{2} \cdot (2,028 \cdot DWT^{0,954}) \cdot Vb_p^2 \cdot C_H \cdot C_E \cdot C_C \cdot C_S$

BRODOVI ZA PRIJEVOZ TEKUĆIH TERETA (u balastu)  $E_{ub} = \frac{1}{2} \cdot [0,383 \cdot (2,028 \cdot DWT^{0,954})^{1,018}] \cdot Vb_p^2 \cdot C_H \cdot C_E \cdot C_C \cdot C_S$



BRODOVI ZA PRIJEVOZ RASUTIH TERETA  
(potpuno nakrcani)

$$Eub = \frac{1}{2} \cdot (1,687 \cdot DWT^{0,969}) \cdot Vb_p^2 \cdot C_H \cdot C_E \cdot C_C \cdot C_S$$

BRODOVI ZA PRIJEVOZ RASUTIH  
TERETA (u balastu)

$$Eub = \frac{1}{2} \cdot [0,385 \cdot (1,687 \cdot DWT^{0,969})^{1,023}] \cdot Vb_p^2 \cdot C_H \cdot C_E \cdot C_C \cdot C_S$$

Potrebna vučna sila  $Fv_{min}$  u kN za učinkovito zaustavljanje broda na određenom zaustavnom putu ako je deplasman broda  $D$  u tonama, brzina prilaza broda obali  $Vb_p$  u m/s, koeficijent hidrodinamičke mase vode  $C_H$ , a raspoloživi zaustavni put  $s$  u metrima, može se definirati, s zadovoljavajućom točnošću, primjenom sljedećeg izraza:

$$Fv_{min} = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{m \cdot Vb_p^2}{s} \right) \quad \text{odnosno} \quad Fv_{min} = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{D \cdot C_H \cdot Vb_p^2}{s} \right)$$

Za određivanje potrebnog zaustavnog puta broda za poznatu silu vuče tegljača  $Fv$  može se koristiti sljedeći izraz:

$$s = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{m \cdot Vb_p^2}{Fv_{min}} \right) \quad \text{odnosno} \quad s = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{D \cdot C_H \cdot Vb_p^2}{Fv_{min}} \right)$$

U proračunima se za  $CH$  može uzeti uobičajena vrijednost  $CH \approx 1,5$ .

Ako se deplasman potpuno nakrcanog broda i deplasman broda u balastu izraze u korelaciji s ukupnom nosivosti broda (DWT) prema metodi *The Port and Harbour Research Institute, Ministry of Transport Japan*, za razne vrste brodova, prethodni izrazi mogu se prikazati kako slijedi:

BRODOVI ZA PRIJEVOZ GENERALNOG TERETA (potpuno nakrcani)

$$Fv_{min} = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{(2,463 \cdot DWT^{0,936}) \cdot C_H \cdot Vb_p^2}{s} \right) \quad s = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{(2,463 \cdot DWT^{0,936}) \cdot C_H \cdot Vb_p^2}{Fv_{min}} \right)$$

BRODOVI ZA PRIJEVOZ GENERALNOG TERETA (u balastu)

$$Fv_{min} = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{[0,199 \cdot (2,463 \cdot DWT^{0,936})^{1,084}] \cdot C_H \cdot Vb_p^2}{s} \right) \quad s = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{[0,199 \cdot (2,463 \cdot DWT^{0,936})^{1,084}] \cdot C_H \cdot Vb_p^2}{Fv_{min}} \right)$$

BRODOVI ZA PRIJEVOZ ULJA (tekućih tereta) (potpuno nakrcani)

$$Fv_{min} = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{(2,028 \cdot DWT^{0,954}) \cdot C_H \cdot Vb_p^2}{s} \right) \quad s = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{(2,028 \cdot DWT^{0,954}) \cdot C_H \cdot Vb_p^2}{Fv_{min}} \right)$$

BRODOVI ZA PRIJEVOZ ULJA (tekućih tereta) (u balastu)

$$Fv_{min} = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{[0,383 \cdot (2,028 \cdot DWT^{0,954})^{1,018}] \cdot C_H \cdot Vb_p^2}{s} \right) \quad s = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{[0,383 \cdot (2,028 \cdot DWT^{0,954})^{1,018}] \cdot C_H \cdot Vb_p^2}{Fv_{min}} \right)$$

BRODOVI ZA PRIJEVOZ RUDAČE (rasutog tereta) (potpuno nakrcani)

$$Fv_{min} = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{(1,687 \cdot DWT^{0,969}) \cdot C_H \cdot Vb_p^2}{s} \right) \quad s = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{(1,687 \cdot DWT^{0,969}) \cdot C_H \cdot Vb_p^2}{Fv_{min}} \right)$$

BRODOVI ZA PRIJEVOZ RUDAČE (rasutog tereta) (u balastu)

$$Fv_{min} = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{[0,385 \cdot (1,687 \cdot DWT^{0,969})^{1,023}] \cdot C_H \cdot Vb_p^2}{s} \right) \quad s = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{[0,385 \cdot (1,687 \cdot DWT^{0,969})^{1,023}] \cdot C_H \cdot Vb_p^2}{Fv_{min}} \right)$$

Ostale značajke broda kao što su vrsta i snaga stroja, broj i vrsta porivnika valja odrediti u odnosu na veličinu i vrstu broda, na temelju vjerojatnosti da određeni brod ima određena obilježja. Ove značajke mogu utjecati na broj potrebnih tegljača. Tako se broj tegljača može smanjiti u odnosu na broj porivnika koje brod posjeduje (npr.  $x = \text{broj porivnika}$ ). Za sigurnost izvođenja manevra važno je i stanje glavnog stroja i ostalih uređaja na brodu koji utječu na izvođenje samog manevra. U slučaju da pouzdanost nije dovoljna valja angažirati dodatni broj tegljača (npr.  $x = 1$ ). Stoga se za konkretni slučaj može pisati da je broj potrebnih tegljača  $nT_k$ :

$$nT_k = nT \pm x$$

Osnovne dimenzije i obilježja broda su ulazni podaci za model. Pritom za konkretan proračun ulazne podatke za brod treba odrediti temeljem dostupnih podataka. U stvarnim uvjetima detaljni podaci nisu poznati. Imajući u vidu ovaj problem predviđa se koristiti dostupne podatke, npr. iz peljarske karte (*pilot card*), a ostale podatke procijeniti korištenjem neke metode procjene. Za korištenje ovog modela kao potprograma u modelu sustava manevriranja potrebne ulazne podatke treba generirati na prije obrazložen način.

### 8.2.4 Rezultati dobiveni modelom pojedinačnog manevra i njihova analiza

U ovom poglavlju prikazani su rezultati simulacije variranjem slobodnih varijabli ulaznih podataka u realnim granicama. Simulirani su za razne ulazne uvjete u model, a proračuni su prilagođeni trodimenzionalnom predstavljanju rezultata. Prikazani rezultati odnose se na brodove za prijevoz generalnog tereta, a na isti način mogu se prikazati rezultati i za druge vrste brodova.

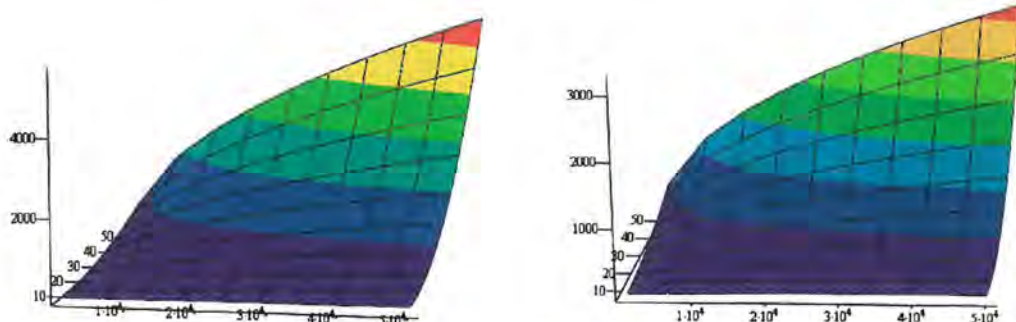
Na priloženim slikama prikazani rezultati proračuna ukupne vanjske sile koji su dobiveni korištenjem modela pojedinačnog manevra odnosno dijela koji se odnosi na modeliranje djelovanja vjetra, morske struje i valova na brod.

U modelu su varirane sljedeće varijable: ukupna nosivost broda  $DWT$ , brzina vjetra  $v_v$ , brzina morske struje  $v_{ms}$  i visina vala  $H_s$ . Ukupna nosivost broda mijenjana je u granicama od 1000 t do 50.000 t, brzina vjetra u granicama od 5 m/s do 50 m/s, brzina morske struje u granicama od 0,5 čv do 3 čv, a visina vala  $H_s$  u granicama od 0,5 m do 5 m.

U proračunu su neke varijable fiksirane i to na sljedeće vrijednosti: koeficijent otpora vjetra za potpuno nakrcan brod  $C_{v(\varphi)} = 0,80$ ; koeficijent otpora vjetra za brod u balastu  $C_{v(\varphi)} = 0,85$ ; koeficijent otpora morske struje za potpuno nakrcan brod  $C_{ms(\varphi)} = 2,90$ ; koeficijent otpora morske struje za brod u balastu  $C_{v(\varphi)} = 0,79$ ; koeficijent otpora vala  $C_{val(\varphi)} = 0,7$ ; gustoća zraka  $\rho_z = 1,233 \text{ kg/m}^3$ ; gustoća mora  $\rho_v = 1025 \text{ kg/m}^3$ ; faktor sigurnosti  $f_{SIG} = 1,4$ . U slučajevima kada su fiksirani brzina vjetra, brzina morske struje i visina vala pridružena im je vrijednost 0.

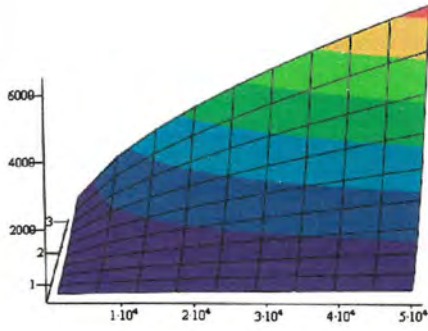
BROD U BALASTU

POTPUNO NAKRCAN BROD



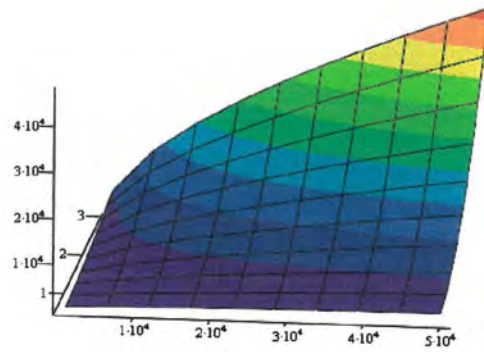
Slika 36 Prikaz ukupne vanjske sile na brod – varijable ukupna nosivost i brzina vjetra

BROD U BALASTU



S

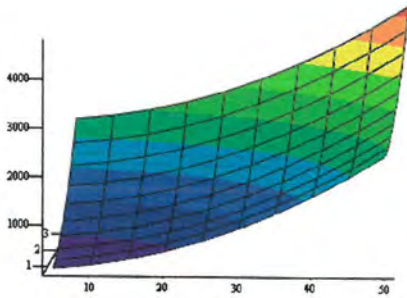
POTPUNO NAKRCAN BROD



S

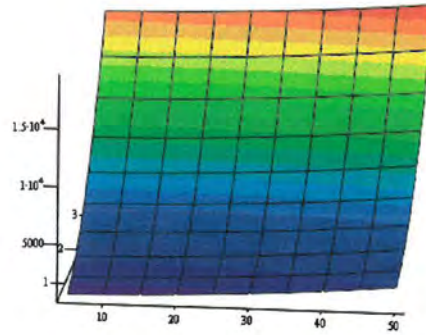
Slika 37 Prikaz ukupne vanjske sile na brod – varijable ukupna nosivost i brzina morske struje

BROD U BALASTU



S

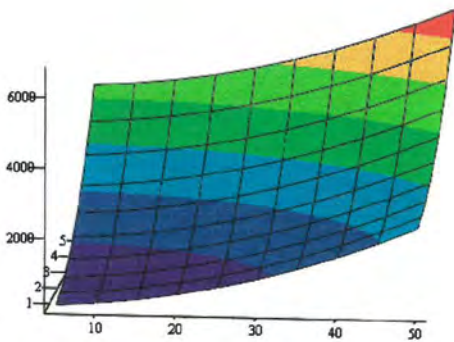
POTPUNO NAKRCAN BROD



S

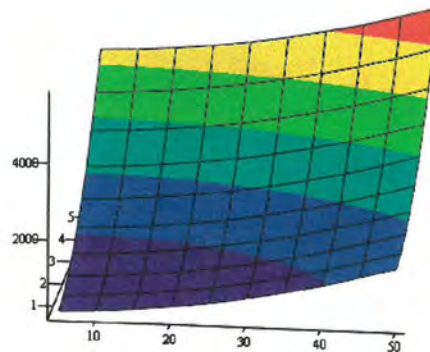
Slika 38 Prikaz ukupne vanjske sile na brod – varijable brzine vjetra i brzina morske struje

BROD U BALASTU



S

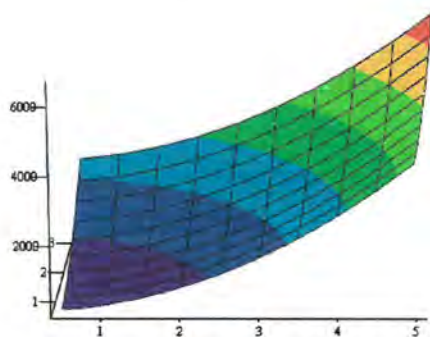
POTPUNO NAKRCAN BROD



S

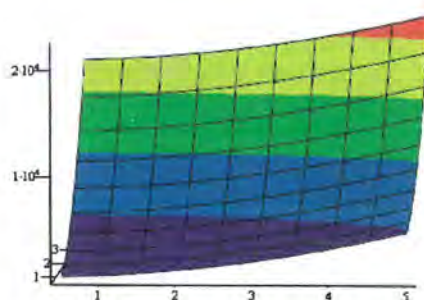
Slika 39 Prikaz ukupne vanjske sile na brod – varijable brzine vjetra i visina vala

BROD U BALASTU



S

POTPUNO NAKRCAN BROD



S

Slika 40 Prikaz ukupne vanjske sile na brod - varijable visina vala i brzina morske struje

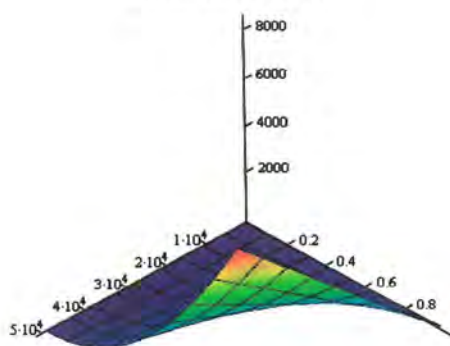
Na prethodnim slikama mogu se uočiti poznate činjenice da je utjecaj vjetra na brod u balstu veći od onoga na potpuno nakrcan brod, kao i da je utjecaj morske struje na brod u balstu manji nego li na brod potpuno nakrcan teretom. Ukupno gledano proizlazi i da je utjecaj vjetra općenito veći od utjecaja morske struje ukoliko se ovi čimbenici variraju unutar uobičajenih realnih vrijednosti.

O ovim činjenicama valja voditi računa i pri ocjeni složenosti manevra u svrhu određivanja faktora sigurnosti.

Na sljedećoj slici prikazani su rezultati proračuna udarne energije broda pri pristajanju za brod u balstu i brod potpuno nakrcan teretom. Rezultati su dobiveni korištenjem modela pojedinačnog manevra odnosno dijela koji se odnosi na modeliranje udarne energije broda u kojem su varirane dvije varijable: ukupna nosivost broda  $DWT$  i prilazna brzina broda obali  $V_{bp}$ .

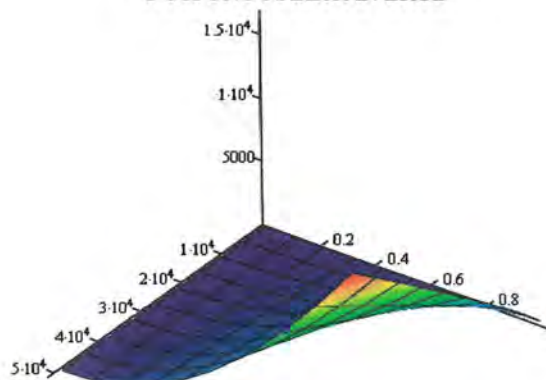
Ukupna nosivost broda mijenjana je u granicama od 1000 t do 50.000 t, a prilazna brzina broda od 0,01 m/s do 1,0 m/s. U proračunu je fiksiran koeficijent pristajanja  $C_B$  na vrijednost 0,54.

BROD U BALASTU



S1

POTPUNO NAKRCAN BROD



S

Slika 41 Udarne energije broda u odnosu na ukupnu nosivost i prilaznu brzinu broda

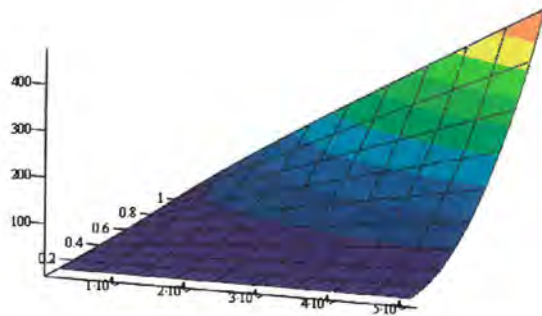
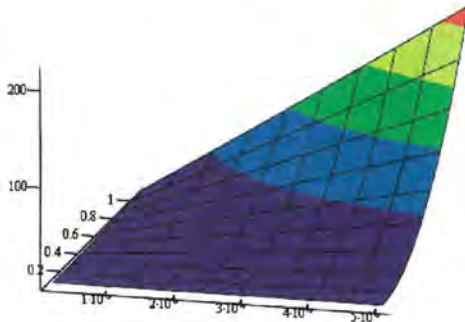
Na prethodnoj slici prikazane su udarne energije broda u ovisnosti o ukupnoj nosivosti i prilaznoj brzini broda. Na slici se zorno uočava razlika u veličini udarne energije za brod

nakrcan teretom što je jasno imajući u vidu veći deplasman takvog broda u odnosu na brod u balastu i činjenicu da je udarna energija broda proporcionalna s deplasmanom.

Na sljedećim slikama prikazani su rezultati proračuna potrebne sile vuče za zaustavljanje broda na određenom zaustavnom putu i potrebni zaustavni put pri određenoj vučnoj sili tegljača. Varirane su dvije varijable: ukupna nosivost broda  $DWT$  i prilazna brzina broda obali  $V_{bp}$ . Ukupna nosivost broda mijenjana je u granicama od 1000 t do 50.000 t, a prilazna brzina broda od 0,01 m/s do 1,0 m/s. U proračunu potrebne sile vuče za zaustavljanje broda pretpostavljen je zaustavni put od 100 m, a u proračunu potrebnog zaustavnog puta pretpostavljena je vučna sila tegljača od 300 kN.

BROD U BALASTU

POTPUNO NAKRCAN BROD



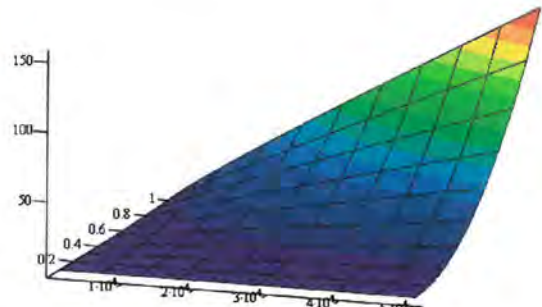
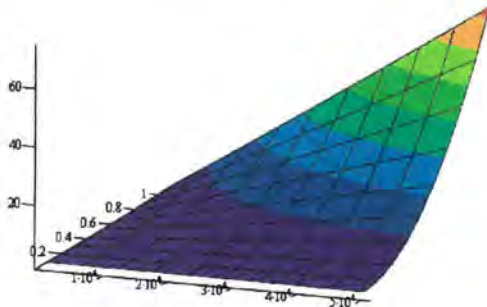
S

S

Slika 42 Potrebna sila vuče tegljača potrebna za zaustavljanje broda na određenom zaustavnom putu

BROD U BALASTU

POTPUNO NAKRCAN BROD



S

S

Slika 43 Potreban zaustavni put broda za određenu silu vuče tegljača

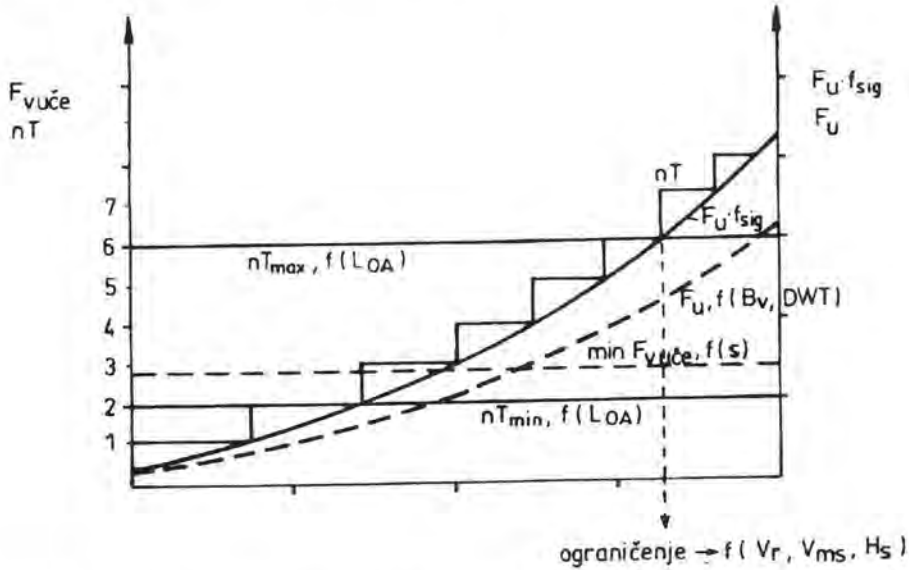
Na prikazanim rezultatima proračuna jasno se uočava da je potrebna značajno veća sila vuče za zaustavljanje broda potpuno nakrcanog teretom te da je zaustavni put takvoga broda za istu silu vuče tegljača dulji. Ovi zaključci su u skladu s poznatom činjenicom da je kinetička energija broda proporcionalna s deplasmanom.

Kako je već naglašeno prikazani rezultati odnose se na brodove za prijevoz generalnog tereta. Tijekom izrade rada izvedeni su proračuni za brodove za prijevoz tekućih tereta i brodove za prijevoz rasutih tereta koji nisu uvršteni zbog opsega rada.

Sa stanovišta daljnjeg istraživanja bilo bi korisno izvesti proračune i za ostale vrste brodova kao i raščlaniti brodove po vrstama unutar brodova obrađenih u ovom radu. Ovo se posebno odnosi na specifične vrste brodova sa stanovišta manevriranja kao što su ro-ro brodovi,

putnički brodovi, brodovi za prijevoz automobila, itd. Posebno bi bilo značajno poznavati reprezentativne međuzavisnosti osnovnih dimenzija kako bi ih se moglo prikazati u korelaciji npr. prema ukupnom nosivosti broda (DWT).

Za jedan konkretan slučaj, kada je poznata vrsta broda  $B_V$ , ukupna nosivost  $DWT$ , duljina između okomica  $LOA$ , siguran zaustavni put  $s$  te sila vuče jednog tegljača  $F_{vuče}$ , sa stanovišta zadovoljenja tehnoloških uvjeta u pogledu stupnja sigurnosti manevra dijagram ograničenja izvođenja manevra može se prikazati na sljedeći način.



Slika 44 Dijagram ograničenja izvođenja manevra uz zadovoljavajući stupanj sigurnosti

Prikazani dijagram ograničenja pri izvođenju manevra uz zadovoljavajući stupanj sigurnosti moguće je dobiti primjenom modela pojedinačnog manevra za konkretan slučaj. Korištenjem modela na ovaj način on postaje dio ekspertnog sustav odlučivanja pri planiranju broja i obilježja tegljača te tehnoloških ograničenja u lučkim sustavima.

## 9 UKUPNOST UTJECAJA MANEVIRANJA BRODOM NA SIGURNOST I ZAŠTITU MORSKOG OKOLIŠA

Cilj ovog poglavlja je prikazati način utvrđivanja i prosuđivanja veličine opasnosti koja se javlja pri plovidbi brodova prilaznim lučkim područjem, tijekom manevriranja brodova u nekom lučkom akvatoriju kao i tijekom boravka brodova na mjestu priveza. Također, temeljem prosudbe stupnja opasnosti moguće je utvrditi djelotvorne i prikladne mjere zaštite od predvidivih opasnosti sa stajališta opće sigurnosti u sustavu.

U poglavlju je dan prikaz načina procjene i veličine opasnosti od onečišćenja mora i priobalja kao posljedica pomorske nezgode, a u svezi sa sustavom manevriranja. Razmatraju se djelatnosti kojima je cilj spriječiti pomorske nezgode odnosno umanjiti odnosno otkloniti posljedice onečišćenja.

### 9.1 CILJEVI PROCJENE OPASNOSTI

Osnovni ciljevi koje valja razmotriti sa stanovišta procjene opasnosti, a imajući u vidu sustav manevriranja brodom u kojem nastupaju pojedine vrste opasnosti su:

- povećanje razumijevanje opće razine sigurnosti broda kroz sustavno i logično razmatranje slijeda događaja koji prethode ili slijede nakon pomorske nezgode;
- identifikacija i razdvajanje događaja koji imaju znatne posljedice od onih čije su posljedice zanemarive;
- utvrditi, u mjeri u kojoj je to moguće odnosno pouzdano, kvantitativnu mjeru opasnosti od pojedinog događaja;
- utvrditi važnost pojedinih djelatnosti ili postupaka u cilju sprečavanja nepovoljnog razvoja događaja ili njegovih posljedica;
- utvrditi mjere za ograničavanje nastupa štetnog događaja;
- omogućiti valjanost i prikladnost odluka koje se donose na strateškoj razini odnosno u slučaju nastupa štetnog događaja.

Kako bi se postavljeni ciljevi ostvarili valja provesti identifikaciju pojedinih opasnosti i njihovo vrednovanje te shodno tome utvrditi mjere za njihovo sprečavanje odnosno umanjivanje njihovih posljedica.

### 9.2 VREMENSKA RAZDIoba

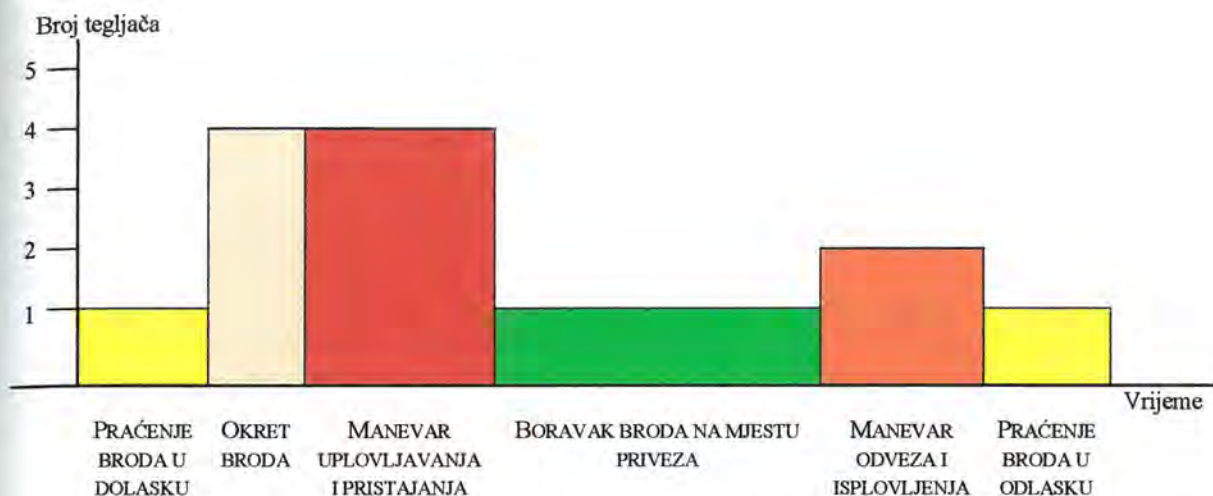
U okviru ovog rada razmatraju se opasnosti odnosno stupanj sigurnosti koji se javljaju u lučkom akvatoriju, a imajući u vidu sustav manevriranja, tijekom:

- plovidbe prilaznim plovnim putovima;
- ukrcaja peljara;
- prihvata tegljača;
- praćenja broda tegljačem/ima;
- manevra uplovljavanja i priveza;
- boravka broda na mjestu priveza;
- manevra odveza i isplovljenja;
- otpuštanja tegljača;
- iskrcaja peljara;
- plovidbe lučkim akvatorijem na odlasku.

Pri razmatranju vremenske razdiobe valja imati u vidu trajanje pojedinog postupka u sustavu manevriranja. Ovo trajanje ovisi o duljini pojedinog dijela plovnog puta, obilježjima broda i tegljača, brzini plovidbe odnosno brzini pri manevriranju, trenutnim vanjskim uvjetima, tehnologiji koja se primjenjuje pri realizaciji pojedinog postupka, složenosti manevra, itd. Vrijeme boravka broda na mjestu priveza ovisit će o čimbenicima kao što su količina tereta koju

treba prekrcati, tehnologija prekrcaja, uvjeti tijekom prekrcaja, ostalim radnjama koje brod obavlja na mjestu priveza osim prekrcaja, kao što su popravci, nadopuna goriva i zaliha, itd.

Primjer dijagram vremenske razdiobe trajanja pojedinog postupka s brojem angažiranih tegljača za jedan tankerski vez prikazan je na priloženoj slici.



Slika 45 Dijagram vremenske razdiobe s brojem angažiranih tegljača

Tijekom boravak broda na mjestu priveza stupanj sigurnosti valja razmatrati sa stanovišta maritimne sigurnosti broda ali i sa stanovišta opće sigurnosti broda, koja u prvom redu ovisi o sigurnosti tijekom izvođenja prekrcajnih i drugih operacija. Valja naglasiti da se spomenuti aspekti sigurnosti međusobno isprepleću te ih sa stanovišta opće sigurnosti na mjestu priveza treba promatrati integralno.

### 9.3 ODREĐENJE POJMA OPASNOG DOGAĐAJA

Temeljni pojam sa stajališta prosudbe opasnosti je pojam izvanrednog događaja. Izvanredni događaj je svaki događaj koji nije bio planiran od strane odgovorne osobe na brodu i/ili obali. Izvanredni događaji mogu se podijeliti na:

- događaje koji nemaju štetnih posljedica niti su ih mogli izazvati,
- događaje koji nisu imali štetne posljedice, ali su ih mogli izazvati (*near misses*), i
- događaje koji su izazvali štetne posljedice.

U prethodnoj podijeli štetnim posljedicama smatraju se štetne posljedice po zdravlje i/ili život ljudi bez obzira na trajanje, materijalne štete i onečišćenja okoliša.

Događaji koji su izazvali štetne posljedice nazivaju se nezgodama i sa stajališta ozbiljnosti mogu se podijeliti na nezgode koje su izazvale:

- materijalne štete;
- ugrožavanje zdravlja i života pojedinaca ili manjeg broja ljudi;
- manja onečišćenja okoliša;
- velike materijalne štete i/ili veća onečišćenja okoliša i/ili ugrožavanje zdravlja i života većeg broja ljudi (katastrofalne nezgode).

Sa stajališta ozbiljnosti posljedica neke pomorske nezgode zbog načina prikupljanja podataka uobičajeno se razlikuju dvije osnovne skupine nezgoda i to:

- nezgode koje nisu dovele do gubitka broda i
- nezgode koje su dovele do stvarnog ili konstruktivnog gubitka broda.

Sa stajališta uzroka sve pomorske nezgode, pa tako i nezgode koje za posljedicu imaju onečišćenje mora, mogu se podijeliti u sljedeće skupine:



- nezgode prouzročene višom silom,
- nezgode prouzročene tehničkim kvarom,
- nezgode prouzročene ljudskom pogreškom i
- namjerno prouzročene nezgode.

U nezgode prouzročene višom silom ubrajaju se one nezgode koje su izazvane čimbenicima na čiji razvoj i djelovanje zapovjednik i posada broda kao i ostalih osoba koje djeluju u sustavu manevriranja nisu mogli utjecati ni na koji način. Ove nezgode izuzetno su rijetke u pomorstvu i to prvenstveno stoga što je izuzetno mali broj događaja koji bitno utječu na sigurnost broda i zaštitu od onečišćenja, a na koje se primjenom uobičajenih mjera predostrožnosti nije moglo utjecati. U događaje iz ove skupine ubrajaju se primjerice udar groma, nevrijeme izuzetnog intenziteta koje nije najavljeno odnosnom vremenskom prognozom, teroristička djelovanja i slično.

Nezgodama prouzročenim tehničkim kvarom smatraju se nezgode u kojima je do onečišćenja mora i priobalja došlo zbog kvara tehničkog uređaja koji se nije mogao spriječiti uobičajenim mjerama preventivnog ili korektivnog održavanja broda i njegove opreme.

U nezgode koje su nastale ljudskom greškom ubrajaju se one u kojima je osnovni uzrok pogreška pri rukovanju opremom i uređajima, nepoštivanje propisanih radnih postupaka, nedovoljno održavanje opreme i uređaja ili propuštanje obavljanja propisanih mjera sigurnosti i zaštite od onečišćenja.

U skupinu namjerno prouzročenih nezgoda ubrajaju se i nezgode odnosno onečišćenja do kojih je došlo zbog svjesnog kršenja pozitivnih propisa ili nepoštivanja radnih postupaka i mjera zaštite s ciljem izbjegavanja većih šteta ili umanjivanja štetnih posljedica.

#### 9.4 POMORSKI RIZIK I NJEGOVA PROCJENA

Koncepcija rizika u pomorstvu povezana je s frekvencijom akcidenata i njihovim posljedicama s naglaskom na sigurnost ljudskih života na moru.<sup>128</sup> Tako npr. posljedica akcidenta bit će mjerena brojem nesreća, a rizik po ljudski život može se izraziti obrascem:

$$Rizik = f_a \cdot Nc$$

gdje su:

$f_a$  - frekvencija akcidenta

$Nc$  - broj nesreća

Međutim, u lukama i na prilaznim plovnim područjima posljedica akcidenta, kao što je naglašeno u prethodnom poglavlju, ne mora biti gubitak života već ozbiljna materijalna šteta, šteta za okoliš ili gubitak prihoda za luku (npr. zbog opstrukcije plovnog puta zbog akcidenta). Potencijalna opasnost za okoliš je vrlo značajna u suvremenom društvu te je treba posebno pažljivo razmotriti.

U pojedinim slučajevima posljedica akcidenta neće biti mjerena brojem ljudskih žrtava, ali će biti mjerena materijalnim štetama, štetama na okolišu ili gubitku prihoda. U ovom slučaju, ako je  $Mc$  određena mjera posljedica akcidenata, pomorski rizik može se izraziti obrascem:

$$Rizik = f_a \cdot Mc$$

Valja istaknuti da je sprečavanje materijalnih šteta, onečišćenja okoliša odnosno ugrožavanja zdravlja i života ljudi na brodu prvenstvena odgovornost broдача odnosno zapovjednika broda (kroz primjenu ISM sustava) dok je na terminalu to u nadležnosti rukovoditelja terminala (kroz primjenu nacionalnih propisa).

<sup>128</sup> Approach Channels A Guide for Design, Final report of the joint Working Group PIANC and IAPH, in cooperation with IMPA and IALA, Supplement to Bulletin No. 95, PIANC, Bruxelles, 1997, str.50.

Kad postoji rizik za ljudske živote na moru,  $N_c$  se također može smanjiti konstrukcijskim rješenjima broda, postojanjem sredstava za spašavanje na brodu i uspostavom mogućnosti učinkovitog traganja i spašavanja (SAR). Kad postoji rizik za okoliš, posljedice se također mogu smanjiti posvećivanjem pažnje konstrukcijskim rješenjima broda (npr. tankeri s dvostrukim trupom) te dobrom opremljenošću, organiziranošću i mogućnošću brzog djelovanja u sprečavanju onečišćenja.

Kad posljedice akcidenta mogu rezultirati u zatvaranju plovnog puta, posebno podrobno treba biti razmotrena potrebna širina plovnog puta za odvijanje određene vrste prometa, kao i raspoloživost dovoljnog broja tegljača u pripremi, tegljača za pratnju broda, razrađena pravila i ograničenja kojih se valja pridržavati u eksploataciji, itd.

Na konstrukcijska rješenja i postupke u eksploataciji utjecat će moguće posljedice akcidenta, ali na njih ima značajan utjecaj i frekvencija akcidenta  $f_a$  koja se javlja u prethodnim izrazima. U tom smislu slabije konstruirani brodovi kao i brodovi kojima su postupci pri plovidbi i manevriranju nedovoljno kvalitetni mogu biti češće izloženi akcidentima. Kako se pri planiranju i uspostavi željenog stupnja sigurnosti u sustavu manevriranja broda u nekom lučkom sustavu ne može utjecati na konstrukcijska rješenja brodova osim zabranama uplovljavanja nekih brodova, zadovoljavajući stupanj sigurnosti postiže se pravilnim postupanjem pri projektiranju i izgradnji pojedinih elemenata lučkog područja te donošenjem pravila i ograničenja za postupanje u uvjetima eksploatacije. Dakle, mjere se koncentriraju na operacionalne komponente faktora  $f_a$  kako se ne bi izazvao porast neprihvatljivo velikih vrijednosti frekvencija akcidenta  $f_a$ .

Parametar  $f_a$  sam za sebe je generalno uzevši "akcidentna norma" (engl. *accident rate*) i ako je  $x$  broj akcidenta, može biti prikazan kao vjerojatnost, npr.:

$$\text{"akcidentna norma"} = x \cdot 10^6 \text{ susreta ili "akcidentna norma"} = x \cdot 10^3 \text{ pomaka broda}$$

Procjena pomorskog rizika bazira se na dvije osnovne metode, procjena unatrag i procjena unaprijed.

Procjena unatrag bazira se na akcidentima koji su se već dogodili u određenim situacijama, a ako su oni bili česti vjerojatno je da su rizici dobro procijenjeni.

Procjenu unaprijed treba izvesti kad je postojao relativno mali broj akcidenta te procjena unazad nije moguća. Ova procjena bazira se na analizi situacije u određenom slučaju, a vjerojatnost pojedinog događaja određuje se komparacijom s podacima određenim iz drugog slučaja.

Za lučka područja s većim brojem nezgoda trenutni nivo rizika može biti određen korištenjem metode procjene unatrag. Ukoliko to nije slučaj treba koristiti podatke za neku drugu luku te tako dobivene podatke prilagoditi za dotičnu luku. U ponekim slučajevima "akcidentna norma" (ili vjerojatnost događaja) određuje se za svaku kategoriju akcidenta i ostale relevantne čimbenike. Ukupni pomorski rizik  $r_o$  je zbroj individualnih, pojedinačnih, rizika (rizika sudara  $r_c$ , rizika nasukanja  $r_g$ , rizika oštećenja,  $r_s$ , rizika udara  $r_i$ , rizika dodira  $r_{st}$ ) pa se može pisati izraz:

$$r_o = r_c + r_g + r_s + r_i + r_{st}$$

Iz prikazanog proizlazi da je konzistentna frekvencija ili vjerojatnost baza podataka koja se odnosi na vrijeme, npr. incidenti po godini ili prema ukupnom broju pomaka ili tranzita, npr. incidenti po 1000 prolaza ili slične odgovarajuće mjere.

Rizik ili promjena u riziku zbog promjene nekog elementa sustava ili zbog razvoja projekta tijekom projektiranja, može biti određen računalnim modelom.

## 9.5 PRIKUPLJANJE VJERODOSTOJNIH PODATAKA O AKCIDENTIMA

Podaci za određivanje pomorskog rizika generalno se određuju iz izvora kao što su broj i vrsta nezgoda u luci, povijesni registar pomorskih nezgoda u svijetu, prognoza lučkog prometa, registar radarskog nadzora, plovidbene rute, posebno za brodove s opasnim teretom, vizualno praćenje prometa kojim se određuje broj i vrsta brodova koji prođu određenom točkom, video snimanje prometa na lučkom radaru, itd.

Međutim, pomorske nezgode koje ne dovode do gubitka broda obuhvaćaju brojne nezgode vrlo razolikih uzroka, obilježja i posljedica, a zbirni podaci o nezgodama ove skupine na temelju kojih bi bilo moguće izvršiti prosudbu o njihovoj učestalosti, vjerojatnosti pojavljivanja, obilježjima i sl., su u pravilu vrlo nepouzdana iz sljedećih razloga:

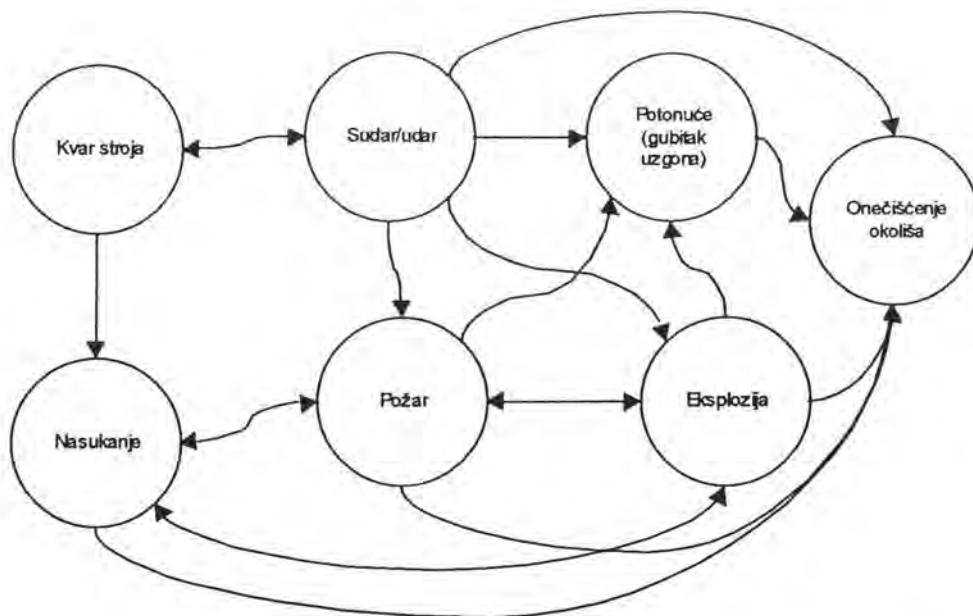
- podaci o nezgodama koje za posljedicu imaju samo materijalnu štetu se redovito "zadržavaju" između brodara kojima se takve štete najčešće događaju odnosno vlasnika (korisnika) terminala i osiguravatelja koji takve štete pokriva osiguranjem;
- podaci o nezgodama koje za posljedicu imaju ozljede ili gubitak života časnika ili članova posade usmjeravaju se prema organima države čiju zastavu brod vije i koje u tim slučajevima provode istragu; države zastave u pravilu nemaju obvezu o broju i ozbiljnosti takvih nezgoda dostaviti niti jednoj međunarodnoj organizaciji ili instituciji koja bi objavila zbirni prikaz takvih događaja;
- podaci o nezgodama u kojima je došlo do onečišćenja prikupljaju se sa različitim o vjerodostojnošću u različitim državama; ovisno o postojanju regionalnih sporazuma, takvi podaci dostavljaju se nadležnim institucijama za zaštitu okoliša, u pravilu sa znatnom vremenskom zadržkom, radi zbirnog prikaza; u takvim zbirnim prikazima nerijetko se zanemaruju raščlambe stvarnih uzroka šteta.

Pri razmatranju vrsta nezgoda uobičajeno se koristi Lloyd's-ova podjela koja ih dijeli na: potonuće, nasukanje, udar, sudar, požar i eksplozija, nestanak broda, ratne štete, oštećenja trupa i strojeva i druge nesvrstane uzroke.

Ovakav način vođenja zbirnih podataka u pravilu ne sadrži i podatke o onečišćenjima koja se također smatraju katastrofalnim. Ako se imaju u vidu onečišćenja mineralnim uljima, koja su najčešći tekući teret i pogonsko gorivo u pomorskom prijevozu, ovisno o izvorima, katastrofalnim onečišćenjima se smatraju ona kod kojih je u more ispušteno više od 100 odnosno 1.000 tona mineralnih ulja.

Važno je nadalje uočiti da pomorske nezgode katastrofalne prirode nerijetko u istom slučaju sadrže višestruke događaje odnosno jedna vrsta nezgode uzrokuje drugu (npr. nakon sudara dvaju brodova, od kojih je jedan tanker, nerijetko slijedi požar odnosno eksplozija tankera) pri čemu se u uobičajenim statističkim prikazima takvi događaji svrstavaju sukladno osnovnom događaju (npr. u slučaju požara nakon sudara brodova svrstava se u skupinu sudara). Slijed uobičajeno mogućih događaja prikazan je na priloženoj slici.<sup>129</sup>

<sup>129</sup> Studija procjene opasnosti i mjere zaštite, TE Rijeka, Visoka pomorska škola u Rijeci, Rijeka, 1999., str. 8.



Slika 46 Uzročno-posljedični slijed događaja u slučaju pomorskih nezgoda s katastrofalnim obilježjima

## 9.6 PROSUDBA UČESTALOSTI POMORSKE NEZGODE

Za procjenu nastupa štetnog događaja u konkretnom području u kojem se promatra sigurnost sustava manevriranja može poslužiti poznata učestalost nastupa pomorske nezgode. Primjerice u sljedećoj tablici prikazana je očekivana učestalost jedne pomorske nezgode odnosno posljedičnog onečišćenja ovisno o mjestu na kojem se brod nalazio u trenutku nezgode izraženo u tisućama brod-godina. Podaci na kojima se temelji sljedeća tablica izvedeni su na temelju nezgoda brodova za rasuti teret i brodova za prijevoz tekućina.

STATUS BRODA	NEZGODE	ONEČIŠĆENJA
Sidrište ili odobalni privez	1,4	0,3
Privezan uz obalu	1,1	0,1
Manevar – uz pomoć tegljača	0,2	0,0
Manevar – bez pomoći tegljača	2,9	0,4
U plovidbi – nepoznati status	4,7	0,1
U plovidbi – nakrcan	9,6	1,5
U plovidbi – balast	2,9	-
U plovidbi – djelomično nakrcan	0,5	0,1
Nepoznato	1,3	0,2
<b>Ukupno</b>	<b>24,7</b>	<b>2,8</b>

Tablica 25 Razdioba učestalosti nezgoda po mjestu nezgode

Pored statusa broda sa stajališta procjene rizika posebno je značajno procijeniti relativnu očekivanu učestalost nezgode tijekom boravka broda u konkretnom području, ali su za to potrebni konkretni podaci.

Glede vrste pomorske nezgode te uz pretpostavku međusobne nezavisnosti događaja valja očekivati učestalosti kako slijedi:

NEZGODA	OČEKIVANA UČESTALOST NEZGODE	UVJETNA UČESTALOST ONEČIŠĆENJA
OŠTEĆENJE TRUPA / KVAR STROJA	46,23 · 10 <sup>-6</sup>	5,80 · 10 <sup>-6</sup>
POŽAR / EKSPLOZIJA	21,58 · 10 <sup>-6</sup>	1,80 · 10 <sup>-6</sup>
NASUKANJE	19,73 · 10 <sup>-6</sup>	5,80 · 10 <sup>-6</sup>
SUDAR	11,20 · 10 <sup>-6</sup>	4,93 · 10 <sup>-6</sup>
UDAR	7,14 · 10 <sup>-6</sup>	1,80 · 10 <sup>-6</sup>

Tablica 26 Očekivana učestalost osnovnih vrsta nezgoda i posljedičnih onečišćenja

Učestalosti su proračunate za brodove za prijevoz mineralnih ulja i svedene na vrijeme koje takav brod provede u konkretnom području.

## 9.7 PROSUDBA OPASNOSTI PREMA VRSTAMA NEZGODA

Prosudba opasnosti ima cilj utvrditi, koliko je to prikladno i pouzdano, uzroke i posljedice nezgoda koje prijete u određenom lučkom sustavu, jasno u ovom radu sa stanovišta sustava manevriranja.

Polazeći od uobičajenih uzroka pomorskih nezgoda u nastavku će se razmatrati osnovne vrste nezgoda. Nastup ovih nezgoda moguće je spriječiti poduzimanjem mjera u nadležnosti luke ili terminala kao i nadležnih pomorskih vlasti, a dakako da se izbjegavaju i pravilnim održavanjem broda te pravilnim izvođenjem postupaka na brodu. U ovu grupu nezgoda zasigurno valja ubrojiti:

- materijalne štete, ozljede, ugrožavanje zdravlja ili gubitak života
- potonuće,
- nasukanje,
- udar i sudar,
- požar i eksplozija,
- oštećenja trupa i strojeva i
- onečišćenje mora i priobalja.

U slučaju pomorskih nezgoda valja razlikovati nezgode u kojima je došlo do znatnog oštećenja odnosno katastrofalne nezgode jer se statistike bitno razlikuju. Kao reprezentativni uzorak za nesreće s katastrofalnim posljedicama smatrat će se samo one nesreće u kojima je došlo do stvarnog ili konstruktivnog gubitka broda.

Glede odnosa nezgoda s katastrofalnim posljedicama u odnosu na ukupan broj nezgoda valja primijetiti da na temelju prikazanih podataka slijedi da do potpunog gubitka broda (stvarnog ili konstruktivnog) dolazi približno u 5-15% slučajeva svih nezgoda te da je taj omjer bolji u tankera nego što je to slučaj s ostalim vrstama brodova što se može objasniti prvenstveno većom "otpomošću" tankera na nezgode uzrokovane olujnim nevremenima odnosno strukturalnim oštećenjima trupa.

### 9.7.1 Materijalne štete, ozljede, ugrožavanje zdravlja ili gubitak života

Ova vrsta nezgode uzrokovana je prvenstveno tehničkom pogreškom ili pogreškom čovjeka, a u znatno manjoj mjeri i višom silom. Do pojave nezgoda iz ove skupine može doći u svakom trenutku tijekom boravka broda u promatranom području.

Nadzor nad tehničkom ispravnosću broda i njegove opreme načelno je u nadležnosti zapovjednika broda odnosno vlasti države čiju zastavu brod vije. Tehničku ispravnost u granicama koje "postavljaju" opće prihvaćene međunarodne konvencije utvrđuju nadležne vlasti države čiju zastavu brod vije ili ustanove (klasifikacijski zavodi) ovlaštene od te države. Tražena razina tehničke ispravnosti potvrđuje se izdavanjem odnosnim svjedodžbi. Valja istaći da tehnička razina ispravnosti ni na koji način ne jamči pouzdanost pojedinih dijelova ili sklopova.

Značajna skupina nezgoda uzrokovana je ljudskom pogreškom pri rukovanju opremom i uređajima, nepoštivanjem propisanih radnih postupaka ili propuštanjem obavljanja propisanih mjera sigurnosti i zaštite od onečišćenja, bez obzira bile učinjene svjesno i namjerno (najčešće zbog ostvarivanja dobiti) ili nenamjerno.

Učestalost nezgoda do kojih može doći tijekom radnih postupaka ovisne su o složenosti određenog radnog postupka. No, posljedice određene ljudske pogreške određene su i vjerojatnošću da takva pogreška u zadatim okolnostima izravno ima za posljedicu nezgodu. S obzirom da ove dvije vjerojatnosti nisu međusobno uvjetovane ukupna vjerojatnost nezgode može se izračunati na temelju izraza:

$$P_n = P_i \cdot P_j$$

gdje je:

- $P_n$  – vjerojatnost nezgode,
- $P_i$  – vjerojatnost greške pri obavljanju određene radne djelatnosti,
- $P_j$  – vjerojatnost da će pogreška imati za posljedicu nezgodu.

U slučaju radnji složenih od više jednostavnih djelatnosti vrijedi izraz:

$$P_n = \sum (P_i \cdot P_j)$$

Za potrebe usporedbe različitih događaja odnosno njihovo svrstavanje u pojedinu skupinu opasnosti nužno je izraz za vjerojatnost nezgode pomnožiti i s koeficijentom opasnosti (uobičajeno poprima vrijednost 100 za nezgode s katastrofalnim posljedicama, primjerice eksplozija tanka na tankeru).

Za određivanje potrebnih ulaznih vrijednosti za prethodno prikazane izraze potrebna je raščlamba određenih postupaka i tehnoloških rješenja koji se pritom primjenjuju na brodovima i ostalim elementima u sustavu manevriranja. S obzirom da se ovom radu razmatra opći sustav manevriranja, te da su konkretna tehnološka rješenja nepoznata kao i zbog složenosti raščlambe pojedinog elementa nije moguće izvršiti opću procjenu opasnosti nastupa materijalnih šteta, ozljeda, ugrožavanja zdravlja ili gubitka života.

Valja istaći da je, zbog izuzetne složenosti broda ali i cijelog sustava manevriranja, vrlo složen postupak opisivanja svih događaja koji kao svoju posljedicu mogu imati pomorsku nezgodu s onečišćenjem.

### 9.7.2 Potonuće

Potonuće broda može nastupiti u slučaju gubitka uzgona, čvrstoće trupa ili gubitka dovoljne statičke ili dinamičke stabilnosti.

Do gubitka uzgona najčešće dolazi zbog prodora vode u brod. U tom slučaju smanjuje se rezerva uzgona dok brod konačno ne izgubi svojstvo plovnosti.

U slučaju kada je brod izložen iznimnim dinamičkim naprezanjima može doći i do pucanja trupa. U iznimnim slučajevima takva naprezanja mogu dovesti i do potpunog odvajanja broda na dva ili više dijelova, dok u graničnim slučajevima to dovodi do oštećenja trupa odnosno prodora vode u brod.

Pod utjecajem sila vjetra i valova te značajnijeg pomaka tereta, ako brod nema dovoljnu statičku odnosno dinamičku stabilnost, može doći i do prevrtanja broda u plovidbi ili tijekom manevriranja.

### 9.7.3 Nasukanje

Nasukanje broda može nastupiti najčešće u tri temeljna slučaja:

- u plovidbi, zbog grube navigacijske pogreške,
- tijekom boravka broda na sidrištu ili odobalnom vezu i
- kao posljedica kvara stroja ili druge pomorske nezgode.

Nasukanje koje je prouzročeno grubom navigacijskom pogreškom odgovornog časnika spada u vrste nezgoda koje je se samo u ograničenom obimu moguće spriječiti djelovanjem izvan okruženja broda. U stanovitom smislu smanjivanje očekivanog broja nasukanja moguće je postići boljim označavanjem plovnog puta odnosno uvođenjem sustava usmjeravanja plovidbe, posebice sustavom odijeljene plovidbe, pravilnom planiranju pomorske plovidbe te svakako edukacijom.

Do nasukanja broda tijekom boravka broda na sidrištu ili odobalnom vezu može doći u slučaju kada zbog nepravovremene pripreme broda odnosno kvara na brodskoj opremi, uređajima i strojevima brod pod utjecajem vjetera i valova bude odbačen na obalu. U temeljima nezgode uzrokovane na prikazan način može se ustvrditi da do nezgode dolazi zbog ljudske pogreške uz naznaku da u tom slučaju nezgodu uzrokuje neprimjerena odnosno nepravovremena odluka odnosno njezina provedba zapovjednika broda ili članova posade (nepravovremeni prekid prekrcajnih operacija odnosno nepravovremena priprema broda za isplovljenje u slučaju nailaska nevremena), neprikladne radnje (npr. popravak stroja nije dopušten od strane lučkih vlasti) ili neprikladni postupci tijekom manevra broda.

Nasukanje je nerijetko posljedica i kvara stroja u plovidbi, kvara na upravljačkom sustavu broda ili njegovoj opremi (npr. sidreni uređaj). Takve nezgode klasificiraju se ovisno od uzroka.

Određivanje frekvencije nasukanja  $f_g$  prema metodi koju je predložio Solem<sup>130</sup> izvodi se indirektno povezivanjem s dimenzijama plovnog puta. Prema iskustvima mnogih prilaza lukama razvijen je sljedeći međuodnos:

$$f_g = K \cdot L_c / w \text{ po prolazu}$$

gdje je:

$K$  - konstanta, uobičajeno se uzima  $10^{-5}$  po prolazu

$L_c$  - duljina plovnog puta (kanala)

$w$  - širina plovnog puta (kanala)

Razmatrajući ovaj izraz uočava se da je vjerojatnost nasukanja veća na dugim prilaznim plovnim putovima, a manje vjerojatna na širim plovnim putovima, što je i razumljivo.

Sličan izraz može se izvesti za frekvenciju dodira  $f_{st}$  (engl. *striking frequency*):

$$f_{st} = K \cdot RL_f / w_f \text{ po prolazu}$$

gdje je:

$K$  - konstanta

$R$  - vjerojatnost da manevar u posljednjem trenutku neće biti uspješan

$L_f$  - duljina plovnih objekata uzduž plovnog puta

$w_f$  - udaljenost od plovnih objekata do srednje uobičajene plovidbene trake u plovnom putu (npr. *cross track error*)

Vjerojatnost nasukanja<sup>131</sup>  $Pr$  ako je  $N_{sd}$  broj standardnih devijacija, a  $erf$  funkcija pogreške, uz pretpostavku normalne razdiobe, biti će:

$$Pr(\text{nasukanja}) = 1 - erf\left(\frac{N_{sd}}{\sqrt{2}}\right)$$

Učestalost nasukanja se, prema dostupnim podacima, kreće oko  $4,7 \cdot 10^{-3}$  brod-godina, pri čemu u skoro 20% slučajeva dolazi do posljedičnog onečišćenja.

<sup>130</sup> Solem, R. R., Probability Models of Grounding and Collision, Proceedings of Automation of Safety in Shipping and Offshore Petroleum Operations, 1980.

<sup>131</sup> Dand, I.W., Lyon, P.R., The Element of Risk in Approach Channel Design, International Conference on Maritime Technology, Challenges in Safety and Environmental Protection, Singapore, 1993.

#### 9.7.4 Sudar i udar

Sudar odnosno udar jesu nezgode do kojih isključivo dolazi krivnjom časnika jednog ili što je češće obaju brodova koji su sudjelovali u sudaru. Prema statistikama u 90% slučajeva kod sudara uzrok je ljudski faktor.

Vjerojatnost sudara  $N$  općenito se može odrediti<sup>132</sup> (ako su poznate ulazne vrijednosti za određeno područje) na temelju sljedećeg izraza:

$$N = \delta \cdot Vr \cdot c$$

gdje je:

$\delta$  - gustoća prometa na nekom području,

$Vr$  - relativna brzina brodova u uobičajenim plovnim putovima,

$c$  - koeficijent proporcionalan s domenom broda u nekom području.

Za određivanje vjerojatnosti sudara u konkretnom plovnom području treba imati pouzdana mjerenja gustoće, relativnih brzina i veličine domene što najčešće nije slučaj, pa bi ove parametre trebalo posebno istražiti.

Ako nema pouzdanih mjerenja za određeno područje tada se kao srednja učestalost sudara na plovnim putovima u kojima nema ekstremnih vrijednosti gustoće prometa uzima  $3,2 \cdot 10^{-3}$  na godinu, pri čemu je u neograničenim vodama ova učestalost približno 30% manja dok je u lukama i na prilaznim putovima do tri puta veća, ovisno o položaju i obilježjima prilaznih putova.

Glede sudara s katastrofalnim posljedicama uobičajeno se smatra da će jedan od šest sudara imati za posljedicu gubitak jednog ili oba broda, najčešće zbog posljedičnog prodora vode odnosno gubitka uzgona ili, u slučaju tankera, požara i/ili eksplozije broda.

Glede udara općenito se smatra da je učestalost udara približno dva puta manja od učestalosti sudara za određeno područje. Bitna karakteristika udara je da u znatno manjem broju slučajeva dolazi do oštećenja broda koja dovode do potpunog gubitka broda. Valja istaći da statistička razdioba udara broda bitno ovisi o navigacijskim obilježjima određenog područja te da je bitno manja za brodove koji trgovačke operacije obavljaju na odobalnom vezu odnosno privezani za plutače (tankeri) u odnosu na brodove koji prekrcaj obavljaju privezani za obalu što je jasno imajući u vidu tehnologiju izvođenja ovih manevara.

#### 9.7.5 Požar i eksplozija

S obzirom da su uzroci i okolnosti u kojima nastaje požar odnosno eksplozija praktično isti ove dvije nezgode redovito se navode u istoj rubrici.

Do nastupa ovih nezgoda dolazi prvenstveno kao posljedica sudara (samo tankeri odnosno brodovi za prijevoz zapaljivih tereta) odnosno kao posljedica neprikladnih radnih postupaka od strane posade broda.

U slučaju nezgode uzrokovane neprikladnim radnim postupcima posade broda valja razlikovati nezgode do kojih dolazi tijekom plovidbe i koje u velikom postotku izbijaju u prostorima brodskih postrojenja i nezgode do kojih dolazi u svezi sa teretom koji brod prevozi. U drugom slučaju do nezgode dolazi u pravilu kada je brod privezan odnosno tijekom i nakon okončanja prekrcaja tereta ako se radi o teretima koji su skloniji požarima odnosno eksplozijama. Nezgode ove vrste u znatno većem postotku imaju za posljedicu nezgodu katastrofalnih obilježja u kojima eksplozija teretnog prostora slijedi požar na brodu i obrnuto. U tom pogledu primjećuje se trend smanjivanja broja nezgoda, iako ne dovoljno, prvenstveno kao posljedica šireg uvođenja raznih mjera sigurnosti.

Godišnja učestalost nastupa nezgode ove vrsti iznosi približno  $3,8 \cdot 10^{-3}$ . Znakovito je da i u ovom slučaju omjer potpunih gubitak u odnosu na sve nezgode u kojima je uzrok požar odnosno

<sup>132</sup> Zec, D., Planiranje pomorske plovidbe, Pomorski fakultet Rijeka, Rijeka, 1997., str. 79.



eksplozija iznosi približno 10 % svih nezgoda. U tom pogledu obrazloženje valja tražiti u činjenici da najveći broj požara nastaje u prostorima brodskog postrojenja i uspijeva se proširiti na prostore tereta.

### 9.7.6 Oštećenja trupa i strojeva

Oštećenja trupa i strojeva razmjerno su vrlo česta oštećenja pomorskih brodova te iako ih u statističkim prikazima redovito promatraju u zajedničkoj rubrici, oni se po stvarnim uzrocima bitno razlikuju pa ih u tom pogledu treba i promatrati.

Oštećenja trupa u najvećoj mjeri su posljedica dvaju mogućih razloga i to:

- oštećenja nastala zbog izlaganja broda opterećenjima, prvenstveno plovidbom u nevremenu, te
- oštećenja koja nastaju kao posljedica trošenja odnosno zamora materijala od kojih je brod izgrađen.

Oštećenja koja nastaju kao posljedica trošenja odnosno zamora materijala su oštećenja koja rijetko izazivaju nezgode s katastrofalnim posljedicama i to prvenstveno stoga što se zamor i trošenje materijala u velikom broju slučajeva pravovremeno otkrivaju, dijelom od strane posade broda, a većim dijelom od strane nadležnih inspeksijskih službi države luke u koju je brod uplovio (*Port State Control*).

U slučaju oštećenja trupa u iznimnim slučajevima valja očekivati manja onečišćenja mora i priobalja teretom. Također, za očekivati je da će se broj onečišćenja uzrokovanih oštećenjima trupa u doglednoj budućnosti bitno smanjiti zahvaljujući uvođenju pouzdanijih konstrukcijskih rješenja (npr. dvostruki trup).

U slučaju kvara stroja moguća su dva osnovna uzročno-posljedična slijeda:

- kvar može u razumnom vremenu otkloniti posada stroja, i
- kvar nije moguće otkloniti osobljem i sredstvima koji postoje na brodu te je potrebno tegljenje broda.

U oba slučaja veličina mogućih štetnih posljedica uvjetovana je prevladavajućim uvjetima okoliša odnosno:

- udaljenošću od obale,
- prevladavajućim meteorološkim i oceanografskim uvjetima.

U slučaju ako se brod u trenutku kvara nalazi dovoljno daleko od obale, a izgledi vremena su povoljni kvar stroja u pravilu nema štetnih posljedica osim relativno manje materijalne štete. U slučaju ozbiljnog kvara koji posada broda ne može otkloniti uz dovoljno dugo vremensko razdoblje povoljnog vremena niti tegljenje broda do luke zakloništa ne predstavlja bitno ugrožavanje ljudi ili drugih brodova.

U slučaju da se brod nalazi u neposrednoj blizini obale ili u slučaju nepovoljnih vremenskih prilika kvar na porivnom stroju vrlo vjerojatno dovodi do nasukanja broda, a ako se radi o brodovima za prijevoz tekućih tereta to može izazvati katastrofalne posljedice nastale onečišćenjem mora i priobalja (npr. *Amoco Cadiz* – 220.000 tona nafte ispuštenih uz francusku obalu, *Braer* – 80.000 tona nafte ispuštene na obale Shetlandskih otoka). U tom slučaju za kvar stroja vrijedi ono što je već navedeno za nasukanje broda.

Valja istaći da je kvar stroja ili oštećenja trupa vrsta nezgode koja se razmjerno najčešće događa pa je tako i pripadajuća učestalost vrlo visoka:  $10,2 \cdot 10^{-3}$  što čini približno 40% svih pomorskih nezgoda. Istovremeno, tek svaka 20 nezgoda ove vrste ima za posljedicu onečišćenje dok je postotak nezgoda ove vrste koji imaju za posljedicu gubitak broda zanemarivo mali.

### 9.7.7 Osnovna obilježja pomorskih nezgoda s obzirom na mogućnost onečišćenja mora i priobalja

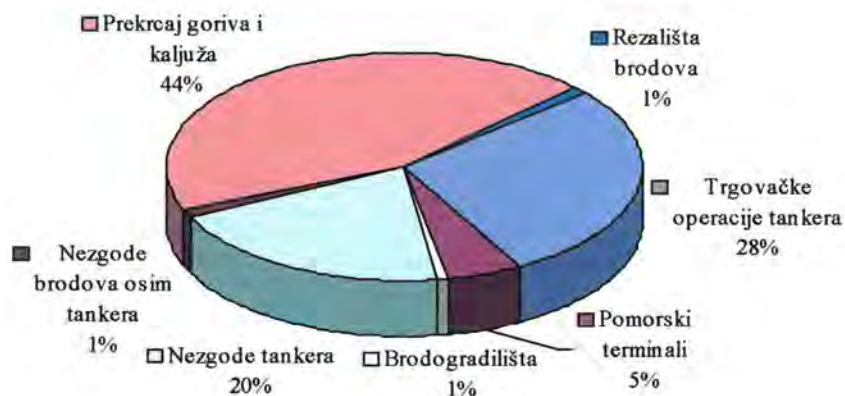
Imajući u vidu tehnička i prometna obilježja brodova do onečišćenja mora i priobalja može doći:

- ispuštanjem tereta ili goriva u more, tijekom redovnih radnih postupaka ili kao posljedica ozbiljnih pomorskih nezgoda,
- bacanjem smeća i otpada u more,
- bacanjem štetnih tvari u more tijekom ili nakon radova na održavanju broda,
- onečišćenja zraka radom brodskih strojeva.

Do znatnih onečišćenja može doći u slučaju neprimjerenih radnih postupaka na brodu, a do najvećih onečišćenja dolazi u slučaju potonuća broda ili pomorskih nezgoda katastrofalnih obilježja o čemu treba posebno voditi računa.

Onečišćenja manjeg obima mogu nastati nepravilnim rukovanjem brodskim smećem i fekalijama. Sporadična onečišćenja redovito imaju mali utjecaj na ukupnu količinu onečišćenja koja su posljedica rada brodova.

Onečišćenje mora i priobalja je vrst nezgode koju obilježavaju izuzetno velike materijalne štete, dok je broj ozlijeđenih ili poginulih osoba relativno mali. U razmatranju onečišćenja mora s brodova s uvažavanjem važnosti zaštite mora i priobalja mijenjalo se i poimanje što je onečišćenje s katastrofalnim posljedicama. Sukladno tome, osamdesetih godina se katastrofalnim onečišćenjem smatralo ono u kojem je u obalne vode dospjelo više od 1.000 tona mineralnih ulja, tijekom devedesetih godina takvim onečišćenjem smatra se onečišćenje u kojem se u more izlilo više od 100 tona mineralnih ulja dok se danas u pojedinim državama ta granica danas spušta i na dvostruko manju količinu mineralnih ulja.



Slika 47 Djelatnosti i aktivnosti koje uzrokuju onečišćenja mora

Glede načina do kojih dolazi do onečišćenja na temelju prikazanih podataka ističe se činjenica da od približno 570.000 tona nafte koja se prosječno tijekom godine ispusti u more tek 20% potiče od nezgoda tankera dok 44% potiče od manjih ispuštanja tijekom prekrcaja goriva i kaljuža odnosno 28% tijekom trgovačkih operacija na tankerima.

Analizirajući statističke podatke veliku važnost u pogledu onečišćenja valja posvetiti brodovima za prijevoz tekućih tereta u razlivenom stanju. Nezgode brodova za prijevoz mineralnih ulja predstavljaju približno 50% onečišćenja u odnosu na sve nezgode brodova za prijevoz tekućina u kojima je došlo do onečišćenja. Vrijedi istaći da nezgode s onečišćenjem imaju učestalost od približno  $2,8 \cdot 10^{-3}$  brod-godina. Drugim riječima, do onečišćenja mora dolazi u približno 11% nezgoda tankera. Pritom, najveću učestalost onečišćenja imaju nasukanja tankera ( $0,7 \cdot 10^{-3}$  brod-godina ili 15% nasukanja) i sudari ( $0,7 \cdot 10^{-3}$  brod-godina ili 22% sudara).

Glede mjesta na kojima nastaju onečišćenja valja istaći da je učestalost onečišćenja tankera u plovidbi približno  $2,1 \cdot 10^{-3}$  brod-godina, učestalost onečišćenja u ograničenim vodama  $1,3 \cdot 10^{-3}$  brod-godina, a učestalost nezgode koja ima za posljedicu onečišćenje u luci približno  $0,9 \cdot 10^{-3}$  brod-godina. Ističe se da po ovom obilježju tankeri za prijevoz mineralnih ulja imaju bitno veću učestalost onečišćenja ( $\approx 1,5$  puta) nego prosječni brod za prijevoz tekućih tereta.

## 9.8 MJERE I POSTUPCI NADZORA OPASNOSTI I ZAŠTITE MORA I PRIOBALJA

U cilju ostvarivanja željene razine sigurnosti plovidbe i manevriranja odnosno sigurnosti tijekom boravka broda na mjestu priveza nužno je procijeniti štetni događaj koji ima najveću učestalost ostvarivanja, procijeniti jedno ili više mjesta na kojima se može očekivati štetni događaj s najvećom vjerojatnošću te temeljem ovih spoznaja odrediti slijed radnji kojima se sprečava nastup pojedinog štetnog događaja odnosno uklanjaju i/ili umanjuju posljedice štetnog događaja.

Imajući u vidu prethodno prikazane vrste nezgoda i procjenu opasnosti moguće je za određeno lučko područje i mjesto priveza odrediti mogućnost izbijanja akcidenta u pojedinim fazama koje se mogu pratiti u sustavu manevriranja. Primjer jedne takve analize, tj. relativna mogućnost izbijanja akcidenta koji može nastati u pojedinoj fazi tijekom manevriranja i boravka broda na tankerskom terminalu prikazan je u priloženoj tablici.<sup>133</sup>

STATUS BRODA	OBALNA STRUKTURA	OSOBE	MORSKI OKOLIŠ
Dolazak prilaznim plovnim područjem			•••
Okretanje u lučkom bazenu	•		•••
Manevar pristajanja	•••	••	•••
Privez broda	•••	•	•
Ukrcaj/iskrcaj tereta	•	••••	••
Na mjestu priveza pri slabom vremenu	•••	•	••
Manevar odveza i isplavljenja	••		•••
Odlazak iz lučkog plovnog područja			•••

• - mala mogućnost    ••• - velika mogućnost

Tablica 27 Relativna mogućnost izbijanja akcidenta tijekom boravka broda u lučkom području

Ovako analizirana i prikazana mogućnost izbijanja akcidenta vrlo je korisna metoda pri razmatranju stupnja sigurnosti u određenom lučkom području kao i dobar pokazatelj u kojim pravcima valja djelovati kako bi se određeni stupanj sigurnosti podigao na višu razinu.

Valja istaći da je sprečavanje materijalnih šteta, onečišćenja okoliša odnosno ugrožavanja zdravlja i života ljudi na brodu prvenstvena odgovornost brodarka odnosno zapovjednika broda (kroz primjenu ISM sustava) dok je na terminalu to u nadležnosti rukovoditelja terminala (kroz primjenu nacionalnih propisa).

Prema tome posebno je važna specifična edukacija i uvježbanost zapovjednika i ostalih članova posade brodova pa u tom pogledu zapovjednik i članovi posade trebaju savladati svu potrebnu izobrazbu za određenu vrstu brodova u skladu s Konvencijom STCW 1978/95. Osim toga stalnim uvježbavanjem postupaka koji su predviđeni prema ISM Kodeksu moguće je u velikoj mjeri djelovati preventivno kako do onečišćenja ne bi ni došlo, a u slučaju da onečišćenje ipak nastupi uvježbanošću se mogu bitno umanjiti štetne posljedice.

<sup>133</sup> Thoresen, C.A., Port Design, Guidelines and Recommendations, Tapir Publishers, Trondheim, Norway, 1988., str. 115.

Osim članova posada dovoljan stupanj edukacije i uvježbanosti trebaju imati i sve ostale osobe koje sudjeluju u sustavu manevriranja, a primjerena njihovoj funkciji.

Važan doprinos ovoj problematici je izrada publikacije sa svim potrebnim podacima za luku odnosno terminal, a koja treba obuhvatiti i opće mjere sigurnosti i specifične mjere zaštite od onečišćenja (engl. *Regulation and Information Booklet*). U nekim državama, obvezna je izrada podzakonskog akta (npr. u Hrvatskoj «Pravilnik o redu u luci»).

Sa stanovišta zadovoljavanja željenog stupnja sigurnosti u određenom lučkom području, kad je određen stupanj pomorskog rizika potrebno ga je usporediti s zadovoljavajućim stupnjem sigurnosti odnosno s međunarodnim standardima. Potrebno je prosuditi da li je stupanj pomorskog rizika prihvatljiv ili ne, a ako nije potrebno je razmotriti mogućnost njegova smanjenja. Vrlo učinkovita mjera pritom je re-dizajniranje prilaznog plovnog puta ili samog lučkog akvatorija. Međutim, ovakav pristup je vrlo skup, a često i nemoguć. Za povećanje stupnja sigurnosti odnosno smanjenja pomorskog rizika u nekom lučkom području mogu se vrlo svrsishodno koristiti sljedeće mogućnosti:

- uspostava sustava nadzora pomorske plovidbe;
- uvođenje eksploatacijskih ograničenja;
- uvođenje pravila za izvođenje pojedinih postupaka;
- ugradnja i korištenje pouzdanih sredstva za navigaciju;
- uspostava područja odijeljene plovidbe.

Svi ovi sustavi kao i potrebni parametri za definiranje pojedinih mjera već su detaljno analizirani u radu pa će se na ovom mjestu samo ukratko izložiti njihov utjecaj na povećanje stupnja sigurnosti u sustavu odnosno smanjenje pomorskog rizika i njegovo dovođenje u prihvatljive okvire.

Kako je već istaknuto sustav nadzora i upravljanja pomorskom plovidbom pruža savjete i informacije pomorcima tijekom prolaska broda unutar područja sustava. Neki sustavi osim kontrole prometa i savjeta brodovima daju instrukcije za sigurnu plovidbu u području sustava kao što su informacije o maksimalno dozvoljenoj brzini, ostajanju broda na vezu ili na sidru, zabrani plovidbe u određenom dijelu plovnog puta dok se ne dobije dozvola slobodnog prolaska, itd. te se na taj način unapređuje stupanj sigurnosti u sustavu.

Pojedina eksploatacijska ograničenja također su već detaljno razmatrana u radu. Ova ograničenja zajedno s propisanim postupcima su u postojećem sustavu na određenom lučkom području glavno sredstvo za djelovanje protiv pomorskih rizika. Ona omogućavaju osnovu za rad tegljača, određivanje vremena čekanja, postupke u izvanrednim okolnostima i postupke na mjestu priveza te naravno imaju velik utjecaj na postupke u cijelom lučkom području.

Mnoga ograničenja mogu već biti definirana za postojeću luku, koja su nastala iskustvom kroz vrijeme. Ovo je potrebno imati u vidu kad se redefiniraju ili određuju nova ograničenja koja su potrebna zbog razvoja luke. Početne promjene mogu se izvesti u fazi projektiranja korištenjem simulacija i simulatora u kombinaciji s razmjenom mišljenja s lokalnim pomorcima i pomorskim stručnjacima. Tijekom eksploatacije kad se stupanj sigurnosti provjeri u praksi moguće je mijenjati pojedina ograničenja na način da se postrože ili smanje, pa čak i u potpunosti promijene.

Eksploatacijska ograničenja sadržana su u pravilima koje treba poštivati u lukama. Ova pravila o postupanju mogu npr. određivati kad je za pojedinu vrstu brodova plovidba u određenom području sigurna, kako treba postupiti u slučaju nastupa neke izvanredne okolnosti, itd. Ova pravila mogu biti uvrštena u prije spominjani priručnik o postupanju na određenom lučkom području.

Ova pravila koriste se ne samo za povećanje sigurnosti plovidbe nego i za smanjenje troškova plovnog puta. Npr., ograničenje da se koristi plovni put samo za vrijeme visoke vode omogućava da plitke plovne putove ne treba jaružati više od potrebnog za plovidbu pri visokoj vodi tako da se smanjuju kapitalni troškovi i troškovi održavanja. Naprema ovoj prednosti treba

uzeti u obzir i nedostatak koji se ogleda u čekanju brodova na ulazak i izlazak iz luke čime rastu troškovi broda zbog zadržavanja. Komercijalni troškovi zbog čekanja brodova s većim gazom moraju biti kumulativno veći od kapitalnih troškova za produbljenje plovnog puta kad vrijeme tijekom koga se ne može ploviti plovnim putem postane preveliko.

Period vremena kad se plovidba ne može koristiti ovisi o čimbenicima kao što su morska struja, vjetar, valovi ili slaba vidljivost. Ako je vrijeme nemogućnosti korištenja plovnog puta točno određeno i određeno nekim značajnim periodom vremena moguće je smanjiti dimenzije plovnog puta ne smanjivši neophodnu sigurnost. Uvođenje dozvoljenog vremena u kojem je plovidba moguća odnosno vremena u kojem plovidba nije moguća od strane lučkih vlasti povećava se sigurnost plovidbe.

Međutim akumulirano vrijeme čekanja brodova zbog nemogućnosti korištenja plovnog puta u jednoj godini može se definirati kao ekonomski godišnji gubitak. Ova ograničenja prema tome treba sagledati i u aspektu opće prometne ekonomike u cijelom sustavu.

Sredstva za plovidbu koja su raspoloživa u određenom području također su vrlo važna u procjeni pomorskog rizika. Njihova vrsta, veličina i položaj vrlo su značajni pri razmatranju ove problematike. Sredstva za obilježavanje plovnog puta trebaju biti tako izabrana da se lako uočavaju u odnosu na pozadinu, za uske plovne putove najbolje je primjenjivati parove plutača koje se postavljaju na rub plovnog puta na međusobnoj udaljenosti koju treba odrediti prema vjerojatnim uvjetima vidljivosti. Obično se koriste usidrene plutače ili oznake na stupovima, ali prednost treba dati stupovima jer se oni ne pomiču zbog djelovanja morske struje ili drugih vanjskih čimbenika. Plutače valja postaviti što bliže izjaružanom dijelu plovnog puta i prema zahtjevima IALA. Alternativni način označavanja plovnih putova može se izvesti postavljanjem direktivnih oznaka (engl. *Leading marks*).

U grupu navigacijskih sredstava važnih za postizanje određenog stupnja sigurnosti valja ubrojiti i elektroničke sustave za pozicioniranje. Mnogi brodovi opremljeni su satelitskim navigacijskim sustavima (kao što su GPS, odnosno DGPS) koji omogućavaju vrlo točno određivanje pozicije broda. Kombinacijom s elektroničkim kartama (ECS, ECDIS) moguće je vrlo točno odrediti gdje se nalazi brod u odnosu na označeni plovidbeni put. Elektroničke oznake azimuta (tj. RACON uređaji) omogućavaju fiksne referentne točke od kojih se mogu određivati azimuti.

U ovom kontekstu valja istaknuti i uvođenje shema odijeljene plovidbe kojima se također umanjuje rizik na način da se promet odvaja u trake u kojima brodovi plovo u jednom smjeru, a dvije trake međusobno su odvojene zonom odvajanja. Ove sheme predviđaju i uzobalne plovidbene trake za manje brodove koji ne koriste osnovne plovidbene pravce.

Za svaku pojedinu vrstu nezgoda potrebno je razmotriti specifične mjere za smanjenje opasnosti u tim slučajevima, a u kontekstu ovog rada naglasiti će se one koje su u uskoj uzročno-posljedičnoj svezi sa sustavom manevriranja brodom.

### **9.8.1 Mjere umanjivanja opasnosti u slučaju oštećenja trupa i/ili kvara stroja i njihovih posljedica**

Oštećenje trupa ili kvar stroja na brodu u plovidbi ili tijekom trgovačkih operacija jesu nezgode koje su u najvećem dijelu izravno ovisne o radu brodarka odnosno zapovjednika i članova posade broda.

Sa stajališta sprečavanja nezgoda ove vrste valja razlikovati:

- smanjivanje učestalosti pojave ove vrste nezgoda;
- smanjivanja ili uklanjanja posljedica oštećenja trupa ili kvara stroja;
- sprečavanja eskalacije štetnih posljedica.

Smanjivanje učestalosti nezgoda ove vrste, a koje su u svezi sa sustavom manevriranja brodom, može se ostvariti na nekoliko načina od kojih su najdjelotvorniji sljedeći:

- korištenjem novijih brodova i korištenjem suvremenih tehnologija (poznato je da broj nezgoda raste gotovo eksponencijalno sa starošću brodova);
- stalnim nadzorom rada posade (već je ustvrđeno da najveći broj grešaka nastaje greškom od strane časnika i članova posade);
- obvezivanje stručne osobe luke odnosno terminala da nadzire sigurnost tijekom uplovljavanja ili isplavljenja broda (njihov opseg ovisit će o vrsti broda).

Smanjivanje posljedica oštećenja trupa može se ostvariti na sljedeći način:

- osiguravanjem dobre uvježbanosti časnika i članova posade broda;
- osiguranjem poznavanja postupaka i lokalnih prilika u slučaju nezgode;
- obveznim korištenjem peljara odnosno dovoljnog broja tegljača tijekom manevra priveza i odveza broda, te osiguravanjem dovoljnog broja tegljača za djelovanje u izvanrednim okolnostima.

Smanjivanje eskalacije štetnih posljedica početne nezgode može se ostvariti:

- obvezivanjem zapovjednika da prijavi svaku nezgodu bez obzira na njezin obim, i
- izradom postupka koji će slijediti osobe na kopnu (djelatnici luke odnosno terminala) u slučaju prijave tehničkog kvara na brodu bilo koje vrste.

### 9.8.2 Mjere umanjivanja opasnosti od požara i eksplozije i njihovih posljedica

Ove mjere nisu u direktnoj uzročnoj posljedičnoj svezi sa sustavom manevriranja brodom ali sama opasnost ove vrste može nastupiti zbog pogreške u sustavu manevriranja brodom. Mjere kojima se osigurava zaštita od izbijanja požara i eksplozija moraju sadržavati najmanje:

- obvezu provjere pripravnosti protupožarnih sustava broda;
- obvezu provjere pripravnosti protupožarnih sustava terminala prije dolaska broda i za počinjanja trgovačkih operacija;
- nadzor primjene ispravnih postupaka tijekom prekrcajnih operacija kao i svih ostalih operacija tijekom boravka broda na mjestu priveza;
- zabranu obavljanja radova na brodu bez dopuštenja (Hot Work Permit and Cold Work Permit);
- obvezu zabrane rada u slučaju izbijanja neke izvanredne okolnosti na terminalu ili njegovoj blizini.

U mjere koje valja primjenjivati u slučaju izbijanja požara ili eksplozije na brodu ili terminalu trebaju sadržavati:

- plan djelovanja u slučaju požara i eksplozije – predlaže se izrada posebnog protupožarnog plana (*Fire-fighting Contingency Plan*) koji mora biti usuglašen i odobren od lučkih vlasti (ovaj plan mora sadržavati najmanje mjesto na koje će se tegliti brod u slučaju požara, najmanje angažirane jedinice za gašenje požara i način njihovog uključivanja i djelovanja, način uvježbavanja i dr.);
- obveza udaljavanja broda vlastitim strojevima ili tegljenjem u slučaju požara ili eksplozije bez obzira na veličinu štete, a na tankerima zahtijeva se postavljanje teglenog konopa (čelično uže) za izvanredne okolnosti (*Emergency Towing Wire, fire-lines*).

U slučaju požara ili eksplozije na brodu mjere ograničavanja posljedičnog onečišćenja obuhvaćaju prvenstveno mjere gašenja požara čime se neizravno umanjuje i onečišćenje mora i priobalja.

Glede negativnih utjecaja broda na kojem je došlo do požara ili eksplozije prednost valja dati vezu koji je što više udaljen od obale (općenito se smatra da je u slučaju požara najvećih razmjera sigurna udaljenost, osim kada su u pitanju oblaci dima odnosno plinova, najmanje 400-600 m). U slučaju masovnih eksplozija do štetnog utjecaja (izazivanje manjih požara raslinja i industrijskih objekata) sigurnom udaljenošću se smatra krug radijusa do 5 km.

### 9.8.3 Mjere umanjivanja opasnosti od nasukanja odnosno njegovih posljedica

Do nasukanja broda može doći kao posljedica grube navigacijske pogreške časnika palubne straže ili kao posljedica neke druge nezgode zbog koje brod dopijeva u područje malih dubina.

Najveća opasnost od nasukanja postoji tijekom plovidbe broda prilaznim plovnim putem te pri manevriranju u dolasku ili odlasku. Da bi se smanjila mogućnost nasukanja ove vrste brzinu broda treba stalno prilagođavati trenutnim okolnostima u pogledu stanja vjetra, mora i prometa u akvatoriju. Međutim, valja imati na umu da brzina broda ne smije biti manja od tzv. manevarske brzine pri kojoj su potrebna manevarska svojstva broda zadovoljavajuća, a ukoliko je to neophodno treba koristiti tegljač/e za pratnju broda. Kako bi se smanjila mogućnost nastupa ove vrste akcidenata, pri projektiranju postave mjesta priveza valja razmotriti njegovo udaljšavanje od obale koliko je to tehnološki prikladno i ekonomski isplativo. Umanjšivanje opasnosti od nasukanja broda tijekom manevra ostvaruje se i korištenjem dovoljnog broja tegljača. Značaj dovoljnog broja tegljača ističe se i time što u slučaju takvog nasukanja tegljači su u stanju u najvećem broju slučajeva spriječiti posljedično onečišćenje mora sprečavajući da u dodir s dnom dođu bočni dijelovi broda.

Mogućnost nasukanja povećana je pri lošijim vremenskim uvjetima te stoga posebnu pažnju treba posvetiti utvrđenim ograničenjima u pogledu izvođenja manevra broda kao i tijekom boravka broda na mjestu priveza.

Nasukanje broda kao posljedica druge nezgode može slijediti nakon kvara stroja tijekom plovidbe odnosno kao posljedica požara odnosno eksplozije.

Nasukanje broda koje je posljedica kvara stroja ili upravljačkog sustava može se dogoditi prvenstveno tijekom prilaza broda mjestu priveza. Temeljne mjere predostrožnosti takvog slučaja jest pravovremeno smanjšivanje brzine broda što se može djelotvorno osigurati pravovremenim ukrcajem peljara. Najopasniji dio manevra priveza jest položaj broda najbliži obali. Sprečavanje utjecaja mogućeg kvara stroja ili sustava upravljanja najdjelotvornije se postiže pravovremenim prihvaćanjem tegljača.

Nasukanje broda može nastupiti i nakon požara odnosno eksplozije, a jedini način sprečavanja takvog nasukanja jest pravovremeno prihvaćanje broda u tegalj i njegovo odvlačenje na područje koje je udaljšeno od naseljenih mjesta i industrijskih postrojenja te s dovoljnom dubinom mora.

Mjere sprečavanja onečišćenja u slučaju nasukanja sadrže prvenstveno uključivanje stanovitog broja tegljača, ovisno o veličini nasukanog broda, i postavljanja zaštitnih brana u dovoljnoj količini do trenutka odsukanja broda odnosno uklanjanja goriva s broda.

### 9.8.4 Mjere umanjivanja opasnosti od sudara i udara odnosno njihovih posljedica

Do sudara brodova može doći kada se brod nalazi u plovidbi tijekom dolaska i odlaska odnosno tijekom boravka na vezu.

Mjere kojima se umanjuje opasnost od sudara u sebi uključuju mjere nadzora pomorskog prometa, kojima se prema opće prihvaćenoj prosudbi smanjšuje opasnost od sudara do 5 puta, i mjere upravljanja pomorskim prometom, kojima se opasnost od sudara broda smanjšuje do 20 puta. Mjere nadzora pomorskog prometa uključuju praćenje prometa u akvatoriju i djelovanje prema potrebi. Mjere upravljanja pomorskim prometom uključuju uspostavu sustava dopuštenja za obavljanje pojedinih plovidbenih djelatnosti na području nadležnosti.

Jedna od važnih mjera sprečavanja sudara jest plovidba broda prilaznim plovnim putem i akvatorijem luke prema pravilima struke i s primjerenim oprezom. U tom pogledu, u svim uvjetima, brod treba ukrcati odnosno iskrcati peljara na propisanom mjestu.

Glede sprečavanja sudara između brodova uzrokovanih nevremenom valja poštivati ustanovljena ograničenja.

Posebno važna mjera sprečavanja sudara između broda na privezu i drugih brodova jest zabrana odnosno strogi režim plovidbe drugih brodova u neposrednoj blizini privezanog broda.

Glede sprečavanja udara broda treba naglasiti stupanj sigurnosti koji će biti ostvaren tijekom manevriranja brodom.

U slučaju sudara ili udara broda valja poduzeti sve potrebne radnje za umanj enje šteta ili mogućeg onečišćenja okoliša.

## 9.9 ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Rezimirajući prethodna razmatranja mogu se izvesti sljedeći zaključci u pogledu nezgoda i mjera za umanj enje istih kao i njihovih štetnih posljedica:

- najveću očekivanu učestalost nezgode ima oštećenje trupa i/ili kvar strojeva i opreme;
- oštećenje trupa i/ili kvar strojeva i opreme, ako nemaju za posljedicu neki drugi štetni događaj, u pravilu imaju za posljedicu manje materijalne štete odnosno ugrožavanje zdravlja i života manjeg broja ljudi, u pravilu časnika i članova posade broda;
- osnovna mjera sprečavanja oštećenja trupa i kvarova strojeva je u izravnoj nadležnosti zapovjednika, časnika i članova posade i nadležne vlasti odnosno korisnik terminala mogu umanj iti samo posredno;
- od nezgoda koje mogu i u pravilu dovode do katastrofalnih nezgode, požar i eksplozija imaju najveću očekivanu učestalost;
- temeljne mjere sprečavanja požara sastoje se u primjeni prikladnih i primjerenih mjera predostrožnosti pri prekrcaju tereta;
- pravovremenom primjenom prikladnih mjera štetne posljedice požara odnosno eksplozije mogu se održati pod kontrolom;
- temeljna mjera sprečavanja nasukanja broda, kao primarnog uzroka nezgode, jest primjeren način priveza odnosno odveza broda te primjena mjera osiguranja boravka broda na vezu;
- osnovna mjera umanj ivanja štetnih posljedica nasukanja broda jest sprečavanje onečišćenja mora i priobalja pravovremenim korištenjem tegljača;
- iste mjere kojima se umanj uju štetne posljedice nasukanja primjenjive su u slučaju sudara i udara broda;
- onečišćenje mora koje je posljedica manjih nezgoda i nepravilnog rada na brodu moguće je otkloniti primjenom uobičajenih mjera zaštite odnosno redovitim postavljanjem zaštitnih brana dovoljne duljine;
- onečišćenje mora koje je posljedica katastrofalnih nezgoda može se u stanovitoj mjeri održati pod kontrolom pravovremenim osiguravanjem dovoljnih količina zaštitnih brana raspoloživih u relativno kratkom vremenu;
- sve mjere zaštite i umanj ivanja štetnih posljedica moraju biti objedinjene u Planovima rada i djelovanja u nuždi koji moraju biti odobreni od nadležnih vlasti.

Analizirajući prikazane zaključke vidljiva je implementiranost i važnost sustava manevriranja brodom odnosno velik utjecaj ovog sustava na sigurnost i zaštitu morskog okoliša.



## 10 ZAKLJUČAK

Ovom doktorskom disertacijom sustavno su sagledane interakcijske sprege u sustavu manevriranja brodom te su prikazani utjecajni čimbenici koji djeluju u sustavu, izvršena je analiza njihovih utjecaja i međudjelovanja te su temeljem takvih spoznaja definirani konceptualni model sustava manevriranja brodom i model pojedinačnog manevra.

U radu je utvrđena funkcionalna zavisnost između parametara koji opisuju određeni brod i njegova obilježja te parametara kojima se opisuju veličine utjecaja okoliša i tehnologije prihvata brodova u sustavu manevriranja brodom. Izvedena je sustavna prosudba svih postupaka i radnji koje čine manevar priveza i odveza broda sa stajališta sigurnosti ljudi, broda i njegovog tereta odnosno obale i obalnih postrojenja.

Analizirano je i ocijenjeno međudjelovanje bitnih čimbenika u dinamičkom okruženju te je ocijenjeno djelovanje tih istih čimbenika pojedinačno na opću razinu sigurnosti i zaštitu morskog okoliša. Rezultate takvih razmatranja te dobivene pokazatelje valja uzeti u obzir pri ocjeni gospodarske uspješnosti pojedinih subjekata.

Opisani su i utvrđeni uvjeti izrade modela sustava manevriranja s naglaskom na bitne čimbenike koji se javljaju u okviru sustava. U radu su utvrđene međuzavisnosti u obliku funkcionalnih veza između pojedinih parametara na način koji je omogućio izradu konceptualnog modela manevriranja brodom te algoritam odlučivanja o načinu provedbe manevra. Mijenjanjem uvjeta, odnosno ulaznih veličina kao i varijabli u modelu moguće je sagledati utjecaj tih promjena na vrijednosti izlaznih rezultata. Na taj način moguće je metodom simulacije doći do parametara kojima se postižu najpovoljniji učinci u sustavu, a bez ugrožavanja sigurnosnih zahtjeva. Pritom se u ovisnosti o željenim ciljevima korištenja modela mogu promatrati tehnološki učinci, ekonomski učinci, učinci na morski okoliš, uvjeti optimizacije sustava, itd.

Model pojedinačnog manevra sadrži posebno definirane faktore sigurnosti i ograničenja s ciljem zadovoljavanja općeg stupnja sigurnosti tijekom izvođenja manevra. Temeljem ovog modela proračunate su vrijednosti ukupne vanjske sile koja djeluje na brod, udarne energije broda pri pristajanju, potrebne sile vuče za zaustavljanje broda na određenom zaustavnom putu i potrebni zaustavni put za određenu vučnu silu tegljača. Proračuni su prilagođeni trodimenzionalnom načinu prikaza rezultata na način da je dio varijabli fiksiran, a dio ih se mijenja u određenim realnim granicama. Proračuni su izvedeni za brodove za prijevoz generalnog tereta, brodove za prijevoz tekućeg tereta i brodove za prijevoz rasutih tereta, a zbog opsega rada prikazani su samo rezultati dobiveni za brodove za prijevoz generalnog tereta.

Korištenjem modela sustava manevriranja brodom kao i modela pojedinačnog manevra moguće je u daljnjim istraživanjima utvrditi optimizacijske funkcije odnosno uvjete koje valja zadovoljiti optimalnim rješenjem sa stajališta upravljanja pojedinim bitnim čimbenicima, a imajući u vidu zadovoljavajući stupanj sigurnosti i zaštite morskog okoliša.

U radu je korišten sustavni pristup problemu istraživanja ovog područja na način da su sagledani interakcijski učinci između pojedinih čimbenika u sustavu manevriranja brodom. Ovakvim pristupom i postavljenom metodologijom problem manevriranja brodom podiže se na višu razinu te ga se ne promatra izolirano samog za sebe već je postavljen u kontekst sustava čime se omogućava bolje sagledavanje interakcijskih učinaka. Poznavanjem ovih učinaka moguće je poduzeti odgovarajuće korake koji sežu od projektiranja i gradnje luka i brodova pa do načina organizacije, izvođenja i postavljanja određenih kriterija sigurnosti i zaštite morskog okoliša tijekom eksploatacije.

Rezultati i spoznaje dosegnuti u radu omogućavaju sustavno planiranje razvoja pojedinih službi koje sudjeluju u procesu manevriranja trgovačkih brodova.

Spoznaje ovoga rada mogu se koristiti pri znanstveno utemeljenom planiranju potreba glede opreme i objekata sa stajališta maritimne sigurnosti broda, zaštite morskog okoliša od onečišćenja, sigurnosti lučkih objekata i gospodarske uspješnosti privrednih subjekata kao i pri optimizaciji korištenja postojeće opreme ili izbora nove.

Predloženi pristup problemu omogućava postavljanje jedinstvenih i znanstveno utemeljenih kriterija i metodologije izrade maritimnih studija u konkretnim lučkim područjima.

Model pojedinačnog manevra, za konkretan slučaj, može se koristiti kao ekspertni sustav odlučivanja pri planiranju broja i obilježja tegljača te tehnoloških ograničenja u lučkim sustavima.

Ovim radom, manevriranje brodom koje se smatra vještinom, pokušalo se sagledati i objasniti znanstvenim metodama. Na taj način manevriranje brodom osim što se može smatrati vještinom može se smatrati i znanošću. 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 u sustavu manevriranja brodom. Ovo područje izrazito je multidisciplinarno i interdisciplinarno te je potreban zajednički rad eksperata za pojedina područja. Na taj način pojedini utjecajni čimbenici i njihovo međudjelovanje bili bi potpunije sagledani, a evaluacija rezultata bila bi kritičnija. Ovakav pristup je tim važniji ako se ima u vidu značenje ovog područja za sigurnost sustava manevriranja brodom u cijelosti. Pristup ovom radu bio je takav da su modeli postavljeni modularno kako bi se svaki segment modela mogao pojedinačno razvijati i time doprinosti približavanju modela realnom sustavu. Nadalje, razvojem prikazanog konceptualnog modela i algoritma sustava manevriranja brodom moguće je izraditi model kojim se mogu simulirati učinci trenutnog stanja prometa u realnom sustavu, planiranog budućeg stanja ili bilo kojeg zamišljenog stanja. U ovisnosti o ciljevima istraživanja ovako postavljeni model moguće je uz minimalne izmjene odnosno nadogradnje koristiti za dobivanje željenih rezultata zavisno od postavljenih ciljeva. Tako dobiveni rezultati istraživanja zasigurno će potaknuti i daljnja pitanja vezana za sustav manevriranja, a posebice sa stanovišta optimizacije jednog tako kompleksnog sustava. Daljnja istraživanja svakako će predstavljati dodatni kvalitativni i kvantitativni pomak u istraživanju predmetne problematike.

Rezultati ovih istraživanja i sam pristup cjelokupnoj problematici u svakom slučaju predstavljaju doprinos znanstvenom pristupu sustavu manevriranja brodom, što omogućava izbjegavanje slučajnosti i improvizacije, a time i veću sigurnost u sustavu.

## LITERATURA

### KNJIGE

1. AGERSCHOU, H. i dr., *Planning and Design of Ports and Marine Terminals*, John Wiley and Sons, Chichester, 1985.
2. ARLT, W. H., *The Treatment of Uncertainty in Port Planning*, Hamburg Port Training Institute GmbH, Hamburg, 1986.
3. BABIĆ, L., *Pomorski objekti u betonu*, Epoha, Beograd, 1968.
4. BARABANOV, N., *Structural design of Sea-going ships*, Peace publishers, Moscow, 1987.
5. BERTRAM, V., *Practical Ship Hydrodynamics*, Butterworth – Heinemann, Oxford, 2000.
6. BIOČIĆ, B. – JURIC, V., *Tegljači*, Brodospas Split, Split 1974.
7. BOSNIĆ, A. - VUKIČEVIĆ, M., *Oprema broda*, Fakultet strojarstva i brodogradnje - Zagreb, Zagreb, 1983.
8. BOŠKOVIĆ, D., *Brodске pomoćne mašine, Uređaji i sistemi, II dio, Knjiga II*, Vojna štamparija Split, Split, 1970.
9. BRATTELAND, *Lecture Notes on Port Planning and Engineering*, Norwegian Institute of Technology, 1981.
10. BRUUN, P., *Port Engineering, Harbour Planning, Breakwaters and Marine Terminals, Volume 1*, Gulf Publishing Company, Houston, 1989.
11. BRUUN, P., *Port Engineering, Harbour Planning, Breakwaters and Marine Terminals, Volume 1*, Gulf Publishing Company, Houston, 1989.
12. CHERUBINI, E., *La nave e i suoi movimenti*, Pietro Cherchi, Edizioni universitarie, Genova, 1958.
13. ČARAPIĆ, Lj., *Luka kao sistem i modeliranje luka*, doktorska disertacija, Zavod za novinsko-izdavačku i propagandnu djelatnost JŽ – Beograd, Beograd, 1983.
14. DUNDOVIĆ, Č., KESIĆ, B., *Tehnologija i organizacija luka*, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2001.
15. FATUR, J., *Teorija broda*, Uredništvo časopisa "Brodogradnja", Zagreb, 1954.
16. FISHWICK, P.A., *Simulation Model Design and Execution*, Prentice Hall, New Jersey, 1995.
17. FOSSEN, T.I., *Guidance and Control of Ocean Vehicles*, John Wiley & Sons, Chichester, 1999.
18. FURLAN, Z. i dr., *Osnove brodogradnje*, Školska knjiga Zagreb, Zagreb, 1989.
19. GELO, B., *Opća i prometna meteorologija*, Školska knjiga Zagreb, Zagreb, 1994.
20. GILLMER, T.C., *Fundamentals of Construction and Stability of Naval Ships*, The United States Naval Institute, Annapolis, 1959.
21. GLAVAN, B., *Ekonomika morskog brodarstva*, Školska knjiga Zagreb, Zagreb, 1992.
22. GLEJESSES, M., *Architettura navale*, Editrice Politecnica S. A., Napoli, 1945.
23. HAYES-ROTH, F. ed al, *Building Expert Systems*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., Reading, 1983.
24. HENSEN, H., *Tug Use in Port, A Practical Guide*, The Nautical Institute, London, 1997.
25. HERNER – RUSCH, *Die Theorie des Schiffes*, Leipzig, 1952.
26. JEBSEN, J.J. i dr., *Evaluation of the Physical Risk of Ship Grounding*, Massachusetts Institute of Technology, 1997.
27. KIRINČIĆ, J., *Luke i terminali*, Školska knjiga Zagreb, Zagreb, 1991.
28. KORN, G.A., *Interactive Dynamic System Simulation*, McGraw-Hill, Inc., USA, 1989.

29. KRECULJ, D. - ČOLIĆ, V., Plovna sredstva, Saobraćajni fakultet univerziteta u Beogradu, Beograd, 1983.
30. LOVRIČEVIĆ, B., Konstrukcija i održavanje čeličnih trgovačkih brodova, Izdavačko poduzeće "Pomorstvo" - Split, Split, 1950.
31. MacELREVEY, D. H., Shiphandling for the Mariner, Cornell Maritime Press, Centerville, 1995.
32. MANNELLA, G., Elementi di tecnica navale, Edizioni A.P.E. Mursia, Milano, 1976.
33. MANNING, C. G., preveo ŠILOVIĆ S., Teorija i tehnika projektiranja broda, Tehnička knjiga, Zagreb, 1967.
34. MENCER, I., Tržište morskog brodarstva, Školska knjiga Zagreb, Zagreb, 1990.
35. MILOŠEVIĆ, M., MILOŠEVIĆ, Š., Osnove teorije broda 1 i 2, Školska knjiga Zagreb, Zagreb, 1981.
36. MITRA, G., Computer Assisted Decision Making, Elsevier Science Publishing Company, inc., Amsterdam, 1988.
37. MOLENAAR, IR. J. S. I., preveo GOSPODNETIĆ D., Osnivanje i oprema trgovačkih brodova, Brodarski institut - Zagreb, Zagreb, 1955.
38. MUNITIĆ, A., Kompjuterska simulacija, uz pomoć sistemske dinamike, Brodosplit, Split, 1990.
39. MUNRO-SMITH, R., Merchant ship types, Marine Media Management Ltd., Bristol, 1975.
40. MUNRO-SMITH, R., Ships and naval architecture, The Institute of Marine Engineers, London, 1977.
41. ORTUZAR, J. de D., WILLUMSEN, L.G., Modelling Transport, John Wiley & Sons, Chichester, 1994.
42. PEARSON, R., Container Ships and Shipping, Fairplay publications, London, 1988.
43. PODBOJ, F., Brodogradnja I i II dio, Brodarski institut - Zagreb, Zagreb, 1956.
44. POGANY, T. – ZENZEROVIĆ, Z., Statističke tablice s uputama za primjenu, Pomorski fakultet Rijeka, Rijeka, 1993.
45. PURSEY, H.J., Merchant Ship Construction, Brown, Son & Ferguson, Ltd., Nautical Publishers, Glasgow, 1969.
46. PURSEY, H.J., Merchant Ship Stability (metric edition), Brown, Son & Ferguson, Ltd., Nautical Publishers, Glasgow, 1971.
47. RADAČIĆ, Ž. – ŠIMULČIK, D., Ekonomika prometnog sustava, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1995.
48. RAWSON, K.J. – TUPPER, E.C., Basic Ship Theory, Ship Dynamics and Design, Volume 2, Longman, Scientific & Technical, 1984.
49. RIĐANOVIĆ, J., Hidrogeografija, Školska knjiga Zagreb, Zagreb, 1993.
50. ROWE, R. W., The Shiphandler's Guide, The Nautical Institute, London, 2000.
51. SCHNEEKLUH, H., Ship design for Efficiency and Economy, Butterworth & Co.(Publishers) Ltd, Bodmin, 1987.
52. SCHÖNKNECHT, R. i dr., Ships and shipping of tomorrow, MacGREGOR Publications Limited, Hounslow, 1987.
53. STRAŽIČIĆ, N., Pomorska geografija svijeta, Fakultet za pomorstvo i saobraćaj Rijeka, Rijeka, 1986.
54. STRAŽIČIĆ, N. - SIĆ, M.: Pravci i dinamika robnih tokova u svijetu, Fakultet za pomorstvo i saobraćaj Rijeka, Rijeka, 1986.
55. TAYLOR, D. A., Merchant Ship Construction, The Institute of Marine Engineers, Marine Management (Holdings) Ltd., London, 1992.
56. THORESEN, C.A., Port Design, Guidelines and Recommendations, Tapir publishers, Trondheim, 1988.

57. TOMIĆ, I., Prometna tehnologija luka, Centar prometnih znanosti, Institut prometnih znanosti, Zagreb, 1986.
58. TSINKER, G.P., Floating Ports, Design and Construction Practices, Gulf Publishing Company Book Division, Houston, 1986.
59. TSINKER, G.P., Marine Structures Engineering, Specialized Applications, Chapman & Hall, ITP An International Thomson Publishing Company, New York, 1995.
60. URŠIĆ, J., Stabilitet broda I i II dio, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1962., 1964.
61. URŠIĆ, J., Plovnost broda, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1966.
62. VRANIĆ, D., Manevarske osobine matematskih modela brodova, Fakultet za pomorstvo i saobraćaj - Rijeka, Rijeka, 1991.
63. VRANIĆ, D. - KOS, S., Prijevoz kontejnera brodom I i II, Pomorski fakultet - Rijeka, Rijeka, 1993.
64. VUČINIĆ, A., Hidrodinamika plovnih objekata, Otpor i propulzija broda, Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet u Rijeci, Rijeka, 1997.
65. WILLIAMSON, P. R., Ship Manoeuvring Principles and Pilotage, Witherby & Co. Ltd., London, 2001.
66. ZEC, D., Planiranje pomorske plovidbe, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, 1997.
67. ZEC, D., Sigurnost na moru, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2001.
68. ZEČEVIĆ, T. – CRNKOVIĆ, J., Matematički modeli i metode simulacije, Fakultet za pomorstvo i saobraćaj Rijeka, Rijeka, 1987.
69. \*\*\*, Mooring Equipment Guidelines, Oil Companies International Marine Forum – OCIMF, Witherby and Co. Ltd., London, 1997.
70. \*\*\*, Naval Architecture, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, New York, 1967.
71. \*\*\*, Notes on Shiphandling, Southampton Institute, Varsash Maritime Centre, Southampton, 1997.
72. \*\*\*, Ship Design and Construction, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, New York, 1969.
73. \*\*\*, The Nautical Institute on Pilotage and Shiphandling, The Nautical institute, London, 1990.
74. \*\*\*, Bridge Procedures Guide, International Chamber of Shipping, Witherby & Co. Lt., London, 1998.

#### ČLANCI, STUDLJE, ELABORATI, PRIRUČNICI

75. AMANOVIĆ, S., - BOŽIČEVIĆ, S., Optimalizacija prometne tehnologije postupkom matematičkog i informatičkog modeliranja, Suvremeni promet, Časopis za pitanja teorije i prakse prometa, Zagreb, 1999., Vol. 19 No. 3-4, str.322.
76. BAILEY, T.J., Managing risk on board ship, Seaways, April, June, 1999.
77. BRUUN, P., Mooring and Fendering Rational Principles in Design, The International Harbour Congress, Antwerp, 1983.
78. CHERNJAWSKI, M., Mooring of Surface Vessels to Piers, Marine Technology, Vol. 17. No.1., 1980., str. 1.-7.
79. ČORIĆ, V. ed al., Upgrading of Semisubmersible Offshore Platform Zagreb for Deeper Sea, Brodogradnja, 47., Zagreb, 1999., 4., str. 356 – 368.
80. DAND, I.W. - LYON, P.R., The Element of Risk in Approach Channel Design, International Conference on Maritime Technology, Challenges in Safety and Environmental Protection, Singapore, 1993.
81. DENT, E.G., - SAURIN, B.F., Tanker Terminals – Berthing structures, Symposium on Tanker and Bulk Carriers Terminal, London, Institute of Civil Engineers, 1969.
82. DERGANČ, M., Kontejneri i gradnja brodova, Brodogradnja, 20, 1969, 3.

83. GIERGRAF, M. Practical Aspects of Dock Fender Design, Proceedings of the Twenty-fourth Congress, PIANC, SII-4, Lenjingrad, 1977.
84. JORDE, J. H., Mathematics of a body plan, The Naval Architect, January, 1997., str. 38.
85. KOS, S., - ZOROVIC, D., Prilog istraživanju numeričkog izračunavanja djelovanja sile valova na brod, Zbornik radova Pomorskog fakulteta, Pomorski fakultet Rijeka, Rijeka, 9, 1995.
86. LUMBERS, K., How maritime risk is changing, UK Club's 10-year analysis, Seaways, November, 1999.
87. McBRIDE, M., Safety assessment for ships manoeuvring in ports, The Dock & Harbour Authority, Vol. 79., No. 889, 890, 891, 892.
88. NÖNNECKE, E., Izbor glavnih dimenzija teretnog broda, Brodogradnja, 8, 1957, 4.
89. PETKOVIĆ, I., Proračunavanje momenata pritiska bočnog vjetrova na brod, Brodogradnja, 11, 1960, 1.
90. PETKOVIĆ, I., Pregled proračunatih numeričkih vrijednosti krivulja brzina i pritiska vjetrova iznad morske razine, Hidrografski godišnjak, Split, 1962., str. 103. – 118.
91. PETKOVIĆ, I., Beaufort wind scale and calculated numerical values of wind speed and wind pressure curves above sea level, Volume II, Rotterdam, 1964., str. 193. – 202.
92. PETKOVIĆ, I., Dijagrami stabilnosti broda za uzdužno-poprečne nagibe i vožnju na uzdužnim valovima, Brodogradnja, 19, 1968, 1-6.
93. PETKOVIĆ, I., Proračun sile olujnog vjetrova na teretni brod privezan na obali u Kaštel Sućurcu, Brodogradnja, 32, 1984, 1.
94. PETKOVIĆ, I., Prikaz numeričkih vrijednosti krivulja brzina i specifičnih pritiska vjetrova iznad mora na bok broda u novim mjernim jedinicama, Simpozij «Teorija i praksa brodogradnje», Split, str. 4.193 – 4.203.
95. POČUČA, M., Prinos raspravi o troškovima pomorskog plovnog puta u sustavu pomorskog prometa, Zbornik radova Pomorskog fakulteta, god. 9, Pomorski fakultet u Rijeci, 1995., str. 158.
96. SENJANOVIĆ, I. - ČORIĆ, V., Analiza čvrstoće priveznog sistema broda u plitkim lukama, Brodogradnja, 35., 36., Zagreb, 1987., 4-5, 6., str. 203 – 211., 271.-284.
97. SCHOENEICH, Der Windwiderstand bei Seeschiffen, Schiffbau No.4, Berlin, 1911., str. 121.- 129.
98. SOLEM, R. R., Probability Models of Grounding and Collision, Proceedings of Automation of Safety in Shipping and Offshore Petroleum Operations, 1980.
99. SUTHERLAND, G.H., Improving navigational safety through port management, Seaways, March, 1999.
100. TABAIN, T., O prosuđivanju stabilnosti brodova na dinamičkoj osnovi, Brodogradnja, 12, 1961, 2.
101. TABAIN, T., Prijedlog standarda stanja mora za Jadran, Brodogradnja, 25, 1974, 3-4.
102. TABAIN, T., O predskazivanju ekstremnih okolišnih uvjeta za objekte morske tehnologije, Savjetovanje o problemima čvrstoće konstrukcije objekata morske tehnologije, Zagreb, 1987.
103. TABAIN, T., Standard Wind Wave Spectrum for the Adriatic Sea Revisited (1997 – 1997), Brodogradnja, 45, 1997, str. 303. – 313.
104. TAUZOVIĆ, J., Korištenje računara u brodarstvu, Naše more, 35, 1988,5-6.
105. TRBOJEVIĆ, M., The use of risk assessment to improve safety management systems in ports, The Dock & Harbour Authority, vol. 79. No. 889, 890, 891, 892.
106. TUPPER, E., Motions and Manoeuvrability: Still critical Topics for Ship Designers, The Naval Architect, April, 1998., str. 46.
107. URŠIĆ, J.: Određivanje periode valjanja broda u mirnoj vodi, Brodogradnja, 6, 1955, 2.
108. URŠIĆ, J., Gibanje broda na valovima, Brodogradnja, 7, 1956, 4, 5 i 6.

109. URŠIĆ, J., Stabiliziranje broda i stabilizatori, Brodogradnja, 8, 1957, 3 i 4.
110. VAREŠKO, R. i dr., The development of the CAD/CAM System in Uljanik Shipyard, Brodogradnja, 42, 1994, 4.
111. VELSINK, H., PIANAC Bulletin No. 56
112. ZOROVIC, D., - KOS, S., Osnovni konstrukcijski odnosi brodova Croatia Linea, Zbornik radova Pomorskog fakulteta, 7, 1993, 1.
113. ZOROVIC, D. i ost., Prilog određivanju odnosa duljine i periode valovlja Jadranskog mora, pomorstvo, 16., Pomorski fakultet u Rijeci, 2002.
114. ZORE-ARMANDA, M., Morske struje, Pomorska enciklopedija, svezak 5., Leksikografski zavod «Miroslav krleža», Zagreb, 1981.
115. \*\*\*, 1<sup>st</sup> Congress of the International Harbour Masters' Association «Heading for the 21<sup>st</sup> Century», International Harbour Masters' Association, Amsterdam, 1998.
116. \*\*\*, Accident and Loss Prevention at Sea, International Conference and Workshops, The Nautical Institute, London, 1993.
117. \*\*\*, Analysis of Rubble Mound Breakwaters, Report of Working Group No. 12, Supplement to Bulletin No. 78/79, Permanent International Association of Navigation Congresses - PIANC, Brussels, 1992.
118. \*\*\*, Approach Channels, Preliminary Guidelines, First report of the joint Working Group PIANC and IAPH, in cooperation with IMPA and IALA, Supplement to Bulletin No. 87, Permanent International Association of Navigation Congresses - PIANC, Brussels, 1995.
119. \*\*\*, COST 301, The EC Study, Seaways, April, 1987.
120. \*\*\*, Design of Fender System, Japanese National Section of PIANC, 1980.
121. \*\*\*, Disabled Tankers, report of Studies on Ship Drift and Towage, Oil Companies International Marine Forum – OCIMF, Witherby & Co. Ltd, London, 1981.
122. \*\*\*, Drift Characteristics of 50.000 to 70.000 DWT Tankers, Oil Companies International Marine Forum – OCIMF, Witherby & Co. Ltd, London, 1982.
123. \*\*\*, Conference on Mooring Large Ships over 150.000 DWT, The Institute of Marine Engineers, London, 1979.
124. \*\*\*, Environmental Loads, Norwegian Petroleum Directorate, 1977.
125. \*\*\*, Conference on Ship Operation and Safety, The Nautical Institute, Southampton, 1981.
126. \*\*\*, Final report of the 3<sup>rd</sup> International Commission for the Study of Waves, Supplement to Bulletin No. 36, Permanent International Association of Navigation Congresses - PIANC, Brussels, 1980.
127. \*\*\*, 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 Association of Navigation Congresses - PIANC, Brussels, 1997.
128. \*\*\*, I servizi ancillari alla navigazione in Italia e nell' Unione Europea, Mar Consult, Genova, 1997.
129. \*\*\*, Maritime Simulation, Firste Internacional Symposium, Proceedings, Springer-Verlag, Berlin, 1985.
130. \*\*\*, Ports Looking into the 21<sup>st</sup> Century, Papers for Working Sessions, The 15<sup>th</sup> IAPH Conference, Seoul, 1987.
131. \*\*\*, Ergosea 81, The Second International Conference on Human Factors at Sea, Plymouth, 1981.
132. \*\*\*, Inland & Maritime Waterways & Ports, Design – Construction – Operation, Inland Waterways and Ports, Volume 1, Permanent International Association of Navigation Congresses - PIANC, Pergamon Press, Oxford, 1981.

133. \*\*\*, *Inland & Maritime Waterways & Ports, Design – Construction – Operation, Inland Waterways and Ports, Volume 2, Permanent International Association of Navigation Congresses - PIANC, Pergamon Press, Oxford, 1981.*
134. \*\*\*, *Inland & Maritime Waterways & Ports, Design – Construction – Operation, Maritime Ports and Seaways, Volume 1, Permanent International Association of Navigation Congresses - PIANC, Pergamon Press, Oxford, 1981.*
135. \*\*\*, *Life cycle management of port structures General principles, Report of Working Group No. 31, Supplement to Bulletin No. 99, Permanent International Association of Navigation Congresses - PIANC, Brussels, 1998.*
136. \*\*\*, *Maritime Engineering and Ports, First International Conference on Maritime Engineering and Ports, Witpress, Southampton, 1998.*
137. \*\*\*, *Port Facilities for Ferries, Practical Guide, Report of Working Group No. 11, Supplement to Bulletin No. 87, Permanent International Association of Navigation Congresses - PIANC, Brussels, 1995.*
138. \*\*\*, *Prediction of Wind and Current Loads on VLCCs, Oil Companies International Marine Forum – OCIMF, Witherby & Co. Ltd, London, 1977.*
139. \*\*\*, *Report of the Committee on Port Safety, Environment and Construction, The International Association of Ports and Harbours, Seoul, 1987.*
140. \*\*\*, *Report of the Committee on Public Affairs, The International Association of Ports and Harbours, Seoul, 1987.*
141. \*\*\*, *Report of Trends in Ships Characteristics Developments, The International Association of Ports and Harbours, Seoul, 1987.*
142. \*\*\*, *Report of Working Group I, International Commission for the Reception of Large Ships, Permanent International Association of Navigation Congresses, PIANC, 1979.*
143. \*\*\*, *Squat, Interaction, Manoeuvring, The Nautical Institute, London, 1995.*
144. \*\*\*, *Standard Ship Designs, Dry Cargo Vessels, Fairplay International Records & Statistics, London, 1977.*
145. \*\*\*, *Prevention through People: refocusing the safety equation, US Coast Guard, Safety at Sea International, December, 1996, str. 16.*
146. \*\*\*, *The International Command Seminar, The Nautical Institute, London, 1997.*
147. \*\*\*, *The human factor, UK P&I Club, Seaways, 5.,6., 9., 1996.*
148. \*\*\*, *The Port and Harbour Research Institute, Ministry of Transport, Japan, Technical Note No. 348, 1984.*
149. \*\*\*, *Capability of Ship Manoeuvring Simulation Models for Approach Channels and Fairways in Harbours, Report of a Working Group of the Permanent Technical Committee II, Supplement to Bulletin No. 77, Permanent International Association of Navigation Congresses - PIANC, Brussels, 1992.*
150. \*\*\*, *Underkeel Clearance for Large Ships in Maritime Fairways with Hard Bottom, Report of a Working Group of the Permanent Technical Committee II, Supplement to Bulletin No. 51, Permanent International Association of Navigation Congresses - PIANC, Brussels, 1985.*
151. \*\*\*, *Working Conference on Expert Systems in Computer-Aided Design, Proceedings, Sydney, Australia, 1987.*
152. \*\*\*, *Maritimna studija ADRIA - LNG, Pomorski fakultet Rijeka, Rijeka, 1993.*
153. \*\*\*, *Maritimna studija O prihvatu, vezu i odvezu PANAMAX brodova u akvatoriju Plomina s hidrometeorološkim uvjetima i mjerama sigurnosti, Pomorski fakultet Rijeka, Rijeka, 1996.*
154. \*\*\*, *Maritimna studija Sigurnost obalnog veza na lokaciji TE Rijeka, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, 1998.*



155. \*\*\*, Studija procjene opasnosti i mjera zaštite, privez broda u četvervez TE Rijeka, Visoka pomorska škola u Rijeci, Rijeka, 1999.
156. \*\*\*, Opis mogućih akcidenata prilikom uplovljavanja, isplovljavanja i boravka broda u trajektnom pristaništu u Plominskom zaljevu s aspekta zaštite okoliša – mora, Visoka pomorska škola u Rijeci, Rijeka, 1999.

#### KONVENCIJE I PROPISI

157. British Standard Code of Practice for Maritime structures, Part 1. General criteria, British Standard Institution, 1984.
158. British Standard Code of Practice for Maritime structures, Part 2. Design of quay walls, jetties and dolphins, British Standard Institution, 1988.
159. 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.
160. British Standard Code of Practice for Maritime structures, Part 4. Code of practices for design of fendering and mooring systems, British Standard Institution, 1984.
161. British Standard Code of Practice for Maritime structures, Part 6. Design of inshore moorings and floating structures, British Standard Institution, 1984.
162. British Standard Code of Practice for Maritime structures, Part 7. Guide to the design and construction of breakwaters, British Standard Institution, 1984.
163. Rules for the Design of Hoisting Appliances, Federation European de la Manutention, Paris
164. Međunarodna konvencija o zaštiti morskog okoliša, združeni tekst: Konvencije MARPOL 1973, MARPOL Protokola 1978., Konsolidirani tekst 2002., International Maritime Organization, London, 2002.
165. Međunarodna konvencija o zaštiti ljudskih života na moru, združeni tekst: Konvencije SOLAS 1974, SOLAS Protokola 1988., Konsolidirani tekst 2001., International Maritime Organization, London, 2001.
166. International Convention on Standard of Training, Certification and Watchkeeping, 1978/1995.
167. Pravila za tehnički nadzor pomorskih brodova (DIO 1. - OPĆI PROPISI), Hrvatski registar brodova, Split, 1999.
168. Pravila za tehnički nadzor pomorskih brodova (DIO 2. - TRUP), Hrvatski registar brodova, Split, 1999.
169. Pravila za tehnički nadzor pomorskih brodova (DIO 3. – OPREMA TRUPA), Hrvatski registar brodova, Split, 1999.
170. Pravila za tehnički nadzor pomorskih brodova (DIO 4. - STABILITET), Hrvatski registar brodova, Split, 1999.
171. Pravila za tehnički nadzor pomorskih brodova (DIO 7. – STROJNI UREĐAJ), Hrvatski registar brodova, Split, 1999.
172. Pravila za tehnički nadzor pomorskih brodova (DIO 9. - STROJEVI), Hrvatski registar brodova, Split, 1999.
173. Resolution A.857(20), Adopted on 27 November 1997, Guidelines for Vessel Traffic Services, International Maritime Organization (IMO), London, 1997.
174. Resolution MSC.43(64), Adopted on 9 December 1994., Guidelines and Criteria for Ship Reporting Systems, International Maritime Organization (IMO), London, 1994.
175. Resolution A.851(20), Adopted on 27 November 1997., General Principles for Ship Reporting Systems and Ship Reporting Requirements, Including Guidelines for Reporting Incidents Involving Dangerous Goods, Harmful Substances and/or Marine Pollutants, International Maritime Organization (IMO), London, 1997.

OSTALI IZVORI (ENCIKLOPEDIJE, LEKSIKONI, UPUTE I DRUGI IZVORI)

176. Odrednica "Brod", Pomorski leksikon, Leksikografski zavod "Miroslav Krleža", Zagreb, 1990.
177. Odrednica "Brodogradnja", Pomorski leksikon, Leksikografski zavod "Miroslav Krleža", Zagreb, 1990.
178. Odrednica "Brodaska konstrukcija", Pomorski leksikon, Leksikografski zavod "Miroslav Krleža", Zagreb, 1990.
179. Odrednica "Brod, pogon", Pomorska enciklopedija, svezak 1, Leksikografski zavod "Miroslav Krleža", Zagreb, 1972.
180. Odrednica "Kormilarenje", Pomorska enciklopedija, svezak 4, Leksikografski zavod "Miroslav Krleža", Zagreb, 1978.
181. Odrednica "Tegljač", Pomorska enciklopedija, svezak 8, Leksikografski zavod "Miroslav Krleža", Zagreb, 1989.
182. Odrednica "Vijak, brodski", Pomorska enciklopedija, svezak 8, Leksikografski zavod "Miroslav Krleža", Zagreb, 1989.
183. Odrednica "Valovi, morski", Pomorska enciklopedija, svezak 8., Leksikografski zavod "Miroslav Krleža", Zagreb, 1989.
184. IALA/IMPA/IAPH World VTS Guide
185. The IALA Vessel Traffic Services Manual
186. The Port and Harbour Research Institute, Ministry of Transport, Japan, Technical Note No. 348, 1984.
187. Port Development, A Handbook for planners in developing countries, UNCTAD, 1978.
188. Lloyd Statistics, Lloyd Register of Shipping, London, 1998. – 2002.
189. ISL Shipping Statistics and Market Review, Focus: World Merchant Fleet OECD Shipping and Shipbuilding, Institute of Shipping Economics and Logistics (ICL), Bremen, 45, 2001., 1/2.
190. Report of the delegation of the Union of Soviet Socialist Republics at the International Conference on the Safety of Life at Sea, Intact stability, London, 1960, str. 1. – 36.
191. Automated mooring for new Combiferries, Norent AB Gothenburg, The Naval Architect, September, 1996., str. 25.
192. \*\*\*, The Naval Architect, 1-12/1998.
193. \*\*\*, Sea Guard Marine Fenders Technical Manual, Seaward International, Inc., Martinsburg, 1997.
194. ŠEGULJA, I., Metoda odabira brodskog pogonskog stroja sa stanovišta cijene koštanja energije, doktorska disertacija, Pomorski fakultet Rijeka, 1997.

## POPIS SLIKA

- Slika 1 Podjela manevriranja prema vremenskom slijedu
- Slika 2 Podjela manevriranja s obzirom na korištenje tegljača
- Slika 3 Podjela manevriranja s obzirom na vrstu manevra u dolasku
- Slika 4 Podjela manevriranja s obzirom na vrstu manevra u odlasku
- Slika 5 Dijagram izbora metode izvedbe modela
- Slika 6 Valni elementi
- Slika 7 Spektri energije valova
- Slika 8 Strukturni elementi širine plovnog puta za jednosmjernu i dvosmjernu plovidbu
- Slika 9 Koeficijenti punoće deplasmana  $C_B$  za različite vrste brodova
- Slika 10 Karakteristični omjeri brodskih dimenzija za različite vrste brodova
- Slika 11 Prikaz instalirane snage u odnosu na brzinu za razne veličine teretnih brodova
- Slika 12 Približna učinkovitost različitih vrsta propulzije
- Slika 13 Usporedba optimalne učinkovitosti za različite vrste propulzije
- Slika 14 Elementi kruga okreta broda
- Slika 15 Podjela vrsta tegljača s propulzijom na krmu
- Slika 16 Podjela vrsta tegljača s propulzijom na pramčanom dijelu
- Slika 17 Usporedba vektora poriva za razne vrste tegljača
- Slika 18 Djelovanja poriva raznih vrsta tegljača u odnosu na klasični tegljač s dva vijka
- Slika 19 Razdioba osoba koje su izazvale pomorske nezgode po zaposlenju
- Slika 20 Vrste sila koje djeluju na brod
- Slika 21 Djelovanje sile vjetera na brod u ovisnosti o kutu djelovanja vjetera
- Slika 22 Gibanja broda - šest stupnjeva slobode
- Slika 23 Karakteristične krivulje odziva broda
- Slika 24 Odnos između deplasmana broda i prilazne brzine broda (za velike teretne brodove)
- Slika 25 Prilazne brzine broda obali
- Slika 26 Usporedba izmjerenih udarnih energija broda tijekom pristajanja
- Slika 27 Utjecaj vrste, duljine i promjera priveznog konopa na sposobnost zadržavanja broda
- Slika 28 Utjecaj prethodnog pritezanja priveznih konopa na privezani brod
- Slika 29 Kutovi djelovanja priveznih konopa
- Slika 30 Karakteristične faze okretanja broda
- Slika 31 Dijagram vuče tegljača
- Slika 32 Prihvatljive valne visine i gibanje broda

- Slika 33 Prihvatljive valne visine i gibanje broda
- Slika 34 Algoritam modela sustava manevriranja brodom
- Slika 35 Dijagram razdiobe ukupnog vremena boravka broda u lučkom i prilaznom plovnom području
- Slika 36 Prikaz ukupne vanjske sile na brod – varijable ukupna nosivost i brzina vjetra
- Slika 37 Prikaz ukupne vanjske sile na brod – varijable ukupna nosivost i brzina morske struje
- Slika 38 Prikaz ukupne vanjske sile na brod – varijable brzine vjetra i brzina morske struje
- Slika 39 Prikaz ukupne vanjske sile na brod – varijable brzine vjetra i visina vala
- Slika 40 Prikaz ukupne vanjske sile na brod - varijable visina vala i brzina morske struje
- Slika 41 Udarna energija broda u odnosu na ukupnu nosivost i prilaznu brzinu broda
- Slika 42 Potrebna sila vuče tegljača potrebna za zaustavljanje broda na određenom zaustavnom putu
- Slika 43 Potreban zaustavni put broda za određenu silu vuče tegljača
- Slika 44 Dijagram ograničenja izvođenja manevra uz zadovoljavajući stupanj sigurnosti
- Slika 45 Dijagram vremenske razdiobe s brojem angažiranih tegljača
- Slika 46 Uzročno-posljedični slijed događaja u slučaju pomorskih nezgoda s katastrofalnim obilježjima
- Slika 47 Djelatnosti i aktivnosti koje uzrokuju onečišćenja mora

## POPIS TABLICA

Tablica 1	Uobičajeno minimalno vrijeme za koje se projektiraju obalne građevine
Tablica 2	Tipične frekvencije cikličnih opterećenja u pomorskom okruženju
Tablica 3	Faktori udara vjetra u odnosu na jedno satne vrijednosti brzine vjetra
Tablica 4	Faktori udara vjetra u odnosu na 10 minutne srednje brzine
Tablica 5	Višekratnici srednjaka prema Rayleigh-jevoj razdiobi
Tablica 6	Gustoće mulja koje se uzimaju kao kriterij za određivanje nautičkog dna za različite luke
Tablica 7	Stanje svjetske flote prema vrstama brodova
Tablica 8	Uobičajene dimenzije i veličine brodova u odnosu na ukupnu nosivost
Tablica 9	Međuzavisnosti brodskih dimenzija
Tablica 10	Približni deplasmani nakrcanih brodova u odnosu na bruto tonažu i ukupnu nosivost
Tablica 11	Međuzavisnost deplasmana i ukupne nosivosti
Tablica 12	Odnos ukupne nosivosti i deplasmana
Tablica 13	Uobičajene vrijednosti koeficijenata brodske forme
Tablica 14	Struktura glavnih brodskih strojeva u svjetskoj floti
Tablica 15	Instalirane snage stroja prema vrstama i veličinama brodova
Tablica 16	Odnosi duljine i manevarskih obilježja broda
Tablica 17	Odnos između kočene snage stroja i vučne sile na kuki za razne propulzijske sustave
Tablica 18	Brzina prilaza broda obali pri pristajanju
Tablica 19	Duljina ispuštenog lanca za različite veličine brod
Tablica 20	Ovisnost broja tegljača i njihove porivne sile o veličini broda
Tablica 21	Maksimalno prihvatljive visine signifikantnih valova $H_s$ na mjestu priveza za razne vrste i veličine brodova
Tablica 22	Maksimalne visine signifikantnih valova za efikasan prekrcaj raznih vrsta brodova
Tablica 23	Relativni odnos važnosti pojedine vrste gibanja za sigurnost i efikasnost prekrcaja različitih vrsta brodova
Tablica 24	Stvarne veličine pomaka broda na mjestu priveza tijekom prekrcajnih operacija
Tablica 25	Razdioba učestalosti nezgoda po mjestu nezgode
Tablica 26	Očekivana učestalost osnovnih vrsta nezgoda i posljedičnih onečišćenja
Tablica 27	Relativna mogućnost izbijanja akcidenta tijekom boravka broda u lučkom području

## POPIS SIMBOLA

$\alpha$	-	kut odklona kormila
$\alpha$	-	kut prilaza broda obali
$\alpha$	-	kut upada morske struje koja djeluje na brod
$\alpha$	-	kut upada pravog vjetra koji djeluje na brod
$\alpha$	-	parametar oblika
$\alpha$	-	smjer djelovanja rezultantne sile vjetra u odnosu na simetralu broda
$\alpha_B$	-	kut između tangente na sidreni lanac i morskog dna
$\alpha_r$	-	kut upada relativnog vjetra
$\alpha_r$	-	kut upada relativnog vjetra koji djeluje na brod
$\alpha_v$	-	kut upada vjetra u odnosu na simetralu broda
$\beta$	-	parametar skale
$\Delta$	-	deplasman broda
$\Delta\omega$	-	pojas kružnih frekvencija
$\delta$	-	gustoća prometa na nekom području
$\delta_{kr}$	-	granica stabilnosti vala
$\varphi$	-	kut upada relativnog vjetra u odnosu na simetralu broda
$\lambda$	-	duljina broda
$\mu$	-	koeficijent trenja između broda i bokobrana
$\mu$	-	mjera (norma) dolazaka ( <i>arrival rate</i> )
$\mu$	-	srednja vrijednost uključene normale
$\mu$	-	mjera (norma) dolazaka ( <i>arrival rate</i> ), tj. broj dolazaka u jedinici vremena
$\rho$	-	gustoća tekućine
$\rho_z$	-	gustoća zraka
$\rho_v$	-	gustoća morske vode u kojoj se nalazi brod
$\sigma$	-	standardna devijacija uključene normale
$\zeta_a$	-	amplituda elementarnih valova
$\Delta v$	-	promjena brzine
$\eta_z$	-	stupanj iskoristivosti tegljenja
$\omega_n$	-	kružna frekvencija
$a$	-	razmak od ljetne vodene linije do gornjeg ruba opločenja gornje palube
$a$	-	udaljenost od pramca na kojoj djeluje rezultantna sila vjetra
$A$	-	površina izložena bočnom vjetru
$A$	-	površina vijčanog kruga
$A$	-	bočna površina podvodnog dijela broda
$A$	-	bočna površina nadvodnog djela broda
$A_L$	-	lateralna površina nadvodnog djela broda
$A_{L,ms}$	-	podvodna površina broda
$A_{L,v}$	-	nadvodna površina broda
$A_T$	-	poprečna (frontalna) površina nadvodnog djela broda
$A_u$	-	površina presjeka Kortove sapnice na stražnjem rubu
$B$	-	širina broda
$B$	-	stupanj jačine vjetra prema Beaufort-ovoj skali
$BC$	-	brod za rasuti teret
$BHP$	-	kočena snaga stroja
$B_{mo}$	-	manevarske osobine broda

BT	-	bruto tonaža
c	-	koeficijent proporcionalan s domenom broda u nekom području
c	-	brzina rasprostiranja vala
$C_b$	-	koeficijent punoće forme
$C_B(\delta)$	-	koeficijent punoće deplasmana
$C_B$	-	koeficijent pristajanja (engl. <i>Berthing coefficient</i> )
$C_c$	-	koeficijenta otpora vode
$C_C$	-	faktor efekta vodenog jastuka
$C_E$	-	faktor ekscentriciteta
$C_H$	-	koeficijent hidrodinamičke mase vode
$C_{L\varphi}$	-	koeficijent otpora zraka
$C_M(\beta)$	-	koeficijent punoće glavnog rebra
$C_{MS}$	-	koeficijent otpora vode tijela izloženog morskoj struji
$C_{ms(\alpha)}$	-	koeficijent otpora tijela izloženog morskoj struji u ovisnosti o kutu upada morske struje u odnosu na uzdužnicu broda
$C_p$	-	koeficijent finoće forme
$C_P(\varphi)$	-	prizmatični koeficijent
$C_S$	-	faktor elastičnosti
CT	-	brod za prijevoz kemikalija
$C_v$	-	koeficijent otpora zraka tijela izloženog vjetru za neki određeni kut upada vjetra
CV	-	brod za prijevoz kontejnera
$C_v$	-	koeficijent otpora zraka tijela izloženog vjetru
$C_{v(\alpha)}$	-	koeficijent otpora tijela izloženog vjetru kad vjetar puše pod određenim kutom u odnosu na uzdužnicu broda
$C_{val(\alpha)}$	-	koeficijenta otpora tijela izloženog valovima
$C_{WP}(\alpha)$	-	koeficijent punoće vodene linije
D	-	dubina na mjestu sidrenja
D	-	duljina pri vjetrišta
D	-	zaustavni put u nuždi
D	-	minimalna dubina za sigurno manevriranje brodom
D	-	deplasman broda
D	-	duljina plovnog puta
Da	-	napredovanje
$d_{escD}$	-	duljinu na kojoj se brodovi prate u dolasku
$d_{escO}$	-	duljinu na kojoj se brodovi prate u odlasku
$d_m$	-	duljina manevarskog akvatorija
$d_{manD}$	-	udaljenost stvarnog manevriranja u dolasku
$d_{manO}$	-	udaljenost stvarnog manevriranja u odlasku
Dt	-	bočni pomak
DWT	-	ukupna nosivost
E	-	ukupna energija po jedinici valne površine svih komponentnih valova
E'	-	ukupna udarna energija broda
Ea	-	energija apsorpcije
$E_{tk}$	-	kinetička energija broda
$E_k$	-	kinetička energija vala
$E_n$	-	opremni broj
$E_p$	-	potencijalna energija vala
erf	-	funkcija pogreške pri nasukanju

$E_u$	-	ukupna energija vala
$E_{ub}$	-	udarna energija broda
$E_{ZS}$	-	efikasnost zadržavanja sidra
$f_{man.}$	svojstva broda	faktor manevarskih svojstava broda
$F$	-	nazivna vučna sila
$f(t)$	-	razdioba vremena između dva dolaska broda
$f(x)$	-	funkcija razdiobe
$f_a$	-	frekvencija akcidenta
$f_c$	-	frekvencije cikličkih sila
$F_g$	-	prosječna vučna sila tegljača
$f_g$	-	frekvencija nasukanja
$F_{morska}$	struja	sila morske struje koja djeluje na brod
$F_{ns}$	Lateral	sila morske struje – lateralna
$F_{MS}$	-	sila morske struje koja djeluje na brod
$f_N$	-	prirodna frekvencija odziva
$F_{nh}$	-	Frudov broj dubine ( <i>Froude Depth Number</i> )
$F_O$	-	vanjska sila na brod
$f_{opas.}$	tereta	faktor opasnosti tereta
$f_{opasnosti}$	man	faktor opasnosti manevra
$F_p$	-	porivna sila
$F_r$	-	sila reakcije
$F_r/E_a$	-	faktor bokobrana ( <i>engl. fender factor</i> )
$f_s$	-	faktor sigurnosti
$f_{sig}$	-	faktor sigurnosti
$f_{složenosti}$	man	faktor složenosti manevra
$f_{sm}$	-	složenost manevra
$f_{st}$	-	frekvencija dodira ( <i>engl. striking frequency</i> )
$F_t$	-	sila trenja između broda i bokobrana
$F_T$	-	najmanji broj tegljača
$F_u$	Lateral	ukupna vanjska sila – lateralna
$F_u$	-	ukupna veličina vanjskih sila
$F_v$	-	sila vuče tegljača
$F_v$	-	sila vjetra
$F_{V(\alpha)}$	-	sila vjetra kad vjetar puše pod određenim kutom u odnosu na uzdužnicu broda
$F_{V}$	Lateral	sila vjetra – lateralna
$F_{val}$	Lateral	sila valova – lateralna
$F_{val}$	-	sila kojom djeluje val
$F_{valovi}$	-	translatorna sila vala na brod
$F_{vjetar}$	-	sila vjetra koja djeluje na brod
$F_{V_L(\alpha)}$	-	uzdužna komponenta sile vjetra kad vjetar puše pod nekim određenim kutom u odnosu na uzdužnicu broda
$F_{V_{min}}$	-	potrebna vučna sila tegljača
$F_{V_{nT}}$	-	sila vuče tegljača potrebna za izvođenje manevra
$F_{V_T(\alpha)}$	-	poprečna komponenta sile vjetra kad vjetar puše pod nekim određenim kutom u odnosu na uzdužnicu broda
$F_{vuče}$	-	sila vuče tegljača
$F_{vuče}$	-	sila vuče jednog tegljača
$F_Z$	-	sile zadržavanja sidra
$g$	-	ubrzanje sile teže



GT	-	bruto tonaža
GC	-	brod za prijevoz ukapljenih plinova
GCS	-	brod za generalni teret
GT	-	bruto tonaža
H	-	dubina vode
H	-	visina broda
H	-	horizontalna komponenta sile kojom djeluje brod na lanac
h	-	visina za koju se proračunava bezdimenzionalni odnos brzine vjetra
h	-	visina vala
h	-	dubina mora
h	-	visina od ljetne vodene linije do gornjeg ruba opločenja gornje palube najgornje palubne kućice
h	-	visina na kojoj je mjerena brzina
h	-	dubina mora
$h_0$	-	parametar hrapavosti podloge
$H_{1/10}$	-	aritmetička srednja vrijednost jedne desetine (10%) najviših valova
$H_{1/100}$	-	aritmetička srednja vrijednost jedne stotine (1%) najviših valova
$h_{10}$	-	visina 10 m
$h_i$	-	visina mjerena u simetrali broda svakog reda nadgrađa ili kućice
$H_m$	-	aritmetička srednja vrijednost svih snimljenih valova u promatranom periodu
$H_{max}$	-	maksimalna visina vala
$H_s$	-	signifikantna visina vala
Hv	-	visina valova
$H_{Vstvari}$	-	stvarni valovi u području manevriranja
K	-	konstanta za izračun frekvencije dodira
K	-	konstanta za izračun frekvencije nasukanja
k	-	koeficijent za određivanje pritiska vjetra
k	-	koeficijent zaklonjenosti od vjetra
k	-	cjelobrojni parametar oblika
$K_1$	-	koeficijent dinamičke stabilnosti
$k_b$	-	odnos brzine vjetra na nekoj visini h i brzine vjetra na visini 10 m
$k_p$	-	koeficijent prekrcaja
L	-	duljina broda
L	-	duljina vala
L	-	duljina sidrenog lanca
L	-	duljina broda na trenutnoj vodenoj liniji
$L_c$	-	duljina plovnog puta (kanala)
$l_{dep}$	-	poluga dinamičke stabilnosti tegljača
$l_{dh}$	-	dinamička poluga nagibanja
$L_f$	-	duljina plovnih objekata uzduž plovnog puta
$L_f$	-	ljudski čimbenik u sustavu manevriranja brodom
$L_{min}$	-	minimalna duljina projekcije sidrenog lanca na morsko dno
$L_{OA}$	-	duljina broda preko svega
$L_{opt}$	-	optimalna duljina sidrenog lanca
$L_{pp}$	-	duljina broda između okomica
$L_t$	-	duljina tegljača
m	-	ukupna masa
m	-	parametar oblika
$m_0$	-	spektar valovlja

$M_b$	-	deplasman broda
$M_c$	-	mjera posljedica akcidenata
$M_h$	-	hidro-dinamička masa vode
$MOT_x$	-	mjesto otpuštanja tegljača
$MPT_x$	-	mjesto prihvata tegljača
$m_s$	-	masa sidra
$M_v$	-	virtualna masa broda
$N$	-	period godina za koji se određuje vjerojatnost događaja
$N$	-	vjerojatnost sudara
$N_c$	-	broj nesreća
$N_{sd}$	-	broj standardnih devijacija
$NT$	-	neto tonaža
$nT_k$	-	broj potrebnih tegljača
$nT_{max}$	-	maksimalni broj tegljača
$nT_{min}$	-	minimalni broj tegljača
$OT$	-	brod za prijevoz ulja
$p$	-	vjerojatnost nastupa događaja
$p$	-	specifični pritisak vjetra
$p$	-	pritisak vala
$P$	-	razvijena snaga stroja
$P$	-	sila udara broda u bokobran
$P$	-	zakretna sila kormila
$p(t)$	-	vjerojatnost da će u vremenu $t$ pred luku pristići $n$ brodova
$P_b$	-	omjer snage pogonskog motora
$p_h/p_{10}$	-	odnos specifičnog pritiska vjetra na nekoj visini $h$ i specifičnog pritiska vjetra na visini 10 m
$P_i$	-	vjerojatnost greške pri obavljanju određene radne djelatnosti
$P_i$	-	broj pristana na terminalu
$P_j$	-	vjerojatnost da će pogreška imati za posljedicu nezgodu
$P_n$	-	vjerojatnost nezgode
$P_{n(t)}$	-	razdioba broja prispjelih brodova
$P_r$	-	vjerojatnost nasukanja
$PS$	-	putnički brod
$q$	-	težina lanca po dužnom metru horizontalne projekcije
$q$	-	količina prometa (ukupna)
$Q$	-	prekrcajna norma
$R$	-	vjerojatnost da manevar u posljednjem trenutku neće biti uspješna
$r_0$	-	ukupni pomorski rizik
$R_b$	-	otpor tegljenog broda ( $R_b$ )
$r_c$	-	rizik sudara
$RG$	-	poluga zakretanja broda
$r_g$	-	rizik nasukanja
$r_i$	-	rizik udara
$Ro-Ro$	-	Ro-Ro brod
$r_s$	-	rizik oštećenja
$r_{st}$	-	rizik dodira
$R_t$	-	otpor tegljača
$s$	-	dubina mora mjerena od površine
$s$	-	raspoloživi zaustavni put

SHP	-	nominalna snaga na osovini ( <i>SHP</i> – <i>Shaft horse power</i> )
T	-	broj i obilježja tegljača
T	-	period širenja vala
T	-	gaz broda
t	-	stohastički parametar koji može biti npr. vrijeme između dva dolaska broda
t	-	trajanje puhanja vjetra
t	-	temperatura zraka
T <sub>chem</sub>	-	terminal za kemikalije
T <sub>cont</sub>	-	kontejnerski terminal
T <sub>gas</sub>	-	terminal za ukapljene plinove
T <sub>gt</sub>	-	terminal za generalni teret
T <sub>is</sub>	-	iskrcajni terminal
t <sub>manevriranja</sub>	-	vrijeme manevriranja
Toil	-	terminal za ulja
t <sub>ost</sub>	-	vrijeme potrebno za boravak broda na pristanu zbog ostalih razloga
t <sub>opr</sub>	-	vrijeme potrebno za obavljanje formalnosti otpreme broda
T <sub>p</sub>	-	putnički terminal
t <sub>plovidbe</sub>	-	vrijeme plovidbe
t <sub>prek</sub>	-	vrijeme potrebno za prekrcaj broda
T <sub>prekrcaja</sub>	-	količina tereta za prekrcaj
t <sub>PRJH</sub>	-	vrijeme potrebno za obavljanje formalnosti prihvata broda
T <sub>R</sub>	-	povratni period u godinama
T <sub>ro-ro</sub>	-	terminal za ro-ro teret
T <sub>rt</sub>	-	terminal za rasuti teret
T <sub>uk</sub>	-	ukrcajni terminal
T <sub>uk/is</sub>	-	ukrcajno/iskrcajni terminal
T <sub>v</sub>	-	vrsta terminala prema namjeni
t <sub>zprist</sub>	-	vrijeme zauzetosti pristana
UKC	-	dubina ispod kobilice
U <sub>mo</sub>	-	meteorološki i oceanografski uvjeti na području manevriranja
v	-	brzina vjetra
v <sub>s</sub>	-	srednja brzina vjetra
V	-	brzina broda
V	-	brzina plovidbe
v	-	brzina tegljača
v <sub>0</sub>	-	komponenta brzine broda okomita na pristan
v <sub>10</sub>	-	brzina vjetra na visini 10 m
V <sub>A</sub>	-	vertikalna komponenta sile u sidrenom ždrijelu
v <sub>b</sub>	-	brzina broda
V <sub>B</sub>	-	vertikalna komponenta sile u škopcu sidra
V <sub>b<sub>p</sub></sub>	-	brzina prilaza broda obali
v <sub>c</sub>	-	brzina morske struje na pojedinoj dubini
V <sub>c</sub>	-	srednja brzina morske struje
v <sub>h</sub>	-	brzina vjetra na određenoj visini h
v <sub>h</sub> /v <sub>10</sub>	-	odnos brzine vjetra na nekoj visini h i brzine vjetra na visini 10 m
V <sub>m</sub>	-	brzina broda tijekom manevriranja
v <sub>max</sub>	-	brzina tegljača u slobodnoj plovidbi
V <sub>ms</sub>	-	brzina morske struje koja djeluje na brod
v <sub>ms</sub>	-	brzina morske struje

$V_p$	-	brzina plovidbe
$V_r$	-	relativna brzina brodova u uobičajenim plovnim putovima
$V_R$	-	relativna brzina vjetra
$V_{r_v}$	-	relativna brzina vjetra
$V_v$	-	brzina vjetra
$V_{V_{stvarni}}$	-	stvarni vjetar u području manevriranja
$V_w$	-	brzina vjetra na visini $h$
$V_w$	-	brzina vjetra na visini od 10 m
$w$	-	širina dna plovnog puta
$W$	-	širina plovnog puta (kanala)
$w_{bm}$	-	širina osnovne plovne trake
$w_{Br}, w_{Bg}$	-	udaljenost ruba lijeve i desne strane plovnog puta od obale
$w_f$	-	udaljenost od plovnih objekata do srednje uobičajene plovidbene trake na plovnom putu (npr. <i>cross track error</i> )
$w_i$	-	dodatna širina osnovne plovne trake
$w_p$	-	udaljenost između plovidbenih traka u dvosmjernom plovnom putu
$Z$	-	stvarna sila vuče
$Z'$	-	teoretska sila vuče
$Z_1$	-	neto dubina ispod kobilice (engl. <i>Net Under Keel Clearance – Net UKC</i> )
$Z_2$	-	vertikalno pomicanje broda
$Z_3$	-	zamuljivanje između jaružanja, pogreška u jaružanju i mjerenju dubina
$Z'_d$	-	teoretska sila vuče Kortove sapnice
$Z_{max}$	-	maksimalna sila vuče

