

Ocjena prihvatljivosti pomorskih plovidbenih rizika

Mohović, Đani

Doctoral thesis / Disertacija

2010

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:188:895999>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-28**



Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET
RIJEKA**

Mr. sc. Đani Mohović

**OCJENA PRIHVATLJIVOSTI
POMORSKIH PLOVIDBENIH RIZIKA**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Rijeka, 2010.

SAŽETAK

Ovom doktorskom disertacijom s naslovom "Ocjena prihvatljivosti pomorskih plovidbenih rizika" sustavno je istražen rizik nasukanja broda pri prolazu uskim plovnim putovima te su određeni kriteriji prema kojima bi se navedeni rizik vrednovao. Izrađen je model kretanja broda koji omogućuje variranje ulaznih vrijednosti, a dobiveni rezultati koriste se za procjenu rizika nasukanja. Pri određivanju graničnih parametara koji definiraju sigurnu plovidbu odvojeno su istraženi parametri sigurne plovidbe kada svi brodski sustavi rade ispravno od slučaja kada tijekom plovidbe dolazi do izvanrednog događaja.

Analizom stručne i znanstvene literature, intervjuiima s aktivnim pomorcima i peljarima te istraživanjem na navigacijskom simulatoru definirani su koeficijenti za određivanje širine plovnog puta koji se može smatrati sigurnim za plovidbu broda uz pretpostavku da svi brodski sustavi rade ispravno te da brodom upravlja i kormilari osoba koja se ponaša kao "dobar pomorac".

Za potrebe istraživanja rizika nasukanja zbog izvanrednog događaja na brodu definirani su različiti scenariji. Za izradu modela kretanja broda s obzirom na definirane scenarije izabrana je klotoida. Modificiranjem parametarske jednadžbe klotoide u konačnici se dobila krivulja koja vrlo vjerno aproksimira krivulju kretanja broda. Nadalje, izrađen je model promjene brzine koji može procijeniti brzinu broda u bilo kojoj točki krivulje okretanja broda kada je otklon kormila konstantan, a stroj zaustavljen. Dobiveni modeli ispitani su na 60 scenarija prema kojima je provedeno istraživanje na navigacijskom simulatoru.

Da bi se prikazale moguće posljedice nasukanja analizirani su radovi i modeli u svezi s mehanikom oštećenja broda pri nasukanju.

Dobiveni rezultati istraživanja iskorišteni su za postizanje osnovnog cilja ove disertacije, a to je model za određivanje prihvatljivosti pomorskih plovidbenih rizika. U tu svrhu izabran je fizikalni model koji polazi od veličine oštećenja broda. Za potrebe utvrđivanja vrijednosti koje će omogućiti utvrđivanje veličine posljedice nasukanja kod raznih scenarija razvijen je simulacijski model.

Rezultati i spoznaje dosegnuti u radu omogućuju vrednovanje odluka koje se moraju donositi na državnoj ili lokalnoj razini.

Ključne riječi: rizik nasukanja broda, koeficijenti za određivanje širine plovnog puta, model nasukanja broda, model promjene brzine, posljedice nasukanja, fizikalni model, simulacijski model, model za određivanje prihvatljivosti pomorskih plovidbenih rizika

SUMMARY

This doctoral dissertation entitled "Model for determining the acceptability of maritime navigational risks" systematically investigates the risks of vessels grounding and the criteria by which to evaluate these risks. For the purpose of obtaining the acceptable risk of grounding, a model was made that allowed the variation of parameters. The obtained results are used for grounding risk assessment. In determining the boundary parameters that define safe navigation, the parameters of safe navigation when all the ship's systems were working properly were explored separately from the case when during a voyage an extraordinary event occurs.

By analysing expert and scientific literature, conducting interviews with active seamen and pilots, and research with navigation simulators, the coefficients were defined for determining the width of the waterway which can be considered safe for ship navigation, assuming that all on-board systems are working properly and that the ship is also managed by a helmsman who acts as "good seamanship".

For purposes of conducting research on the risk of grounding due to an emergency event onboard, various scenarios were defined. To create a track model, an Euler spiral/clothoid was chosen. By modifying the parametric clothoid equations, a curve was obtained which very well approximated the curve of a turning ship.

Furthermore, the speed change model was developed, which can show a change of speed at any point of the ship turning curve when the rudder deflection was constant, and the engine was stopped. The designed models were tested in 60 scenarios, in accordance to which research on the navigation simulator has been carried out.

In order to show the possible consequences of grounding papers and models relating to the mechanical damage to the ship upon grounding were analysed.

The obtained results were used to achieve the primary objective of this dissertation, which is the model for determining the acceptability of maritime navigational risks. For this purpose, a model based on the extent of damage to the ship is used. For the purposes of determining the parameters which will enable the determining of the extent of grounding consequences in various scenarios, a simulation model was developed.

Results and findings reached in this paper allow the evaluation of decisions to be taken at national or local level.

Keywords: the risk of grounding, coefficients in determining the width of the fairway, ship grounding model, speed changing model, consequences of grounding, physical model, simulation model, model for determining the acceptability of maritime navigational risks

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1. OBRAZLOŽENJE TEME DOKTORSKE DISERTACIJE I DEFINICIJA PROBLEMA ISTRAŽIVANJA	2
1.2. CILJEVI ISTRAŽIVANJA I RADNE TEZE DOKTORSKE DISERTACIJE	3
1.3. OCJENA DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA	4
1.4. STRUKTURA RADA	5
2. PRAVNA UTEMELJENOST PROCJENE PLOVIDBENIH RIZIKA U POMORSTVU	7
2.1. MEĐUNARODNA POMORSKA ORGANIZACIJA	7
2.2. EUROPSKA UNIJA	9
2.3. PROPISI REPUBLIKE HRVATSKE	12
3. KLASIFIKACIJA POMORSKIH PLOVIDBENIH RIZIKA.....	16
3.1. OPĆE DEFINICIJE VEZANE ZA RIZIKE U POMORSTVU	16
3.2. POJAM POMORSKOG PLOVIDBENOG RIZIKA	18
4. SIGURNOSNI UVJETI NA PLOVNOM PUTU	20
4.1. ODREĐIVANJE POLOŽAJA BRODA	20
4.1.1. <i>Određivanje položaja broda metodama terestričke navigacije.....</i>	<i>20</i>
4.1.2. <i>Pomoćne metode za sigurnu plovidbu.....</i>	<i>22</i>
4.1.3. <i>Ostala sredstva za navigaciju</i>	<i>23</i>
4.1.4. <i>Određivanje položaja broda metodama elektroničke navigacije.....</i>	<i>24</i>
4.1.5. <i>Ostala navigacijska pomagala.....</i>	<i>26</i>
4.2. UTJECAJ OKOLINE NA KRETANJE BRODA	30
4.2.1. <i>Vjetar</i>	<i>30</i>
4.2.2. <i>Morska struja.....</i>	<i>32</i>
4.2.3. <i>Valovi.....</i>	<i>33</i>
4.2.4. <i>Dubina vode.....</i>	<i>34</i>
4.2.5. <i>Utjecaj obalnog ruba</i>	<i>34</i>
4.2.6. <i>Međudjelovanje između brodova u prolazu</i>	<i>37</i>
4.2.7. <i>Tegljači</i>	<i>38</i>
4.3. UTJECAJ BRODSKE OPREME NA KRETANJE BRODA	38
4.3.1. <i>Glavni sustav propulzije</i>	<i>38</i>
4.3.2. <i>Sustav usmjeravanja broda.....</i>	<i>39</i>
4.3.3. <i>Pramčani i krmeni porivnici</i>	<i>39</i>
5. KRITERIJI ZA DEFINIRANJE ŠIRINE PLOVNOG PUTA	40
5.1. METODE PROJEKTIRANJA PLOVNIH PUTOVA.....	40
5.2. ŠIRINA RAVNOG DIJELA PLOVNOG PUTA – JEDNOSMJERNA PLOVIDBA.....	42
5.3. ŠIRINA RAVNOG DIJELA PLOVNOG PUTA – DVOSMJERNA PLOVIDBA	56
5.4. ŠIRINA ZAKRIVLJENOG DIJELA PLOVNOG PUTA	57
6. MODEL NASUKANJA BRODA	61
6.1. ANALIZA POSTOJEĆIH MODELA NASUKANJA BRODA	64
6.2. ANALIZA UTJECAJA ISPRAVNOSTI PORIVNOG I KORMILARSKOG SUSTAVA NA KRETANJE BRODA	71
6.3. RAZVOJ SCENARIJA NASUKANJA BRODA	74
6.4. MODEL KRETANJA BRODA	76
6.5. NAČIN IZBORA KRIVULJE KRETANJA BRODA	77
6.6. MODEL PROMJENE BRZINE	82

7. POSLJEDICA NASUKANJA.....	84
7.1. ANALITIKA OŠTEĆENJA BRODA	84
7.1.1. <i>Mjesto oštećenja</i>	84
7.1.2. <i>Duljina oštećenja</i>	87
7.1.3. <i>Dubina oštećenja</i>	88
7.2. ODREĐIVANJE VELIČINE OŠTEĆENJA KAO POSLJEDICE NASUKANJA	89
7.2.1. <i>Razvoj scenarija nasukanja</i>	90
7.2.2. <i>Oštećenje pri nasukanju</i>	91
8. ODREĐIVANJE PRIHVATLJIVOG RIZIKA	94
8.1. OPĆI PRINCIP ZA OCJENU PRIHVATLJIVOSTI POMORSKIH PLOVIDBENIH RIZIKA	94
8.2. ODREĐIVANJE PRIHVATLJIVOSTI POMORSKIH PLOVIDBENIH RIZIKA	98
8.3. PRIMJENA MODELA NASUKANJA NA ODREĐIVANJE PRIHVATLJIVIH RIZIKA	99
8.4. PRIKAZ MODELA NASUKANJA	101
8.5. ANALIZA REZULTATA	103
8.6. MOGUĆNOSTI DALJNJEG RAZVOJA	104
9. ZAKLJUČAK	106
LITERATURA	109
POPIS OZNAKA	116
POPIS KRATICA	119
POPIS SLIKA	121
POPIS TABLICA.....	123
PRILOZI.....	124

1. UVOD

Svijest o zaštiti okoliša osnovna je zadaća svakog pojedinca kako današnjice tako i budućnosti. Zaštita okoliša mora imati jasan, cjelovit i dugoročni koncept i praktično ne ostavlja mogućnost alternative. Iako postoje očuvani dijelovi okoliša, s postojećim stanjem društvo ne smije biti zadovoljno, već treba težiti njegovom unapređenju. Opredjeljenje za boljom zaštitom okoliša podrazumijeva dogradnju postojećih sustava zaštite okoliša na način da se razvoj temelji na principu održivog razvoja, da se uspostavi cjeloviti sustav praćenja i ocjene stanja okoliša te da se posebno zaštite neki prostori od kojih je more jedno od važnijih. Mjere zaštite okoliša treba prilagoditi klimatskim promjenama i uvođenju novih tehnologija.

Briga o zaštiti okoliša postoji i danas u obliku raznih normi, a za njihovo provođenje treba imati jasno izraženu političku volju te definiran program i plan kako bi se željeno postiglo. Temeljno je implementiranje standarda i kriterija za zaštitu okoliša što zahtijeva angažman ljudskih i financijskih resursa, a što se može osigurati samo dugoročnim usmjeravanjem kroz strateško opredjeljenje i pažljivo planiranje.

Koncept održivog razvoja traži da se na budućnost zaštite okoliša gleda u znatno širem kontekstu. Usmjerenje ka održivom razvoju zahtijeva da se ciljeve zaštite okoliša uskladi s dugoročnim nacionalnim, socijalnim i ekonomskim interesima. Vrijedi i obrnuto da valja ostvariti gospodarski i socijalni napredak, ali uz dugoročno očuvanje stanja okoliša.

Osim primjene postojećih propisa valja napore usmjeriti i na donošenje novih jer postojeći propisi nisu dovoljni. Posebno se to odnosi na one o moru, što je rezultat nepostojanja ili nedovoljne koordinacije stručnih i znanstvenih institucija pri njihovu donošenju.

Obalno područje, more i otoci jedno su od najvrednijih i najosjetljivijih dijelova na Zemlji i neprekidno su izloženi negativnom utjecaju brojnih ljudskih djelatnosti. Djelatnosti koje se na tom prostoru odvijaju generiraju povećane rizike u odnosu na druga područja. Zbog razvoja društva jasno je da rizike nije moguće isključiti, ali ih treba ograničiti na prihvatljive veličine.

Zbog toga je nužno potrebno započeti primjenjivati princip upravljanja rizikom od svih vrsta opasnosti kojima je more i njegova obala izložena. Pritom je osnovno kroz legislativu definirati vrijednosti prihvatljivih rizika. Jedan od doprinosa ovog rada je upravo definiranje prihvatljivosti dijela pomorskih plovidbenih rizika. Odluke kojima se definira vrijednost prihvatljivog rizika treba donositi na osnovi znanstvene, stručne i društvene procjene na svim razinama odlučivanja u društvu.

1.1. OBRAZLOŽENJE TEME DOKTORSKE DISERTACIJE I DEFINICIJA PROBLEMA ISTRAŽIVANJA

Više od 80 % roba u svjetskoj trgovini prevozi se brodovima koji kao plovni put koriste more. More se nadalje iskorištava za ulov ribe, razonodu, a njegovo podmorje koristi se i za iskorištavanje nafte i plina.

Plovidba broda, iskorištavanje mora i podmorja izloženi su mnogobrojnim opasnostima. Svaka od opasnosti utječe na sigurnu plovidbu ili na proces eksploatacije mora i podmorja. Dakle, svaka od tih aktivnosti generira određeni rizik, a s obzirom na neophodni razvoj društva jasno je da nije moguće rizike potpuno isključiti.

Pojam rizika upotrebljava se u svakodnevnom životu i može se primijeniti na mnoge postupke i djelatnosti. Iako je definicija rizika vrlo jednostavna, sama vrijednost rizika je i dalje upitna zbog velikog broja neizvjesnih i dvojbjenih podataka koji su potrebni za procjenu rizika. Nakon što se rizik i procijeni, korištenjem raznih metoda, postavlja se pitanje je li procijenjeni rizik prevelik, treba li poduzeti neke mjere umanjavanja rizika, kolika će biti korist od poduzetih mjera, itd.

Upravo ova činjenica nametnula je potrebu određivanja tzv. prihvatljivog rizika što zahtijeva provođenje principa upravljanja rizikom. Pritom, nije dovoljna kvalitativna procjena rizika, već kvantitativna koja procjenjuje rizik određene aktivnosti pridružujući joj određenu brojčanu vrijednost.

Oba načina procjene rizika ne rješavaju problem rizika do kraja jer se postavlja pitanje koji su to prihvatljivi ili podnošljivi rizici. Dakle, nakon procjene rizika potrebno je provesti vrednovanje prihvatljivosti rizika, a u slučaju gdje rizik nije prihvatljiv valja utvrditi odgovarajuće mjere koje će rizik svesti na prihvatljivu veličinu.

Kriteriji prihvatljivosti rizika koji su unaprijed određeni predstavljaju temelj za donošenje odluka (*decision making*). Ovako određeni kriteriji prihvatljivosti određuju razinu rizika koja je prihvatljiva, a time određuju i potrebnu veličinu investiranja u smanjenje rizika. Donošenje odluka kroz unaprijed određene kriterije vrednovanja vrlo je racionalno i omogućuje izbjegavanje subjektivnosti pri donošenju odluka. Jasno određeni kriteriji prihvatljivosti rizika također omogućavaju uspoređivanje prethodne odluke s trenutnim i mogućim budućim odlukama, čime odluke postaju konzistentne kroz vrijeme.

Pomorska plovidba izložena je mnogim opasnostima, a nezgode koje iz njih proizlaze mogu imati dalekosežne posljedice. Nasukanje broda, jedno je od najčešćih pomorskih nezgoda koje se na moru događaju. Pritom, rijetko dolazi do gubitka ljudskih života, ali zato dolazi do zagađenja s negativnim posljedicama po okolinu. Princip prihvatljivog rizika ne traži da se potpuno eliminira rizik nasukanja, ali traži da rizik nasukanja bude prihvatljiv neovisno o vrsti broda, vrsti tereta ili području kojim brod plovi.

Da bi se prije navedeno omogućilo potrebno je odrediti odgovarajuće kriterije prihvatljivosti rizika nasukanja što je osnovna tema ove doktorske disertacije. Određivanjem kriterija prihvatljivosti rizika implementiranih na pomorsku plovidbu omogućilo bi se uspostavljanje odgovarajuće razine sigurnosti plovidbe različitih vrsta brodova s različitim vrstama tereta na različitim područjima plovidbe.

U okviru navedenog problema i predmeta istraživanja postavlja se i temeljna znanstvena hipoteza:

"Moguće je pomoću veličine oštećenja broda i posljedice koju će ono izazvati (pri nasukanju) procijeniti rizik nasukanja pri plovidbi ograničenim plovnim putem te odrediti veličinu prihvatljivog rizika koji će biti jednak neovisno o vrsti broda, vrsti tereta ili području kojim brod plovi."

1.2. CILJEVI ISTRAŽIVANJA I RADNE TEZE DOKTORSKE DISERTACIJE

Sigurnost općenito je vrlo važan cilj za društvo, ali nije i jedini cilj i primijenjeni kriteriji sigurnosti moraju biti usuglašeni s ostalim društvenim potrebama. Kada se raspravlja o ravnoteži između troškova i rizika, mogu se primijeniti mnogi različiti aspekti.

U stvarnosti se mogu pronaći i izabrati mnoge različite alternative kao mogući kriteriji evaluacije rizika za pomorsku zajednicu. Na raznolikost prihvatljivih kriterija utječu mnogi čimbenici kao što su stupanj razvoja društva, svijest o okolišu, ekonomski učinak i dr. Zbog toga je potrebno na nacionalnom, a u konačnici i na međunarodnom planu standardizirati postupak za donošenje odluka uključujući kriterije prihvatljivosti rizika koliko god je to moguće. Na taj način omogućila bi se jednoznačnost procjene rizika te kriterija prihvatljivosti rizika u budućnosti, a omogućila bi se i usporedba alternativnih prijedloga kao i usporedba s ranijim odlukama.

Kriterije prihvatljivosti rizika valja upotrebljavati kada se donose odluke o implementiranju kontrole rizika u formi pravnih instrumenata (npr. IMO konvencije, klasifikacijska pravila, drugi standardi u industriji), ali ne smiju se zanemariti ni pri primjeni u svakodnevnom donošenju odluka, npr. pri spašavanju života ili imovine, smanjenju onečišćenja mora i slično.

S obzirom na navedeno, cilj istraživanja je odrediti standardni postupak vrednovanja pomorskih plovidbenih rizika, posebice rizika nasukanja, te u slučaju da je rizik veći od graničnih vrijednosti omogućiti variranje ulaznih vrijednosti. Pri određivanju graničnih veličina koje definiraju sigurnu plovidbu, cilj je odvojeno istražiti kriterije sigurne plovidbe kada svi brodski sustavi rade ispravno od slučaja kada tijekom plovidbe dolazi do izvanrednog događaja, a mogućnost utjecaja posade na smanjenje posljedica izvanrednog događaja je mala ili praktično nemoguća.

Da bi se navedeni cilj istraživanja ostvario postavljeni su sljedeći zadaci:

- istražiti pravne propise na kojima se temelji procjena plovidbenih rizika u pomorstvu,
- analizirati pojmove koji se koriste pri procjeni rizika te ih jednoznačno definirati,
- istražiti postojeće kriterije sigurne plovidbe na ravnom i zakrivljenom dijelu plovnog puta, ocijeniti njihovu vrijednost te gdje je to moguće odrediti nove parametre plovnog puta uz primjenu novih spoznaja i načina istraživanja,
- analizirati dosadašnje teorijske i empirijske modele nasukanja broda,
- izraditi opći model kretanja broda i promjene brzine nakon nastanka izvanrednog događaja,

- analizirati dosadašnja istraživanja oštećenja broda pri nasukanju te teorijske i empirijske modele za određivanje veličine oštećenja kao posljedice nasukanja,
- odrediti kriterije za definiranje prihvatljivih rizika pri nasukanju koji bi se koristili pri donošenju odluka bitnih za sigurnost plovidbe na pojedinom dijelu plovnog puta ili u pojedinoj fazi pomorskog pothvata,
- predložiti mogućnosti daljnjeg istraživanja ovoga područja.

Za dobivanje što realnijih rezultata provedeni su intervjui s aktivnim pomorcima, peljarima, djelatnicima lučkih kapetanija, ekspertima iz područja hidrodinamike broda, manevriranja brodom, brodskih strojeva i sustava, konstrukcije broda i sustava pozicioniranja. Dobiveni podaci koriste se za usporedbu s istraživanjima provedenim na navigacijskim simulatorima te se zajednički vrednuju.

Rezultati istraživanja trebali bi predstavljati znanstveni doprinos tehničkim znanostima u teorijskom i praktičnom smislu.

1.3. OCJENA DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Dosadašnja istraživanja o principima za određivanje najprikladnijih kriterija pomorskih plovidbenih rizika obrađena su u stranoj znanstvenoj i stručnoj literaturi, dok je u domaćoj literaturi ova tema vrlo rijetka. U prije navedenoj literaturi zamjećuje se veliki broj stručnih radova koji se odnose na ovu temu, ali se doneseni kriteriji oslanjaju prvenstveno na stručnost pojedinca te su vrlo često subjektivni. Također, rezultati su ograničeni na usko područje u pomorstvu bez interakcije s ostalim, isto tako ne manje važnim čimbenicima sigurnosti plovidbenog procesa.

U znanstvenim istraživanjima prednjače istraživanja koja se odnose na određivanje kriterija prihvatljivih rizika po ljude, dok je u posljednje vrijeme sve više radova koji se odnose na određivanje prihvatljivih rizika u slučaju onečišćenja okoliša s brodova. Također, primjećuje se da je najveći broj radova povezan s rizicima u industriji iskorištavanja mora i podmorja. U tome prednjače radovi koji su povezani s navedenom industrijom u Norveškoj, Velikoj Britaniji i Sjedinjenim Američkim Državama.

Za određivanje kriterija prihvatljivosti koriste se ekonomske tehnike, ALARP¹ princip, princip uspoređivanja s kriterijima prihvatljivosti u drugim granama transporta, definiraju se razni indikatori i sl. Veliki broj autora kritički gleda na ekonomske tehnike za procjenu rizika i zaključuju da odluka o prihvatljivim rizicima mora biti donesena u odnosu na percepciju tog rizika u društvu, tj. naglašavaju da odluka ne smije biti nametnuta već donesena konsenzusom u društvu.

Iako su radovi novijeg datuma, pojedini autori naglašavaju da je rasprava o kriterijima prihvatljivih rizika u pomorstvu tek počela te daju primjere nelogičnosti kod upotrijebljenih metoda s nekim djelatnostima od velike ekonomske važnosti za društvo s malim brojem radnika kao što su npr. platforme za iskorištavanje podmorja. Nadalje, kritički se osvrću i na metode za određivanje prihvatljivosti rizika koje koriste statističke podatke stare i do 40 godina iz razloga što je došlo do velikih promjena u tehnologiji i okolini u kojoj se djelatnosti

¹ ALARP-As Low As Reasonably Practicable (toliko mali koliko je razborito)

odvijaju. Kod ovih autora vidi se različiti pristup rizicima u djelatnostima koje traju već dugi niz godina od onih koje su "mlade" ili potpuno nove.

U priloženom popisu radova prikazani su korišteni izvori o dosadašnjim saznanjima od kojih se krenulo u daljnja istraživanja.

Dakle, nedovoljno definirani kriteriji prihvatljivosti pomorskih plovidbenih rizika bili su povod da se u ovoj disertaciji obradi tematika koja će biti usmjerena na određivanje prihvatljivih kriterija plovidbenih rizika kako bi se u budućnosti lakše moglo unaprijediti pomorski promet, plovne putove, sredstva za označavanje plovnih putova, organizaciju službe nadzora pomorske plovidbe, itd., a sve s ciljem povećanja sigurnosti plovidbe.

1.4. STRUKTURA RADA

Struktura doktorske disertacije s naslovom "*Ocjena prihvatljivosti pomorskih plovidbenih rizika*" proizlazi iz definiranih ciljeva i zadataka te ocjene dosadašnjih istraživanja. Tekst je grupiran u devet povezanih dijelova.

U prvom poglavlju definirat će se problem i predmet istraživanja, postaviti znanstvena hipoteza, odrediti svrha i cilj istraživanja, dati ocjenu dosadašnjih istraživanja, prikazati način istraživanja te obrazložiti struktura disertacije.

U drugom poglavlju detaljno će se istražiti pravni propisi na kojima se temelji procjena plovidbenih rizika u pomorstvu. U tu svrhu istražiti će se propisi Međunarodne pomorske organizacije, Europske unije i propisi Republike Hrvatske.

U trećem poglavlju definirat će se pojmovi koji opisuju pomorski plovidbeni rizik. Kako u stvarnosti postoje različite definicije za isti pojam, cilj je u ovome dijelu jednoznačno definirati pojmove koji će se u radu koristiti.

U četvrtom poglavlju analizirat će se sigurnosni uvjeti na plovnom putu koji utječu na sigurnu plovidbu broda. Pojedinačno će se istražiti načini određivanja položaja broda, utjecaj okoline na kretanje broda te utjecaj brodske opreme na kretanje broda. Na kretanje broda utječe i ljudski faktor, ali se pretpostavlja da brodom upravlja, odnosno kormilari osoba koja se ponaša kao "dobar pomorac"² (*good seamanship*). Zbog toga se ljudski faktor ne vrednuje zasebno već kroz prije navedene elemente.

U petom poglavlju zasebno će se definirati koeficijenti za određivanje širine plovnog puta za svaki element analiziran u prethodnom poglavlju. Pritom će se odrediti koeficijenti za širinu ravnog dijela plovnog puta kod jednosmjerne i dvosmjerne plovidbe te koeficijenti za širinu zakrivljenog dijela plovnog puta. Širina plovnog puta određena na ovakav način smatrat će se sigurnom za plovidbu broda uz pretpostavku da svi brodski sustavi rade ispravno te da brodom upravlja i kormilari osoba koja se ponaša kao "dobar pomorac".

U šestom poglavlju bit će analizirani postojeći modeli nasukanja broda te utjecaj ispravnosti pogonskog i kormilarskog sustava na kretanje broda. Na osnovu zaključaka o kretanju broda nakon nastanka prije navedenih izvanrednih događaja, definirat će se scenariji za koje se želi izraditi model nasukanja broda i model promjene brzine. Kao zaključno u

² Navedeni pojam definira se kao ponašanje i postupci koji se mogu očekivati od prosječno sposobnog pomorca.

ovom poglavlju će se nakon izbora krivulje kretanja broda izraditi model nasukanja broda i model promjene brzine prema definiranim scenarijima.

U sedmom poglavlju opisat će se posljedica nasukanja. Pritom će se analizirati radovi raznih autora u svezi s mehanikom oštećenja broda pri nasukanju. Analizirat će se i statistički podaci o veličini oštećenja pri nasukanju koja su nastala u prošlosti. Nadalje, prikazat će se mogući načini određivanja veličine oštećenja kao posljedice nasukanja.

U osmom poglavlju prikazat će se opći princip koji bi valjalo koristiti za ocjenu prihvatljivosti pomorskih plovidbenih rizika te predložiti način određivanja prihvatljivosti pomorskih plovidbenih rizika. Nadalje, bit će prikazana primjena modela nasukanja na određivanje prihvatljivog rizika te simulacijski model nasukanja. Kao zaključno u ovom poglavlju navest će se mogućnosti daljnjeg razvoja simulacijskog modela.

U devetom, zaključnom poglavlju, ukratko će se istaknuti temeljni zaključci istraživanja i znanstveni doprinos rezultata. Osim toga, bit će predložene mogućnosti daljnjeg istraživanja ovoga područja, a na temelju saznanja do kojih se došlo tijekom istraživanja prikazanih u ovome radu. Obrazložit će se implikacije ovog istraživanja na čimbenike sigurnosti plovidbe te će se prikazati najznačajnije mogućnosti upotrebe rezultata istraživanja.

2. PРАВНА UTEMELJENOST PROCJENE PLOVIDBENIH RIZIKA U POMORSTVU

Metode procjene rizika započele su se primjenjivati 60-ih godina 20. stoljeća pri razvoju nuklearne industrije i tehnologije za istraživanje svemira. U 70-im godinama metode procjene rizika sve se više započinju primjenjivati i u procesnoj industriji³ koja se bavi opasnim tvarima, a predstavljaju prijetnju okolini. Prvi pravni propisi koji koriste metode procjene rizika odnose se upravo na opasnosti koje nastaju u procesnoj industriji. Razvojem svijesti društva o potrebi zaštite ljudi, imovine i okoliša od opasnosti koje nastaju sve većom i bržom industrijalizacijom dolazi do razvoja i primjene sve većeg broja propisa koji se odnose na rizike.

Od 70-ih godina dolazi do velikih promjena u tehnologiji gradnje brodova, prekrcajnih sredstava, projektiranju prilaznih plovnih putova i luka čime se i pomorstvo svakako pridružuje tehnologijama koje mogu imati vrlo veliki utjecaj na okolinu u slučaju nastanka nezgode. Prijetnje koje nastaju razvojem pomorstva svakako nisu adekvatno popraćene propisima koji bi te prijetnje umanjili, a do donošenja propisa najčešće dolazi na osnovu nezgoda koje su se dogodile⁴ i koje alarmiraju na promjene.

Pozitivna svijest u društvu o primjeni metoda procjene rizika u pomorstvu posljednjih desetljeća svakako je sve veća i veća, što je i rezultiralo donošenjem određenih propisa koji se odnose na pomorstvo. Analizirajući propise iz ovoga područja očito je da razvijenije zemlje više vode brigu o svom okolišu od manje razvijenih zemalja.

Za potrebe ovog rada u nastavku će se prikazati pravni propisi na kojima se temelji procjena plovdbenih rizika u pomorstvu. U tu svrhu prikazat će se propisi Međunarodne pomorske organizacije, Europske unije te propisi Republike Hrvatske.

Fizikalne veličine i mjerne jedinice koje se upotrebljavaju u ovom radu pisane su u skladu s *Pravilnikom o mjernim jedinicama* [76] i *Međunarodnim sustavom jedinica* (SI) [99]. Jedinice koje su izvan SI sustava ponegdje su upotrijebljene jer su smatrane posebno prikladnima za prikazani znanstveni rad.

2.1. MEĐUNARODNA POMORSKA ORGANIZACIJA

Međunarodna pomorska organizacija (*International Maritime Organization – IMO*) specijalizirana je organizacije Ujedinjenih naroda koja se bavi pitanjima sigurnosti plovidbe. Temeljna zadaća IMO-a je osigurati suradnju između država radi donošenja i usvajanja najviših primjenljivih standarda u pogledu pomorske sigurnosti, uspješnosti plovidbe te sprječavanja i nadziranja onečišćenja mora s brodova.

Iako su razmišljanja o donošenju propisa korištenjem metode procjene rizika u IMO-u postojala i ranije, prvo kružno (cirkularno) pismo Odbora za pomorsku sigurnost (MSC) i

³ Najprije u kemijskoj industriji.

⁴ Pojedini propisi čak dobivaju i ime prema nezgodi broda koja je potaknula promjenu propisa (npr. *Erika*, *Prestige*)

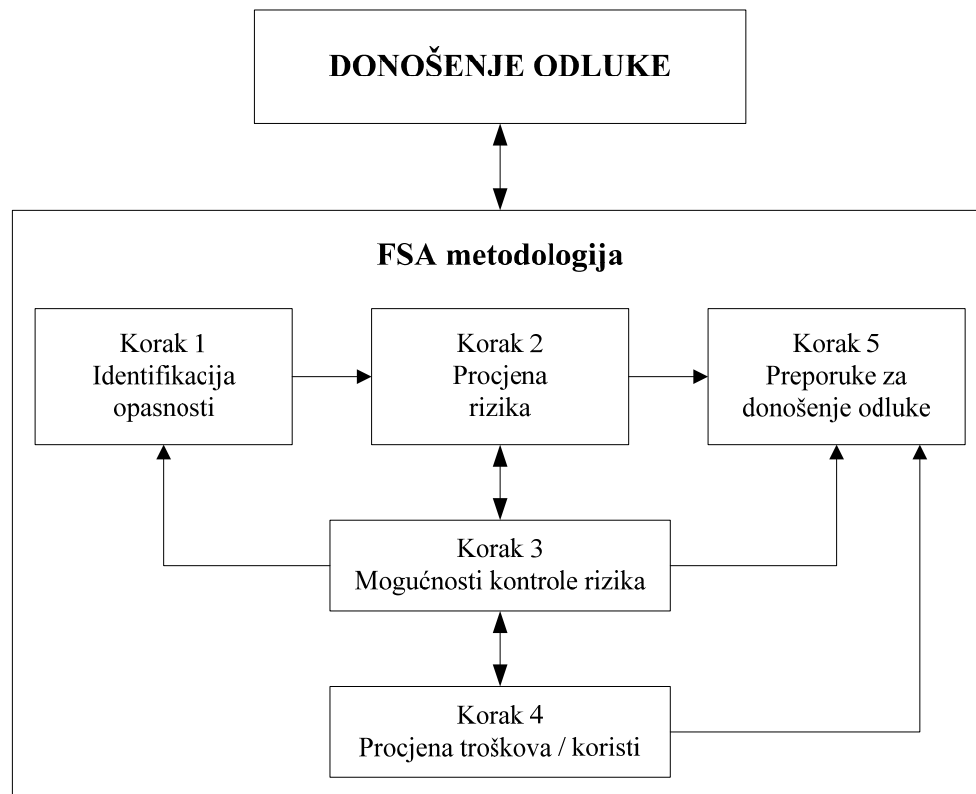
Odbora za zaštitu morskog okoliša (MEPC) doneseno je 2002. godine [71]. U pismu se preporuča korištenje metode formalne procjene sigurnosti (FSA).

FSA je strukturirana i sistematizirana metodologija čiji je cilj povećanje pomorske sigurnosti, uključujući zaštitu ljudi, zdravlja, morskog okoliša i imovine koristeći analizu rizika i procjenu troška/dobiti.

FSA se može koristiti kao alat koji pomaže pri evaluaciji novih propisa za pomorsku sigurnost i zaštitu morskog okoliša ili pri usporedbi između postojećih i mogućih poboljšanih propisa, slika 1. Pritom, FSA pruža pomoć pri izjednačavanju tehničkih i operativnih zahtjeva s novčanim izdacima koji su potrebni za njihovo postizanje.

FSA metodologija podrazumijeva provođenje sljedećih pet koraka:

1. Identifikacija (utvrđivanje) opasnosti
2. Procjena rizika (frekvencija pojavljivanja i posljedica) u svezi s tim opasnostima
3. Razmatranje alternativnog načina upravljanja tim rizicima
4. Procjenu “trošak/ korist” alternativnih načina upravljanja rizicima
5. Donošenje preporuke koji propis primijeniti.



Slika 1. Dijagram toka FSA metodologije [71]

U 2002. godini isti odbori (MSC i MEPC) donose Vodič [70] kojime informiraju sva državna tijela i organizacije uključene u pomorsku industriju o razlikama između HEAP⁵ i FSA metodologije. HEAP metodologija uzima u obzir ponašanje ljudi pri razvoju novih

⁵ HEAP – Human Element Analysing Process (Proces analize elemenata ljudskog ponašanja)

propisa. U dodacima 2 i 3 donose primjere upotrebe HEAP i FSA metodologije u procesu donošenja propisa pri IMO-u.

Odbor za pomorsku sigurnost (MSC) na svojem 81. zasjedanju 2006. godine donosi Rezoluciju [65] koja sadrži cjelokupan prikaz svih pristupa koji se oslanjaju na postojeće procjene rizika u području pomorstva. Svrha informacija u Rezoluciji je razviti diskusiju pri IMO-u o metodologiji i konceptu za donošenje novih standarda konstrukcije broda.

U Rezoluciji su opisane tehnike procjene rizika, FSA metodologija, primjena procjene rizika na pomorske nezgode na brodovima i na nezgode u industriji iskorištavanja mora i podmorja (*offshore*) te izvori podataka o nezgodama u pomorstvu (brodovi i industrija iskorištavanja mora i podmorja).

Rezolucija na kraju (figurativno) zaključuje da je procjena rizika u pomorstvu na pomolu i da je njena primjena u pomorstvu neminovna.

Zbog promjena koje su se dogodile u načinu korištenja i primjene FSA metodologije, 2007. godine, Odbor za pomorsku sigurnost donosi na svom 83. zasjedanju [69][66] konsolidirani tekst Vodiča iz 2002. godine uključivši i izmjene prihvaćene na 80. i 82. zasjedanju Odbora za pomorsku sigurnost.

Iako su naponi za primjenu metode procjene rizika u pomorstvu od strane IMO-a pozitivni, može se zaključiti da je obim propisa još daleko od onih koji se koriste za procjene rizika na kopnu. Nadalje, sama primjena metoda procjene rizika predstavlja lakši dio posla jer koristi postojeće alate koje treba prilagoditi rizicima u pomorstvu. Teži dio posla je nakon dobivene vrijednosti, koja u stvari predstavlja procijenjeni rizik neke opasnosti, odrediti racionalno je li ta vrijednost rizika prihvatljiva ili nije. Odrediti metodologiju ili vrijednosti kojima će se vrednovati prihvatljivost određenog rizika zadatak je koji u IMO-u tek predstoji.

2.2. EUROPSKA UNIJA

Europska unija podržava i potpomaže porast pomorskog prometa kroz razne akcije kao što su modernizacija infrastrukture, harmonizacija opreme i postupaka i sl. Porast prometa povlači za sobom i povećanje broja mogućih nezgoda što Europska unija svakako nastoji spriječiti. Zbog toga je prioritet Europske unije kroz propise povećati pomorsku sigurnost i zaštititi morski okoliš.

Propisi kojima se prije navedeno pri transportu roba morem želi postići obuhvaćaju:

- lučku infrastrukturu
- uvjete zapošljavanja i uvjete rada
- pomorsku sigurnost
- pomorski promet i okoliš
- sigurnosnu zaštitu.

Slično kao i kod IMO-a, Europska unija započinje s promišljanjem provođenja procesa procjene rizika u pomorstvu krajem 90-ih godina. Nezgode brodova za prijevoz tekućih tereta *Erika* (1999) i *Prestige* (2002) ubrzali su donošenje i primjenu propisa koji se odnose na sigurnost plovidbe i sprječavanje onečišćenja mora s brodova.

Pod pritiskom javnosti, nakon nezgode broda *Erika* na 40 nautičkih milja od francuske obale i izlijevanja 10 000 t teške nafte, Europska unija započinje radnje na razini Unije za

povećanjem sigurnosti prijevoza nafte i naftnih derivata brodovima Unije, odnosno ostalim brodovima koji pristaju u lukama Unije ili plove kroz njene teritorijalne vode. Europska komisija, 2000. godine, donosi priopćenje o sigurnosti pomorske trgovine uljima *COM(2000) 142 final*, popularno nazvano *Erika I* [45].

U priopćenju se predlažu mjere koje se na razini zajednice mogu početi provoditi odmah kao i zahtjevnije mjere koje bi trebalo pripremiti i započeti primjenjivati kasnije. Mjere koje se predlažu za trenutno provođenje su:

- provođenje pregleda i nadzora brodova od strane inspektora sigurnosti plovidbe prema posebnom planu s obzirom na prijašnja zaustavljanja broda i godine starosti broda,
- stroži nadzor na klasifikacijskim ustanovama kojima države članice povjeravaju tehnički nadzor nad brodovima,
- uvođenje propisa koji će ubrzati zamjenu brodova za prijevoz tekućih tereta s jednim trupom s onima dvostrukog trupa.

Mjere koje se predlažu za kasnije provođenje su:

- objediniti podatke svih tijela koja prikupljaju informacije o brodovima,
- pojačati nadzor kretanja brodova, posebno tamo gdje je on najgušći, ali i na dijelovima mora izvan teritorijalnih voda,
- stvoriti ustroj koji će omogućiti praćenja organizacije i efikasnosti nacionalnih inspekcija i omogućiti standardiziranje njihova rada.

Radi sprječavanja budućih nezgoda kao što je bila nezgoda broda *Erika*, predlaže se postizanje dogovora s tvrtkama koje se bave transportom i preradom naftnih derivata da ne unajmljuju više brodove za prijevoz tekućih tereta starije od 15 godina.

Iste godine, Europska komisija donosi priopćenje o drugom kompletu mjera pomorske sigurnosti koje slijede nakon potonuća tankera za prijevoz ulja *Erika (COM(2000) 802 final)*, popularno nazvano *Erika II* [46]. Njime se želi ubrzati provođenje priopćenja *Erika I* te se posebno naglašava da treba uspostaviti sustav praćenja brodova koji predstavljaju rizik po okolinu, a plove izvan teritorijalnih voda zemalja članica. Za te brodove u slučaju nezgode traži se primjereniji postupak bilo koje članice ili više njih zajednički.

Povrh navedenog traži se i sljedeće:

- poboljšati identifikaciju brodova u područjima vrlo gustog prometa,
- uspostaviti automatski sustav razmjene podataka o kretanju opasnih i onečišćujućih tereta,
- obvezati na posjedovanje uređaja za bilježenje podataka o putovanju broda (VDR) u svrhu istraživanja pomorskih nezgoda,
- ojačati međusobnu pomoć zemljama članicama u slučaju nezgode i rizika onečišćenja obale s brodova.

Na kraju se ponovno naglašava da treba osnovati Europsku agenciju za pomorsku sigurnost (EMSA).

U 2002. godini Parlament i Vijeće EU-a donosi propis [81] kojim se traži od članica donošenje propisa kojima će se ubrzati zamjena brodova za prijevoz tekućih tereta s jednostrukim trupom brodovima s dvostrukim trupom. Od članica se traži da se novi propisi

počnu provoditi do 2005. godine zbog toga što se očekuje da će se dio brodova za prijevoz tekućih tereta s jednostrukim trupom, koji nakon 2005. godine neće moći ploviti američkim vodama, prebaciti na europsko pomorsko tržište.

Razlog donošenja ovakvog propisa je povećani rizik nezgoda takvih brodova. Povrh navedenih mjera traži se i provođenje pojačanih pregleda⁶ na svim brodovima s jednostrukim trupom starijih od 15 godina radi otkrivanja mogućih strukturnih oslabljenja.

Iste godine, Parlament i Vijeće EU-a donosi propis kojim se uspostavlja Europska agencija za pomorsku sigurnost (EMSA) [80] i propis kojim se traži uspostava sustava nadzora i informiranja brodova uključenih u pomorski promet [48].

Uloga EMSA-e je da članicama i komisiji omogući tehničku i znanstvenu potporu kako bi se osigurala ispravna primjena propisa Unije u području sigurnosti pomorskog prometa, pratila njihova implementacija i vrednovala njihova efikasnost.

S obzirom na trenutni položaj Republike Hrvatske u odnosu na Europsku uniju, za Republiku Hrvatsku vrlo je važna zadaća EMSA-e kojom je ona odgovorna nadzirati donošenje i provođenje propisa u svezi s pomorskim prometom u skladu s Direktivom 2002/59/EC da bi se olakšala kooperacija između članica i Komisije na tom polju.

Cilj uspostave sustava nadzora i informiranja brodova je da pomaže pri sprječavanju nezgoda i onečišćenja mora te da umanjuje njihove posljedice na okoliš, ekonomiju i zdravlje lokalne zajednice.

Sustav predviđa obvezno slanje određenih podataka u svezi s brodom lučkim vlastima, najmanje 24 sata prije dolaska u luku, praćenje brodova za koje se procijeni određeni rizik nastanka nezgode kako bi se moglo brzo intervenirati u slučaju nezgode, obavještanje brodova u pogibelji o najboljem području zakloništa i dr.

Parlament i Vijeće EU-a na zasjedanju 2009. godine donosi propis [49] kojim želi smanjiti broj brodova koji plove teritorijalnim morima zemalja članica, a ne udovoljavaju postojećim sigurnosnim standardima. Navedeno se želi postići provođenjem posebnih propisa od strane inspekcije sigurnosti plovidbe.

Svim brodovima koji dolaze u luke ili na sidrišta članica na osnovi baze podataka pridružuje se profil rizika koji određuje obvezu provođenja pregleda, interval između pregleda i svrhu pregleda. Profil rizika brodovima se dodjeljuje na osnovi kombinacije generičkih parametara i podataka o brodu u bazama podataka. Generički parametri određuju se na osnovi vrste broda, starosti broda, države pripadnosti, klasifikacijske ustanove broda i podataka o brodaru u bazama podataka. Iz podataka o brodu u bazama podataka utvrđuje se broj dosadašnjih registriranih nedostataka na brodu i zaustavljanja broda.

Na temelju dobivenih parametara brodu se može odrediti jedan od sljedećih profila rizika:

- visokorizični brodovi (*High Risk Ship – HRS*)
- umjereno rizični brodovi (*Standard Risk Ship – SRS*)
- niskorizični brodovi (*Low Risk Ship – LRS*)

⁶ CAS – Condition Assessment Scheme (Shema za procjenu stanja broda)

Kako je prije navedeno, profil rizika broda određuje obvezu provođenja pregleda broda.

O propisima EU-a kojima se regulira procjena rizika u pomorstvu može se donijeti sličan zaključak kao i za propise IMO-a. Postoji veliki nesrazmjer između broja propisa s tematikom rizika između pomorskog prometa i drugih grana prometa, a metodologija ili vrijednosti kojima bi se određivala prihvatljivost rizika ne postoje. Pozitivni je pomak prije navedena Direktiva (2009/16/EC), jer u Dodatku II. donosi parametre na osnovi kojih se vrednuje pojedini brod, a rezultat je dodijeljeni profil rizika. Iako su parametri u navedenom dodatku određeni na osnovi statističkih podataka o nezgodama različitih vrsta brodova i godinama starosti broda, a ne na osnovi procjene rizika pojedinog parametra, ovakav pristup svakako ohrabruje.

2.3. PROPISI REPUBLIKE HRVATSKE

U Republici Hrvatskoj propisi u svezi sa zaštitom okoliša mogu se podijeliti na one koji se općenito primjenjuju na sve vrste opasnosti i one opasnosti koje se odnose samo na more i pomorski promet. U nastavku će se ukratko navesti propisi kod kojih se može napraviti poveznica s ciljem ovoga rada.

Osnovni općeniti propis je *Uredba o procjeni utjecaja na okoliš* [82] kojom se određuju zahvati za koje je potrebna procjena utjecaja na okoliš, sadržaj studije o utjecaju na okoliš, komisija za ocjenu utjecaja zahvata na okoliš, način sudjelovanja javnosti, zaključak komisije i druga pitanja o procjeni utjecaja na okoliš. Kod postupka procjena utjecaja na okoliš traži se ocjenjivanje prihvatljivosti namjeravanog zahvata s obzirom na okoliš i određivanje potrebnih mjera zaštite okoliša.

Sličnog sadržaja je i *Uredba o procjeni utjecaja zahvata na okoliš* [83] kojom se pobliže određuju zahvati za koje se provodi procjena utjecaja zahvata na okoliš. Razlikuju se zahvati za koje je potrebna obvezna procjena utjecaja na okoliš (Prilog I.), od onih za koje je potrebna ocjena o potrebi procjene utjecaja zahvata na okoliš (Prilog II. i III.). U Prilogu I. navodi se da je za zahvate na plovnim putovima, lukama otvorenim za javni promet i lukama posebne namjene, obvezna procjena utjecaja zahvata na okoliš.

Prije navedene uredbe samo napominju da je potrebna procjena utjecaja na okoliš bez da imalo konkretno ulaze u problematiku procjene rizika i određivanje prihvatljivog rizika.

Temeljni propis kojim se utvrđuju morski i podmorski prostori Republike Hrvatske, uređuju pravni odnosi u njima, sigurnost plovidbe u unutarnjim morskim vodama i teritorijalnom moru Republike Hrvatske, zaštita i očuvanje prirodnih morskih bogatstava i morskog okoliša i dr. je *Pomorski zakonik* [75]. Prema Pomorskom zakoniku, ministar može u unutarnjim morskim vodama i u teritorijalnom moru Republike Hrvatske odrediti i propisati obvezne plovne putove, sustave odijeljenog prometa, sustave javljanja brodova, te način upravljanja pomorskim prometom radi sigurnosti plovidbe za sve ili za neke vrste plovnih objekata.

Nadalje, u svrhu sigurnosti plovidbe, zaštite mora od onečišćenja, sprječavanja ugroženosti biološke i krajobrazne raznolikosti, kao i radi umanjenja opasnosti od većih pomorskih nezgoda, ministar može zabraniti plovidbu pojedinim dijelovima unutarnjih

morskih voda ili teritorijalnog mora za određene vrste i veličine brodova, odnosno za brodove koji prevoze određenu vrstu tereta.

Pomorskim zakonikom predviđeno je u području unutarnjih morskih voda, teritorijalnom moru i zaštićenom ekološko-ribolovnom pojasu provođenje radnji nadzora i upravljanja pomorskim prometom. Poslovima nadzora i upravljanja pomorskim prometom (VTMIS) obuhvaćeno je prikupljanje podataka o pomorskim objektima i pomorskom prometu, davanje podataka pomorskim objektima, davanje plovidbenih savjeta i podrške u plovidbi pomorskim objektima te organizacija plovidbe i upravljanje pomorskim prometom.

Postupci i radnje koje su omogućene Pomorskim zakonikom svakako se mogu shvatiti kao mjere umanjavanja rizika, iako se procjena rizika i kriteriji za određivanje prihvatljivog rizika u Pomorskom zakoniku ne spominju.

Slično kao u Europskoj uniji, Republika Hrvatska je *Zakonom o postupnom isključenju iz plovidbe tankera bez dvostruke oplate* [84] uredila postupak isključenja iz plovidbe tankera bez dvostruke oplate i uvođenja u plovidbu tankera s dvostrukom oplatom ili drugim jednakovrijednim zahtjevima za gradnju sukladno zahtjevima Međunarodne konvencije o zaštiti mora od onečišćenja s brodova, 1973./78. (MARPOL 73/78.) i zabranila prijevoz teških frakcija ulja u luke ili iz luka Republike Hrvatske tankerima s jednostrukom oplatom.

Zakon se primjenjuje na tankere za prijevoz ulja nosivosti 5000 t i više koji uplovljavaju u luke Republike Hrvatske, neovisno o zastavi koju viju. Ovim Zakonom se od 2015. godine zabranjuje plovidba svim tankerima za prijevoz ulja kategorije 2 i 3, s jednostrukom oplatom.

Prije navedenog Zakona, donesena je i *Naredba o plovidbi teritorijalnim morem i unutrašnjim morskim vodama Republike Hrvatske* [72] kojom se zabranjuje plovidba unutrašnjim morskim vodama i teritorijalnim morem Republike Hrvatske brodovima starijim od 25 godina kada prevoze ulje u razlivenom stanju, opasne i štetne kemikalije u razlivenom stanju i ukapljene plinove u razlivenom stanju između luka Republike Hrvatske.

Osim navedene Naredbe, Republika Hrvatska je donijela i *Naredbu o plovidbi u prolazu u šibensku luku, u Pašmanskome tjesnacu, u prolazu Mali Ždrelac i Vela vrata, rijekama Neretvom i Zrmanjom, te o zabrani plovidbe Pelješkim, Koločepskim, Unijskim kanalom i kanalom Krušija, dijelovima Srednjega kanala, Murterskoga mora i Žirjanskoga kanala* [73]. Ovom se Naredbom uređuje način i uvjeti plovidbe hrvatskih i stranih brodova, hrvatskih i stranih ratnih brodova i tehničkih plovniha objekata, te hrvatskih i stranih brodice i jahti navedenim područjima.

Sva tri navedena propisa kojima se ili uređuje plovidba tankera ili svih ostalih vrsta brodova mogu se shvatiti kao mjere za umanjavanje rizika od nezgoda.

Rukovanje opasnim tvarima u pomorskom prometu uređeno je *Pravilnikom o rukovanju opasnim tvarima, uvjetima i načinu obavljanja prijevoza u pomorskom prometu, ukrcavanja i iskrcavanja opasnih tvari, rasutog i ostalog tereta u lukama, te načinu sprječavanja širenja isteklih ulja u lukama* [78]. Pravilnikom se traži da brod koji prevozi opasne ili onečišćujuće tvari prije uplovljenja u luku, lučkoj upravi mora podnijeti pisanu Deklaraciju o opasnim ili onečišćujućim tvarima. Deklaracija mora sadržavati podatke o

brodu kao što su nosivost, gaz, duljina broda, luka odredišta, u slučaju broda za prijevoz tekućeg tereta, ima li dvostruku oplatu te podatke o teretu kao što su tehnički naziv, IMO klasa tereta, UN broj, količina i smještaj takvih tvari na brodu.

Vrlo važan propis kojim je uređena plovidba brodova, jahti, brodica i hidroaviona je i *Pravilnik o uvjetima i načinu održavanja reda u lukama i na ostalim dijelovima unutarnjih morskih voda i teritorijalnog mora Republike Hrvatske* [79]. Između ostalog, ovim Pravilnikom je propisano da svi brodovi neovisno o državnoj pripadnosti koji uplovljavaju u luke Republike Hrvatske moraju biti opremljeni VDR-om sukladno vremenskom rasporedu propisanom u Prilogu 3. ovoga Pravilnika. Podaci s VDR uređaja uvelike olakšavaju istraživanje pomorskih nezgoda.

U skladu s propisima Europske unije je i *Pravilnik o obavljanju inspekcijskog nadzora sigurnosti plovidbe* [77] kojim je propisan inspekcijski nadzor nad pomorskim objektima, uključujući nadzor primjene zakona kojim se uređuje postupno isključivanje iz plovidbe tankera bez dvostruke oplate, te zakona kojim se uređuje sigurnosna zaštita na brodovima, nadzor nad zaštitom mora od onečišćenja s pomorskih objekata, nadzor nad održavanjem i obilježavanjem plovnih putova u teritorijalnom moru i unutarnjim morskim vodama i objektima za sigurnost plovidbe na tim plovnim putovima, nadzor nad obalnim radijskim postajama i radijskom službom, posebno u odnosu na zahtjeve posebnog propisa kojim se uređuje prijevoz i rukovanje opasnim tvarima, nadzor plovidbe i peljarenja, nadzor nad provedbom odredaba posebnog propisa kojim se uređuje red u lukama i na ostalim dijelovima unutarnjih morskih voda i teritorijalnog mora Republike Hrvatske i dr.

Prema ovom Pravilniku, u skladu s pravnom regulativom Europske unije, lučka kapetanija može pojedinim brodovima odbiti uplovljenje u luku Republike Hrvatske. Navedena zabrana uplovljenja odnosi se na brodove koji viju zastavu države navedene na crnoj listi godišnjeg izvješća *Memoranduma*⁷, kojima je izrečena mjera zabrane isplovljenja više od dva puta u zadnjih 24 mjeseca u lukama država potpisnica *Memoranduma* i koji vije zastavu države navedene na crnoj listi godišnjeg izvješća *Memoranduma* kao država "vrlo velikog rizika" ili "velikog rizika".

Propis koji sveobuhvatno uređuje predmet rizika je *Plan intervencija kod iznenadnih onečišćenja mora* [74]. Ovim Propisom utvrđuju se postupci i mjere za predviđanje, sprječavanje, ograničavanje, spremnost za i reagiranje na iznenadna onečišćenja mora i na izvanredne prirodne događaje u moru radi zaštite morskog okoliša. Plan intervencija se primjenjuje kod iznenadnog onečišćenja mora uljem i/ili smjesom ulja razmjera većeg od 2 000 m³, opasnim i štetnim tvarima, a za neželjene događaje manjeg opsega od navedenog primjenjuje se Županijski plan intervencija kod iznenadnih onečišćenja mora.

Vrste rizika i prijetnji od onečišćenja mora predviđenih ovim planom su nezgode na moru koje uključuju sudar brodova, nasukavanje, požar, eksploziju, kvar na konstrukciji, nezgodu pri upravljanju brodom ili drugi događaj na brodu ili izvan njega te ostale nezgode.

⁷ *Memorandum* jest Pariški memorandum o suglasnosti o nadzoru države luke

Na županijskoj razini navedene postupke i mjere provodi Županijski operativni centar (ŽOC). Jedan od zadataka ŽOC-a je i izrada procjene rizika i osjetljivosti područja primjene Županijskog plana intervencija.

Procjena rizika obuhvaća određivanje područja većeg rizika za onečišćenje mora (kao npr. plovni putovi tankera), procjenu količine mogućeg ispuštanja ulja i/ili smjese ulja i opasnih i štetnih tvari i njihov utjecaj na posebno osjetljiva područja, određivanje broja i frekvencije uplovljavanja brodova koji prevoze ulje i/ili smjese ulja i opasne i štetne tvari, njihovu nosivost te gustoću prometa ostalih brodova, analize oceanografskih, hidrografskih i meteoroloških podataka, prikaz zabilježenih onečišćenja mora uljem i/ili smjesom ulja, opasnim i štetnim tvarima te ekonomsku valorizaciju mogućeg onečišćenja mora.

S obzirom na navedeno u ovome poglavlju, može se zaključiti da se pojam rizika spominje u raznim propisima kao i mjere kojima se rizici mogu umanjiti što predstavlja već i princip upravljanja rizicima. Ono što svakako nedostaje, a isti je slučaj i kod propisa IMO-a i Europske unije, je odrediti vrijednosti ili metode kojima će se vrednovati je li neki rizik prihvatljiv ili ne.

Odrediti jednoznačne kriterije za procjenu rizika u pomorstvu bit će teško i u budućnosti jer postoje velike razlike u obilježjima brodova, opremljenosti, područjima plovidbe, itd., što kod drugih vidova transporta nije slučaj. Kod drugih grana transporta je standardizacija mnogo izraženija, pa je ujedno i donošenje jednoznačnih propisa jednostavnije.

3. KLASIFIKACIJA POMORSKIH PLOVIDBENIH RIZIKA

3.1. OPĆE DEFINICIJE VEZANE ZA RIZIKE U POMORSTVU

U znanstvenim i stručnim radovima mogu se pronaći različite definicije pojmova koji su povezani s pomorskim plovidbenim rizicima. Neke od tih definicija opisuju pojam na različite načine, ali je njihovo značenje isto, dok neke za isti pojam daju različito značenje. Cilj ovoga poglavlja je jednoznačno definirati pojmove koji će se koristiti u radu.

Mnogi autori definiraju brod kao sustav koji se sastoji od više podsustava. Dok svi podsustavi rade ispravno, što predstavlja rad unutar zahtijevanih granica sigurnosti, može se reći da cijeli sustav radi normalno i da ne prijete neka opasnost. Brod je sustav kome ne prijete samo opasnost iznutra, već i izvana, pa valja uzeti u obzir stanje mora, brzinu vjetrova i morske struje, dubine na plovnom putu, širine plovnog puta, vidljivost, promet drugih brodova, itd. Dakle, iako svi unutarnji podsustavi broda rade ispravno, vanjski utjecaji mogu predstavljati opasnost po sigurnu plovidbu broda. Jasno je da će se brod sa svojim podsustavima suprotstaviti djelovanju vanjskih utjecaja koji brod namjeravaju iz stanja sigurne plovidbe dovesti u stanje opasne plovidbe. Međutim, ne može se svaki vanjski utjecaj odmah smatrati opasnim. Djelovanje vanjskog utjecaja može zahtijevati određenu radnju nekog od podsustava broda, ali ta radnja može biti uobičajena za otklanjanje prijeteće opasnosti. Da bi se vanjski utjecaj smatrao opasnim on mora biti određenog intenziteta (kao npr. veliki valovi uzrokovani nevremenom) ili takvih obilježja da predstavlja opasnost (kao npr. mala dubina u odnosu na gaz broda, odnosno mali slobodni prostor ispod kobilice).

Događaji na brodu koji se ne smatraju uobičajenim slijede isti obrazac, započinju s ispravnim stanjem sustava broda, a završavaju s nezgodom. S obzirom na cilj ovog rada, a to je određivanje prihvatljivih pomorskih plovidbenih rizika, nije se dovoljno zaustaviti na nezgodi već je potrebno odrediti i sljedeći čimbenik, a to je posljedica nezgode.

Svaka nezgoda mora imati neki početni uzrok. Uzrok možemo definirati kao ponašanje ili događaj koji dovodi do opasnosti ili izvanrednog događaja. Kako uzroka koji dovode do nezgode može biti i više, prvi koji vodi ka opasnom događaju ili nezgodi naziva se inicijalni ili početni događaj.

U definiciji pojma uzrok, navedena su dva pojma, opasnost i izvanredni događaj. Oba pojma često su definirana od strane različitih autora ili organizacija na različite načine.

Prema definiciji NASA-e⁸ [106], opasnost je stvarno moguće stanje koje izaziva smrt ili ozljedu ljudi, štetu, gubitak opreme ili imovine. Opasnost je jednodimenzionalna veličina i mjeri se veličine i snage događaja.

Prema V. Janešu i B. Čavraku [5], opasnost je fizikalna ili kemijska značajka pojedinih tvari, sustava ili proizvodnog procesa, ili njihova kombinacija. Autori dalje navode da opasnost može štetno utjecati na život i zdravlje ljudi, kao i na okoliš te izazvati oštećenje ili uništenje imovine.

⁸ NASA - National Aeronautics and Space Administration (Američka agencija za svemirska istraživanja)

Prema IMO-u [62] opasnost se definira kao mogućnost (događaj) koja prijete (ugrožava) ljudske živote, zdravlje, imovinu ili okolinu.

Analizirajući prije navedene definicije može se zaključiti da je svima zajedničko da opasnost ne dovodi uvijek do nezgode, već ona predstavlja mogućnost da do nezgode dođe.

Prema DNV-u [88], bit opasnosti je u njenoj mogućnosti uzrokovanja štetnosti, neovisno koliko takva mogućnost može biti vjerojatna.

S obzirom na cilj ovog rada, opasnost se definira kao događaj koji može štetno utjecati na život i zdravlje ljudi, kao i na okoliš te izazvati oštećenje ili uništenje imovine. Dakle, opasnost predstavlja događaj koji može imati štetne posljedice na neke ili više prije navedenih kategorija.

Izvanredni događaj predstavlja događaj koji nije planiran od strane posade, a može rezultirati opasnošću po ljude, imovinu ili okoliš. Izvanredni događaj je nešto užiji pojam od pojma opasnosti. Iako i on pripada domeni opasnosti, ograničava se na događaj koji nije planiran od strane posade broda.

Uzroci koji dovode do opasnosti mogu biti:

- ljudska pogreška
- tehnički kvar:
 - izazvan ljudskom pogreškom
 - nije izazvan ljudskom pogreškom (skrivena mane sustava)
- viša sila (vanjski, nepredvidivi i neotklonjivi događaj).

U pomorskoj terminologiji često se spominje pojam izbjegnuta nezgoda (*near miss*). Ovim pojmom definirane su sve opasnosti do kojih je došlo, ali nisu rezultirale nezgodom. Dakle, iako je postojao uzrok koji je doveo do opasnosti, do nezgode nije došlo. Nezgoda je izbjegnuta ili slijedom okolnosti, ili određenim poduzetim popravničkim radnjama.

Ako je opasnost dovela do neželjenih posljedica tada se takav događaj definira kao nezgoda. Neki autori koriste samo termin nezgoda, dok drugi dijele nezgode na incident i akcident.

Prema V. Janešu i B. Čavraku [5], incident je neplanirani događaj s neželjenim posljedicama, a karakterizira ga manji opseg posljedica, tj. posljedice ostaju u granicama sustava. Incident se može, ali i ne mora razviti u akcident. Akcident definiraju kao incident sa slijedom događaja koji dovode do većih posljedica i utjecaja na sigurnost, a pretpostavlja se da posljedice prelaze granice sustava. U nastavku navode da se u terminologiji mogu pronaći i ekvivalentni izrazi za incident – nezgoda i za akcident – nesreća.

Prema IMO-u [62] nezgoda (*accident*) se definira kao nenamjerna (nehotična) događaj koji uključuje smrtnost, povrede ljudi, gubitak broda ili njegovo oštećenje, gubitak ili oštećenje druge imovine ili štete po okoliš.

S obzirom na cilj ovog rada prihvaća se definicija nezgode prema IMO-u.

3.2. POJAM POMORSKOG PLOVIDBENOG RIZIKA

U pomorstvu postoji veći broj podjela nezgoda, a podjela ovisi o autoru ili udruženju ili cilju s kojim se podjela radi. Najčešće se podjele rade u svrhu statističkog praćenja vrsta i broja nezgoda. Pomorske nezgode najčešće se dijele na:

- sudar
- udar
- nasukanje
- požar/eksplozija
- prodor vode
- potonuće
- gubitak stabilnosti
- onečišćenje okoliša.

Valja naglasiti da je onečišćenje okoliša često posljedica neke od navedenih pomorskih nezgoda, ali i ne mora biti. Zbog vrlo velikih posljedica, onečišćenje se često ubraja u pomorske nezgode.

Kako je već prije navedeno, s obzirom na cilj ovog rada, potrebno je definirati i posljedice nezgode. Posljedice nezgoda razmatraju se ovisno o tome na koga utječu. U slučaju pomorskih nezgoda one mogu izazvati posljedice na:

- pojedinca (prolazne ili trajne povrede, invalidnost ili gubitak života),
- društvo (isto kao i za pojedinca samo što se uzima u obzir veća skupina ljudi, a često se podrazumijeva da ta skupina ne sudjeluje u tom procesu već je izvan njega),
- imovinu i prava (materijalne posljedice kao što su gubitak imovine, gubitak prihoda, troškovi za umanjenje posljedica onečišćenja i dr.),
- okoliš (prolazna ili trajna promjena šireg ili užeg okoliša).

Povrh prije navedenih pojmova treba još definirati i pojmove koji su povezani s pomorskim plovidbenim rizikom. U stvarnosti postoji mnogo definicija rizika te će se u nastavku iznijeti samo neke od njih.

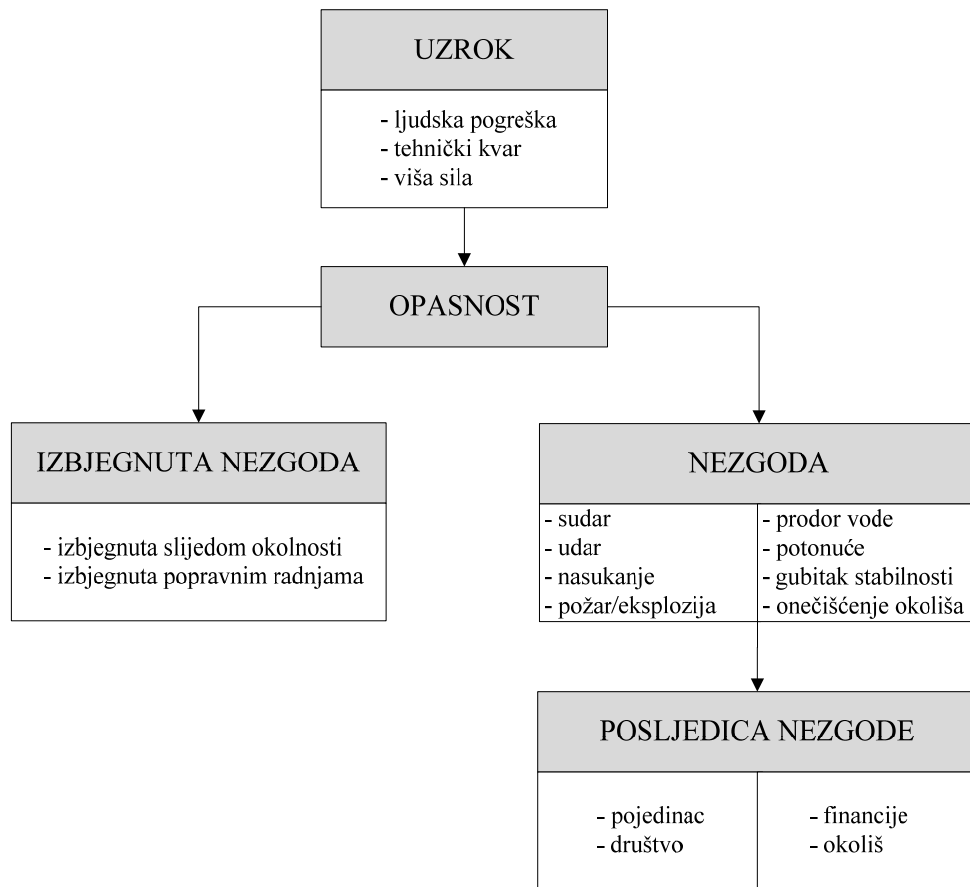
Prema V. Janešu i B. Čavracu [5][4] rizik je mjerilo opasnosti kojom neki objekt ili djelatnost može utjecati na okolinu, a funkcija je učestalosti i veličine mogućih posljedica.

Prema NASA-i [106] rizik je vjerojatnost nastupa nekog neželjenog događaja određene veličine ili snage (umnožak učestalosti i posljedice) s neizvjesnim krajnjim ishodom. Rizik je dvodimenzionalna veličina te općenito ima značenje mjere neizvjesnosti budućeg događaja.

Prema IMO-u [62] rizik je mjera vjerojatnosti da će se neželjeni događaj dogoditi zajedno s mjerom posljedica koje iz njega proizlaze u određenom vremenu, tj. kombinacija učestalosti nezgode i ozbiljnosti posljedica.

Pomorski rizici predstavljaju rizike nastupa onih opasnosti koje su svojstvene pomorskom prometu. Ovakva definicija određuje rizike vrlo široko i obuhvaća sve rizike koji se mogu dogoditi tijekom plovidbe broda, boravka broda u luci, tijekom prekrcajnih operacija,

tijekom popravka, financijske rizike poslovanja i dr. S obzirom na cilj ovog rada valja jasno definirati plovidbene rizike.



Slika 2. Uzročno-posljedični slijed događaja kod pomorskih nezgoda

Pojam plovidba broda podrazumijeva skup radnji koje će omogućiti da brod dođe od mjesta polaska do mjesta dolaska u nekom konačnom vremenu na siguran način. Da bi se preciznije odredilo pojam "plovidbe" koristit će se definicija iz Konvencije o međunarodnim pravilima o izbjegavanju sudara na moru (COLREG) [47]. Prema navedenim pravilima riječ "plovi" označava da brod nije usidren ili privezan uz obalu ili nasukan. Stoga će se plovidbom smatrati samo onaj dio plovidbe kada se brod kreće. U skladu s definicijom iz Međunarodnih pravila o izbjegavanju sudara na moru kretanje se neće definirati brzinom. Naime, prema pravilima, ako se brod ne kreće kroz vodu jer je zaustavio strojeve i ako mu je brzina 0 čvorova, također se smatra da plovi.

Dakle, s obzirom na cilj ovoga rada, pomorski plovidbeni rizici predstavljaju rizik nastupa onih opasnosti koje su svojstvene pomorskom prometu, a događaju se kada brod "plovi".

Prihvatljivi rizik predstavlja razinu rizika kojeg je društvo svjesno i spremno ga je prihvatiti. Za odrediti prihvatljivi rizik potrebno je odrediti kriterije prihvatljivosti. Kriteriji prihvatljivosti predstavljaju određenu veličinu ili svojstvo prema kome se ocjenjuje ili odlučuje.

4. SIGURNOSNI UVJETI NA PLOVNOM PUTU

4.1. ODREĐIVANJE POLOŽAJA BRODA

Jedna od temeljnih zadaća osobe koja upravlja brodom je pratiti kretanje broda po planiranom putu. Navedena zadaća predstavlja jedan od koraka u sveukupnom planiranju putovanja. Važnost sredstava za navigaciju počiva u količini informacija (podataka) koje one daju osobi koja upravlja brodom. Osoba koja upravlja brodom može informacije primati vizualnim osmatranjem ili korištenjem elektroničkih sredstava koji omogućuju određivanje položaja s različitim točnošću.

Raspoloživost načina određivanja položaja i njena točnost uzimaju se u obzir već prilikom samog planiranja jer raspoloživi način određivanja položaja mora omogućiti sigurnu plovidbu broda određenim plovnim putom. Kako je u ovom radu cilj definirati prihvatljive plovidbene rizike pretpostavlja se da je planiranje putovanja učinjeno stručno i da ukoliko se brod kreće po planiranom putu neće doći u opasno područje. Stoga će se u nastavku analizirati načini određivanja položaja broda s obzirom na mogućnost praćenja kretanja broda po planiranom putu.

S obzirom da se razmatraju rizici pri plovidbi prilaznim plovnim putovima neće se razmatrati metode koje se koriste na ostalim dijelovima plovnog puta (npr. metode astronomske navigacije). Metode koje omogućuju određivanje položaja broda na prilaznim plovnim putovima su:

- metode terestričke navigacije
- metode elektroničke navigacije.

4.1.1. Određivanje položaja broda metodama terestričke navigacije

Terestrička navigacija obuhvaća metode grafičkog i analitičkog rješavanja zadataka vođenja broda osmatranjem prirodnih i izgrađenih objekata na obali, moru i dnu mora. Osnovni način pozicioniranja temelji se na korištenju dviju stajnica. U većini slučaja stajnica se određuje mjerenjem azimuta ili udaljenosti. Postoji veliki broj metoda određivanja položaja broda, ali s obzirom na cilj ovog rada analizirat će se samo one koje mogu omogućiti sigurnu plovidbu na određenom dijelu plovnog puta. Kako se precizno pozicioniranje zahtijeva samo u ograničenim plovnim područjima⁹ razmotrit će se jedino taj dio plovnog puta, a ostali dijelovi plovnog puta i metode koje se mogu koristiti na tim dijelovima neće se spominjati.

Ovisno o području plovidbe, meteorološkim i oceanološkim uvjetima i navigacijskim instrumentima koje brod posjeduje, osoba koja upravlja brodom treba izabrati onaj način određivanja položaja kojim će u što kraćem vremenu dobiti siguran položaj broda. Pri plovidbi područjem posebnih obilježja, a naročito ako je brzina broda velika¹⁰, način

⁹ Područje gdje su opasnosti za navigaciju blizu broda, a osoba koja upravlja brodom mora često provjeravati plovi li brod po planiranom putu te poduzimati popravne radnje ako su one potrebne.

¹⁰ Posljednjeg desetljeća uvelike se povećao broj brzih brodova. Navedena skupina u prošlosti je podrazumijevala neke putničke brodove, dio brodova za prijevoz hladnih tereta i brodove na zračnom jastuku, dok u današnjici navedena skupina uključuje HSC, HSS, putničke i ro-ro putničke brodove, a i veliki dio brodova za prijevoz kontejnera koji plove brzinama od 25 do 30 čv.

određivanja položaja koji iziskuje puno vremena, bez obzira što je točniji, nije uvijek najpogodniji. Zbog toga se često koriste pomoćne metode kojima se omogućuje sigurna plovidba, tzv. peljarske tehnike¹¹.

Prilikom određivanja stajnica, tj. pri mjerenju azimuta, pramčanih, horizontalnih i vertikalnih kutova, udaljenosti ili dubine, rezultat mjerenja je opterećen pogreškama. Pogreške koje nastaju ne mogu se točno odrediti, te uvijek ostane dio vrijednosti koji je nepoznat. Zbog toga kod stajnice postoji pogreška stajnice koja nastaje pri mjerenju i pogreška koja ostaje poslije ucrtavanja stajnice na kartu.

Pogreška stajnice nastala pri mjerenju je razlika između izmjerene vrijednosti i stvarne vrijednosti. Nastaje zbog nesavršenosti instrumenta, nesavršenosti čula čovjeka, netočnog rada i očitavanja rezultata mjerenja i drugih uvjeta koji utječu na mjerenje.

Pogreške koje nastaju prilikom mjerenja mogu se podijeliti u tri grupe: sistematske, slučajne pogreške i grubi previdi.

Pored spomenutih pogrešaka postoje i specifične pogreške pojedinih vrsta stajnica. S obzirom na cilj ovog rada razmotrit će se samo specifična pogreška stajnice kao pravca. Kod stajnice kao pravca postoji pogreška u azimutu poradi ukupne popravke kompasa i pogreška linije azimuta kao pravca na Merkatorovoj karti. U povoljnim uvjetima ova se pogreška [1] kreće kod žirokompasa do $\pm 0,5^\circ$, a kod magnetskog kompasa oko $\pm 1^\circ$. Iako se azimut definira kao linija položaja, on je u stvari, sektor položaja. Pogreška pri određivanju stajnice koja pritom nastaje može se definirati kao funkcija udaljenosti od objekta koji se osmatra i pogreške u mjerenju azimuta, tablica 1. Funkcionalna veza može se prikazati kao:

$$E_{lop} = f(d, \omega_{err})$$

gdje je:

E_{lop} – pogreška stajnice

d – udaljenost od objekta koji se osmatra (m)

ω_{err} – pogreška u smjerenju azimuta ($^\circ$).

Prema F. Benkoviću i dr. [1] u obalnoj navigaciji u povoljnim uvjetima smjerenja, pogreška u azimutu ne bi smjela biti veća od $\pm 1^\circ$.

Tablica 1. Pogreška položaja u metrima poradi pogreške u smjerenju azimuta od $\pm 1^\circ$

Pogreška u smjerenju azimuta	Udaljenost od smjieranog objekta (M)					
	0,25	0,5	1	2	3	5
$\pm 1^\circ$	16,2	32,3	64,6	129,3	193,9	323,2

Smanjenje veličine pogreške mjerenja azimuta moguće je postići postavljanjem markantnih objekata za mjerenje azimuta na manjoj udaljenosti od plovnog puta, ako je to u stvarnosti moguće.

¹¹ Peljarske tehnike ne određuju položaj broda (opaža se samo jedna stajnica), ali omogućuju kontrolu kretanja broda po planiranom putu na vrlo jednostavan i brz način.

4.1.2. Pomoćne metode za sigurnu plovidbu

Prije opisane metode određivanja položaja broda ne mogu zadovoljiti potrebe sigurne plovidbe u svim područjima plovidbe. Plovidba navigacijski teškim i opasnim područjem (u nastavku će se koristiti termin "ograničena plovna područja") zahtijeva od osobe koja upravlja brodom brzu i jednostavnu kontrolu kretanja broda. Tehnike koje to omogućuju nazivaju se "peljarskim tehnikama" i ne određuju položaj broda, ali omogućuju kontrolu kretanja broda po planiranom putu na vrlo jednostavan i brz način.

Budući da je cilj ovog rada odrediti prihvatljive pomorske plovidbene rizike, a jedan od vrlo važnih plovidbenih rizika je i rizik nasukanja, mogućnost kontrole kretanja broda po planiranom putu direktno će utjecati na rizik nasukanja. Kako je rizik nasukanja najveći u ograničenim plovnim područjima (uski kanali, plovni put, ulazi u luke, rijeke i sl.) može se zaključiti da će u tim područjima zahtjevi za kontrolom kretanja broda biti najveći. Također, može se zaključiti da uobičajene metode određivanja položaja broda koje su prije spominjane nisu adekvatne za plovidbu ograničenim plovnim područjem te će u nastavku ovog poglavlja, a i u drugim poglavljima u ovom radu mogućnost kretanja broda po planiranom putu biti vrednovana uz pretpostavku da se brod koristi peljarskim tehnikama pri plovidbi, ako su one raspoložive.

Peljarske tehnike koje se koriste u ograničenim plovnim područjima su:

- sigurni pokriveni smjer
- sigurni azimut.

Povrh navedenih u peljarske tehnike spada i sigurna udaljenost koja se može određivati i metodama terestričke navigacije, ali nisu ni brze ni jednostavne te nisu adekvatne za korištenje. Brzo i jednostavno korištenje ove tehnike uključuje korištenje radara (tehnika uključuje mjerenje sigurnih udaljenosti). Kako navedeni način spada u metode elektroničke navigacije detaljnije će se opisati u pripadajućem poglavlju.

Pri plovidbi ograničenim plovnim područjima najprecizniji način za praćenje kretanja broda po planiranom putu je korištenje sigurnih pokrivenih smjerova. Pokriveni smjerovi su alternativna metoda označavanja ravnog dijela kanala. Njihova velika prednost očituje se i u tome da ova tehnika ne zahtijeva upotrebu kompasa. Objekti koji čine pokriveni smjer mogu biti prirodni ili umjetni, a na osobi koja upravlja brodom je da izabere pokriveni smjer čiji objekti su dovoljno markantni, na vrijeme uočljivi, a očitane vrijednosti dovoljno točne. Zbog svoje praktičnosti često se postavljaju na prilazima lukama ili unutar same luke kako bi olakšali plovidbu broda. Mana pokrivenog smjera je nemogućnost korištenja pri smanjenoj vidljivosti (kada je vidljivost manja od udaljenosti broda od objekata pokrivenog smjera), a otežano se koristi i ako brod mora ploviti pod velikim kutom zanosa ili ako su objekti vidljivi samo po krmi, a ne po pramcu.

Preporuke za postavljanje pokrivenih smjerova navedene su u priručniku IALA¹² [91]. S obzirom na cilj ovog rada najvažnije obilježje pokrivenog smjera je osjetljivost. Osjetljivost pokrivenog smjera je svojstvo točnog smjerenja srednje linije dviju oznaka koja ovisi o

¹² IALA, International Association of Lighthouse Authorities (Međunarodno udruženje ustanova za svjetionike)

udaljenosti broda od prve oznake, udaljenosti između oznaka i veličine kuta γ ¹³ pri kojem oko osmatrača počinje osmatrati oznake odvojeno. Linijska mjera osjetljivosti je bočno odstupanje od srednje linije pokrivenog smjera u pravcu okomitom na njega i pri kojem je razdvojenost oznaka vidljiva. Linijska osjetljivost pokrivenog smjera **Ob** u metrima određuje se prema izrazu:

$$Ob = d_1 (d_1 / d_2 + 1) \text{ arc } 1'$$

gdje je:

d_1 – udaljenost između broda i prve oznake (m)

d_2 – udaljenost između prve i druge oznake (m).

Sigurni azimuti koriste se kada pri plovidbi ograničenim plovnim područjima za orijentaciju postoji samo jedan uočljivi objekt na obali, a siguran kurs broda vodi upravo prema tom objektu. Tako određen kurs broda naziva se sigurni azimut ili vodeći azimut, a u biti predstavlja kurs preko dna. Sve dok brod smjera isti azimut prema objektu znači da se nalazi na planiranom putu (kurs broda može se i razlikovati zbog vanjskih utjecaja). Ova tehnika je također vrlo jednostavna za korištenje, ali iziskuje upotrebu kompasa. Poradi toga mogu nastupiti sve pogreške koje su navedene u poglavlju o određivanju položaja terestričkim metodama (instrumentalne pogreške i pogreške u mjerenju). Kao i kod pokrivenog smjera ograničavajuću okolnost mogućnosti upotrebe sigurnog azimuta predstavlja vidljivost. Valja također naglasiti da objekti pokrivenog smjera ili sigurnog azimuta mogu biti osvijetljeni, ali i ne moraju, pa ih se u tom slučaju može koristiti samo danju pri dovoljnoj vidljivosti.

Mogućnost pogreške pri smjeranju sigurnog azimuta zbog upotrebe kompasa moguće je izbjeći korištenjem lasera. Laser je sredstvo koje proizvodi monokromatsku koherentnu svjetlost velike gustoće zračenja. Upotrebljava se općenito kao vrlo usmjereni izvor svjetlosti kod kojeg rasipanje pri nekim uvjetima može biti približno 0,1°.

Obalna straža Kanade razvila je lasere s malom snagom napajanja koji su se upotrebljavali kao stajnica za navođenje, a projicirani su kao uski snop. Korištenjem lasera različitih boja omogućeno je označavanje sredine te lijeve i desne strane plovnog puta. S obzirom na vrlo veliku preciznost ovakvih sustava cilj je razvoj lasera koji za svoj rad rabi malu snagu, koji će biti vidljiv danju kao i noću te koji je u suštini siguran za osmatranje.

4.1.3. Ostala sredstva za navigaciju

Osoba koja upravlja brodom može podatak o širini i orijentaciji plovnog puta dobivati ovisno o raspoloživim sredstvima na brodu i okolini. Podaci se mogu dobivati na dva načina:

- na pomorskoj karti područja, bilo papirnatog bilo elektroničkog (ECDIS),
- pomoću navigacijskih oznaka.

Osoba koja upravlja brodom može ploviti plovnim putom samo pomoću navigacijske karte jedino ako njegovi navigacijski uređaji na brodu daju položaj broda, dubinu i podatke o kursu sa zahtjevanim stupnjem točnosti. Ipak, uobičajeno je da se plovni putovi ograničeni svojom širinom označavaju navigacijskim oznakama koje će biti uočljive okom ili pomoću

¹³ Za prosječno oko kut $\gamma = 1'$.

radara. Takve oznake određuju širinu i orijentaciju plovnog puta te je pravilna vrsta i položaj ovakvih oznaka od presudne važnosti za sigurnost plovidbe. Bolje označeni plovni putovi omogućuju definiranje manje širine plovnog puta, što kod plovnih putova koje je potrebno jaružati pridonosi značajnim uštedama, a ujedno se zadržava i željena razina sigurnosti plovidbe.

Oznake koje se postavljaju na plovnim putovima moraju biti u skladu sa zahtjevima u IALA priručniku. Plutače koje označavaju kanal moraju biti označene upadljivim svjetlosnim karakteristikama, radarskim reflektorima ili radarskim farovima (Racon, Ramark) kako bi se omogućila laka identifikacija pri smanjenoj vidljivosti ili u odnosu na ostala svjetla u pozadini.

Za označavanje ravnih dijelova plovnog puta najčešće se upotrebljavaju parovi plutača s razmakom između njih koji ovisi o pretežitom stanju vidljivosti. Udaljenost između parova plutača mora biti takva da omogući osobi koja upravlja brodom praćenje kretanja broda samo uz pomoć vizualnog osmatranja i zaključaka koje donosi na osnovi vizualne percepcije.

4.1.4. Određivanje položaja broda metodama elektroničke navigacije

Elektronička navigacija je pojam koji obuhvaća sve metode i sva elektronička sredstva za određivanje položaja i ostalih navigacijskih elemenata pomoću elektromagnetskih valova, a s ciljem vođenja broda po zadanoj ruti. Elektronička navigacija može se podijeliti na sustave koji izravno određuju položaj broda i na ostale sustave pomoću kojih se može posredno odrediti položaj broda, utvrditi smjer, brzinu i dubinu ispod kobilice.

Kako bi navigacijska oprema na svim brodovima zadovoljavala određene kriterije, Međunarodna pomorska organizacija (IMO) donosi norme koje navigacijska oprema mora zadovoljavati (*IMO Performance Standards for Navigational Equipment*). Najčešće se razina navigacijske podrške opisuje područjem pokrivanja (*coverage area*), točnošću (*accuracy*), raspoloživošću (*availability*), pouzdanošću (*reliability*), vremenom između dvije određene pozicije (*fix update rate*) i kapacitetom sustava (*service capacity*).

Navigacijski sustavi

Navigacijski sustavi danas dostupni za pozicioniranje broda su globalni navigacijski satelitski sustavi (GPS i GLONASS) te hiperbolični sustav pozicioniranja Loran.

Globalni navigacijski satelitski sustav (GNSS) je sustav koji omogućava brodovima koji su opremljeni odgovarajućim prijemnikom neprekidno određivanje položaja broda te dostupnost podataka o točnom vremenu i brzini broda bilo gdje u svijetu.

Standarde koje mora zadovoljiti globalni navigacijski satelitski sustav odredila je Međunarodna pomorska organizacija (IMO) Rezolucijom A.819(19) [59]. Standardi su u skladu sa zahtjevima navedenim u dodatku Rezolucije A.815(19) [57][56] prihvaćenom na istom zasjedanju IMO-a.

Trenutno (2010. godina) za civilnu upotrebu postoje dva satelitska sustava, Globalni pozicionirajući sustav (GPS) i Globalni navigacijski satelitski sustav (GLONASS).

Globalnim pozicionirajućim sustavom (GPS) upravljaju Sjedinjene Američke Države. Sustav određuje položaj prijemne antene (geografsku širinu i geografsku dužinu)

koristeći geodetski sustav WGS-84 u stupnjevima, minutama i tisućinkama minuta. Horizontalna točnost određivanja položaja antene je unutar 100 m (u 95 % slučajeva).

GPS sustavom koristi se najveći broj brodova u svijetu, a trenutno je srednja kvadrantalna pogreška pozicioniranja u horizontalnoj ravnini 15 m.

Globalnim navigacijskim satelitskim sustavom (GLONASS) upravlja Ruska Federacija. Horizontalna točnost GLONASS sustava je 60 m (95 %).

Kod oba satelitska sustava (GPS i GLONASS), moguće je pomoću diferencijalnog navigacijskog satelitskog sustava postići mnogo veću točnost određivanja položaja. DGPS prijemnik korigira poziciju dobivenu samo putem satelita te se na taj način točnost određivanja položaja GPS-a i GLONASS-a povećava na unutar 10 m (95 %), ali samo u ograničenim geografskim područjima.

Kako navedeni kriteriji ne zadovoljavaju u potpunosti zahtjeve za sigurnom plovidbom, IMO donosi Rezoluciju A.860(20) [60] gdje se navodi razvojna politika koju treba poduzeti u pogledu budućih globalnih navigacijskih satelitskih sustava. U ovoj Rezoluciji se navodi potreba da podaci dobiveni budućim satelitskim navigacijskim sustavima moraju omogućiti navigaciju na prilazima i ulazima u luke i svim ostalim područjima gdje je navigacija otežana. Prema navedenoj Rezoluciji geografska točnost sustava na mjestu prijemne antene mora biti ≤ 10 m (95 %), a ponavljajuća točnost ≤ 14 m (95 %).

Tablica 2. Pogreške GPS-a i DGPS-a

Izvori GPS pogrešaka		
Izvori pogrešaka	Tipična pogreška GPS-a	Pogreška DGPS-a
Sat satelita	1 m	-
Efemeride satelita	1 m	-
Selektivna raspoloživost	10 m	-
Troposfera	1 m	-
Ionosfera	10 m	-
Šum kanala	1 m	1 m
Šum prijemnika	1 m	1 m
Višestruka putanja	0,5 m	0,5 m
Srednja kvadratna pogreška	15 m	1,6 m

Izvor: Izradio autor

Upotreba hiperboličnih sustava u navigaciji je u opadanju, a neki sustavi su i prestali s radom. Hiperbolični sustavi se više ne razmatraju kao zasebni sustavi pozicioniranja već se razmatraju za upotrebu u kombinaciji s ostalim sustavima pozicioniranja. Uporabom hibridnih tehnologija prijamnika, pri čemu se kombiniraju GNSS, Loran-C i EUROFIX sustavi, moguće je povećati točnost, pouzdanost i cjelovitost navigacijskih sustava. Način određivanja

položaja pri kojem se koristi kombinacija primjene satelitske i zemaljske hiperbolne navigacije puno je prihvatljivija od uporabe dvaju ili više satelitskih navigacijskih sustava jer oni u osnovi imaju iste nedostatke i ograničenja.

Dio Europe pokriven je EUROFIX sustavom, koji kombinira zemaljski i satelitski navigacijski sustav tako da se eliminiraju diferencijske korekcije za GPS/GLONASS sustav, a koristi se sa 100 KHz–valom nositeljem Loran-C lanaca. EUROFIX prijammnik spojen s GPS/GLONASS prijemnikom dekodira signal diferencijske korekcije, što onda omogućuje veću točnost pozicioniranja. Kontrolna mjerenja pokazala su da je točnost ovoga sustava bila unutar 3 m za 95 % vremena. Koristeći se postojećom infrastrukturom NELS sustava (*Northwest European Loran-C System*) može se pokriti s visokom točnošću pozicioniranja i dovoljnom pouzdanošću velik dio europskog kontinenta. Trenutačno četiri odašiljača sjevernoeuropskih Loran-C lanaca emitiraju EUROFIX podatke i pokrivaju područje od North Capa u Norveškoj do Pirenejskog poluotoka. Namjera je da u budućnosti EUROFIX signal pokrije cijeli teritorij Europe, za što se mogu koristiti postojeći Loran-C odašiljači u Italiji i Turskoj, a također i cjelokupna infrastruktura ruskog sustava Chayka koji je vrlo sličan Loran-C sustavu.

Na području SAD-a koristi se eLoran (*Enhanced Loran*) koji predstavlja modernizaciju Loran sustava kako bi se zadovoljila zahtjevana točnost za prilaz brodova luci i na ulazima u luku, te raspoloživost, cjelovitost i stalnost koja se zahtijeva za prilaz aviona prilikom slijetanja, tablica 3. Ovaj sustav zamišljen je kao jednakovrijedna zamjena za korisnike u slučaju nepravilnosti rada GPS sustava.

Tablica 3. Karakteristike rada eLoran sustava [93]

Točnost	Raspoloživost	Cjelovitost	Stalnost
10 m (95 %) 8 – 20 m (99,9 %)	0,999 – 0,9999	0,999999 (1×10^{-7})	0,999 – 0,9999 preko 150 sekundi

Da bi se udovoljilo uvjetima koji se zahtijevaju Rezolucijom A.860(20) radi se na planovima za modernizaciju GPS sustava, konkretno sustav GPS III. Za potrebe rada ovoga sustava planira se lansiranje nove generacije satelita s povećanom snagom emitiranja za poboljšanje kvalitete prijama i dostupnosti GPS signala, prije svega uvođenje dodatnog L2C-koda na frekvenciji L2 za civilne korisnike s mogućnošću točne korekcije ionosferskih kašnjenja, čime se povećava točnosti pozicioniranja na 5 do 10 m.

4.1.5. Ostala navigacijska pomagala

Ostala navigacijska pomagala koja služe za određivanje položaja broda, smjera, brzine i dubine su radar, brzinomjer, dubinomjer, žirokompas, magnetski kompas, autopilot i elektroničke karte.

Pomorski radari su nezamjenjivo sredstvo koje se koristi pri izbjegavanju sudara brodova koji plove u područjima smanjene vidljivosti, kao i sredstvo za određivanje položaja

broda u plovidbi područjima uz obalu. Preciznost pozicioniranja koja se dobiva radarom ovisi o karakteristikama radara, stanju u atmosferi i jačini odraza reflektirane površine.

Standardi¹⁴ koje brodski radari moraju zadovoljiti u normalnim uvjetima kada je radarska antena postavljena na 15 m iznad površine mora su sljedeći: na udaljenosti od 2 M jasno pokazati objekt kao što je navigacijska plutača koja ima površinu reflektiranja radarskih valova od približno 10 m². Minimalni domet prikazivanja prije navedene navigacijske plutače mora biti na minimalnoj horizontalnoj udaljenosti od 50 m od radarske antene. Fiksne kružnice udaljenosti i pomična kružnica udaljenosti (VRM) moraju omogućiti mjerenje udaljenosti od objekta s pogreškom koja ne prelazi 1,5 % od maksimalne udaljenosti skale u upotrebi ili 70 m, što je veće (prema IMO Rezoluciji A.477(12)) [56] ili 1 % od maksimalne udaljenosti skale u upotrebi ili 30 m, što je veće (prema MSC-u 64(67)) [68]. Radarski uređaj mora stalno prikazivati pramčanicu čija pogreška u pokazivanju ne smije prijeći $\pm 1^\circ$. Linija za mjerenje azimuta (EBL) mora omogućiti mjerenje azimuta objekta koji se pojavljuje na rubu ekrana s maksimalnom pogreškom ne većom od $\pm 1^\circ$.

Precizno određivanje položaja broda moguće je postići uporabom radar-lasera što se postiže primjenom odgovarajuće modulacije valnog oblika emitiranog signala, nakon čega slijedi procesiranje, tj. obrada primljenog signala uz uporabu odgovarajućeg filtra.

Vremensko kašnjenje (udaljenost) i frekvencija (brzina) mogu se istovremeno mjeriti uz razmjerno male pogreške primjenom velikih vrijednosti efektivne širine snopa Be i efektivnog vremena trajanja signala T . Kod laserskih mjernih sustava moguće je dobiti višedimenzionalne podatke o praćenom plovilu (D , v , ω , ...) zbog vrlo uske širine impulsa koji se može postići kod lasera, a pogreška u mjerenju udaljenosti vrlo je mala pri dužini impulsa od 100 ns.

Upotrebom YAG laser-radara moguće je postići preciznost mjerenja na udaljenostima do 30 000 stopa (približno 9144 m) unutar sljedećih vrijednosti [6]:

- mjerenje azimuta: $\pm 0,1$ mrad
- mjerenje elevacije: $\pm 0,1$ mrad
- mjerenje udaljenosti: $\pm 30,48$ cm / 1 stopa.

Magnetski kompas je instrument koji neprestano pokazuje određeni smjer horizonta. Standardi koje mora zadovoljiti magnetski kompas navedeni su u Rezoluciji A. 382(10) [54]. Pogreška u podjeli na kompasnoj ruži, ekscentričnost točke okretanja kompasne ruže i netočnost smjera kompasne ruže u magnetskom polju ne smije preći $0,5^\circ$ u bilo kojem kursu. Magnetski kompas mora biti što je više moguće postavljen u simetrali broda, a pramčanica u kotlu kompasa mora pokazivati pramac s točnošću od $\pm 0,5^\circ$.

Žiropkompas je uređaj koji također služi za određivanje smjera na horizontu s obzirom na smjer pravog sjevera. Standardi koje mora zadovoljiti žiropkompas navedeni su u Rezoluciji A.424(11) [55]. Pogreška pokazivanja smjera ΔK nakon ispravka za brzinu i utjecaj kursa pri brzini od 20 čvorova mora biti manja od $\left| 0,25/\cos\varphi \right|$.

Pogreška zbog brze promjene brzine od 20 čvorova ne smije preći $\pm 2^\circ$. Pogreška zbog brze promjene kursa od 180° pri brzini od 20 čvorova ne smije preći $\pm 3^\circ$. Najveća razlika u

¹⁴ Navode se samo oni standardi koji su bitni za cilj ovog rada

očitanju između pokazivanja matice žirokompasa i ponavljača ne smije biti veća od $\pm 0,5^\circ$.

Autopilot služi za automatsko održavanje broda u željenom kursu. Standardi koje mora zadovoljiti autopilot navedeni su u Rezoluciji A.342(9) [53] (vrijedi za uređaje postavljene prije 1. siječnja 1999. godine) i MSC.64(67) [67] (vrijedi za uređaje postavljene nakon 1. siječnja 1999. godine).

Elektroničke karte kao sredstvo za navigaciju predstavljaju stvarni geografski informacijski sustav koji daje kombinaciju prostornih i tekstualnih informacija. Standardi koje mora zadovoljiti uređaj navedeni su u Rezoluciji A.817(19) [58]. Radi mogućnosti elektroničkih karata da neprekidno prikazuju položaj broda u odnosu na kopno, markantne objekte, ucrtana sredstva za navigaciju i ostale opasnosti smanjuje se radno opterećenje časnika na mostu u usporedbi s papirnatim navigacijskim kartama. Elektroničke karte moraju omogućiti prikladan i brz način planiranja puta broda, praćenje kretanje broda po ucrtanom putu¹⁵ i neprekidno prikazivati položaj broda.

Međunarodna hidrografska organizacija (IHO) donijela je preporuke koje se odnose na zahtjevanu točnost navigacijskih karata s obzirom na područje kojim brod plovi i mjerilo karte kako bi se pomorcima osigurala sigurna plovidba. Zahtjev za točnošću povezan je s razlučivosti karte ovisno o njenom mjerilu.

Razlučivost karte vezana je uz pojam krajnje granice točnosti mjerila karte, a ovisi o fiziološkoj karakteristici ljudskog oka koje dvije točke može raspoznati kada su međusobno udaljene najmanje 0,1 mm. No, ako su dvije točke udaljene manje od 0,1 mm, prosječno ih ljudsko oko vidi kao jednu točku. Prije navedeno ima za posljedicu da na karti nominalnog mjerila 1:100 000, udaljenost od 0,1 mm odgovara udaljenosti u prirodi od 10 m te se ne mogu ucrtati točke koje su međusobno udaljene manje od 10 m.

Tablica 4. Skala karte, primjena i odgovarajuća točnost

Skala karte	Odgovarajuća zahtjevana točnost (m)	Približna širina olovke (0,5 mm) na karti (m)	Primjena
1 : 10 000 000	10 000	5000	
1 : 2 500 000	2500	1250	Oceanska plovidba
1 : 750 000	750	375	-----
1 : 300 000	300	150	Obalna plovidba
1 : 100 000	100	50	-----
1 : 50 000	50	25	Prilazni plovni putovi
1 : 15 000	15	7,5	-----
1 : 10 000	10	5	Ograničeni plovni putovi
1 : 5000	5	2,5	Lučki planovi

¹⁵ Na zaslonu elektroničke karte može se očitati odstupanje broda od planiranog puta, a odstupanje se odnosi na točku na brodu koja se nalazi u presjecištu simetrale broda i glavnog rebra. Naime, neovisno gdje se GPS antena na brodu nalazi prikaz na elektroničkoj karti mora prikazivati navedenu točku.

Pri uporabi u ograničenim vodama, položajna točnost rasterskih karata, odnosno granica razlučivosti čitanja karte može biti manja od položajne točnosti sustava za određivanje položaja broda (primjerice, diferencijalni GPS) pa je takav položaj netočno prikazan na rasterskoj karti. Skala karte s pripadajućom zahtjevanom točnošću prema preporukama IHO-a i ekvivalentu veličine točke promjera 0,5 mm na karti prikazani su u tablici 4.

Točnost određenih procesa određivanja položaja definirala je i IALA u svojoj publikaciji "*Aids to Navigation Guide*" [92]. Tipična točnost (vjerojatnost 95 %) postignuta upotrebom uobičajenih navigacijskih instrumenata i metoda prikazana je u tablici 5.

Tablica 5. Točnost pojedinih uređaja i metoda određivanja položaja

Metoda	Tipična točnost (95 % vjerojatnost)	Točnost na 1 M udaljenosti
Azimet markantnog objekta na kopnu ili svjetlo snimljeno magnetskim kompasom	3° Točnost se može smanjiti u visokim geografskim širinama	93 m
Azimet markantnog objekta na kopnu ili svjetlo snimljeno žirokompasom	1° (ispod 60° geografske širine)	31 m
Radiogoniometar	± 3° do ± 10°	93 m – 310 m
Azimet snimljen pomoću radara	± 1° do ± 2° Pod pretpostavkom stabiliziranog radara i malih odstupanja broda od smjera plovidbe	31 m – 62 m
Udaljenost snimljena pomoću radara	1,5 % najvećeg dometa skale u upotrebi ili 70 m, što je veće	
LORAN – C /CHAYKA	0,25 M	
GPS	10 – 30 m	
DGPS (GNSS) (ITU-R M.823/1 Format)	< 10 m	
Zbrojena pozicija	Približno 1 M za svaki sat plovidbe	

Iz svega navedenog moglo bi se zaključiti, da bi u budućnosti trebalo povećati točnost određivanja položaja broda satelitskim navigacijskim sustavima u kombinaciji sa zemaljskim sustavima pozicioniranja te elektroničke karte uvesti kao obvezne za sve brodove. Na taj način omogućilo bi se najtočniji i najbrži način utvrđivanja pomaka broda s planiranog puta. Ipak, valja naglasiti da u pomorstvu vrijedi princip zalihosti što podrazumijeva, ako je to moguće, korištenje uvijek dva načina određivanja položaja (primarni i sekundarni). Nadalje, satelitski signal kojeg satelitski prijemnici primaju podlozan je smetnjama (ili čak i namjernom ometanju) što je dodatni razlog korištenja i ostalih opisanih metoda pozicioniranja unutar uskih plovni putova.

4.2. UTJECAJ OKOLINE NA KRETANJE BRODA

Postoji više vanjskih čimbenika koji utječu na manevarska obilježja broda što za posljedicu ima promjenu putanje kretanja broda. Najvažniji vanjski čimbenici su:

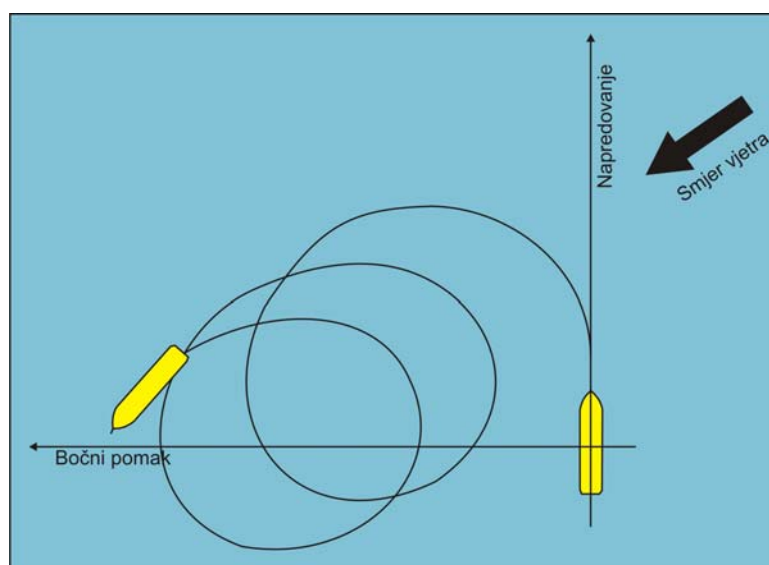
- vjetar
- valovi
- morska struja
- dubina vode
- utjecaj obalnog ruba
- međudjelovanje između brodova tijekom mimoilaženja
- korištenje tegljača.

U nastavku ukratko će se opisati utjecaj svakog čimbenika na kretanje broda uz napomenu da će se razmatranje ograničiti samo na ona svojstva koja imaju poveznicu s ciljem ovog rada.

4.2.1. Vjetar

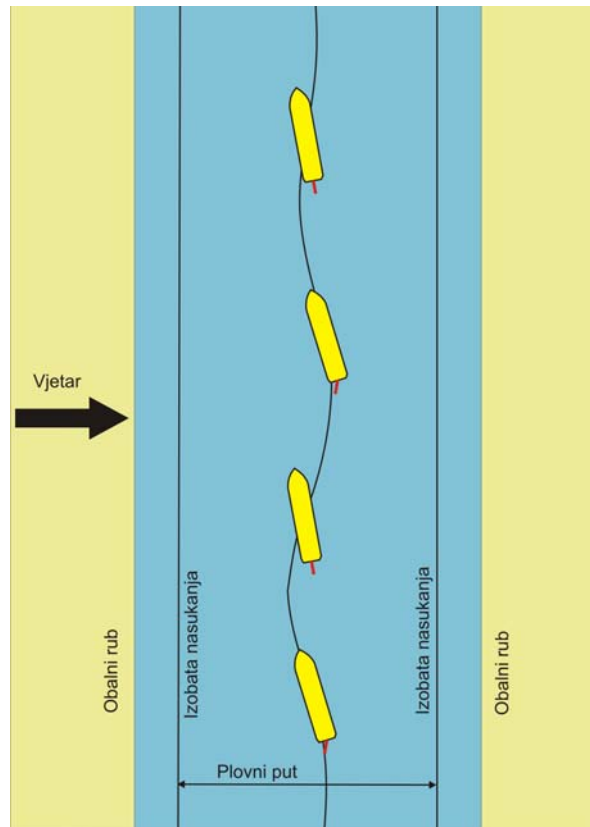
Vjetar je jedan od osnovnih vanjskih čimbenika koji utječe na kretanje broda uzrokujući njegov pomak s planiranog puta. Brod je izložen djelovanju vjetra na svim dijelovima plovnog puta, ali najopasniji je njegov utjecaj tijekom plovidbe broda u uskim područjima plovnog puta, prilikom uplovljavanja u luku, tijekom manevriranja u luci, itd., a utječe i na efikasnost rada tegljača i privezivača.

Utjecaj vjetra na brod je veći što je razlika između brzine vjetra i brzine broda veća. Ova činjenica posebno dolazi do izražaja kada brod plovi u ograničenim plovnim putovima te se priprema za neposredni manevar priveza što od broda zahtijeva smanjivanje brzine. Pri navedenim uvjetima dolazi do najvećeg utjecaja vjetra na brod izazivajući zanos broda, odnosno pomak broda s planiranog puta, slika 3.



Slika 3. Utjecaj vjetra na manevarske karakteristike broda (kružnica okretanja)

Vjetar će uzrokovati bočni zanos broda ili plovidbu broda uz određeni kut zanosa s obzirom na planirani smjer, što u oba slučaja povećava širinu potrebnu za sigurnu plovidbu i manevriranje. Zbog zaošijanja i zanašanja broda, osoba koja kormilari brodom neprestano mora korigirati kretanje broda otklonom kormila kako bi brod plovio po planiranom putu, slika 4.



Slika 4. Utjecaj bočnog vjetra na plovidbu broda

Utjecaj vjetra na brod opisan je djelovanjem sile vjetra koja je funkcija relativne brzine vjetra, kuta upada vjetra, nadvodne površine broda, gustoće zraka te koeficijenta otpora broda izloženog djelovanju vjetra. Funkcionalna veza može se prikazati kao:

$$F_w = f(Vr_w, A_w, \rho_a, C_w)$$

gdje je:

F_w – sila vjetra (N)

Vr_w – relativna brzina vjetra u odnosu na brod (m/s)

A_w – nadvodna površina broda (m²)

ρ_a – gustoća zraka (kg/m³)

C_w – koeficijent otpora tijela izloženog djelovanju vjetra.

Koeficijent otpora tijela izloženog djelovanju vjetra C_w je funkcija oblika nadvodne površine broda i kuta upada vjetra u odnosu na simetralu broda.

Vjetar posebno djeluje na brodove s velikim nadvođem, velikim nadgrađem ili palubnim teretom. U navedenu skupinu spadaju brodovi za prijevoz kontejnera, ro-ro brodovi,

putnički brodovi, brodovi za prijevoz ukapljenih plinova, kao i brodovi za prijevoz tekućih i rasutih tereta kada su u balastu.

Na osnovi navedenog može se zaključiti da je potrebno odrediti dodatnu širinu plovnog puta za utjecaj vjetra u odnosu na osnovnu širinu plovnog puta. Da bi se moglo vrednovati navedeni utjecaj potrebno je imati podatke o brzini i smjeru vjetra na promatranom području.

4.2.2. Morska struja

Utjecaj morske struje na brod tijekom plovidbe može se definirati kao funkcija relativne brzine morske struje, kuta upada morske struje, površine podvodnog dijela broda, gustoće vode te koeficijenta otpora broda izloženog djelovanju morske struje. Funkcionalna veza može se prikazati kao:

$$F_c = f(Vr_c, A_c, \rho_w, C_c)$$

gdje je:

F_c – sila morske struje (N)

Vr_c – relativna brzina morske struje u odnosu na brod (m/s)

A_c – površine podvodnog dijela broda (m²)

ρ_w – gustoća vode (kg/m³)

C_c – koeficijent otpora broda izloženog djelovanju morske struje.

Koeficijent otpora tijela izloženog djelovanju morske struje C_c je funkcija oblika površine podvodnog dijela broda, kuta upada morske struje u odnosu na simetralu broda te slobodnog prostora ispod kobilice (*UKC*).

Morska struja koja djeluje u smjeru simetrale broda po pramcu poboljšat će sposobnost kormilarenja brodom zbog dodatnog strujanja uz list kormila, dok će morska struja koja djeluje po krmi izazvati suprotni efekt, a djelovat će i na povećanje zaustavnog puta. Smanjenje ovog utjecaja može se postići povećanjem brzine broda, ali ono ovisi o nizu ostalih faktora koji su definirani oblikom plovnog puta (ograničenje brzine, veličina prostora za zaustavljanje brodova i sl.).

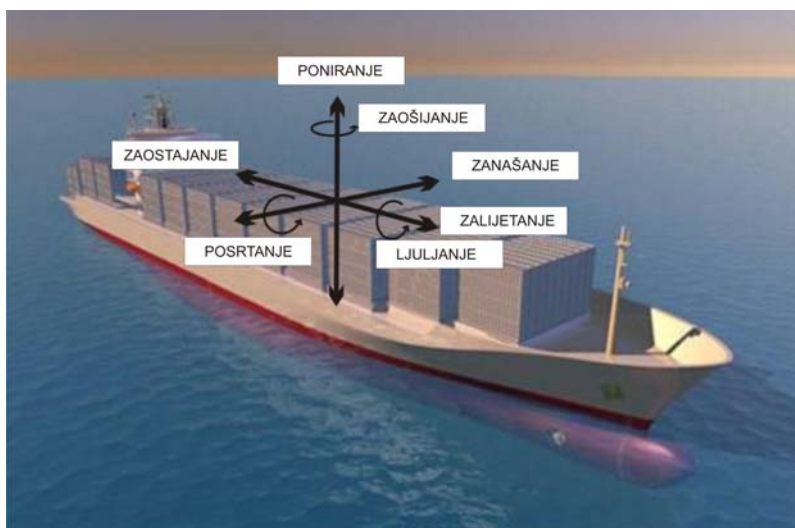
S obzirom na lokalne prilike, plovni put može biti izložen djelovanju morske struje poprečno na smjer plovnog puta. Još nepovoljniji slučaj nastaje kada brod prolazi područjem gdje je jedan dio broda izložen djelovanju jake bočne morske struje, dok je drugi dio broda u području slabe morske struje. U takvim okolnostima pramčani dio broda i krmni dio broda izloženi su bitno različitim tlakovima što će uzrokovati određeni moment zakretanja broda. Moment zakretanja broda pri navedenim okolnostima može prevazići moment zakretanja uzrokovan najvećim otklonom kormila. Ovakvi slučajevi najčešće nastaju na ulazima u luke, na ušćima rijeka, na spojevima sporednih i glavnih plovnih putova te prilikom uplovljavanja i isplovljavanja u/iz ustava na rijekama.

Vrlo značajno istraživanje vezano za djelovanje morske struje prikazano je u studiji "*Predviđanje sila vjetra i struja na vrlo velike brodove za prijevoz sirove nafte*" [102]. Istraživanje je provedeno na modelima brodova ukupne nosivosti od 150 000 do 500 000 tona. Posebno su prikazani izrazi za silu morske struje koja djeluje okomito na podvodni lateralni dio

broda, a posebno za silu morske struje koja djeluje u smjeru simetrale, tj. na podvodni frontalni dio broda. U radu je prikazan i moment zakretanja broda zbog djelovanja sile morske struje.

4.2.3. Valovi

Valovi na brod djeluju na način da prouzrokuju gibanje broda koje je vrlo složeno i nepravilno. 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 5.



Slika 5. Gibanja broda - šest stupnjeva slobode

U translatorna gibanja ubrajaju se gibanja u smjeru uzdužne osi tzv. zalijetanje, odnosno zaostajanje (*surging*), gibanja u smjeru poprečne osi tzv. zanašanje (*swaying*) i gibanje u smjeru vertikalne osi tzv. poniranje (*heaving*). Rotacijska gibanja su gibanja oko uzdužne osi tzv. ljuljanje (*rolling*), oko poprečne osi tzv. posrtanje (*pitching*) i oko vertikalne osi tzv. zaošijanje (*yawing*). Svaki od ovih pomaka broda predstavlja poteškoću pri manevriranju. Međutim, kako se u ovom radu razmatra mogućnost kretanja broda po planiranom putu, najvažnije je zaošijanje broda. Iako su plovni putovi najčešće djelomično izloženi djelovanju valova, a djelomično su od njih zaštićeni (bilo prirodnim ili umjetnim preprekama) utjecaj valova valja razmatrati posebno za različite segmente plovnog puta.

Utjecaj valova na brod tijekom plovidbe može se definirati kao funkcija značajne visine vala, duljine broda, gustoće vode te koeficijenta djelovanja valova. Funkcionalna veza može se prikazati kao:

$$F_v = f(H_s, L_{wl}, \rho_w, C_v)$$

gdje je:

F_v – sila vala (N)

H_s – značajna visina vala (m)

L_{wl} – duljina broda na trenutnoj vodenoj liniji (m)

ρ_w – gustoća vode (kg/m^3)

C_v – koeficijent djelovanja valova.

Koeficijent djelovanja valova C_v je funkcija oblika površine na koju djeluje val, kuta upada valova u odnosu na simetralu broda te širine valne fronte koja djeluje na brod.

Povrh navedenih, značajan utjecaj na gibanje broda ima vrijeme djelovanja vanjskih sila (u ovom slučaju valova) u odnosu na prirodni period odziva broda. Najnepovoljniji slučaj nastaje kada je relativna frekvencija valova približno jednaka frekvenciji jednog od gibanja broda. U takvim slučajevima dolazi do porasta gibanja broda što uzrokuje otežano kormilarenje brodom i za posljedicu ima neophodno povećanje širine plovnog puta.

Valovi osim što uzrokuju poteškoće pri održavanju smjera broda na plovnom putu, otežavaju i rad tegljača tijekom prihvaćanja teglja, djelovanje tegljača tijekom tegljenja, a smanjuju i efikasnost sile vuče tegljača.

4.2.4. Dubina vode

Dubina vode u području gdje brod plovi čimbenik je koji mijenja manevarske karakteristike broda, a ovisi o odnosu dubine i gaza broda. Funkcionalna veza može se prikazati kao:

$$h_{eff} = f(h, T)$$

gdje je:

h_{eff} – utjecaj dubine vode na manevarske karakteristike broda

h – dubina vode (m)

T – najveći gaz broda (m).

U literaturi se navode odnosi koji se u manjoj mjeri razlikuju, ali se za potrebe ovog rada mogu prihvatiti sljedeći omjeri:

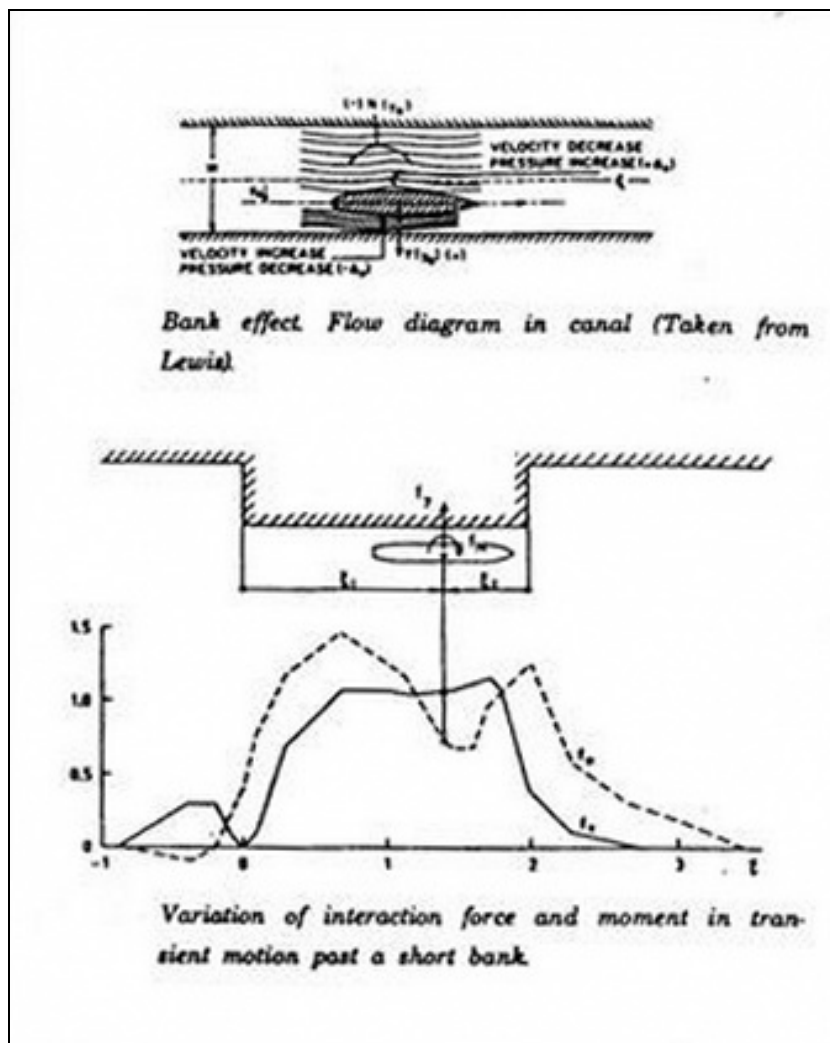
- duboka voda $h/T > 3,0$
- srednje duboka voda $1,5 < h/T < 3,0$
- plitka voda $1,2 < h/T < 1,5$
- vrlo plitka voda $h/T < 1,2$.

Utjecaj dna počinje se osjećati u srednje dubokoj vodi, dok je u plitkoj vodi veoma izražen. U vrlo plitkoj vodi predstavlja čimbenik koji najviše utječe na upravljivost broda, zbog toga što je otpor povećan. Pri ovakvim uvjetima povećava se i dodatna masa vode koja se kreće s brodom.

Najvažnije posljedice plitke vode su smanjenje sposobnosti okretanja broda, dodatni paralelni uron (povećanje gaza) i promjena trima. Pri utjecaju plitke vode povećava se promjer kružnice okretanja broda, zaustavni put broda je duži, a za ispravljanje smjera kretanja broda u ograničenim područjima potrebna je veća zakretna sila.

4.2.5. Utjecaj obalnog ruba

Interakcija (privlačenje) između broda i obalnog ruba nastaje zbog ubrzanog i asimetričnog protoka vode uokolo broda. Ovaj utjecaj nastaje kada brod prolazi blizu izgrađene obale, obalnog ruba rijeke ili plovnog puta. Pritom brzina protoka raste i u skladu s Bernoullievom jednadžbom, tlak pada. Posljedica je usisavanje između oplata broda i obale što rezultira pomakom broda s planiranog puta, slika 6.



Slika 6. Utjecaj obalnog ruba na plovidbu broda [86]

Utjecaj obalnog ruba na brod tijekom plovidbe u takvim područjima može se definirati kao funkcija brzine kojom brod plovi, udaljenošću broda od obalnog ruba, obilježjima obalnog ruba, dubinom ispod kobilice te formom podvodnog dijela trupa broda. Funkcionalna veza može se prikazati kao:

$$S_{eff} = f(v, d_H, S_{ch}, UKC, C_B)$$

gdje je:

S_{eff} – utjecaj obalnog ruba na kretanje broda (N)

v – brzina broda (m/s)

d_H – horizontalna udaljenost obalnog ruba od trupa broda (m)

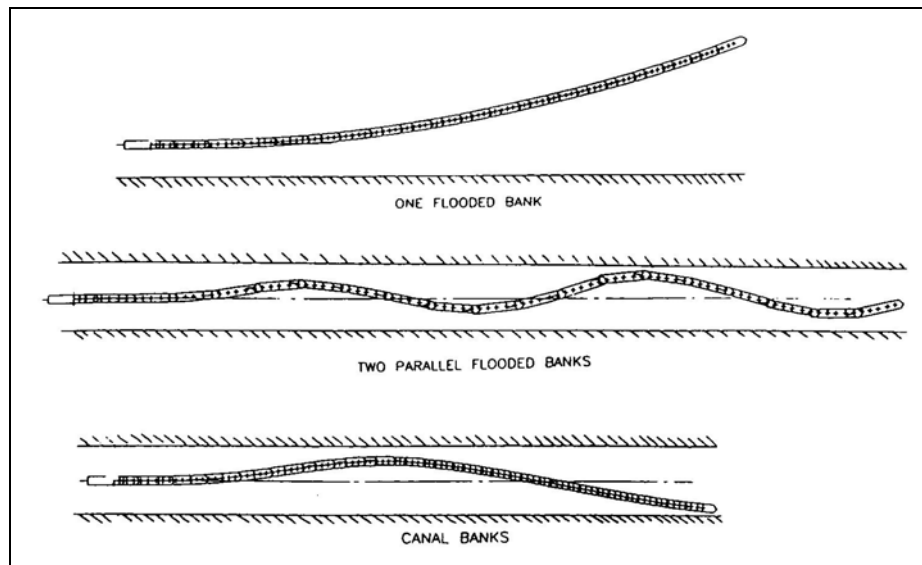
S_{ch} – koeficijent obilježja obalnog ruba

UKC – slobodni prostor ispod kobilice (m)

C_B – koeficijent punoće deplasmana.

Hvatište bočne sile uobičajeno se nalazi iza točke oko koje se brod okreće tako da rezultirajući moment nastoji zakrenuti pramac od obale, dok krmu privlači prema obali. Pramac od obale potiskuje i vodeni jastuk koji se stvara između pramčanog dijela broda i

obale. Kada brod plovi u ravnom dijelu plovnog puta sa simetričnim obalama ravnotežno stanje (pravocrtno kretanje broda) može se postići manjim otklonima kormila koji će kompenzirati privlačnu silu i momente koji nastaju. Kod plovnih putova gdje se širina mijenja ili gdje plovni put nije ravan već je zakrivljen, potreban je neprekidni rad kormila kako bi se neutraliziralo neželjeno skretanje s planiranog puta.

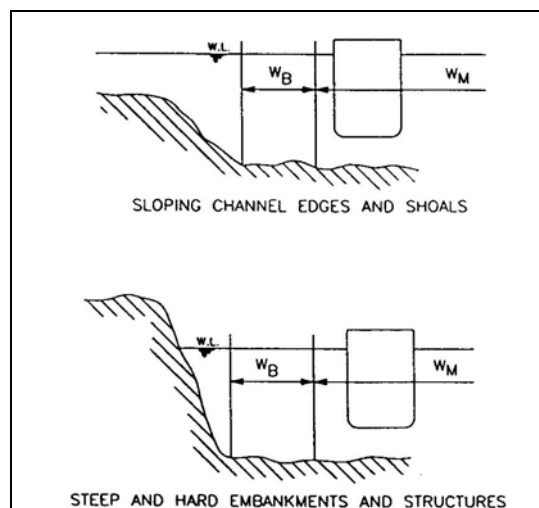


Slika 7. Promjena smjera plovidbe zbog utjecaja bočne obale [85]

Sila usisavanja raste kada je udaljenost između broda i obale manja, a sila raste i povećanjem brzine broda [87].

Vrlo iscrpna istraživanja utjecaja obalnog ruba na kretanje broda učinili su D. C. Lo, Dong-Taur Su i Jan-Ming Chen [31] koji su između ostalog zaključili da je pri malim brzinama broda (do 3 čv) kut zaošijanja zbog utjecaja obalnog ruba, kada je udaljenost između broda i bočne obale 0,5 širine broda, približno 24 puta veći nego kada je udaljenost između broda i bočne obale 3,0 širine broda. Iz navedenog proizlazi da je i pri malim brzinama (manjim nego što brod može ploviti pri najmanjem režimu rada stroja) utjecaj bočne obale velik. Također su zaključili da neovisno o manjim promjenama udaljenosti broda od obalnog ruba utjecaj bočne obale značajno raste kada je brzina broda preko 6 čv.

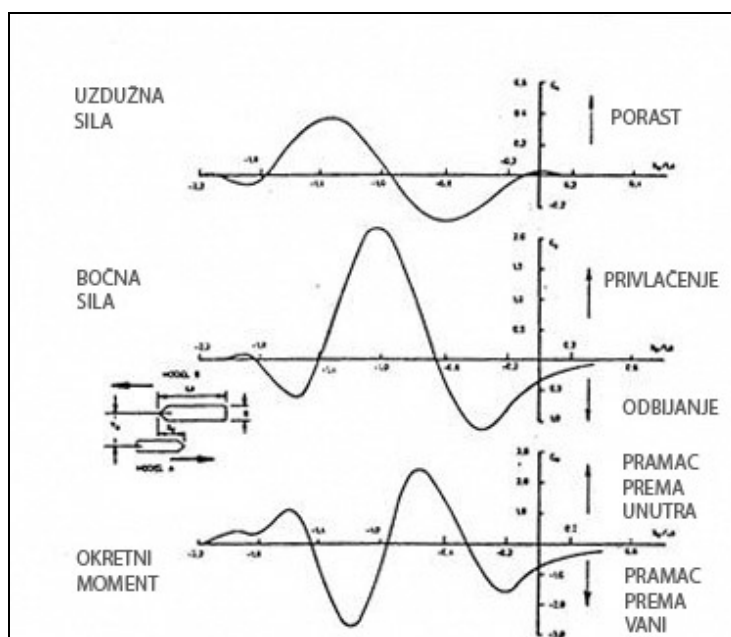
Da bi se izbjeglo preveliko skretanje s planiranog puta na plovnim putovima gdje je obalni rub blizu, potrebno je osigurati dodatnu širinu plovnog puta, slika 8.



Slika 8. Povećanje širine plovnog puta ovisno o obilježjima obalnog ruba [85]

4.2.6. Međudjelovanje između brodova u prolazu

Interakcija između brodova dolazi do izražaja kod dvosmjerne plovidbe brodova unutar plovnog puta. Veća opasnost prijeti na plovnim putovima gdje je promet gust i gdje dolazi do čestog pretjecanja brodova. Kako je već prije opisano, protok vode uokolo broda se mijenja što uzrokuje usisavanje između brodova, slika 9.



Slika 9. Sile i momenti koji nastaju kod mimoilaženja brodova [86]

Navedeno međudjelovanje uzrokuje zaošijanje broda koje nije konstantno već se mijenja kako se mijenja položaj između dva broda tijekom plovidbe. Teoretski i eksperimentalno, Norbin [35] je utvrdio da se utjecaj interakcije povećava vrlo brzo sa smanjenjem slobodnog prostora ispod kobilice.

U svojim istraživanjima, Dand [20] je matematički obradio ovaj fenomen pomoću proračuna potencijalnog protoka te dobio zadovoljavajuće vrijednosti sile koja se javlja između

dva broda u prolazu. Veličina sile koja se javlja ovisi o lateralnoj udaljenosti između dva broda, njihovim veličinama, brzini i slobodnom prostoru ispod kobilice.

Stoga, u području dvosmjernih plovnih putova valja osigurati dodatnu širinu kako bi se omogućilo da se brodovi mimoilaze na siguran način. Pri mimoilaženju, udaljenost između brodova mora biti takva da se interakcija između brodova smanji na prihvatljivi minimum. Uobičajeno je da se plovna traka između brodova definira pomoću širine šireg broda.

4.2.7. Tegljači

Tegljači se upotrebljavaju kao pomoć brodu pri okretanju u ograničenim plovnim područjima, radi neutraliziranja djelovanja sile vjetra i morske struje kada brzina broda mora biti mala, a upotreba stroja i kormila je ograničena, radi zaustavljanja broda i kao ispomoć prilikom priveza i odveza broda.

Broj potrebnih tegljača ovisi o veličini broda, složenosti manevra, jačini vjetra i morske struje i raspoloživosti poprečnih porivnika.

Efikasnost tegljača ovisi o vrsti tegljača i sustavu upravljanja tegljača. Nadalje, efikasnost i način rada tegljača ovisi o položaju kuke za prihvat teglja na tegljaču. Kapacitet tegljenja tegljača određena je nominalnom silom vuče tegljača pri brzini od 0 čv. Kapacitet se smanjuje povećanjem brzine tegljača.

Način prihvata tegljača ovisi o lokalnim običajima, raspoloživom prostoru uokolo broda i vrsti pomoći koja se zahtijeva. Tegljači mogu biti korišteni pri povlačenju ili zaustavljanju broda, a koriste se i pri održavanju smjera broda. S obzirom na cilj ovog rada, u kasnijim poglavljima razmotrit će se upotreba tegljača radi održavanja smjera broda pri plovidbi uskim plovnim putem ili radi smanjenja rizika nasukanja ili sudara u slučaju izvanrednih okolnosti na brodu.

4.3. UTJECAJ BRODSKE OPREME NA KRETANJE BRODA

Pojedini brodski sustavi predstavljaju unutarnje čimbenike koji utječu na manevarske karakteristike broda. Najvažnija karakteristika ovih sustava je da su oni upravljivi, tj. njihovim radom upravlja osoba koja upravlja brodom. Najvažniji unutarnji čimbenici su:

- glavni sustav propulzije
- sustav usmjeravanja broda
- pramčani i krmni porivnici.

U nastavku bit će opisan utjecaj prije navedenih unutarnjih čimbenika.

4.3.1. Glavni sustav propulzije

Iako glavnih sustava propulzije može biti više vrsta u ovom radu razmatra se najrašireniji sustav propulzije koji uz glavni brodski stroj koristi brodski vijak kao propulzijsko sredstvo.

Rad stroja određen je brzinom vrtnje stroja, a s obzirom na vrstu prijenosa time je određena i brzina vrtnje vijka. Promjena broja okretaja stroja, odnosno broja okretaja vijka omogućuje ubrzanje ili usporavanje broda. Moment koji daje stroj ovisi o broju okretaja i vrsti stroja.

Vijak uzrokuje i bočnu silu zbog smjera u kojem se okreće. Ova sila nije velika pri kretanju broda naprijed i ispravlja se manjim otklonom kormila. Vrlo važnu ulogu ima pri prebacivanju vijka s vožnje naprijed na vožnju krmom kada izaziva zaošijanje i zanašanje broda uz smanjenje brzine broda.

4.3.2. Sustav usmjeravanja broda

Danas se koriste najrazličitiji sustavi usmjeravanja broda, a neki od njih su integrirani s propulzijskim sustavima. Međutim, za potrebe ovog rada razmatrat će se samo kormilo kao najznačajnije i najučestalije sredstvo za usmjeravanje broda.

Površina kormila određena je momentom koje kormilo mora izazvati da bi brod mogao održavati smjer pri djelovanju vjetra, struje i valova.

Sila koja se javlja na kormilu posljedica je strujanja vode oko kormila. Dio ovog strujanja posljedica je kretanja broda (brzine kretanja prema naprijed, zanašanja i zaošijanja), ali najveći dio posljedica je strujanja vode uzrokovano vrtnjom vijka.

Kormilo proizvodi i otpor te se neprekidnim prebacivanjem kormila s jedne na drugu stranu može smanjiti brzina broda i skratiti zaustavni put.

4.3.3. Pramčani i krmeni porivnici

Prvenstvena uloga poprečnih porivnika je omogućavanje manevriranja pri malim brzinama kada je efikasnost konvencionalnih kormila uvelike smanjena ili zbog izbjegavanja korištenja tegljača.

Kretanje broda naprijed određenom brzinom smanjuje bočnu silu i moment zakretanja broda koga je proizveo poprečni porivnik.

Kada se brzina broda poveća do 40 % brzine vodenog mlaza uzrokovano poprečnim porivnikom, poprečna sila i moment su zanemarivi.

5. KRITERIJI ZA DEFINIRANJE ŠIRINE PLOVNOG PUTA

5.1. METODE PROJEKTIRANJA PLOVNIH PUTOVA

Sigurna plovidba brodova određenim plovnim područjem može se razmatrati s dva stajališta.

U prvom slučaju promatra se određeni prirodni plovni put koji tek treba projektirati kako bi omogućio sigurnu plovidbu unaprijed određenih brodova. Ovakav slučaj najčešće se javlja pri projektiranju novih luka za točno određene brodove, gdje tada treba obilježiti plovni put prilagoditi njima (jaružanje, označavanje, nadzor plovidbe, određivanje graničnih uvjeta tijekom plovidbe i dr.).

U drugom slučaju već postoji plovni put koji nije moguće ili nije isplativo mijenjati, a valja odrediti obilježja brodova koji će navedeni plovni put moći koristiti uz primjenu određenih graničnih uvjeta na siguran način. Ovakav slučaj najčešće se javlja kada u postojećim lukama dolazi do promjene vrste tereta koji se u luci prekrcajavu, a s tim posljedično i vrste i veličine brodova koji se u luci prihvaćaju.

Ovisno o svrsi projektnog zadatka, definiranje elemenata plovnog puta može biti s većom ili manjom točnošću. Zbog toga je projektiranje ili vrednovanje plovnog puta proces koji se izvodi u dva koraka, a sastoji se od:

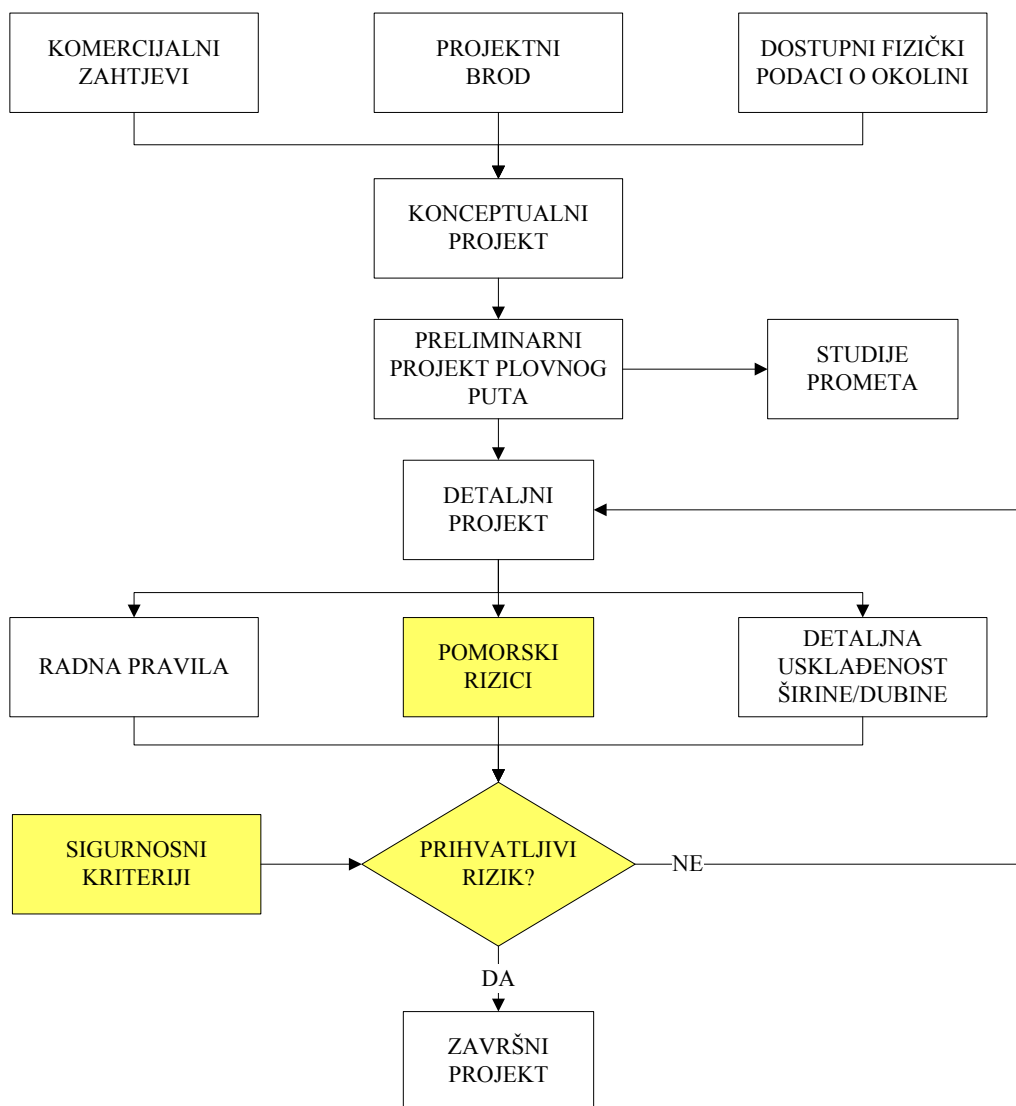
- konceptualnog projekta
- detaljnog projekta.

Metodologija kreće od inicijalne pretpostavke o projektnom (referentnom) brodu koji predstavlja najveći broj brodova koji će plovni put koristiti. Posao eksperta je da odredi jedan ili više takvih referentnih brodova čija će obilježja definirati minimalno potrebna svojstva plovnog puta.

U fazi konceptualnog projekta rade se inicijalne procjene fizičkih parametara razmatranog plovnog puta kao što je njegova širina, dubina, smjer, itd., a dobivaju se iz dostupnih podataka. Cilj konceptualnog projekta je da bude brz u izvršenju i da ne zahtijeva veliki broj ulaznih podataka tako da se mogu lako učiniti eventualne izmjene.

Detaljni projekt je bolje elaboriran proces s namjerom da vrednuje, razvije i redefinira konceptualni projekt pazeći na ulaze i izlaze. Metode koje se koriste pri detaljnom projektu uobičajeno se oslanjaju na računalne modele i zbog toga zahtijevaju veći broj preciznih podataka, a posebno je značajno da se zahtijeva ispravno vrednovanje i iskustvo u interpretaciji dobivenih rezultata.

S obzirom na cilj ovog rada, rezultate (elemente) dobivene detaljnim projektom valja dodatno razmotriti kako bi se ocijenila njihova prihvatljivost. Zbog toga je potrebno provesti procjenu pomorskih rizika te odrediti sigurnosne kriterije koji će osigurati da rizik koji nastaje pri plovidbi broda određenim plovnim putem bude prihvatljiv (Slika 10).



Slika 10. Metodologija projektiranja plovih putova

Mnogi modeli projektiranja plovih putova na neki način uključuju i procjenu rizika plovidbe broda određenim dijelom plovog puta. Najčešće se kao utjecajni čimbenik određuje vrsta broda i tereta te im se na osnovi ta dva podatka pridružuje određena vrsta opasnosti¹⁶. Ovakvim načinom ne vrednuje se dovoljno točno posljedica neželjenog događaja što u konačnici ima za posljedicu netočno procijenjenu vrijednost rizika.

Zbog toga će se u ovom radu maksimalno odvojiti svi čimbenici o kojima ovisi vjerojatnost plovidbe broda po planiranom putu od posljedica koje pri toj plovidbi mogu nastati. Razlog za primjenu ovakvog koncepta je hipoteza autora da je vjerojatnost nasukanja na nekom određenom dijelu plovog puta za sve brodove sličnih manevarskih obilježja, opremljene navigacijskom opremom i uređajima prema međunarodnim normama te upravljanim od strane "dobrog pomorca", ista. Ono što će stvoriti razliku pri procjeni rizika je posljedica u slučaju nezgode različitih vrsta brodova. Ipak, nije dovoljno samo odrediti vrstu

¹⁶ Opasnost se često definira uopćeno kao "mala", "srednja" i "velika".

broda i vrstu tereta te njima dodijeliti određenu kategoriju posljedice već će sama posljedica ovisiti o mnogobrojnim unutarnjim i vanjskim čimbenicima.

S obzirom na vjerojatnost nasukanja broda pri plovidbi određenim plovnom putom jasno je da je ona veća što je plovni put uži. Zbog toga će se u nastavku razmatrati plovni put čija obilježja predstavljaju veću opasnost plovidbi broda. U pravilu se radi o prilaznim plovnom putovima i kanalima.

Prilazni plovni put ili kanal definiran je kao bilo koji dio plovnog puta koji povezuje mjesto priveza u luci i otvoreno more. Postoje dvije osnovne vrste:

- plovni put ili vanjski kanal na otvorenom moru
- glavni prilaz ili unutarnji kanal koji prolazi kroz relativno zaštićene vode.

Kanal obično završava na njegovom unutarnjem kraju ili područjem za zaustavljanje brodova ili manevarskim prostorom za okretanje brodova koji će omogućiti zaustavljanje broda ili manevar okreta.

Osnovno obilježje plovnog puta od kojeg će se krenuti određivati elemente plovnog puta je širina ravnog dijela plovnog puta koji se koristi za jednosmjernu plovidbu. Zatim valja odrediti širinu ravnog dijela dvosmjernog plovnog puta, i na kraju, širinu zakrivljenog dijela plovnog puta.

Za potrebe određivanja koeficijenta širine plovnog puta korištena je recentna literatura iz ovog područja, dvadesetogodišnje plovidbeno iskustvo autora na trgovačkim brodovima, brodovima za razonodu i ribarskim brodovima, spoznaje prikupljene u intervjuima s peljarima i aktivnim pomorcima te rezultati simulacija provedenih na navigacijskom simulatoru Transas NTPro 4000 na Pomorskom fakultetu u Rijeci.

Koeficijenti za koje nije bilo moguće provesti dodatna istraživanja ili bi njihovo istraživanje prevazišlo potrebe ovog rada, preuzeti su iz mjerodavnih izvora koji istražuju ovo područje. Određeni dio koeficijenata ispravljen je prema rezultatima najnovijih istraživanja određenih područja, a predloženi su i koeficijenti do kojih se došlo istraživanjima na navigacijskom simulatoru i intervjuima. Posebnost prikazanih koeficijenata je i činjenica da pri određivanju koeficijenata nije u vrijednost uključena i posljedica iz razloga koji je prethodno elaboriran.

5.2. ŠIRINA RAVNOG DIJELA PLOVNOG PUTA – JEDNOSMJERNA PLOVIDBA

Širina jednosmjernog plovnog puta B_{owt} ovisi o mogućnosti da se brod kreće sredinom plovnog puta, odnosno da se vrati natrag u sredinu plovnog puta kada je utvrđeno da je iz njega izašao te o mogućnosti određivanja položaja, odnosno mogućnosti praćenja da brod plovi planiranim putom. Navedeno se može prikazati funkcionalnom vezom:

$$B_{owt} = f(B_{st}, B_{pos})$$

gdje je:

B_{owt} – širina jednosmjernog plovnog puta izražena pomoću širine broda (m)

B_{st} – sposobnost kretanja broda planiranim putom (m)

B_{pos} – točnost određivanja položaja tijekom kretanja broda po planiranom putu (m).

Sposobnost kretanja broda planiranim putom – B_{st}

Širina plovnog puta zbog sposobnosti kretanja broda planiranim putom B_{st} ovisi o manevarskim obilježjima broda, konfiguraciji plovnog puta, činjenici koriste li se za manevriranje tegljači ili ne, te utjecaju vanjskih sila na brod. Pri plovidbi ograničenim plovnim putom koristi se ručno kormilarenje te se u nastavku ne razmatra zasebno utjecaj ljudskog faktora na kormilarenje brodom već se pretpostavlja da se kormilar ponaša kao "dobar pomorac". Kako preciznost kormilarenja ovisi o manevarskim obilježjima broda i sposobnosti osobe koja kormilari brodom, ovaj utjecaj će se prikazati zajednički.

Dakle, može se pisati da je funkcionalna veza između širine plovnog puta i mogućnosti kretanja broda planiranim putom B_{st} :

$$B_{st} = f(smc, cfw, F_{ext}, tu)$$

gdje je:

B_{st} – sposobnost kretanja broda planiranim putom

smc – koeficijent manevarskih obilježja broda

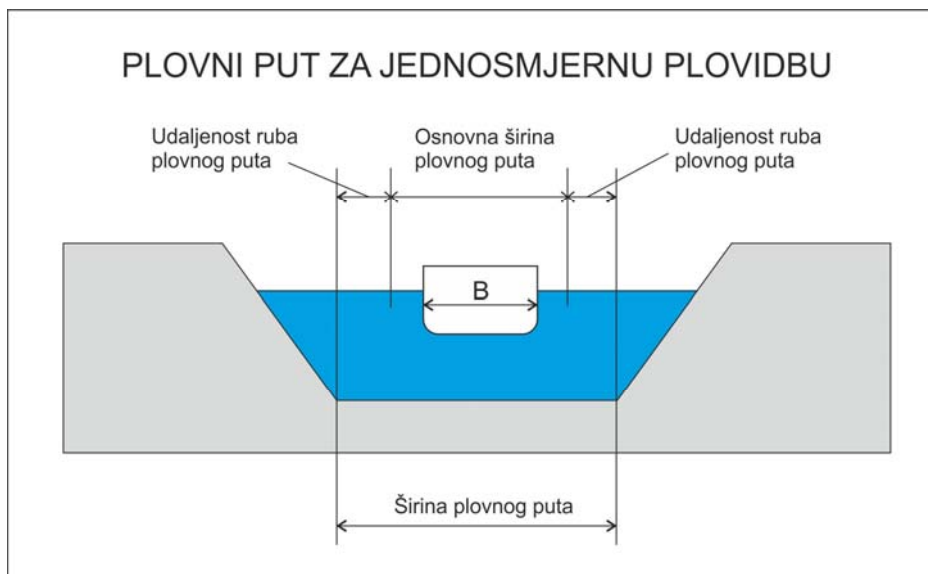
cfw – koeficijent reljefa plovnog puta

F_{ext} – koeficijent utjecaja vanjskih sila

tu – koeficijent utjecaja tegljača.

Sve navedene čimbenike valja dalje rastavljati i vrednovati kako bi se dobio njihov utjecaj na širinu plovnog puta. Radi preglednosti, utjecaj pojedinih čimbenika na širinu plovnog puta prikazat će se tabelarno. Da bi se ovaj model mogao koristiti u stvarnosti za brodove različitih obilježja, svi utjecajni čimbenici izraziti će se kao koeficijenti širine broda. Ako se pojednostavi i pretpostavi ravni plovidni put tada je širina broda zasigurno najvažnije obilježje o kome ovisi širina plovnog puta. Ako se pak razmatra zakrivljeni dio plovnog puta tada osim širine broda valja u analizu uključiti i duljinu broda. Ipak, radi pojednostavljenja, u radu će se svi utjecaji prikazati kao koeficijenti širine broda, a tamo gdje je to potrebno uzet će se u obzir i duljina broda¹⁷.

¹⁷ Iz analizirane literature primjećuje se da se kod mnogih modela projektiranja plovnih putova koristi kao mjerodavna samo širina broda te se događa da je kriterij za širinu ulaza u luku jednak za brodove iste širine bez obzira na njihovu duljinu što rezultira potpuno različitim stupnjem sigurnosti plovidbe.



Slika 11. Elementi širine plovnog puta za jednosmjernu plovidbu

Koeficijent manevarskih obilježja broda

Manevarska obilježja projektnog broda određuju osnovnu širinu plovnog puta unutar kojeg će brod ploviti pri vrlo povoljnim uvjetima u okolini i uz ispravno funkcioniranje svih brodskih sustava. U doktorskoj disertaciji R. Mohovića [100] detaljno je opisan utjecaj tehničko-tehnoloških obilježja brodova na manevriranje brodom, a prema vodiču izdanom od strane PIANC-a¹⁸, IAPH-a¹⁹, IMPA²⁰ i IALA [85] brodovi su prema njihovim manevarskim obilježjima svrstani u tri kategorije. Ista podjela primijenit će se i u ovom radu, a prikazana je u tablici 6.

Tablica 6. Osnovna manevarska širina plovnog puta

Manevarska obilježja broda	dobra	umjerena	slaba
Osnovna manevarska širina, B_{smc}	1,5 B	1,9 B	2,3 B

Do navedenih koeficijenta u tablici došlo se na osnovi iskustva autora, intervjuima s peljarima i aktivnim pomorcima i rezultata dobivenih upotrebom navigacijskog simulatora. Za brodove slabih manevarskih obilježja zaključeno je da će "dobar kormilar" pri navedenim uvjetima kormilariti unutar $\pm 2^\circ$. Kormilar će i prije nego što dođe do promjene kursa od 2° poduzeti korektivnu radnju, ali neće izbjeći još dodatno odstupanje iz željenog kursa. Također, kada brod zbog otklona kormila započne okretanje u željenu stranu (povratak na željeni kurs) dolazi u početku do dodatnog izbijanja krme broda u neželjenu stranu. Zbog toga

¹⁸ PIANC – Permanent International Association of Navigation Congresses (Udruženje stalnog međunarodnog navigacijskog kongresa)

¹⁹ IAPH – International Association of Ports and Harbors (Međunarodno udruženje luka i zakloništa)

²⁰ IMPA – International Maritime Pilot Association (Međunarodno udruženje pomorskih peljara)

je pri određivanju najvećeg pomaka broda s planiranog puta pretpostavljeno da je došlo do promjene kursa broda za 3° .

Vrijednost odstupanja broda od planiranog puta osim što ovisi o promjeni smjera, ovisi i o prijednom putu od trenutka pomaka broda iz planiranog puta do trenutka kada se brod započeo vraćati na planirani put. Prema IMO Rez. A.751(18) [52], brod tijekom pokusa početne sposobnosti okretanja broda (kut otklona kormila 10° desno/lijevo) ne smije prevaliti više od 2,5 duljine broda do trenutka kada mu se kurs promijeni 10° . Stoga se pretpostava da će se navedene male promjene kursa korigirati malim otklonom kormila (najviše do 15°), a da će brod započeti s povratkom na prvobitni kurs nakon što pređe 3,5 duljine broda.

Izračunom je dobiveno da će pomaci s planiranog puta za brodove duljine 100 m, 200 m i 300 m biti kako je to prikazano u tablici 7.

Tablica 7. Pomak s planiranog puta prikazan u funkciji širine broda B

Pomak s planiranog puta prikazan u funkciji širine broda B	Loa = 100 m	Loa = 200 m	Loa = 300 m
	B = 16 m	B = 32,2 m	B = 46 m
$\Delta K = 2^\circ$	1,53 B	1,5 B	1,6 B
$\Delta K = 3^\circ$	2,3 B	2,3 B	2,4 B

Pored rezultata dobivenih proračunom provedena je i simulacija približno sličnih modela na navigacijskom simulatoru. Simulacije su rađene uz uvjet da brod plovi pri povoljnim vremenskim uvjetima, plovnom putom dovoljne dubine, da je najveće dozvoljeno odstupanje iz kursa 2° , a otkloni kormila za povratak broda na planirani put ne veći od 10° . Modeli brodova koji su korišteni u simulaciji mogu se svrstati u grupu brodova slabih manevarskih karakteristika (brodovi za prijevoz tekućih i rasutih tereta). Tijekom simulacija primijećeno je da pri ovim uvjetima dolazi do odstupanja broda od inicijalnog kursa od 2° do 4° . Najveće odstupanje broda od planiranog puta mjereno je izravno pomoću simulatora, a grafički je bilježen i položaj broda svake minute. Primjer grafičkih rezultata dobivenih provedbom opisanog postupka prikazan je na slici 12.

Kod brodova gdje je došlo do promjene kursa od 2° do 3° dobiven je prosječni rezultat pomaka broda s planiranog puta prikazan u funkciji širine broda B od 2,3 B do 2,37 B, a za brodove gdje je došlo do promjene kursa od 4° približno 2,7 B.

Rezultati simulacije bili su vrlo slični rezultatima dobivenih proračunom te je zaključeno da osnovna manevarska širina za brodove slabih manevarskih karakteristika iznosi 2,3 B. Za brodove dobrih manevarskih karakteristika zaključeno je da ova vrijednost iznosi 1,5 B. Ova vrijednost u stvarnosti predstavlja otklon broda s planiranog puta kada ne dolazi do promjene kursa većeg od 2° . Valja napomenuti da neki brodovi, kao što su npr. ro-ro putnički brodovi s azimutalnim propulzorima na pramcu i krmi mogu ploviti na način da odstupanja od kursa budu i manja od 2° , ali broj takvih brodova je relativno mali u odnosu na ostale, pa se točne vrijednosti za ove brodove mogu uzeti od slučaja do slučaja.



Slika 12. Grafički ispis simulacija kretanja broda na navigacijskom simulatoru Transas NTPro 4000 za različite brodove

Također, valja naglasiti da ono što prvenstveno razlikuje brodove dobrih manevarskih karakteristika od onih slabih manevarskih karakteristika je činjenica ima li brod instaliran poprečni pramčani porivnik ili ne. Iako on olakšava uvelike manevriranje brodom, njegov utjecaj nije previše vrednovan iz razloga što se određuje širina plovnog puta gdje brodovi plove brzinama koje omogućava najmanji režim rada stroja što uobičajeno kod najvećeg broja brodova iznosi od 4 do 7 čv. Pri tim brzinama je efikasnost poprečnog pramčanog porivnika vrlo mala ili zanemariva. Za brodove koji imaju umjerene manevarske sposobnosti vrijednost je dobivena interpolacijom.

Na određivanje potrebne širine plovnog puta utječe i brzina broda. Brzina broda definirana je:

- obilježjima propulzijskog sustava,
- konfiguracijom plovnog puta (mogućnost zaustavljanja broda i utjecaja na dodatni uron trupa broda),
- dozvoljenim vremenom plovidbe određenim dijelom plovnog puta (komercijalni uvjeti ili vrijeme kada je dubina vode dovoljna),
- ograničenjima brzine plovidbe na pojedinom dijelu plovnog puta (iz sigurnosnih razloga),
- utjecajem vanjskih sila.

Brzina broda utjecat će i na veličinu posljedice ako dođe do nasukanja broda, udara u obalu ili sudara, ali taj element analizirat će se zasebno u posljedicama.

Koeficijenti širine plovnog puta zbog brzine kojom se brod kreće B_s prikazani su u tablici 8.

Tablica 8. Koeficijenti širine plovnog puta ovisni o brzini broda B_s

Brzina broda	Vanjski plovni putovi izloženi otvorenom moru	Unutarnji kanal, zaštićeno područje
Brzina > 12 čv (veće brzine)	0,2 B	0,2 B
Brzina 7 do 12 čv (umjerene brzine)	0,1 B	0,0 B
Brzina 4 do 7 čv (male brzine)	0,0 B	0,0 B

Do navedenih koeficijenta došlo se modificiranjem vrijednosti predloženih od strane prije navedenih udruženja [85].

U prikazanoj tablici, a i svim ostalima koje će se prikazati, plovni put bit će podijeljen na vanjski plovni put koji je izložen djelovanju valova i unutarnji kanal koji je u zaštićenom području. Ovakva podjela potrebna je iz razloga što se utjecaj vanjskih sila na kretanje broda uvelike razlikuje plovi li brod u zaštićenom području ili ne.

U tablici 8 podjela brzine broda napravljena je manjim modificiranjem vrijednosti iz citiranog izvora na osnovi istraživanja. Kod najvećeg broja brodova brzine pri najmanjem režimu rada stroja kreću se između 4 i 7 čvorova. Upravo ovim brzinama kretat će se brod pri kraju plovnog puta kada se priprema za neposredni manevar priveza što često uključuje i upotrebu tegljača. Brzine preko 12 čvorova za veliki broj brodova predstavljaju najveće brzine²¹. Brzine od 10 do 12 čvorova su upravo brzine kojima se brod kreće kada plovi dugim plovnim putovima.

Za brzine brodova do 7 čvorova nije predviđen koeficijent za dodatnu širinu iz razloga što je to brzina koja je pretpostavljena kod određivanja osnovne širine plovnog puta. Nadalje, koeficijent za izloženi plovni put raste kako raste i brzina broda. Koeficijent za zaštićeno područje određen je iz razloga što će kod broda koji plovi većom brzinom, kada se dogodi promjena kursa, doći i do veće devijacije s planiranog puta.

²¹ Ekonomske brzine najvećeg broja brodova kreću se između 12 i 16 čvorova.

Koeficijent reljefa plovnog puta

Konfiguracija plovnog puta predstavlja sve fizičke karakteristike plovnog puta kao što su geometrijska obilježja (ravni ili zakrivljeni), dubina plovnog puta, vrsta dna te oblik obalnog ruba. Kako je navedeno, najprije se razmatra širina ravnog dijela plovnog puta, a zakrivljeni dio će se razmatrati kasnije. Vrsta dna analizirat će se kroz posljedicu nasukanja s obzirom da ne utječe na kretanje broda.

Pri malom slobodnom prostoru ispod kobilice (*UKC*) potrebna je veća širina plovnog puta zbog toga što je brzina promjene smjera broda smanjena te će biti potrebno više vremena da se brod vrati na planirani put ako je iz bilo kog razloga iz njega izašao. Utjecaj dubine na kretanje broda prikazuje se kroz omjer dubine h i gaza broda T .

Koeficijenti širine plovnog puta zbog dubine plovnog puta B_h prikazani su u tablici 9.

Tablica 9. Koeficijenti širine plovnog puta ovisni o dubini plovnog puta B_h

Omjer dubine plovnog puta i gaza broda (h/T)	Vanjski plovni putovi, nezaštićeno područje	Dubina plovnog puta u odnosu na gaz broda (h/T)	Unutarnji kanal, zaštićeno područje
$\geq 1,5$	0,0 B	$\geq 1,5$	0,1 B
1,5 – 1,25	0,1 B	1,5 – 1,15	0,2 B
$< 1,25$	0,2 B	$< 1,15$	0,4 B

Koeficijenti navedeni u tablici preuzeti su iz prije navedene literature [85].

U tablici 9 prikazana je razlika između dubine plovnog puta i gaza broda za zaštićeno i nezaštićeno plovno područje iz razloga što će slobodni prostor ispod kobilice kod nezaštićenih plovnih područja morati biti veći zbog utjecaja valova.

Stoga, zbog plovidbe broda plovnim putom gdje je obalni rub blizu dolazi do interakcije između broda i obale te do usisavanja broda prema obali. Može se pretpostaviti i slučaj gdje je obalni rub na dovoljnoj udaljenosti od centralnog dijela plovnog puta te nema značajnog utjecaja na kretanje broda, ali kada brod iz bilo kojeg razloga izađe iz sredine plovnog puta dolazi do približavanja trupa broda obalnom rubu.

Utjecaj obalnog ruba na potrebnu dodatnu širinu plovnog puta dat će se za plovni put gdje je obalni rub stepenastog oblika i gdje je on blago položen. S obzirom na širine postojećih plovnih putova polazi se i od pretpostavke da će interakcija između broda i obale kada brod plovi unutar osnovne širine plovnog puta biti mala ili beznačajna, a da će tek kad izađe iz osnovne širine plovnog puta trebati uzeti u obzir navedeni utjecaj. Utjecaj bočne obale valja uključiti u izračun kada se utvrdi da je udaljenost između broda i obale manja od trostruke širine broda.

Kako utjecaj bočne obale najviše ovisi o brzini broda i udaljenosti broda od obale, on će se kao takav i prikazati. Utjecaj obalnog ruba ovisi i o odnosu dubine vode i gaza broda, a

kao mjerodavna vrijednost uzima se omjer od 1,1 do 1,5 T jer predstavlja omjer koji vrijedi za najveći broj velikih luka u svijetu²².

Koeficijenti širine plovnog puta zbog utjecaja različitih oblika obalnog ruba B_{bc} prikazani su u tablicama 10 i 11.

Tablica 10. Koeficijenti širine plovnog puta ovisni o utjecaju stepenastog oblika obalnog ruba

Brzina broda	Udaljenost ruba osnovnog manevarskog plovnog puta od obalnog ruba prikazan u funkciji širine broda B			
	3,0 B	2,0 B	1,0 B	0,5 B
< 7 čv	-	0,1 B	0,6 B	0,8 B
> 7 čv	0,1 B	0,3 B	1,0 B	1,3 B

Tablica 11. Koeficijenti širine plovnog puta ovisni o utjecaju blagopoloženog oblika obalnog ruba

Brzina broda	Udaljenost ruba osnovnog manevarskog plovnog puta od obalnog ruba prikazan u funkciji širine broda B			
	3,0 B	2,0 B	1,0 B	0,5 B
< 7 čv	-	-	0,2 B	0,4 B
> 7 čv	-	0,2 B	0,5 B	0,7 B

Do navedenih koeficijenta došlo se modificiranjem vrijednosti predloženih od strane PIANC-a, IAPH-a, IMPA-e i IALA-e [85] na osnovi najnovijih istraživanja D. C. Lo, Dong-Taur Su i Jan-Ming Chen [31].

Tablice 10. i 11. vrijede za zaštićena i nezaštićena plovna područja.

Koeficijent utjecaja vanjskih sila

Vjetar tijekom puhanja često mijenja brzinu i smjer te pri razmatranju utjecaja vjetra na kretanje broda valja pretpostaviti najnepovoljniji slučaj. Vjetar koji djeluje u smjeru simetrale broda neće posebno utjecati na kretanje broda dok će bočni vjetar nastojati pomaknuti brod s planiranog puta plovidbe, a brod će se navedenom utjecaju oduprijeti češćim i većim otklonima kormila. Navedena radnja rezultirat će manje preciznim kormilarenjem što će kao rezultat imati veće odstupanje od planiranog puta.

Kako ponašanje broda pri bočnom vjetru ovisi najviše o njegovoj površini izloženoj vjetru, ako plovni put upotrebljavaju brodovi velikih nadvodnih površina, preporučljivo je da se pri definiranju osnovne manevarske širine plovnog puta B_{smc} klasificiraju kao brodovi slabih manevarskih svojstava (Tablica 6). Pri određivanju koeficijenta dodatne širine plovnog puta zbog utjecaja vjetra valja uzeti u obzir i brzinu kojom će se brod kretati na pojedinom dijelu plovnog puta.

Koeficijenti širine plovnog puta zbog utjecaja vjetra B_w prikazani su u tablici 12.

²² Ch'ng 1991; Ch'ng and Renilson 1993; Li 2000

Tablica 12. Koeficijenti širine plovnog puta ovisni o utjecaju bočnog vjetra B_w

Prevladavajući bočni vjetar	Brzina broda (čv)	Izloženi i zaštićeni plovni putovi
Brzina ≤ 8 m/s (lagani vjetar) (15 čv, 4 Bf)	sve brzine	0,0 B
Brzina 8 – 17 m/s (umjereni vjetar) (15 – 33 čv, 5 – 7 Bf)	< 5	0,5 B
	5 - 12	0,4 B
	> 12	0,3 B
Brzina 18 – 24 m/s (jak vjetar) (33 – 48 čv, 7 – 8 Bf)	< 5	1,0 B
	5 - 12	0,8 B
	> 12	0,6 B

Koeficijenti navedeni u tablici 12. preuzeti su iz prije navedene literature [85], s tim što je brzina broda umjesto opisno definirana brojčanom vrijednošću u čvorovima.

Koeficijenti u tablici 12. dani su za vanjske, izložene plovne putove i za unutarnje, zaštićene plovne putove jer je zaštićenost plovnog puta definirana u prvom redu utjecajem valova, a ne djelovanjem vjetra.

Pri projektiranju novih plovnih putova valja razmotriti mogućnost orijentacije plovnog puta u smjeru prevladavajućih morskih struja kako bi se izbjeglo utjecaj jakih bočnih struja. Utjecaj morskih struja na brod dodatno otežava činjenica da morsku struju nije lako primijetiti za razliku od vjetra ili valova. Navedeni problem mogao bi se u budućnosti riješiti postavljanjem plutača s uređajem za mjerenja brzine i smjera morske struje, a zatim prenošenjem tih podataka do broda putem AIS sustava.

Koeficijenti širine plovnog puta zbog utjecaja bočne morske struje B_{ct} prikazani su u tablici 13.

Koeficijenti navedeni u tablici 13. preuzeti su iz prije navedene literature [85], s tim da je brzina broda umjesto opisno definirana brojčanom vrijednošću u čvorovima i što su neki koeficijenti za zaštićeno područje izostavljeni jer su dani za nerealno velike brzine broda.

U tablici 13. nisu dani koeficijenti za dodatnu širinu plovnog puta pri brzinama broda većim od 12 čv za plovidbu zaštićenim područjem jer je ta brzina u stvarnosti najčešće manja od 12 čv. Također, u tablici su izostavljeni koeficijenti za zaštićeno područje kada je morska struja jaka jer se pretpostavlja da će u tako ograničenom plovnom putu struje ipak imati longitudinalni smjer, a ne transverzalni. Kada to nije slučaj, valja uzeti koeficijente kao i za izložene plovne putove.

Tablica 13. Koeficijenti širine plovnog puta ovisni o utjecaju bočne morske struje B_{ct}

Prevladavajuća bočna struja	Brzina broda (čv)	Vanjski plovni putovi, nezaštićeno područje	Unutarnji kanal, zaštićeno područje
Brzina < 0,2 čv (nezatna)	sve brzine	0,0 B	0,0 B
Brzina 0,2 – 0,5 čv (slaba)	< 5	0,3 B	0,1 B
	5 - 12	0,2 B	-
	> 12	0,1 B	-
Brzina 0,5 – 1,5 čv (umjerena)	< 5	1,0 B	0,8 B
	5 - 12	0,7 B	0,5 B
	> 12	0,5 B	-
Brzina 1,5 – 2,5 čv (jaka)	< 5	1,3 B	-
	5 - 12	1,0 B	-
	> 12	0,7 B	-

Morska struja koja djeluje u smjeru plovnog puta daleko će manje utjecati na kretanje broda od one koja djeluje poprečno. Ipak, jaka morska struja koja djeluje u smjeru kretanja broda smanjit će brzinu strujanja vode oko lista kormila što će rezultirati slabijom mogućnošću kormilarenja. Također, jaka struja koja djeluje po pramcu u slučaju da dođe do malog otklona iz simetrale izazvat će otklanjanje pramca broda s planiranog puta i trebat će dodatni otklon kormila ili rad stroja da se brod vrati u željeni kurs.

Koeficijenti širine plovnog puta zbog utjecaja uzdužne morske struje B_{cl} prikazani su u tablici 14.

Tablica 14. Koeficijenti širine plovnog puta ovisni o utjecaju uzdužne morske struje B_{cl}

Prevladavajuća uzdužna struja	Brzina broda (čv)	Vanjski plovni putovi, nezaštićeno područje	Unutarnji kanal, zaštićeno područje
Brzina $\leq 1,5$ čv (slaba)	sve brzine	0,0 B	0,0 B
Brzina 1,5 – 3,0 čv (umjerena)	< 5	0,2 B	0,2 B
	5 - 12	0,1 B	0,1 B
	> 12	0,0 B	-
Brzina > 3,0 čv (jaka)	< 5	0,4 B	0,4 B
	5 - 12	0,2 B	0,2 B
	> 12	0,1 B	-

Koeficijenti navedeni u tablici 14. preuzeti su iz prije navedene literature [85].

Djelovanje valova na kretanje broda najteže je pojednostaviti od svih dosadašnjih razmatranja. Najtočniji podaci dobivaju se istraživanjem gibanja broda na valovima u bazenima za hidrodinamička ispitivanja. Kako su navedena ispitivanja vrlo skupa i zahtijevaju

mnogo vremena, rade se i matematički modeli koji daju podatke o ponašanju broda na valovima. Prije navedeni načini istraživanja primjereniji su za vrijeme dok brod boravi na mjestu priveza, dok se za vrijeme plovidbe broda određenim plovnom putom manje koriste.

Čimbenici za određivanje koeficijenata širine plovnog puta zbog utjecaja valova su značajna visina vala H_s , duljina vala λ za promatrano područje te duljina broda L .

Prilikom razmatranja valova treba uzeti u obzir i smjer valova, tj. dolaze li valovi po pramcu, krmi ili bočno. Valovi po pramcu i krmi uzrokuju posrtanje i podizanje/spuštanje broda, dok bočni valovi uzrokuju ljuljanje i podizanje/spuštanje broda. Svi ovi utjecaji smanjuju slobodni prostor ispod kobilice, ali i otežavaju kormilarenje.

Koeficijenti širine plovnog ovisni o valovima B_v prikazani su u tablici 15.

Tablica 15. Koeficijenti širine plovnog puta ovisni o valovima B_v

Značajna valna visina H_s i duljina λ (m)	Brzina broda (čv)	Vanjski plovni putovi, nezaštićeno područje	Unutarnji kanal, zaštićeno područje
$H_s \leq 1$ i $\lambda \leq L$	sve brzine	0,0 B	0,0 B
$1 < H_s < 3$ i $\lambda = L$	< 5	$\approx 0,5$ B	-
	5 - 12	$\approx 1,0$ B	-
	> 12	$\approx 2,0$ B	-
$H_s > 3$ i $\lambda > L$	< 5	$\approx 1,5$ B	-
	5 - 12	$\approx 2,2$ B	-
	> 12	$\approx 3,0$ B	-

Koeficijenti navedeni u tablici 15. preuzeti su iz prije navedene literature [85].

U navedenoj tablici nisu dani koeficijenti za zaštićeno područje, jer upravo po definiciji zaštićeno područje je zaštićeno od djelovanja valova. Iako su u tablici 15. definirani koeficijenti za određene uvjete, oni se mogu najčešće primjenjivati za manje brodove koji će utjecaj valova najviše i osjetiti. Za velike brodove, valovi koji se javljaju u područjima prilaza luci u većini slučajeva neće ometati plovidbu. Tamo gdje taj utjecaj ipak postoji, daleko veći će biti utjecaj na smanjenje slobodnog prostora ispod kobilice nego li na održavanje smjera.

Koeficijent utjecaja tegljača

Upotreba tegljača tijekom plovidbe broda ili manevriranja povećava stupanj sigurnosti plovidbe. Posebno se povećava stupanj sigurnosti kada je brzina broda vrlo mala i kada se brod priprema za neposredni manevar priveza, uplovljavanja u ustavu i sl. Broj i potrebna sila vuče tegljača u takvim slučajevima određuje se ovisno o veličini broda, njegovim manevarskim karakteristikama, konfiguraciji područja manevriranja, odnosno složenosti manevra, meteorološkim i oceanološkim uvjetima u akvatoriju te dozvoljenom vremenu trajanja manevra s obzirom na količinu prometa.

Kako je cilj ovog rada odrediti karakteristike plovnog puta gdje će rizik plovidbe navedenim plovnom putom biti prihvatljiv, razmotrit će se utjecaj tegljača samo na onom

dijelu plovnog puta gdje se uz asistenciju tegljača omogućava plovidba broda po planiranom putu, iako ga vanjski čimbenici nastoje s njega pomaknuti.

Dakle, razmotrit će se plovidba broda na dijelu plovnog puta kada je brzina broda dovoljno mala i gdje rad tegljača može imati svoj utjecaj na održavanje smjera. Pritom se uzima u obzir i činjenica da je utjecaj djelovanja tegljača manji kada je brzina broda veća, te da tegljači zahtijevaju određeni prostor uokolo broda za svoje djelovanje.

Za definiranje koeficijenta širine plovnog puta kada se pri plovidbi broda koriste tegljači, konzultirana je literatura [4] koja se bavi problematikom rada tegljača te su obavljani intervjui s peljarima i zapovjednicima tegljača.

Već je navedeno da se brzine brodova pri najmanjem režimu rada stroja kreću približno od 4 do 7 čv. Brzina broda na vanjskom dijelu plovnog puta može biti i veća od 7 čv, dok će na unutarnjem dijelu biti ona kojom brod plovi pri najmanjem režimu rada stroja ili često i manja. Brzina koja je manja od brzine broda pri najmanjem režimu rada stroja podrazumijeva povremeno upućivanje stroja radi potrebne korekcije smjera broda. S obzirom na uobičajene snage tegljača koji se koriste pri manevriranju, može se zaključiti da je njihov utjecaj na održavanje smjera broda i pri brzinama od 4 do 7 čv vrlo mali. Vrijeme koje je potrebno da se pomoću tegljača korigira odstupanje broda s planiranog puta je dugo, a u tom vremenu brod prelazi značajan put (3 do 4 duljine broda). Manje pozitivan utjecaj kod korištenja tegljača u navedenim uvjetima postoji kod ravnog dijela plovnog puta gdje treba korigirati male devijacije broda s planiranog puta. Tamo gdje se tegljač koristi za korekciju kretanja pri plovidbi zakrivljenim dijelom plovnog puta utjecaj je vrlo mali pri brzinama većim od 4 čv. Valja naglasiti da utjecaj ovisi i o deplasmanu broda.

Tegljač za efikasno djelovanje zahtijeva određeni prostor uokolo broda. Veličina ovog prostora ovisi o veličini tegljača i duljini teglja. Uobičajena duljina tegljača koji se koriste pri manevriranju iznosi do 30 m, a duljina teglja od 50 do 80 m. Pri korekciji smjera kretanja broda tegljači se mogu postaviti u položaj koji može zatvarati kut do 80° u odnosu na simetralu broda. Tegljači koji služe za usmjeravanje broda najčešće se prihvaćaju kroz centralno oko na pramcu ili krmi broda. Iz navedenog proizlazi da tegljač pri svom radu može biti u položaju koji je i do 70 m bočno od simetrale broda. S obzirom na uobičajene širine brodova, koje su daleko manje od navedene vrijednosti, može se zaključiti da će veličina prostora potrebnog za rad tegljača višestruko preći širinu broda.

Tablica 16. Osnovna manevarska širina plovnog puta kada se pri plovidbi koriste tegljači B_{smc-tu}

Manevarska obilježja broda	dobra	umjerena	slaba
Osnovna manevarska širina plovnog puta B_{smc}	1,5 B	1,9 B	2,3 B
Osnovna manevarska širina plovnog puta kada se pri plovidbi koriste tegljači B_{smc-tu}	1,3 B	1,6 B	2,0 B

Zbog svega navedenog zaključuje se da će rad tegljača biti ograničen prvenstveno brzinom broda, veličinom broda i karakteristikama plovnog puta kao i obilježjima samog tegljača. Rezultate rada tegljača nije moguće prikazati kao i sve ostale elemente kroz koeficijent koji djeluje na povećanje osnovne širine plovnog puta. Korištenje tegljača valja uključiti pri definiranju osnovne manevarske širine koja se dobiva na osnovi manevarskih obilježja broda. Dakle, za brod koji pri plovidbi koristi tegljače može se pretpostaviti da "ima bolja manevarska obilježja". Osnovna manevarska širina plovnog puta kada se pri plovidbi koriste tegljači B_{smc-tu} prikazana je u tablici 16.

Mogućnost praćenja kretanja broda - B_{pos}

Širina plovnog puta ovisi i o raspoloživom načinu određivanja položaja broda na planiranom putu plovidbe B_{pos} . Različite tehnike određivanja položaja daju i različite točnosti prilikom praćenja kretanja broda po planiranom putu.

Metode terestričke i elektroničke navigacije za određivanje položaja broda već su elaborirane u prijašnjim poglavljima, a u ovom poglavlju prikazan je utjecaj pogreške određivanja položaja na širinu plovnog puta. Metode određivanja položaja koje se mogu koristiti pri plovidbi uskim plovnim putovima, a razmatrane su u ovome radu, prikazane su u tablici 17.

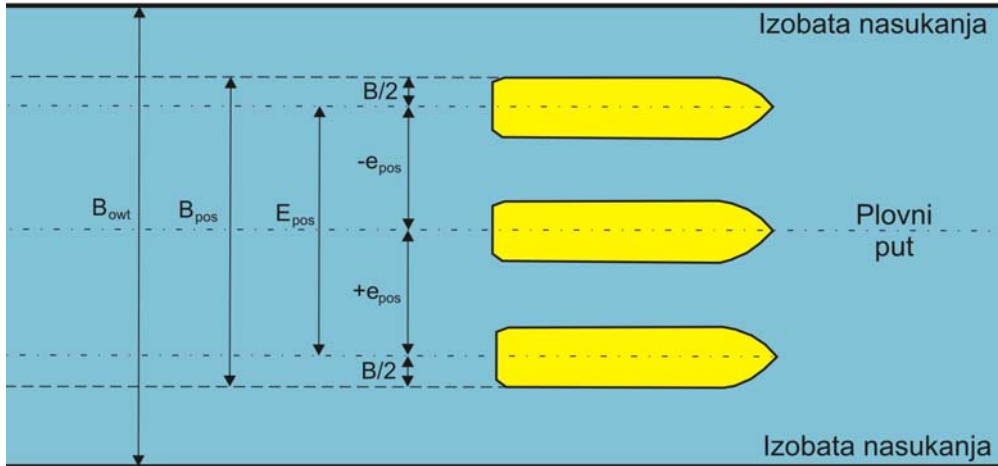
Tablica 17. Metode pozicioniranja i praćenja kretanja broda po planiranom putu

Terestrička navigacija	Pomoćne metode za navigaciju	Elektronička navigacija
- mjerenje azimuta	- sigurni pokriveni smjer	- GPS i elektronička karta
	- sigurni azimut	- pomorski radar (mjerenje udaljenosti i azimuta)
	- pozicioniranje pomoću navigacijskih oznaka	- laserski daljinomjer

Dakle, može se pisati da je širina plovnog puta zbog mogućnosti pozicioniranja i praćenja kretanja broda po planiranom putu B_{pos} :

$$B_{pos} = f(\text{način određivanja položaja})$$

Dodatna širina plovnog puta radi pogreške određivanja položaja ne može se prikazati kao koeficijent širine broda B kako je to bio slučaj s ostalim čimbenicima. Naime, pogreška kod određivanja položaja može biti ista i za male i za velike brodove. Zbog toga će širinu plovnog puta dobivenu kao funkciju kormilarenja B_{st} biti potrebno usporediti sa širinom plovnog puta dobivenom ovisno o metodi određivanja položaja B_{pos} .



Slika 13. Utjecaj pogreške određivanja položaja na širinu plovnog puta

Zbog pogreške određivanja položaja brod se može naći desno ili lijevo od planiranog puta, tj. pogreška određivanja položaja e_{pos} može imati pozitivni ili negativni predznak. Zbroj ovih pogrešaka predstavlja ukupnu pogrešku određivanja položaja E_{pos} te se može pisati:

$$E_{pos} = | +e_{pos} | + | -e_{pos} |$$

Ako se pretpostavi da je položaj broda određen za njegovu simetralnu ravninu, što je kod prikaza položaja broda na elektroničkim kartama i obveza, onda se širinu plovnog puta radi pogreške određivanja položaja B_{pos} mora uvećati za širinu broda B te se može pisati:

$$B_{pos} = E_{pos} + 2 \cdot B/2$$

odnosno:

$$B_{pos} = E_{pos} + B$$

Dobivenu širinu plovnog puta koja ovisi o metodi određivanja položaja B_{pos} valja usporediti sa širinom plovnog puta dobivenom kao funkcija kormilarenja B_{st} te vrijede sljedeći zaključci:

$$B_{pos} \leq B_{st} \Rightarrow B_{owt} = B_{st}$$

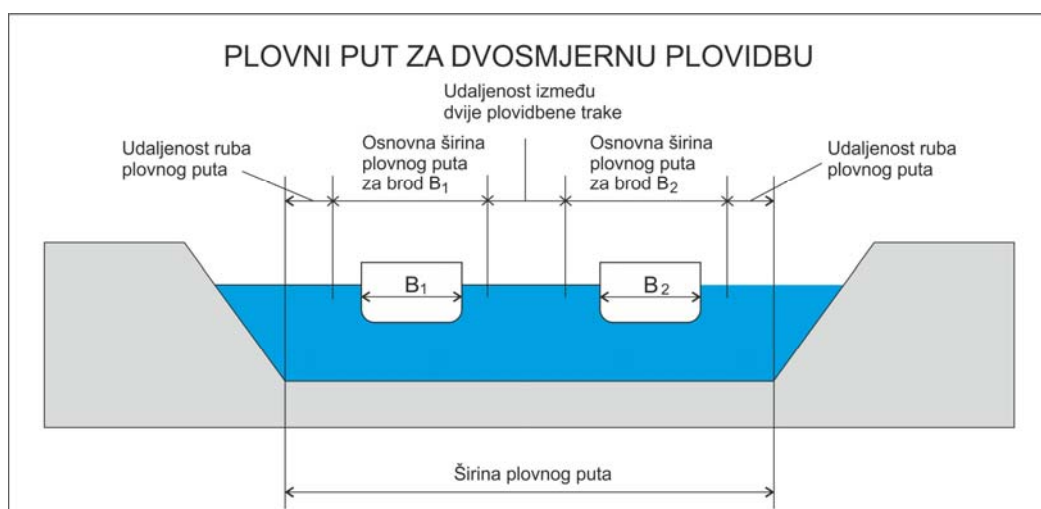
$$B_{pos} > B_{st} \Rightarrow B_{owt} = B_{pos}$$

Dakle, kada je širina plovnog puta koja ovisi o metodi određivanja položaja B_{pos} manja ili jednaka širini plovnog puta dobivenoj kao funkcija kormilarenja B_{st} , tada je širina jednosmjernog plovnog puta B_{owt} jednaka širini plovnog puta dobivenoj kao funkcija kormilarenja. Nadalje, kada je širina plovnog puta koja ovisi o metodi određivanja položaja B_{pos} veća od širine plovnog puta dobivenom kao funkcija kormilarenja B_{st} , tada je širina jednosmjernog plovnog puta B_{owt} jednaka širini plovnog puta koja ovisi o metodi određivanja položaja.

5.3. ŠIRINA RAVNOG DIJELA PLOVNOG PUTA – DVOSMJERNA PLOVIDBA

Plovni put koji služi za dvosmjernu plovidbu brodova mora biti širi zbog dodatnog prostora koji je potreban za mimoilaženje brodova. Na dvosmjernom plovnom putu valja analizirati sve koeficijente dodatne širine plovnog puta koji vrijede i za jednosmjernu plovidbu. Izuzetak je jedino što za svaki brod ne treba uzeti dodatnu širinu zbog utjecaja bočne obale s obje strane broda. Naime, dvosmjerni plovni putovi su znatno širi od jednosmjernih te će udaljenost kada samo jedan brod bude plovio dvosmjernim plovnom putom do bočne obale biti velika. Velika udaljenost od bočne obale rezultirat će malim ili neznatnim usisavanjem između broda i obale. Kada tijekom plovidbe brod bude naišao na drugi brod morat će se pomaknuti u stranu plovnog puta, približava se obalnom rubu i dolazi do privlačenja. Na isti način ponaša se i drugi brod. Dakle, evidentno je da će se brodovi uvijek približavati samo jednoj strani plovnog puta što dovodi do zaključka da je potrebno uzeti dodatnu širinu plovnog puta samo jednom za svaki brod.

Interakcija između brodova sličan je utjecaj kao i interakcija između broda i obale s tim da je proces još složeniji jer međudjelovanje uzrokuje zaošljanje broda koje nije konstantno već se mijenja kako se mijenja položaj između dva broda tijekom plovidbe.



Slika 14. Elementi širine plovnog puta za dvosmjernu plovidbu

Kako je već navedeno, sila interakcije koja se javlja ovisi o lateralnoj udaljenosti između dva broda, njihovim veličinama, brzini i slobodnom prostoru ispod kobilice. Od navedenih čimbenika pretpostavit će se da je slobodni prostor ispod kobilice od 1,1 do 1,5 T iz razloga koji je naveden i kod utjecaja obalnog ruba. Brzinu valja razmatrati kao relativnu brzinu između dva broda. Kod mimoilaženja relativna brzina bit će znatno veća od relativne brzine pri pretjecanju.

Koeficijenti širine plovnog puta zbog dvosmjerne plovidbe brodova B_{tw} prikazani su u tablici 18.

Tablica 18. Koeficijenti širine plovnog puta zbog dvosmjerne plovidbe B_{tot}

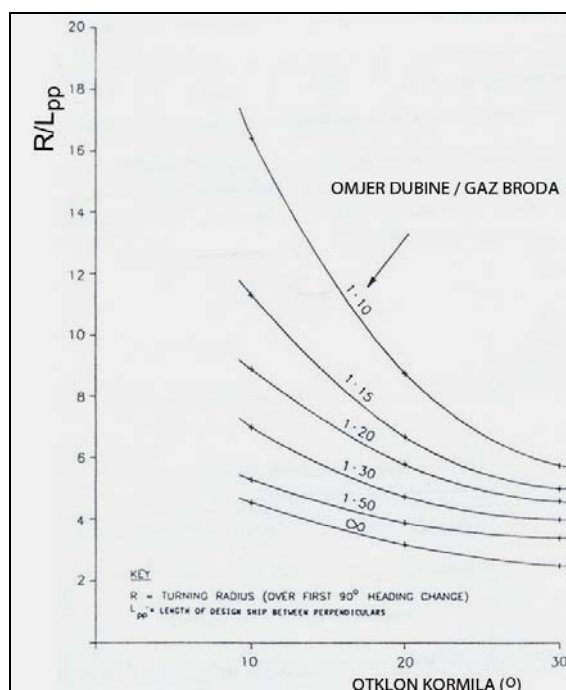
Duljina broda	Relativna brzina (čv)			
	0 - 5	5 - 10	10 - 15	15 - 25
< 200 m	2,0 B	1,7 B	1,5 B	1,7 B
> 200 m	2,5 B	2,0 B	1,7 B	2,0 B

Koeficijenti navedeni u tablici 18. modificirani su iz prije navedene literature [85] na način da su prikazani za relativnu brzinu između brodova pri mimoilaženju i pretjecanju te su dani za brodove kraće od 200 m i brodove dulje od 200 m.

U prikazanoj tablici relativna brzina između brodova od 0 do 5 čv i od 5 do 10 čv predstavlja moguće razlike brzina kod pretjecanja brodova. Relativne brzine od 10 do 15 čv i od 15 do 25 čv predstavljaju moguće razlike brzina kod mimoilaženja.

5.4. ŠIRINA ZAKRIVLJENOG DIJELA PLOVNOG PUTA

Zakrivljeni dio plovnog puta može se promatrati kao plovidba broda bez korištenja tegljača i uz korištenje tegljača. U nastavku će se razmatrati plovni put koji brod koristi bez upotrebe tegljača. Stoga oblik zakrivljenog dijela plovnog puta mora ovisiti o karakteristikama kružnice okretanja broda koji se razmatra kao projektni brod. Pri uvjetima mirnoga mora i bez vjetera za brodove koji imaju umjereno dobre manevarske karakteristike može se očekivati da će početni radijus biti 2 do 3 duljine broda u dubokoj vodi, dok u plitkoj vodi može biti 5 i više duljina broda gdje je omjer između dubine i gaza broda 1,1.

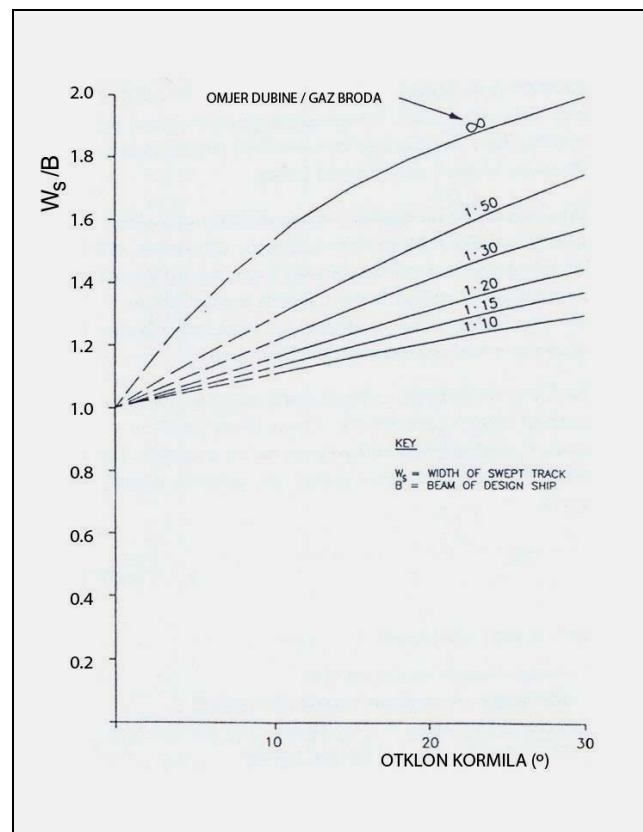


Slika 15. Radijus okreta broda kao funkcija kuta otklona kormila i dubine vode [85]

Pri zakretanju dolazi do bočnog zanošenja broda tako da je put koji brod prolazi širi od širine broda. Takva dodatna širina može iznositi povećanje u odnosu na širinu broda od 30 do 40 % pri omjeru dubine i gaza od 1,1, a od 100 do 160 % u dubokoj vodi [21].

Dakle, način na koji brod mijenja smjer utječe na potreban radijus zakrivljenog dijela plovnog puta kao i na širinu plovnog puta. Pri određivanju radijusa zakrivljenosti i širine plovnog puta, na dijelu plovnog puta gdje se ne koriste tegljači, ne smije se zakrivljeni dio plovnog puta odrediti tako da je pri okretu broda potrebno koristiti maksimalne otklone kormila. Naime, pri izvođenju kruga okreta korištenjem maksimalnih otklona kormila, nema mogućnosti popravka u slučaju djelovanja vjetra, valova i morske struje što će onemogućiti sigurnu plovidbu.

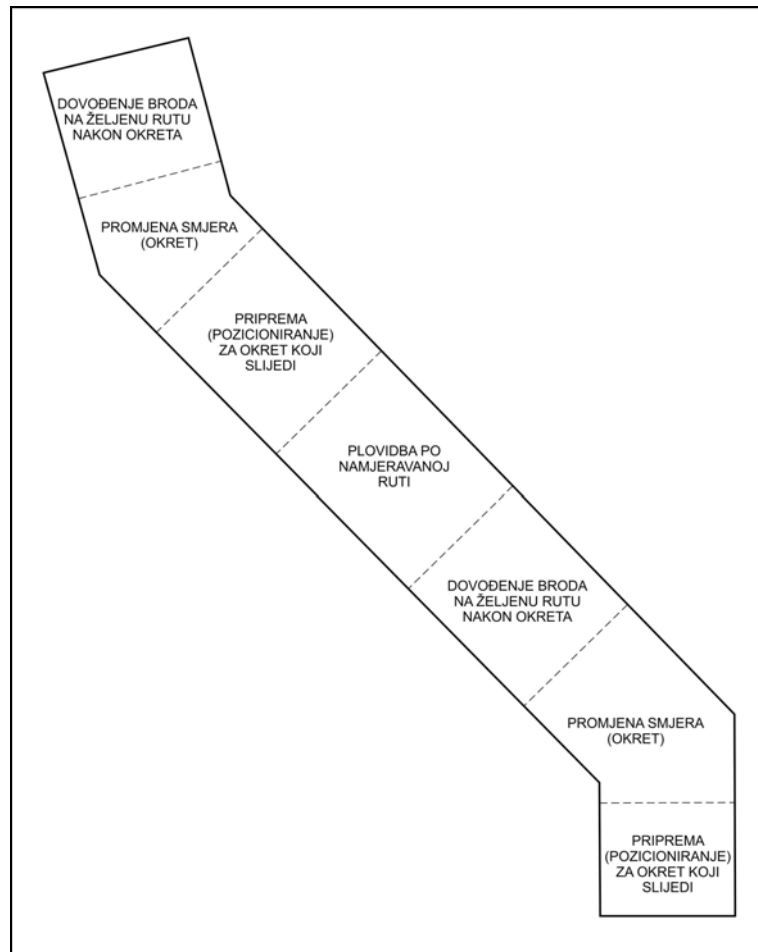
Stoga, radijus zakrivljenosti i dodatnu širinu plovnog puta zbog bočnog zanošenja referentnog broda treba odrediti za konstantni otklon kormila koji je manji od maksimalnog otklona. Uobičajeno se primjenjuju otkloni kormila od 15° do 20°. Veći otkloni kormila ne pružaju dovoljnu sigurnost (zbog nemogućnosti dodatnog otklona kormila) dok manji otkloni (kod velikih radijusa zakrivljenosti plovnog puta) otežavaju praćenje planiranog puta broda.



Slika 16. Širina koju brod prolazi pri okretanju kao funkcija kuta otklona kormila i dubine vode [85]

Plovni putovi obično imaju više uzastopnih zakrivljenih dijelova. Kod takvih plovnih putova brod neprestano prolazi tri faze, slika 17. Prva faza predstavlja plovidbu ravnim dijelom plovnog puta gdje se postupcima na brodu pokušava ploviti brodom točno po planiranom putu. Prije samog okreta započinje druga faza u kojoj brod treba pozicionirati tako

da se okretanje broda, koje neposredno slijedi, izvede na željeni način. Treća faza predstavlja okretanje broda, iza koje ponovno slijedi ispravljanje eventualnog odstupanja od planiranog puta koje je nastalo tijekom okretanja broda.

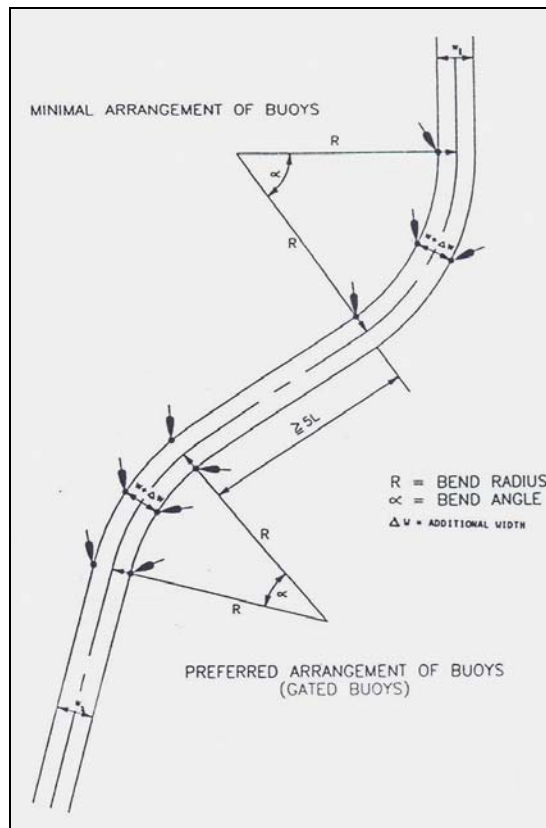


Slika 17. Faze plovidbe broda zakrivljenim dijelom plovnog puta

Položaj broda neposredno prije promjene smjera ima najveći utjecaj na način izvođenja okreta. Stoga, ako je moguće, duljina plovnog puta između dva zakrivljena dijela mora biti veća od 5 duljina broda [85]. Ova duljina potrebna je kako bi se brod nakon izvedenog prvog okreta mogao ponovno postaviti u pravilan položaj za izvođenje sljedećeg okreta. U slučaju da su zakrivljeni dijelovi plovnog puta predugi, postoji mogućnost dezorijentacije pri određivanju položaja te dolazi do prečeste upotrebe kormila. Kod prekratkih zakrivljenih dijelova plovnog puta, tj. premalog radijusa bit će potrebno razmotriti upotrebu tegljača pri plovidbi tim dijelom plovnog puta.

Održavanje položaja broda unutar zakrivljenog dijela plovnog puta zahtijeva da on bude dobro označen. Tehnike pozicioniranja koje su opisane u prethodnim poglavljima nisu prikladne jer brod mijenja smjer. Poradi toga se najčešće koristi tehnika vizualnog orijentiranja pomoću navigacijskih oznaka, slika 18. Kod jednosmjernih plovnih putova, navigacijske oznake na unutarnjoj strani plovnog puta bolje će omogućiti praćenje položaja broda nego li oznake s vanjske strane plovnog puta. U takvim slučajevima potrebno je postaviti najmanje tri oznake s unutarnje strane plovnog puta, te jednu oznaku s vanjske strane

plovnog puta. U slučaju da se postavlja više oznaka, tada oznake valja postaviti u paru na početku i na kraju te na sredini zakrivljenog dijela plovnog puta.



Slika 18. Karakteristike zakrivljenog dijela plovnog puta i navigacijske oznake na njemu [85]

Prije navedeno valja vrednovati pri određivanju potrebne širine plovnog puta. U slučaju da oznake nisu postavljene kako je to navedeno trebat će odrediti dodatnu širinu plovnog puta. Tehnika koja se može koristiti kod nedovoljno označenih zakrivljenih dijelova plovnog puta zahtijeva postavljanje radarski markantnog objekta koji se pozicionira u središtu kruga kojega je zakrivljeni plovni put sastavni dio. U tom slučaju se za navigaciju koristi radar i tehnika paralelnih indeksa. Kod određivanja širine plovnog puta korištenjem prije navedene tehnike potrebno je vrednovati točnost mjerenja udaljenosti korištenjem radara.

6. MODEL NASUKANJA BRODA

Plovidba broda određena je položajem broda na određenom dijelu plovnog puta od mjesta polaska do mjesta dolaska. Tijekom plovidbe brod mijenja smjer i brzinu u nekom vremenu. Sama plovidba broda može se razmatrati s dva moguća aspekta:

- tijekom plovidbe svi sustavi na brodu rade ispravno, a osoba koja upravlja brodom ponaša se kao „dobar pomorac“ i
- tijekom plovidbe došlo je do nastanka izvanrednog događaja koji utječe na mogućnost održavanja željenog smjera i/ili brzine.

Prvi slučaj i mogućnost sigurne plovidbe broda u tim uvjetima opisan je u poglavlju 5. gdje je pomoću koeficijenata određena potrebna širina plovnog puta. Dakle, plovidba broda na plovnom putu gdje je širina određena pomoću predloženih koeficijenata, uz pretpostavku da svi sustavi na brodu rade ispravno te da brodom upravlja „dobar pomorac“, može se smatrati sigurnom.

Drugi slučaj pretpostavlja nastajanje izvanrednog događaja koji će onemogućiti održavanje željenog smjera i/ili brzine broda. Pritom se pretpostavlja da su izvanredni događaji²³ (kvarovi) nastali na sustavu poriva broda i/ili sustavu kormilarenja. I u slučaju nastanka ovakvog izvanrednog događaja pretpostavlja se da se osoba koja upravlja brodom te ostali članovi posade ponašaju kao „dobri pomorci“.

Dva osnovna pomorska plovidbena rizika su rizik nasukanja i rizik sudara. U ovom radu u nastavku opisat će se model nasukanja broda i njemu pridruženi rizici.

Nasukanje je općenito vrsta pomorske nezgode koja uključuje dodir trupa broda s morskim dnom, što rezultira oštećenjem podvodnog dijela trupa broda, a posebno dna broda, te može dovesti do naplavlivanja brodskih prostora. Nasukanje uzrokuje veliko opterećenje na strukturu broda i jedno je od najvažnijih pomorskih nezgoda s obzirom na posljedice. Kod manjih nezgoda, ono može rezultirati samo manjim oštećenjem trupa, dok kod većih nezgoda nasukanje može rezultirati izlivanjem ulja, gubitkom ljudskih života ili potpunim gubitkom broda.

Nasukanje se najčešće dijeli u dvije osnovne grupe:

- nasukanje pri kojem je propulzijski sustav ostvarivao poriv u trenutku nasukanja (*Powered grounding*) i
- nasukanje pri kojem propulzijski sustav nije ostvarivao poriv u trenutku nasukanja, a do nasukanja nije došlo ni zbog preostale kinetičke energije broda, već je do nasukanja došlo zbog utjecaja vanjskih sila na brod (vjetar, valovi, morska struja) (*Drift grounding*).

Osim ovih osnovnih grupa, najčešće spominjanih u literaturi, postoje i druge vrste nasukanja kao npr. nasukanje usidrenog broda, nasukanje broda kod kojeg je došlo do izvanrednog događaja i dr. U nastavku ovog rada upravo će biti istraženo nasukanje do kojeg je došlo zbog izvanrednog događaja - kvara na sustavu kormilarenja.

²³ Opis kvarova u sustavu poriva ili sustavu kormilarenja koji izravno utječu na smjer i brzinu broda bit će detaljno opisani kasnije.

Nasukanje pri kojem je propulzijski sustav ostvarivao poriv u trenutku nasukanja nastaje kada se brod kreće naprijed ili natrag pod utjecajem poriva, a najčešći razlog nasukanja je navigacijska pogreška [24]. Različiti autori [17] navode da su osnovni razlozi zbog kojih dolazi do ovakvog načina nasukanja temeljne pogreške u procesu planiranja putovanja i upravljanja brodom. Pogreške na navigacijskim kartama ili nepravilno ažuriranje navigacijskih karata drugi je najvažniji razlog ovakvih nasukanja.

Nasukanja pri kojem propulzijski sustav nije ostvarivao poriv u trenutku nasukanja, tj. do nasukanja je došlo zbog utjecaja vjetra, valova i morske struje, najčešće nastaju nakon mehaničkog kvara [24] kao što je kvar stroja ili kormilarskog uređaja. Nepovoljni vremenski uvjeti uz nemogućnost ili neefikasnost sidrenja ili nedostupnost korištenja tegljača osnovni su uzroci ovakvog načina nasukanja, slika 19 i slika 20.



Slika 19. Liberijski brod za prijevoz rasutih tereta „Fedra“ nasukan na najjužnijem dijelu Gibraltara 10. listopada 2008. pod utjecajem vjetra brzine 125 km/h

Ovisno o vrsti dna na koje se brod nasukao, nasukanja se dijele na [37]:

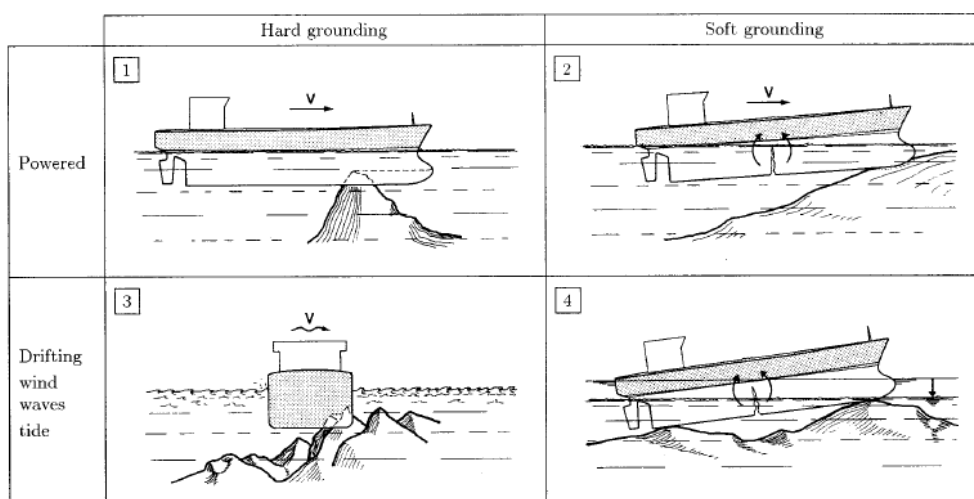
- „meko“ nasukanje i
- „tvrdo“ nasukanje.

„Meko“ nasukanje je ono kod kojeg se brod nasuče na pješčano ili muljevito dno, a „tvrdo“ nasukanje ono kod kojeg se brod nasuče na stjenovito dno.



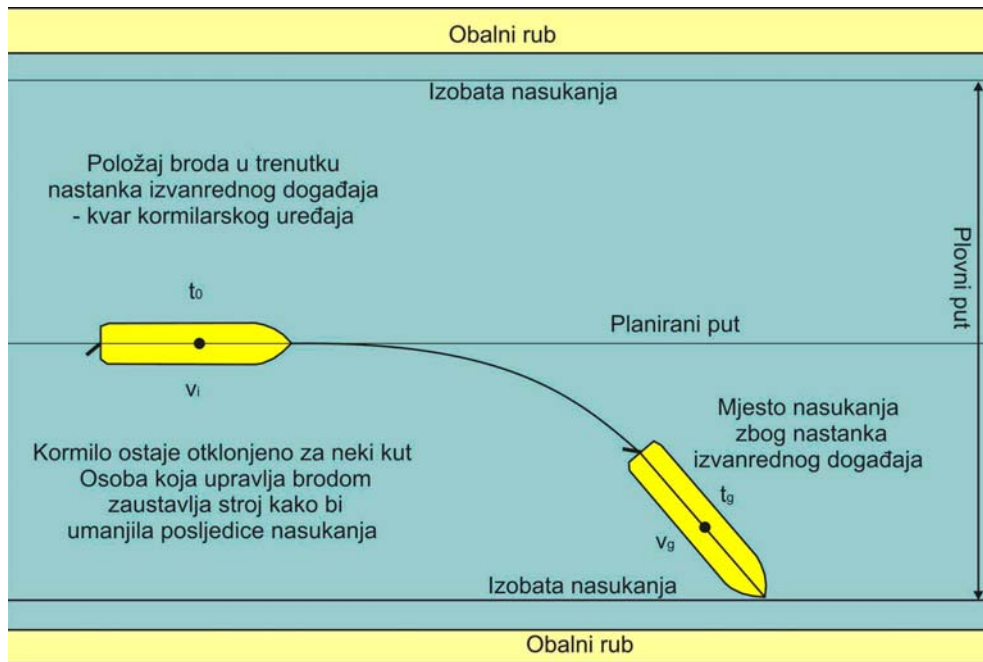
Slika 20. Nizozemski teretni brod „Artemis“ nasukan na Les Sables d’Olonne, na zapadnoj obali Francuske, 10. ožujka 2008. pod utjecajem vjetrova brzine 130 km/h

Opisani načini nasukanja prikazani su na slici 21.



Slika 21. Vrste nasukanja [37]

U ovom poglavlju analizirat će se nasukanje koje se događa na dijelu plovnog puta koji se smatra ograničenim zbog blizine opasnosti za navigaciju kao što su grebeni, hridi, podrtine, područja malih dubina, i sl. Plovni putovi opisanih obilježja postoje na prilazu lukama i u samim lukama te u uskim prolazima ili tjesnacima između obala otoka i/ili kopna. Pritom će se pretpostaviti scenarij kod kojeg na brodu dolazi do kvara kormilarskog uređaja pri čemu kormilo ostaje otklonjeno za neki određeni kut. Također se pretpostavlja da kvar neće biti moguće otkloniti u kratkom vremenu, ali će zato biti moguće koristiti stroj. U opisanom slučaju kada dođe do kvara kormilarskog uređaja pretpostavlja se da će osoba koja upravlja brodom zaustaviti stroj kako bi umanjila posljedice nasukanja, slika 22.



Slika 22. Scenarij nasukanja analiziran u radu

Dakle, u slučaju prije opisanog kvara kormilarskog uređaja, pri plovidbi uskim plovni putom, moguće je nasukanje broda koje nastaje zbog energije kretanja koju brod posjeduje u trenutku nastanka kvara.

6.1. ANALIZA POSTOJEĆIH MODELA NASUKANJA BRODA

Istraživanje postojećih modela nasukanja fokusiralo se na geometrijske modele. Pritom su razmatrani modeli koji su istraživali fizičke rizike nasukanja, dok modeli nasukanja koji su istraživali ostale rizike pri nasukanju (rizik po pojedinca, društvo, imovinu i prava) nisu analizirani. Postojeći modeli analizirani su kronološkim redom.

Općenito modeli nasukanja broda mogu se podijeliti u dvije grupe:

1. analitički modeli, pri kojima distribucija prometa brodova nije bila uzeta za definiranje modela,
2. statistički modeli, pri kojima je za definiranje modela uzeta distribucija prometa brodova.

S obzirom na cilj ovog rada i mogućnosti usporedbe dobivenih rezultata istraživanja s postojećim modelima, u nastavku će se opisati samo analitički modeli.

Macduff (1974)

Macduff [32] je zaključio da je stvarna vjerojatnost nasukanja P_{RG} umnožak geometrijske vjerojatnosti P_G i uzročne vjerojatnosti P_C te je prikazao izrazom:

$$P_{RG} = P_G \cdot P_C$$

gdje je:

P_G - vjerojatnost da brodu prijeti nasukanje podrazumijeva da brod plovi u kursu pri kojem može doći do nasukanja, te će do nasukanja svakako doći ako ne poduzme neku od radnji kojom će to spriječiti,

P_C - vjerojatnost nepoduživanja potrebne radnje da se spriječi nasukanje.

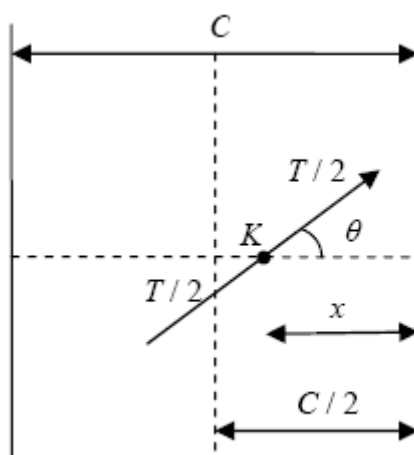
Za geometrijsku vjerojatnost slučajnih nasukanja (pod pretpostavkom slučajnog položaja broda bilo gdje unutar plovnog puta) naveo je da se može odrediti iz sljedećeg izraza:

$$P_G = \frac{4T}{\pi C}$$

gdje je:

T – duljina putanje kretanja broda ili zaustavni put; T je ujedno i funkcija veličine broda i brzine broda, za koju je Macduff pretpostavio da je jednaka dvadeset duljina broda,

C – širina plovnog puta.



Slika 23. Vjerojatnost nasukanja na plovnom putu prema Macduffu [32]

Macduff je razvoj svog modela temeljio na "Buffonovom problemu igle". Plovni put prikazao je dvodimenzionalno dok je brod u svom modelu prikazao jednodimenzionalno (kao iglu ili pravac). Kod ovakvog pristupa upitan je pristup nekorištenja širine broda i gaza broda. Također, nejasno je jesu li neki faktori koji utječu na vjerojatnost nasukanja bili korišteni pri proračunu geometrijske vjerojatnosti ili uzročne vjerojatnosti, a da u stvarnosti u tu grupu ne pripadaju.

Fujii (1974)

Fujii [26] model je uz Macduffov bio jedan od najranijih geometrijskih modela nasukanja broda na osnovi kojega su nastali mnogi modeli u kasnijim istraživanjima. Fujii je prikazao svoj model kao sredstvo za određivanje broja nasukanja.

Fujii model nasukanja sličan je njegovom modelu sudara s nepomičnim objektom, a dubina plovnog puta i gaza broda nisu bili direktno korišteni za proračun kandidata nasukanja.

Fujii je zaključio da će približni broj brodova N koji će se nasukati u plovnom putu biti:

$$N = P(D + B) \cdot \rho \cdot V$$

gdje je:

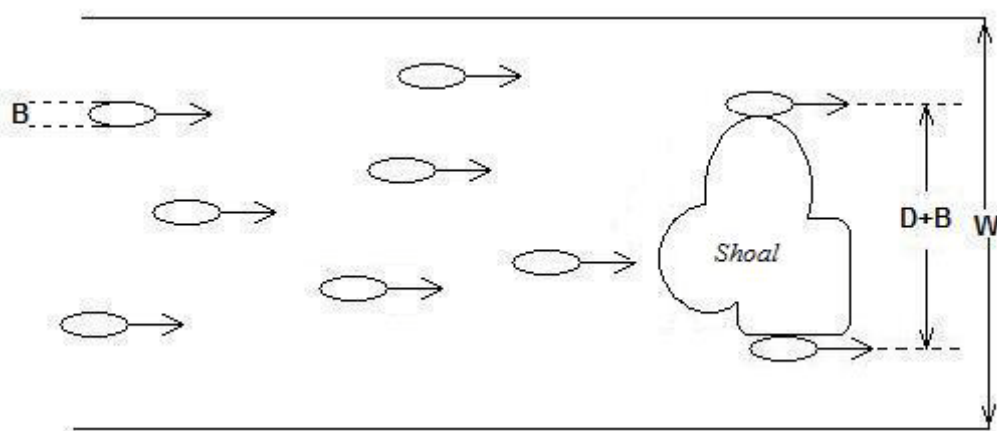
V – prosječna brzina prometnog tijeka

ρ – prosječna gustoća prometnog tijeka

D – širina pličine ili prepreke na plovnom putu

B – širina broda

P – vjerojatnost pogrešnog upravljanja brodom (ova vjerojatnost može se uzeti kao Macduffova uzročna vjerojatnost koja je kombinacija čimbenika kao što su okolina i ljudski faktor).



Slika 24. Model nasukanja prema Fujiiu [26]

U nastavku Fujii navodi da je D obično puno veći od B te zaključuje da se u prijašnjem izrazu B može zanemariti. Nadalje, pretpostavlja da može u nekim slučajevima D biti mnogo veći od W . I drugi autori ovdje izražavaju sumnju kako D može biti veći od W ? Može se zaključiti da D najviše može biti jednako širok kao W , a u tom slučaju su svi brodovi kandidati nasukanja.

Kite-Powel (1999)

Kite-Powell i ostali [29] nisu prikazali svoj model kao geometrijski model nasukanja već kao matematički model na osnovi Bayesove teorije. Pritom nije predviđen niti jedan scenarij za definiranje modela.

On je zaključio da vjerojatnost nasukanja pri plovidbi određenim područjem ovisi o više faktora rizika, koje je nazvao utjecajnim varijablama te je predvidio da događaj (plovidba određenim područjem) može biti potpuno siguran ili rezultirati nasukanjem, a da to ovisi o mnogim utjecajnim varijablama X . Na osnovi ove pretpostavke definirao je uvjetnu vjerojatnost nasukanja G :

$$p\langle G|x \rangle = l\langle x|G \rangle p / (l\langle x|G \rangle p + l\langle x|S \rangle (1 - p))$$

gdje je:

p - neuvjetna vjerojatnost da će doći do nasukanja G

$I\langle x|G \rangle$ - vjerojatnost događaja x za prolaz koji će rezultirati nasukanjem G

$I\langle x|S \rangle$ - vjerojatnost događaja x za prolaz koji će rezultirati sigurnim prolazom S .

U nastavku je objasnio utjecajne varijable i koliko koja od njih utječe na vjerojatnost nasukanja. Može se zaključiti da Kite-Powelov model nasukanja ne daje broj kandidata nasukanja, ali je model koristan za određivanje posljedične vjerojatnosti.

Fowler and Sørgård (2000)

Fowler and Sørgård [24] su jedini koji su odvojili modele nasukanja za nasukanja koja nastaju pri radu porivnog sustava i nasukanja uslijed djelovanja vanjskih sila.

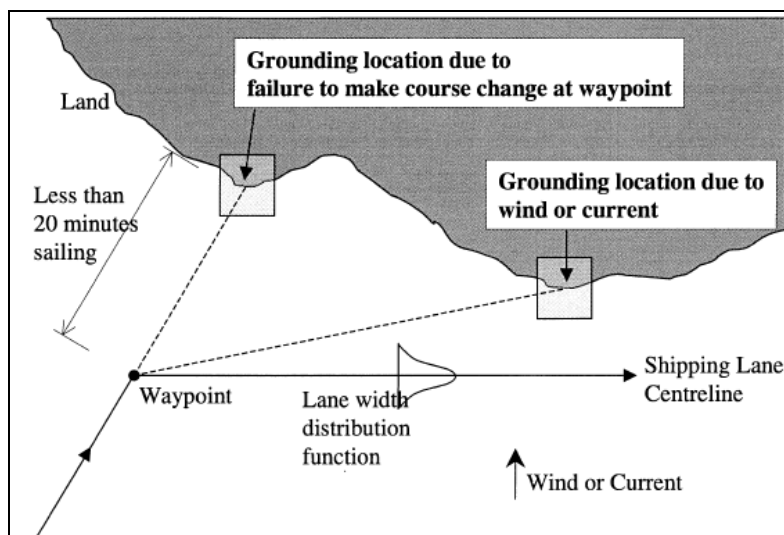
Za model nasukanja koje nastaje pri radu propulzijskog sustava predložen je sljedeći izraz:

$$f_{pg} = n_{pg} (P_c p_{pg,c} + P_f p_{pg,f})$$

gdje je:

- f_{pg} - frekvencija nasukanja koje nastaje pri radu porivnog stroja (godišnje),
- n_{pg} - frekvencija kritičnog položaja broda, gdje se kritičnim položajem smatra slučaj s točkom promjene smjera broda na planiranom putu udaljenom najviše 20 minuta plovidbe do obale. U ovom slučaju pretpostavlja se nasukanje broda pri radu porivnog stroja ako ne dođe do pravovremene promjene smjera,
- P_c - vjerojatnost dobre vidljivosti (vidljivost veća od 4 km),
- P_f - vjerojatnost smanjene vidljivosti (vidljivost manja od 4 km),
- $p_{pg,c}$ - odgovarajuća vjerojatnost nasukanja koje nastaje pri radu porivnog stroja u slučaju dobre vidljivosti,
- $p_{pg,f}$ - odgovarajuća vjerojatnost nasukanja koje nastaje pri radu porivnog stroja u slučaju smanjene vidljivosti.

Geometrijski elementi koji su uključeni u ovaj izraz su udaljenosti točke promjene kursa u odnosu na moguće područje nasukanja.



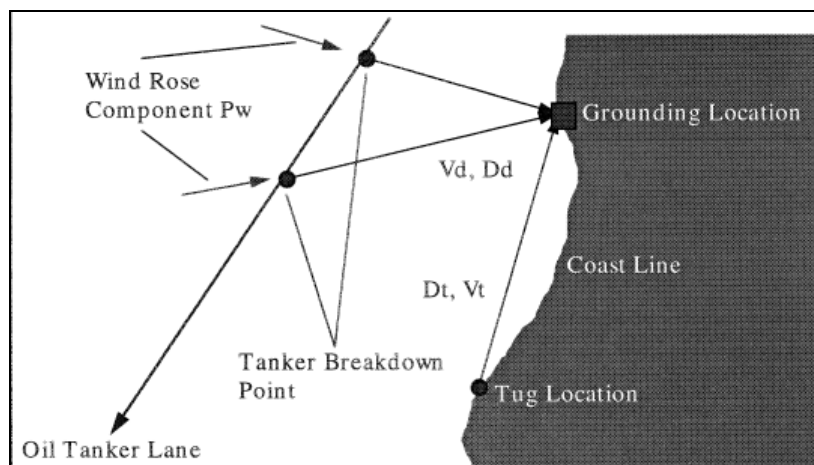
Slika 25. Model nasukanja pri radu porivnog sustava [24]

Za model nasukanja koje nastaje pri djelovanju vanjskih sila, ali bez djelovanja porivnog sustava predložen je sljedeći izraz:

$$f_{dg} = \sum_l f_{p,l} p_d \sum_w p_w [(1 - p_{sr,w})(1 - p_{t,w})(1 - p_{a,w})]$$

gdje je:

- f_{dg} - frekvencija nasukanja nastala pri djelovanju vanjskih sila, ali bez djelovanja porivnog sustava (godišnje),
- $f_{p,l}$ - frekvencija kvara porivnog sustava (broj brodova kod kojih je došlo do kvara porivnog sustava godišnje za sve planirane putove unutar 50 nautičkih milja od mjesta nasukanja),
- p_d - vjerojatnost zanošenja prema području nasukanja (zanošenje prema obalnoj liniji),
- p_w - vjerojatnost brzine vjetra određene kategorije,
- $p_{sr,w}$ - vjerojatnost da do nasukanja nije došlo zbog otklanjanja kvara, ovisi o brzini vjetra,
- $p_{t,w}$ - vjerojatnost da do nasukanja nije došlo zbog asistencije tegljača, ovisi o brzini vjetra,
- $p_{a,w}$ - vjerojatnost da do nasukanja nije došlo zbog upotrebe sidra, ovisi o brzini vjetra.



Slika 26. Model nasukanja pri djelovanju vanjskih sila, ali bez djelovanja porivnog sustava [24]

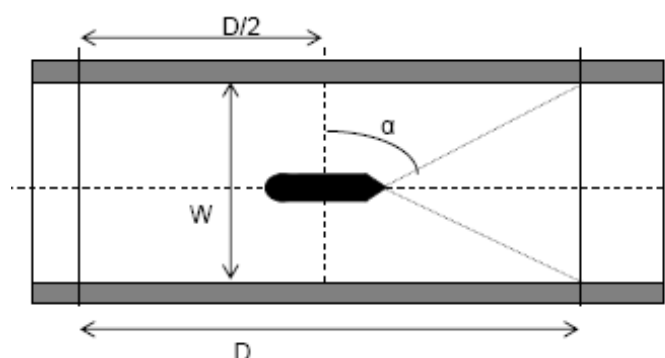
Kod ovog modela nasukanja, autori su uzeli u obzir mogućnost popravka kvara, mogućnost sidrenja broda ili mogućnost upotrebe tegljača. Za zanos su predvidjeli brzinu zanošenja u odnosu na brzinu vjetra, ali nisu pritom predvidjeli djelovanje morske struje i vala.

Kristiansen (2005)

Kristiansenov [7] model nasukanja može se shvatiti kao pojednostavljena kombinacija Fujiievog i Macduffovog modela. On je najprije pokušao odrediti vjerojatnost da se brod nasuće na neku prepreku na plovnom putu, a zatim je određivao vjerojatnost nasukanja s obzirom na broj prolaza plovnom putom. Također je dao model za nasukanje broda na bočnu obalu (u plovnom putu).

Kristiansen je pretpostavio da brod slijedi neki kurs u tzv. kritičnoj fazi. Kritičnom fazom definirao je slučaj kada brod „gubi“ kontrolu upravljanja zbog tehničkog kvara ili ljudske pogreške ili oba istovremeno. U svom modelu, uzdužni i poprečni položaj broda s obzirom na geometriju plovnog puta pretpostavio je da je slučajan.

U modelu nasukanja na bočnu obalu plovnog puta pretpostavio je da će brod u slučaju gubitka kontrole upravljanja nastaviti plovidbu u bilo kojem kursu u smjeru plovidbe broda.



Slika 27. Model nasukanja na bočnu obalu plovnog puta [7]

Galor koristi Kunzov [30] model:

$$P_A = N \cdot \int (d\lambda/ds) \cdot P_\varphi(s) \cdot P_D(s) \cdot ds$$

gdje je:

- P_A - vjerojatnost nezgode, udara ili nasukanja na prepreku na plovnom putu,
- N - broj brodova koji plove kraj prepreke na plovnom putu,
- $d\lambda/ds$ - omjer broja kvarova naspram broja brodova koji su prošli kraj prepreke,
- $P_\varphi(s)$ - vjerojatnost sudarnog kursa,
- $P_D(s)$ - vjerojatnost da se brod neće zaustaviti prije nego što dođe do prepreke.

U navedenom izrazu zasebno se definira vjerojatnost sudarnog kursa $P_\varphi(s)$ i vjerojatnost da se brod neće zaustaviti prije nego što dođe do prepreke $P_D(s)$. Galorov model pogodan je za određivanje vjerojatnosti sudara/udara u prepreku na plovnom putu, ali nije primjeren za određivanje vjerojatnosti nasukanja na bočnu obalu u plovnom putu.

Prikazani modeli kao rezultat dobivaju geometrijsku vjerojatnost nasukanja. Geometrijsku vjerojatnost nasukanja dobivaju na osnovi pretpostavki kao što su npr. da brodu prijete nasukanje ako se ne poduzme neka radnja izbjegavanja nasukanja, da će brod skrenuti s kursa za neki kut φ koji će rezultirati nasukanjem, da će brod pri plovidbi presjeći rub kanala, te da je razlika između širine broda i širine plovnog puta veća ili manja, itd. Za dobivanje rezultata kod ovih modela, autori uvode neke od parametara koje moraju pretpostaviti. Za neke pretpostavke oslanjaju se na statističke podatke kod prijašnjih nezgoda, gdje su podaci u statističkim bazama podataka stari i do 40 godina. Kako je u 40 godina došlo do bitnih promjena u obilježjima brodova, opremi, edukaciji pomoraca, označenosti plovnih putova, upitno je njihovo korištenje u današnjim uvjetima. Tamo gdje je broj statističkih podataka mali, što je česti slučaj kod pomorskih nezgoda, autori koriste ekspertno zaključivanje koje ovisi o sposobnostima eksperta, a podatke dobivene na ovaj način nije moguće provjeriti.

Na osnovi navedenog može se zaključiti da postojeći modeli ne daju pravu sliku nasukanja broda te ih je potrebno dalje razvijati.

6.2. ANALIZA UTJECAJA ISPRAVNOSTI PORIVNOG I KORMILARSKOG SUSTAVA NA KRETANJE BRODA

S obzirom na cilj ovog rada, nemogućnost kontrole brzine ili smjera broda smatra se izvanrednim događajem. Poznato je da se brzinu broda kontrolira radom porivnog stroja, dok se smjer kontrolira odgovarajućim otklonom lista kormila²⁴. Zbog toga će se u nastavku analizirati brodski sustavi koji direktno utječu na mogućnost kontrole brzine i smjera broda, a to su:

- sustav porivnog stroja
- sustav kormilarskog uređaja
- sustav napajanja električnom energijom.

²⁴ Navedeno vrijedi za najveći broj brodova, ali postoje i brodovi koji imaju različite načine kontrole smjera (npr. brodovi s azimutalnim porivnicima, vodomlaznim propulzorima i dr.)

Kod kvara na sustavu porivnog stroja, ovisno o razlogu zbog kojeg je došlo do kvara porivnog stroja ovisi i vrijeme koje će biti potrebno da se kvar otkloni i ponovno uspostavi pravilan rad sustava. Pojedine kvarove moći će otkloniti sama posada u kraćem ili dužem razdoblju, dok neke neće moći otkloniti sama posada već će biti potrebno brod tegliti do mjesta gdje će se obaviti popravak stroja.

U slučaju da je brod u trenutku kvara sustava porivnog stroja dovoljno blizu područja nasukanja, može se smatrati dovoljno izvjesnim da posada broda od trenutka nastanka izvanrednog događaja do trenutka nasukanja neće uspjeti otkloniti kvar. Također, nije izvjesno da će prilikom kvara porivnog stroja ujedno doći i do kvara kormilarskog uređaja. Ovakva pretpostavka omogućava razvoj scenarija gdje je došlo do kvara porivnog stroja, brod se nastavlja dalje kretati zbog inercije koju je imao u trenutku nastanka kvara, ali se kormilarski uređaj koristi kako bi se brod kretao planiranim plovnim putem. Kako efikasnost kormilarskog uređaja ovisi, između ostalog, i o brzini pritjecanja vode na list kormila, zbog smanjene brzine vodenog toka uokolo kormila dolazi do smanjenja efikasnosti kormila te u jednom trenutku²⁵ smjer kretanja broda više nije moguće kontrolirati odgovarajućim otklonom kormila. Brod se tada nastavlja kretati bez ikakve kontrole od strane posade broda, a njegova daljnja putanja ovisi o preostaloj inerciji i rezultantnoj sili vanjskih utjecaja.

U slučaju kvara porivnog sustava može se koristiti i sidreni sustav radi zaustavljanja broda i radi sprječavanja nasukanja, ali poznato je da za korištenje sidra moraju biti zadovoljeni određeni uvjeti²⁶ koji uvelike ograničavaju njegovo korištenje te se u ovom radu neće pretpostaviti.

U slučaju kvara porivnog stroja za kontrolu kretanja broda mogu se koristiti i tegljači. Dostupnost tegljača u slučaju izvanrednog događaja ovisi o njihovom položaju u odnosu na mjesto izvanrednog događaja i njihovoj raspoloživosti. Kako se u ovom radu ocjenjuje prihvatljivost pomorskih plovidbenih rizika na bilo kojem dijelu plovnog puta, a ne samo u lučkim područjima, neće se pretpostaviti mogućnost korištenja tegljača u slučaju izvanrednog događaja.

Kod kvara kormilarskog uređaja, uzroci zbog kojih može doći do nemogućnosti upravljanja kormilom su kvarovi na sustavu prijenosa naredbi između zapovjedničkog mosta i kormila, kvarovi na sustavu napajanja kormilarskog uređaja te kvarovi na samom kormilarskom uređaju. Ovisno o uzroku zbog kojeg nije moguće upravljati kormilom ovisi i mogućnost otklanjanja kvara ili prijelaz na rezervni sustav kormilarenja.

Neovisno o uzroku kvara, posljedica kvara kormilarskog sustava je određeni kut otklona kormila koji nije moguće ispraviti. Kutovi otklona kormila koji se mogu dogoditi kreću se u rasponu od minimalnog kuta (kormilo u sredini ili mali otklon kormila lijevo ili desno) do maksimalnog kuta otklona kormila.

S obzirom na navedeno pri korištenju modela radi utvrđivanja vjerojatnosti nasukanja pretpostavit će se svi otkloni kormila i putanje koje pritom brod prolazi. Također će se

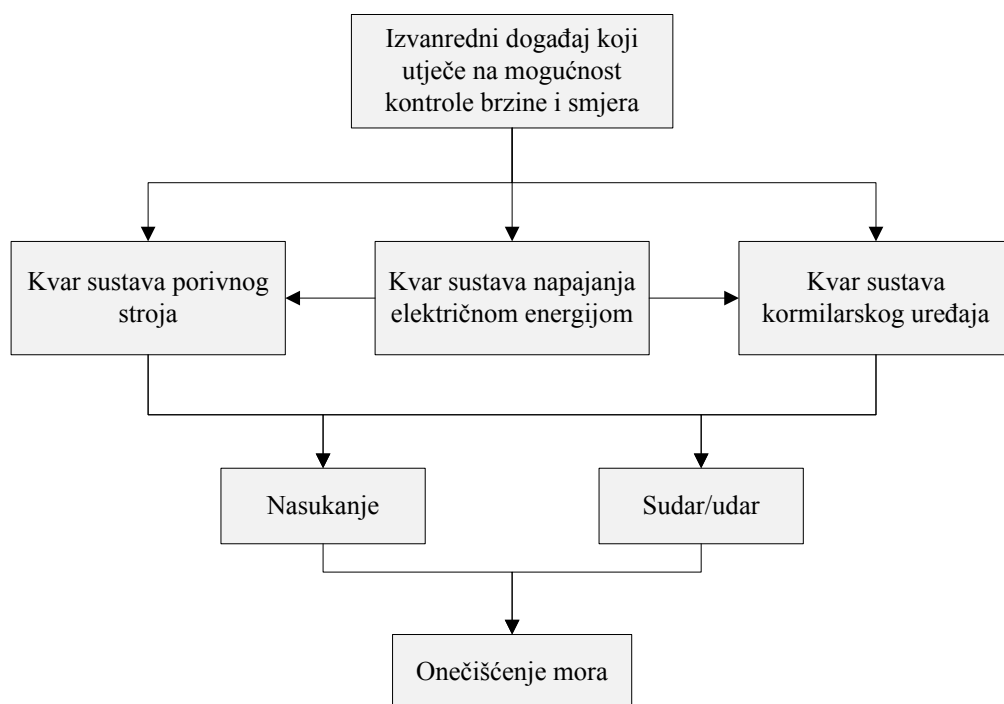
²⁵ Trenutak u kojem brod više ne „sluša“ kormilo događa se i prije nego što brzina broda padne na 0 čv.

²⁶ Dovoljno mala dubina mora, dovoljno mala brzina broda, dno pogodno za sidrenje, itd.

pretpostaviti da posada od trenutka nastanka kvara do trenutka nasukanja nije uspjela uspostaviti jedan od načina kormilarenja.

Kao što je već objašnjeno i prije u scenariju kretanja broda pretpostavit će se kvar kormilarskog uređaja i određeni otklon kormila koji se neće moći otkloniti, ali će zato stroj biti moguće koristiti te će se pretpostaviti da će osoba koja upravlja brodom zaustaviti stroj. U takvim slučajevima može se pretpostaviti i vožnja stroja krmom, što ovisi o karakteristikama stroja²⁷ i sposobnosti osobe koja upravlja brodom da donosi ključne odluke. Kada se brod nalazi na većim udaljenostima od obale ili kada plovi malom brzinom ovakav scenarij bi se mogao i zamisliti, ali kada je brod blizu obale ili plovi većom brzinom ovakav scenarij je vrlo upitan. Zbog toga se u ovom radu pretpostavlja da tijekom zaustavljanja broda neće doći do vožnje broda krmom.

Kvar na sustavu napajanja električnom energijom ne utječe direktno na brzinu i smjer kretanja broda, već onesposobljuje sustave o kojima ovisi mogućnost upravljanja brodom (sustav porivnog stroja i sustav kormilarenja). Sustav napajanja električnom energijom uobičajeno se sastoji od dva ili više generatora te generatora za napajanje pri izvanrednim okolnostima. Kada brod prolazi kroz potencijalno opasna područja, posada broda mora osigurati napajanje električnom energijom s minimalno dvostrukom zalihošću, tj. dva ili više generatora na mreži.



Slika 29. Uzročno-posljedični slijed opisanih izvanrednih događaja

²⁷ Mogućnost zaustavljanja i prekreta stroja, brzina broda, mogućnost startanja stroja, trenutni režim rada, je li vijak fiksni ili prekretni, itd.

U slučaju nemogućnosti korištenja glavnih generatora, pokreće se generator za napajanje u izvanrednim okolnostima²⁸ koji može podržavati rad kormilarskog uređaja, ali ne i rad glavnog stroja. Hoće li vrijeme koje je potrebno za ponovno uspostavljanje svih sustava biti dovoljno da ne dođe do nasukanja ovisi prvenstveno o udaljenosti broda od obale i brzini broda u trenutku nastanka izvanrednog događaja.

Posljedice koje će uzrokovati kvar sustava napajanja poprimaju iste scenarije kako je to u ovom poglavlju već opisano.

Valja napomenuti, da na brodu mogu nastati i drugi izvanredni događaji kao i druge vrste posljedica, ali su s obzirom na cilj ovog rada one izostavljene i u tekstualnom i u grafičkom dijelu.

6.3. RAZVOJ SCENARIJA NASUKANJA BRODA

Za odrediti vjerojatnost nasukanja valja utvrditi putanju broda koju će on slijediti pri različitim scenarijima izvanrednog događaja. Putanja kretanja broda može se dobiti na sljedeće načine:

- *in situ* - određivanje raznih putanja sa stvarnim brodom i određenim konkretnim područjem plovidbe,
- određivanje putanje kretanja broda korištenjem postojećih modela kretanja,
- određivanje putanje kretanja broda korištenjem navigacijskih simulatora.

In situ određivanje putanje za različite vrste i veličine brodova pri raznim uvjetima zahtijeva mnogo vremena i velike troškove. Svakako ovakav način daje najtočnije podatke i može ga se smatrati provodljivim. Ipak, zbog potrebnog vremena i troškova za njegovo provođenje ne koristi se često.

Modele kretanja broda preporučili su razni autori. Ovakvi radovi ograničeni su na jedan ili manji broj različitih vrsta i veličina brodova za koje je izvršena kalibracija modela s konkretnim brodom čije se kretanje namjeravalo modelirati. Nedostatak ovakvih modela je što je pri njihovoj izradi došlo do određenih pojednostavljenja i zanemarivanja kako model ne bi bio presložen pa se ne mogu koristiti za sve vrste i veličine brodova.

Navigacijski simulatori postali su neizbježni u edukaciji kako studenata tako i pomoraca na brodovima. Povrh ove njihove osnovne funkcije, navigacijski simulatori sve se više koriste i za analizu putanje kretanja broda, a tako dobiveni rezultati koriste se za projektiranje plovnih putova. Korištenjem simulatora istražuju se putanje kretanja broda kojim upravlja čovjek, čime se osim ponašanja modela istražuje i ponašanje ljudi.

Kao i kod modela raznih autora, nedostatak simulacijskih modela je da simuliraju kretanje samo određenih vrsta i veličina brodova. Kako je cilj ove disertacije bio napraviti model nasukanja velikog broja različitih vrsta i veličina brodova valjalo je istražiti mnoge scenarije. Već pri pripremi scenarija postalo je jasno da ako se želi napraviti model nasukanja za predviđene vrste i veličine brodova to zahtijeva dugotrajno istraživanje zbog vremena

²⁸ Generator za izvanredne okolnosti prema Tehničkim pravilima HRB-a treba automatski preuzeti napajanje razvodne ploče u izvanrednim okolnostima u vremenu od najviše 45 sekundi od njegovog upućivanja.

trajanja svakog scenarija na simulatoru. Naime, pri određivanju scenarija potrebno je bilo varirati vrstu broda, veličinu broda, brzinu broda i kut otklona kormila.

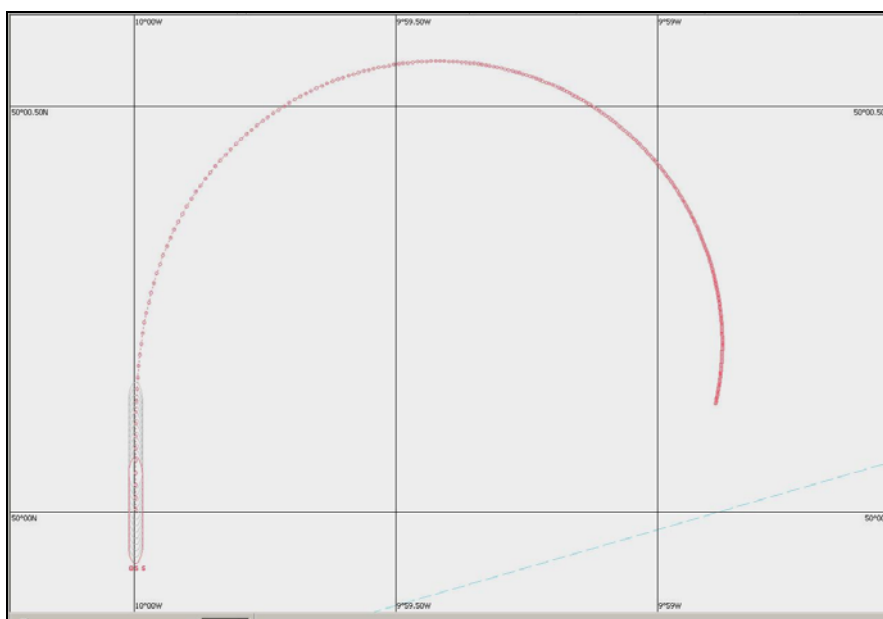
Stoga se smanjio broj scenarija na način da se izabralo vrste brodova koji će izazvati teže posljedice u slučaju nasukanja. Prema izabranom kriteriju u tu grupu spadaju brodovi za prijevoz tekućih tereta zbog vrste tereta koji prevoze te veliki brodovi za prijevoz rasutih tereta i kontejnera zbog tankova goriva velikih kapaciteta. U daljnjem smanjivanju ipak se izuzelo brodove za prijevoz kontejnera zbog bitno različitog oblika trupa, a time i manevarskih obilježja od brodova za prijevoz tekućih i rasutih tereta, tablica 19.

Tablica 19. Prikaz izabranih vrsta i veličina brodova na navigacijskom simulatoru

TRANSAS NTPro 4000

Vrsta broda	Deplasman (t)	Stanje nakrcanosti	LOA (m)	B (m)	T (m)	DSA (čv)	FA (čv)
<i>Tanker za kemikalije</i>	44 288	nakrcan	182,6	27,3	10,9	5,4	14,5
<i>Tanker za ulja</i>	77 100	nakrcan	242,8	32,2	12,5	5,5	15,0
<i>VLCC 4</i>	137 092	nakrcan	249,9	44,0	15,4	5,8	14,7
<i>Brod za rasute terete 2</i>	202 000	nakrcan	290,0	46,0	18,1	6,0	14,6
<i>VLCC 2</i>	321 260	nakrcan	332,0	58,0	20,8	5,5	15,7

Nakon što je utvrđena vrsta brodova koji će se istraživati, određene su i karakteristične veličine brodova. Na kraju je određeno da će se simulirati četiri veličine otklona kormila (5°, 10°, 20° i 35°) te tri različite brzine (najmanja i najveća te 10 čv što približno predstavlja sredinu između najmanje i najveće brzine odabranih brodova).



Slika 30. Grafički prikaz izvedene simulacije na nautičkom simulatoru TRANSAS NTPro 4000

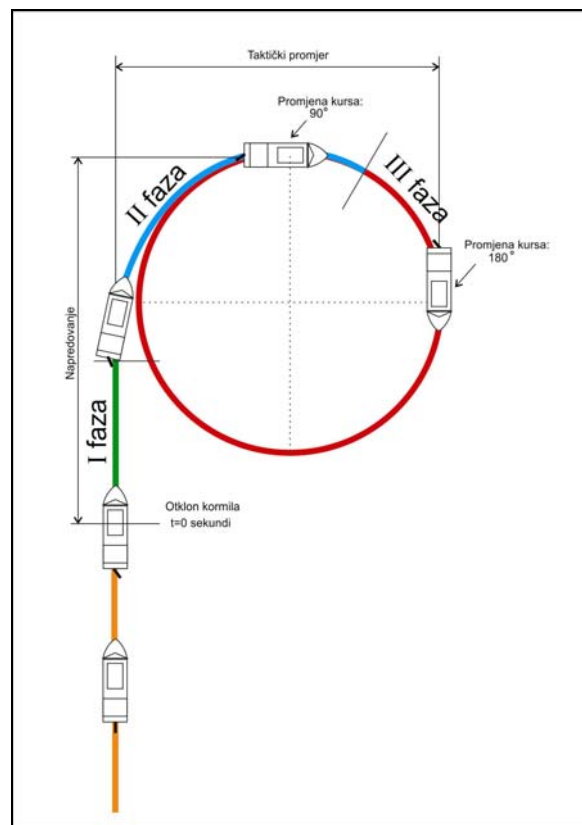
Ukupno je istraženo 60 scenarija, a tijekom provođenja simulacije svakih 30 s bilježeni su svi bitni podaci o trenutnom kretanju broda te grafički prikaz izvedene simulacije. Izabrani scenariji te numerički prikaz ispisa izvedenih simulacija nalaze se u prilogu 1 i 2.

6.4. MODEL KRETANJA BRODA

Osnovna pretpostavka je nastanak izvanrednog događaja, odnosno kvara kormilarskog sustava što je rezultiralo određenim kutom otklona kormila. Također, pretpostavlja se da posada broda u kratkom vremenu ne može otkloniti kvar. Posljedica kvara, odnosno određenog otklona kormila bit će zakretni moment koji će izazvati zakretanje broda.

Analizirajući okretanje broda, zbog djelovanja kormila, uočavaju se tri karakteristična razdoblja:

1. Vrijeme od trenutka skretanja kormila do trenutka kad se brod počinje okretati. Otklonom kormila za kut α nastaje sila kormila. Jedna njezina komponenta je nepoželjna jer povećava otpor broda, dok druga komponenta stvara poprečnu silu na uzdužnu os broda uz istovremeni moment s obzirom na točku trenutnog okretišta broda. Navedeni moment mora prije početka okretanja broda svladati moment tromosti mase broda zajedno s vodenom masom koja se nalazi neposredno oko brodskog trupa. Prije nego što svlada moment tromosti mase, djelovanje poprečne komponente odražava se jedino u pomicanju čitavog broda u poprečnom smjeru okomitom na simetralu broda. Prva faza traje kratko, a pomicanje je izrazitije na krmi nego li na pramcu. Prema tome, brod u prvim trenucima neposredno nakon otklanjanja kormila, proizvodi upravo suprotno gibanje od onog željenog.



Slika 31. Karakteristične faze pri okretanju broda

2. Drugo razdoblje započinje okretanjem broskog pramca u željenom smjeru, u trenutku kad moment sile kormila nadvladava moment tromosti mase broda i dijela vode oko njega. Tijekom drugog razdoblja brzina okretanja neprestano raste. S porastom kutne brzine okretanja smanjuje se polumjer kružnice okretanja. Brod nastavlja okretanje po krivulji čiji se polumjer zakrivljenosti smanjuje s tim da mu je tijekom okretanja pramac stalno bliže središtu kružnice nego krma.

3. Treće razdoblje nastupa u trenutku kad se uravnoteže sve sile i momenti (sila otpora broda, sila poriva, moment sile kormila i inercijalne sile i momenti). Tada se brod započinje okretati konstantnom brzinom po kružnici istog polumjera. Pramac se i dalje kreće po kružnici manjeg polumjera nego krma. Ovo razdoblje okretanja broda konstantnom brzinom po konstantnoj kružnici započinje obično nakon što je brod promijenio kurs za 100° do 120° .

6.5. NAČIN IZBORA KRIVULJE KRETANJA BRODA

Poznavajući zakonitosti kretanja broda pri okretanju valjalo je odrediti krivulju koja će najbolje opisati putanju broda pri okretanju. Pritom, trebalo je odrediti krivulju koja će zadovoljiti dva uvjeta:

- najbolje aproksimirati krivulju okretanja broda i
- imati parametre (elemente) koji se mogu pridružiti nekom karakterističnom svojstvu broda pri zakretanju.

Mogućnost nasukanja u slučaju opisanog izvanrednog događaja ovisi o bočnom pomaku broda i udaljenosti izobate nasukanja od položaja broda u trenutku nastanka izvanrednog događaja. U slučaju da je najveći bočni pomak manji od udaljenosti do izobate nasukanja, lako se može zaključiti da do nasukanja neće doći. Zbog toga, pri određivanju krivulje koja će najbolje aproksimirati krivulju okretanja broda razmatralo se dio krivulje okretanja broda do njegovog najvećeg bočnog pomaka. Iz prijašnjeg opisa karakterističnih faza okretanja broda pri otklonu kormila može se zaključiti da će u dijelu krivulje okretanja broda koja se aproksimira biti sadržane sve tri faze okretanja. Najveći bočni pomak ovisi o više čimbenika, a on se svakako neće dogoditi kod promjene smjera od 180° već kod nešto veće promjene smjera.

Između svih analiziranih krivulja kao krivulja koja ima najbližnje zakonitosti krivulji okretanja broda uočena je klotoida (prijelaznica). Klotoida se koristi pri projektiranju cestovnih prometnica i željezničkih pruga. Kod navedenih vrsta prometa neprestano se izmjenjuju ravne i zakrivljene dionice puta. Zakrivljene dionice puta određene su radijusom zakrivljenosti i tada se prijevozno sredstvo kreće po kružnom luku. Problem koji se javlja je spoj između ravnog dijela puta (po pravcu) i zakrivljenog dijela (kružni luk).

Stoga se pri prijelazu iz ravnog u zakrivljeni dio puta koristi klotoida gdje dolazi do postepenog prijelaza iz pravca u krug. Pritom se radijus zakrivljenosti neprestano smanjuje sve dok ne dostigne radijus kruga zakrivljenosti, a navedena promjena događa se linearno.

Klotoida ima spiralni oblik i u usporedbi s kružnicom samo je jedan stupanj složenija, slika 32. Za klotoidu vrijedi izraz:

$$R \cdot L = Const. = A^2$$

odnosno:

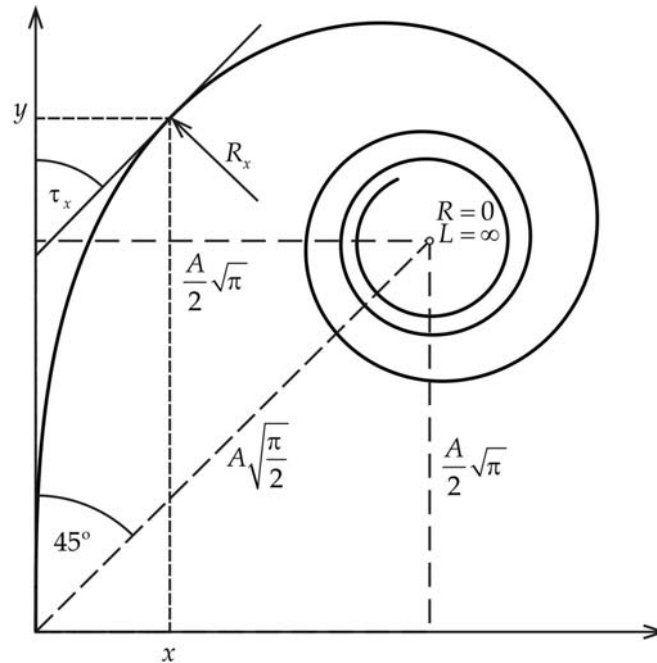
$$A = \sqrt{R \cdot L}$$

gdje je:

R – radijus zakrivljenosti klotoide u nekoj točki

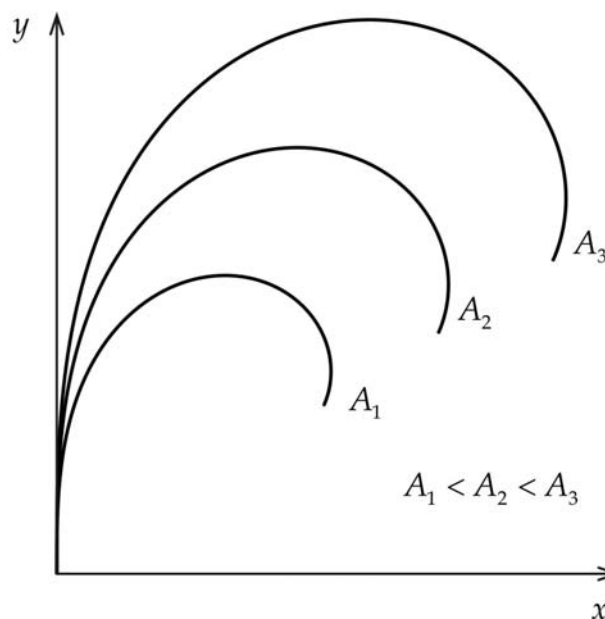
L – duljina luka klotoide od ishodišta do neke točke

A – parametar klotoide.



Slika 32. Matematički oblik klotoide

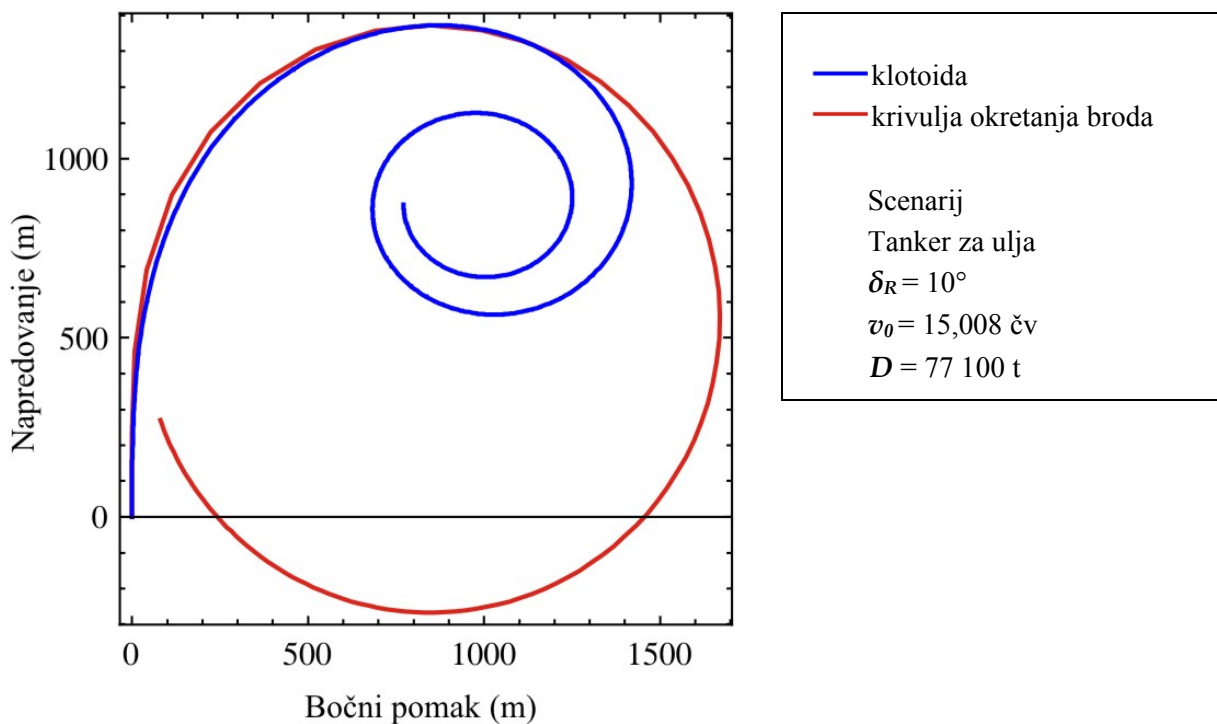
Parametar klotoide A predstavlja faktor veličine. Ako se promjeni parametar A dolazi do promjene veličine klotoide. Parametar A ima isto značenje kao i radijus R za kružni luk ili parametar p za parabole i hiperbole. Njegovim uvećanjem ili smanjenjem mijenja se samo veličina, no oblik ostaje uvijek sličan, slika 33. To znači da su sve klotoide geometrijski slične, te se praktično fotografskim uvećanjem ili smanjenjem mogu prenijeti jedna na drugu.



Slika 33. Geometrijski slične klotoide ovisne o parametru A

Uspoređujući krivulju kretanja broda i klotoidu zaključuje se da u prvoj fazi okretanja broda dolazi do male promjene smjera što odgovara maloj promjeni radijusa zakrivljenosti kod početne faze klotoide. U drugoj fazi okretanja broda dolazi do neprestanog smanjenja radijusa zakrivljenosti, odnosno porasta kutne brzine okretanja što se slično događa i kod klotoide jer dolazi do ravnomjerne linearne promjene zakrivljenosti i smanjenja radijusa. Kod treće faze okretanja broda dolazi do okretanja broda konstantnom brzinom po kružnici istoga polumjera što se ne događa i kod klotoide već kod nje i dalje dolazi do promjene zakrivljenosti i smanjenja radijusa.

Dakle, može se zaključiti da klotoida vrlo dobro aproksimira krivulju okretanja broda u prvoj i drugoj fazi, dok bi u trećoj fazi valjalo koristiti zakonitosti kružnice, slika 34. Navedeno je teoretski moguće i na taj način dobila bi se vrlo dobra aproksimacija krivulje okretanja broda. Pri odabiru krivulje valja zadovoljiti i drugi uvjet, koji zahtjeva da se parametri izabrane krivulje mogu pridružiti nekom karakterističnom svojstvu broda pri okretanju, međutim prije navedena kombinacija to ne omogućava. Stoga je izabrana modificirana klotoida kako bi što bolje aproksimirala krivulju okretanja broda, a ujedno zadovoljila tražene uvjete.



Slika 34. Usporedba klotoide i krivulje okretanja broda

U literaturi [107] se može naići na različite oblike parametarske jednadžbe klotoide, ali za potrebe ovoga rada izabran je sljedeći poopćeni oblik:

$$\begin{aligned}
 x(t) &= a \int_0^t \sin(\alpha \tau^2) d\tau \\
 y(t) &= b \int_0^t \cos(\beta \tau^2) d\tau
 \end{aligned}
 \tag{6.1}$$

Poopćenje se sastoji u tome da se omogućuje različitost koeficijenata α i β s ciljem veće slobode u modeliranju stvarne putanje broda. Pritom, jedan od kriterija poopćenja je bio generirati što manji broj slobodnih parametara koji nemaju fizikalno značenje.

Konstante množenja a i b utječu na skaliranje klotoide u XY ravnini. One se formalno mogu promijeniti u oblik $a \rightarrow ax_{max}$ i $b \rightarrow by_{max}$, kako bi se preko a i b postiglo skaliranje klotoide na univerzalnu jediničnu veličinu, a sa x_{max} i y_{max} dodatno skaliranje na stvarnu krivulju putanje broda. Time se ujedno postiže pregledniji utjecaj smislenih (ulaznih) parametara, a nema posljedice na matematički formalizam. Uvedeni parametri imaju sljedeće značenje:

x_{max} - maksimalni bočni pomak i

y_{max} - maksimalno napredovanje.

Izrazi (6.1) dobivaju sljedeći oblik:

$$\begin{aligned} x(t) &= ax_{max} \int_0^t \sin(\alpha \tau^2) d\tau \\ y(t) &= by_{max} \int_0^t \cos(\beta \tau^2) d\tau \end{aligned} \quad (6.2)$$

Kao karakteristične točke upotrebljive prilikom prilagodbe putanje broda izabrane su:

$T_{x_{max}}$ - kao točka u kojoj x -koordinata postiže globalni maksimum (tangenta paralelna y -osi) i

$T_{y_{max}}$ - kao točka u kojoj y -koordinata postiže globalni maksimum (tangenta paralelna x -osi).

Egzaktni izračun parametra $t_{x_{max}}$ i $t_{y_{max}}$ koji odgovara tim točkama dobiva se polazeći od uvjeta da su prve derivacije odgovarajuće koordinate po parametru t jednake 0 (uvjet ekstrema):

$$\begin{aligned} \left(\frac{dx}{dt} \right)_{t_{x_{max}}} &= 0 \\ \left(\frac{dy}{dt} \right)_{t_{y_{max}}} &= 0 \end{aligned} \quad (6.3)$$

što prema jednadžbi klotoide daje:

$$\begin{aligned} ax_{max} \sin(\alpha t_{x_{max}}^2) &= 0 \\ by_{max} \cos(\beta t_{y_{max}}^2) &= 0 \end{aligned} \quad (6.4)$$

odnosno:

$$\begin{aligned} \alpha t_{x_{max}}^2 &= k\pi, \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \\ \beta t_{y_{max}}^2 &= \frac{\pi}{2} + k\pi, \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \end{aligned} \quad (6.5)$$

Globalni ekstrem dobiva se izborom $k = 1$, odnosno $k = 0$, pa je:

$$\begin{aligned} t_{x_{max}} &= \sqrt{\frac{\pi}{\alpha}} \\ t_{y_{max}} &= \sqrt{\frac{\pi}{2\beta}} \end{aligned} \quad (6.6)$$

Konstante a i b uvedene u (6.2) određuju se iz zahtjeva da klotoida poprima globalne ekstreme u točkama $T_{x_{max}}$ i $T_{y_{max}}$:

$$\begin{aligned} x(t_{x_{max}}) &= x_{max} \\ y(t_{y_{max}}) &= y_{max} \end{aligned} \quad (6.7)$$

slijedi:

$$\begin{aligned} x_{max} &= a x_{max} \int_0^{t_{x_{max}}} \sin(\alpha \tau^2) d\tau \\ y_{max} &= b y_{max} \int_0^{t_{y_{max}}} \cos(\beta \tau^2) d\tau \end{aligned} \quad (6.8)$$

to jest:

$$\begin{aligned} a &= \left[\int_0^{\sqrt{\pi/\alpha}} \sin(\alpha \tau^2) d\tau \right]^{-1} \\ b &= \left[\int_0^{\sqrt{\pi/(2\beta)}} \cos(\beta \tau^2) d\tau \right]^{-1} \end{aligned} \quad (6.9)$$

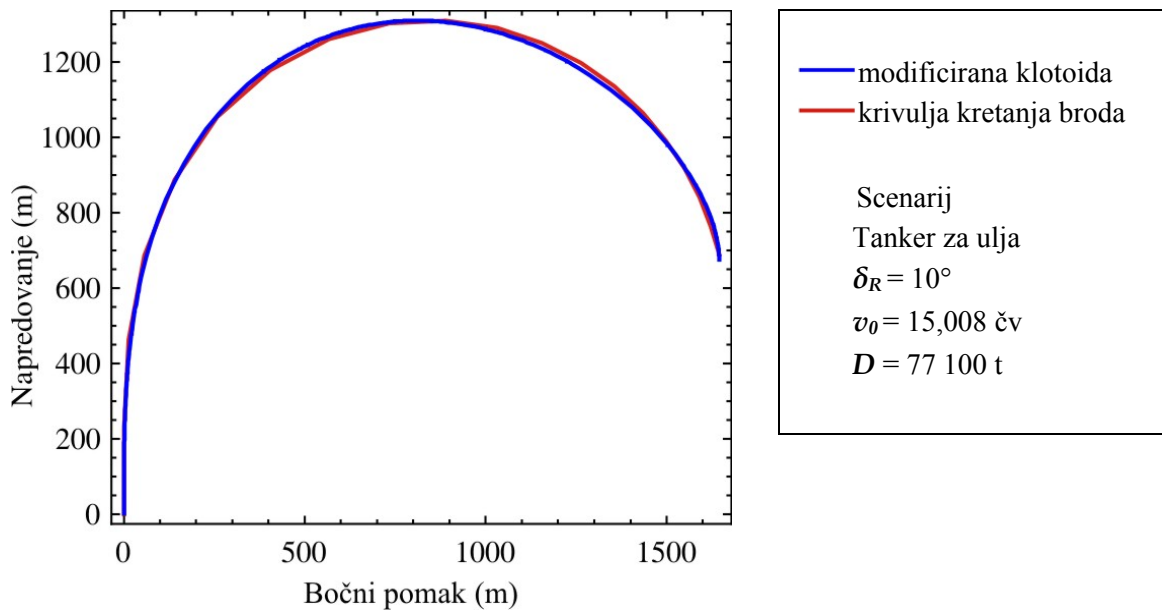
U temeljitoj analizi vrijednosti parametara α i β kako bi se dobila optimalna aproksimacija krivulja putanje broda došlo se do zaključka da su vrijednosti:

$$\begin{aligned} \alpha &= 1,0 \\ \beta &= 1,2 \end{aligned}$$

Za ovako izabrane vrijednosti dobiva se:

$$\begin{aligned} a &= 1,11753 \\ b &= 1,12072 \end{aligned}$$

Postignuto poklapanje modela kretanja broda sa stvarnom krivuljom kretanja broda prikazano je na slici 35.



Slika 35. Postignuto poklapanje modela kretanja broda sa stvarnom krivuljom kretanja broda

Tijekom analize vrijednosti parametara α i β , kako bi se dobilo najbolje poklapanje između modela i krivulje putanje broda, primijećeno je da veću osjetljivost ima parametar β . Promjenom parametra β u modelu kod pojedinih krivulja kretanja broda dobivale su se bolje aproksimacije. Parametar β pritom je variran od 1,16 do 1,20. Kako je razlika u obliku dobivene krivulje putem modela i stvarne krivulje kretanja broda neovisno o promjeni parametra β (od 1,16 – 1,20) mala, a još manji je i utjecaj na krajnji rezultat, kao najbolja generalna veličina parametra β izabrana je vrijednost 1,2.

6.6. MODEL PROMJENE BRZINE

Nakon što je izrađen model kretanja broda valja odrediti i model promjene brzine. Pri odabiru modela promjene brzine nije se moglo koristiti postojeće modele jer oni modeliraju pad brzine broda pri pravocrtnom kretanju. Za potrebe ovog rada trebalo je odrediti promjenu brzine u bilo kojoj točki krivulje okretanja za neki konstantni otklon kormila.

Dodatna specifičnost pri određivanju modela promjene brzine bila je ta što se pretpostavljalo da će posada broda nakon što se dogodio izvanredni događaj (kvar kormilarskog uređaja), koji je rezultirao određenim otklonom kormila, zaustaviti stroj kako bi umanjila posljedicu u slučaju nasukanja broda. Dakle, model promjene brzine mora prikazati promjenu brzine u bilo kojoj točki krivulje okretanja broda kada je otklon kormila konstantan, a stroj zaustavljen.

Kako bi se zadovoljilo navedeno, trebalo je izraditi model prema kojem brzina teži k nuli kada vrijeme teži u beskonačno. U $t = 0$, model mora zadovoljavati $v = v_0$ (inicijalna brzina). U trenutku $t = 0$ pri nekoj inicijalnoj brzini v pretpostavlja se da je došlo do određenog kuta otklona kormila zbog kvara na sustavu kormilarenja, a posada je zaustavila stroj.

Pri izradi modela promjene brzine, krenulo se od pretpostavke da je sila otpora proporcionalna brzini, a prilagođavanjem tog modela na simuliranu funkciju brzine dobiven je sljedeći izraz:

$$v(t) = \frac{v_0}{\sqrt{1 + wt^2}}$$

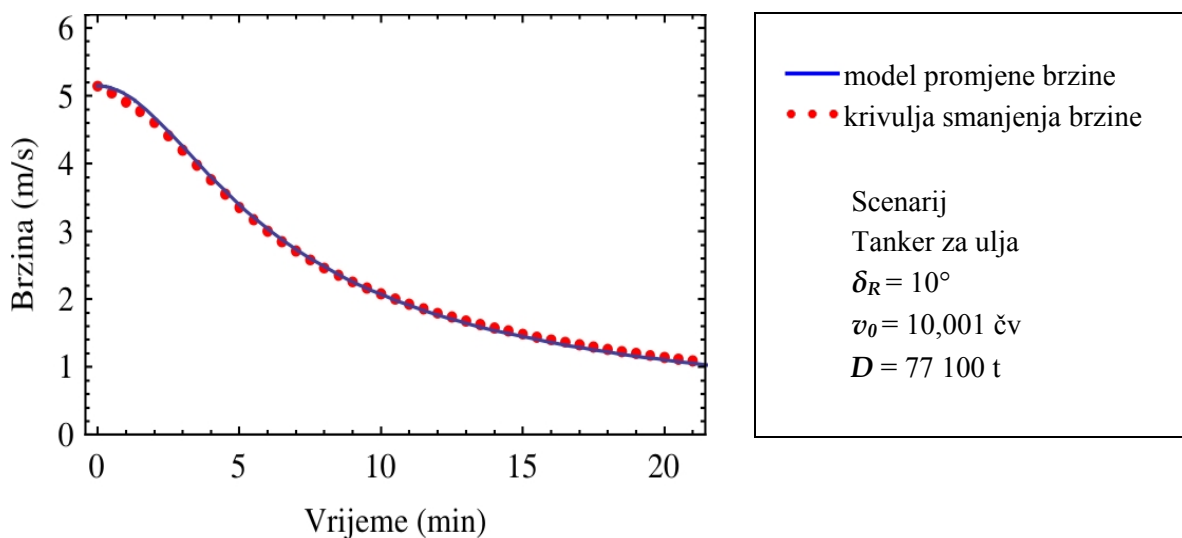
gdje je:

$v(t)$ – brzina broda (m/s),

t – vrijeme mjereno od trenutka kada je došlo do nastanka izvanrednog događaja (s),

v_0 – inicijalna brzina pri kojoj je došlo do izvanrednog događaja (m/s),

w – parametar koji je povezan s otporom kretanja broda u vodi (s⁻²).



Slika 36. Postignuto poklapanje modela promjene brzine sa simuliranom funkcijom brzine

Prikazani model najbolje je aproksimirao smanjenje brzine do ključne faze okretanja broda. U modelu je uočljiva inicijalna brzina v_0 kao jedan od parametara. Taj je parametar definiran kao ulazni podatak.

Drugi parametar je w koji je povezan s otporom kretanja broda u vodi, pa tako ovisi i o odklonu blokiranog kormila. Iz određenog scenarija se osim skupa podataka (x,y) koji predstavljaju putanju, u razmatranje uzimaju podaci (v,t) koji predstavljaju opadanje brzine u vremenu. Metodom minimalne sume kvadrata odstupanja dobiva se vrijednost parametra w . Ovaj se postupak mora sprovesti za sve simulirane putanje, a tako dobiveni parametri w se pohranjuju te se kasnije koriste u modeliranju smanjenja brzine u proizvoljnom scenariju.

Postignuto poklapanje modela kretanja broda i modela promjene brzine sa stvarnom krivuljom kretanja broda za svih 60 odabranih scenarija prikazano je u prilogu 3.

7. POSLJEDICA NASUKANJA

Mnogi su se autori u svojim radovima bavili oštećenjima broda kao posljedicom nasukanja. Prvi radovi s ovom temom bazirali su se na nasukanjima koja su bila statistički obrađena. Ovakvi radovi daju zbirni prikaz karakteristika oštećenja bez da uzimaju u obzir obilježja broda, brzinu broda pri nasukanju, vrstu dna i dr. Kasniji radovi na ovu temu koriste prije navedene radove uz dodatne podatke o nasukanjima te daju empirijske izraze za određivanje veličine oštećenja pri nasukanju. Daljnjim fizikalnim istraživanjima nastaju modeli pomoću kojih se dobiva veličina oštećenja. Ovakvi modeli kalibriraju se prema nastalim oštećenjima brodova.

Praćenjem današnjih radova na ovu temu može se zaključiti da se modeli i dalje razvijaju uz neizbježnu upotrebu računala koji omogućuju uključivanje većeg broja faktora u model čime se dobivaju još bolji rezultati. Valja napomenuti da postoje i druge posljedice nasukanja (ozljede ili smrt ljudi, potonuće i dr.), ali s obzirom na cilj ove disertacije razmatraju se samo oštećenja trupa broda zbog onečišćenja koje može kasnije nastati.

U nastavku prikazat će se neki od karakterističnih radova na temu oštećenja broda pri nasukanju.

7.1. ANALITIKA OŠTEĆENJA BRODA

Mehanizmi oštećenja broda pri nasukanju su višestruki i ovise o nizu faktora. Veličina oštećenja kao rezultat nasukanja ovisi o sljedećim čimbenicima:

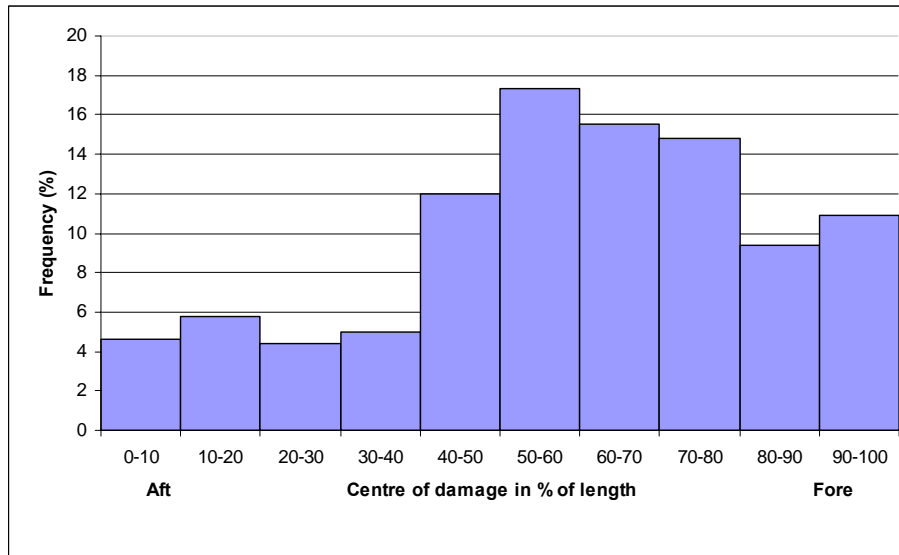
1. brzina i masa broda
2. karakteristika morskog dna
3. sila trenja između trupa i morskog dna
4. nastajanje mjesnog (lokalnog) oštećenja (krivljenje-ulegnuće, pucanje, itd.)
5. interakcija između dna i broda (podizanje broda)
6. mehanizmi deformacije.

Prije spominjani radovi uključuju manji ili veći broj navedenih čimbenika, a rezultati nekih istraživanja prikazani su u nastavku.

7.1.1. Mjesto oštećenja

Ship hydrodynamics laboratorij u Otaniemi radio je prve studije oštećenja zbog nezgoda u 70-im godinama. Kostilainen [96] radi istraživanje o nezgodama tankera u području Baltičkog mora za razdoblje od 1960. do 1969. Nadalje, proširena studija koja pokriva brodove za prijevoz ulja, brodove za prijevoz generalnih i rasutih tereta učinjena je od strane Kostilainen i Hyvärinen [97].

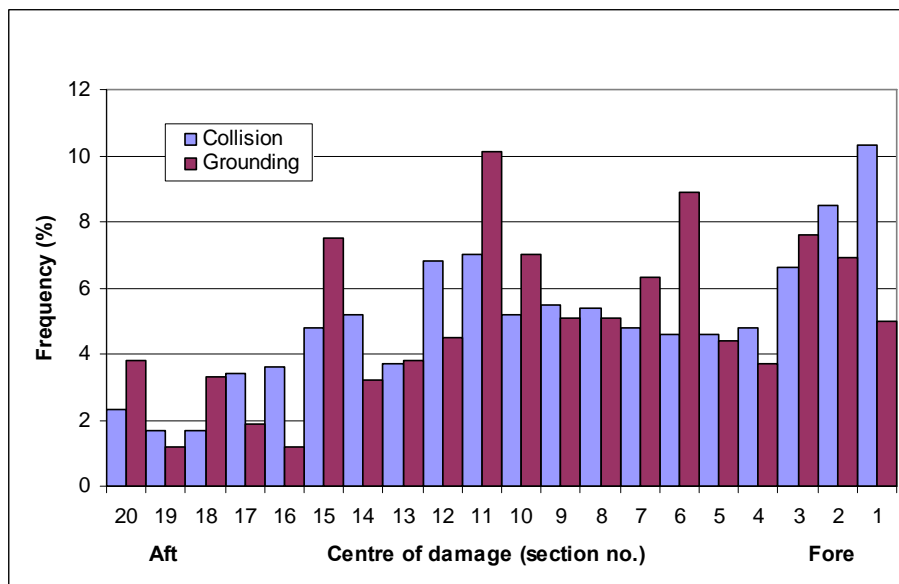
Na slici 37. raspored (distribucija) uzdužnog centra oštećenja za nasukanje prikazan je na osnovi dvije studije koje su navedene prije. Nije iznenađujuće da je prednji dio broda najviše izložen i može se primijetiti da je 80 % oštećenja nastalo od pramca do 60 % dužine broda od pramca.



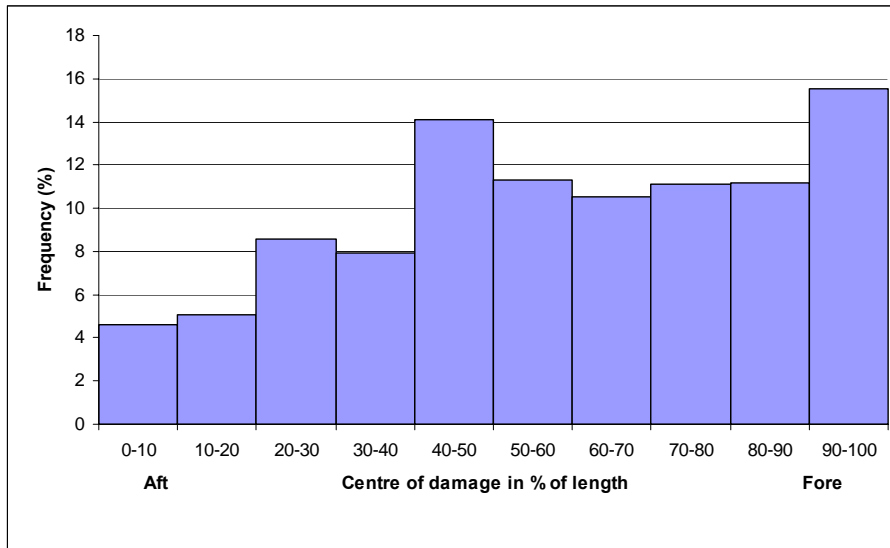
Slika 37. Distribucija uzdužnog centra oštećenja pri nasukanju, 174 nezgode u baltičkom području, 1960.-1969., 1971.-1975. [96], [97]

Aleksandrov [16] je radio sličnu studiju povezanu s analizom efikasnosti sredstava za spašavanje koja se temeljila na bazi podataka IMO radne grupe i sastojala se od 485 sudara i 159 nasukanja (IMO, 1993.). Distribucija je prikazana na slici 38. Podaci koje je dobio Aleksandrov slažu se s podacima u prije navedenim studijama.

Kako bi se umanjio utjecaj nebitnih podataka, srednja vrijednost za sve nezgode uzeta je zajednički za sekcije od po 10 % dužine broda. Rezultat je prikazan na slici 39. Ovakav način prikaza daje miješanu sliku vjerojatnog mjesta oštećenja.

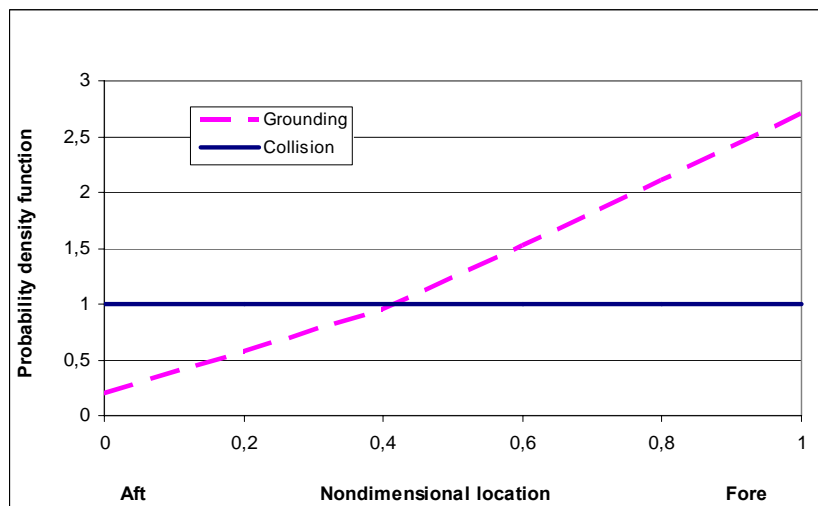


Slika 38. Distribucija uzdužnog centra mjesta sudara i nasukanja (dužine sekcija dane su u 5 % Lpp-a) [16]



Slika 39. Distribucija uzdužnog centra oštećenja (dužina sekcije dana je u 10 % Lpp-a) [7]

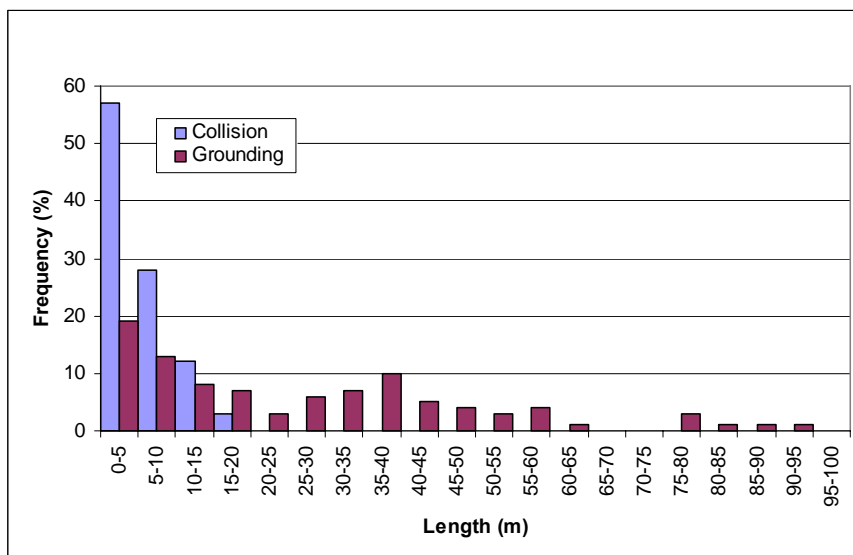
Zbog prije navedenog, IMO je odabrao jednostavniji model koji se odnosi na procjenu oštećenja i onečišćenja za brodove koji prevoze tekuće terete (IMO, 1996) [63]. U IMO modelu razmatrana je također zajednički distribucija mjesta oštećenja pri sudaru i pri nasukanju brodova. Kako je prikazano na slici 40., za sudar je pretpostavljena konstantna distribucija, što znači da sve lokacije imaju istu vjerojatnost oštećenja. Za nasukanje, vjerojatnosti oštećenja su najveće na pramcu i opadaju pomakom prema krmi.



Slika 40. Pojednostavljena funkcija gustoće vjerojatnosti (PDF) za lokaciju oštećenja [63]

7.1.2. Duljina oštećenja

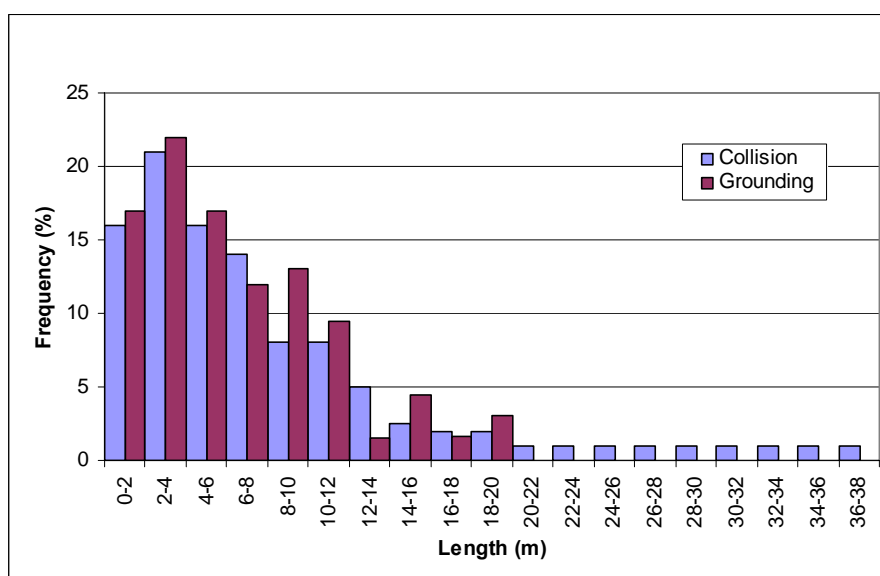
Istraživanja provedena u baltičkom području [96], [97] (Kostilainen; Kostilainen i Hyvärinen) koja su prije navedena, analizirala su duljinu oštećenja kako je prikazano na slici 41.



Slika 41. Histogram duljine uzdužnih oštećenja za nezgode u baltičkom području, 1960.-1969., 1971.-1975. [96], [97]

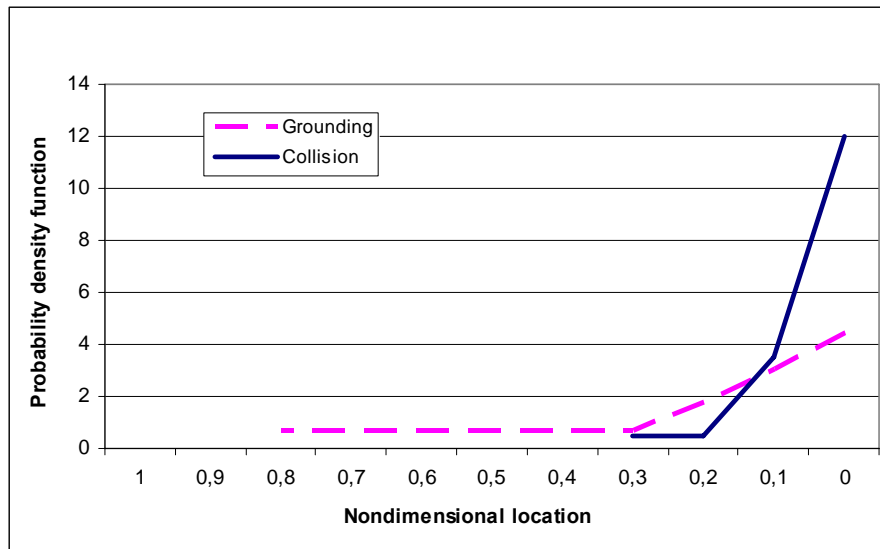
Duljine uzdužnih oštećenja kod sudara bile su prilično ograničene i unutar veličine od 20 m. Nasuprot tome, duljina oštećenja kod nasukanja može biti mnogo dulja kao što se vidi iz slike 41. To se objašnjava činjenicom da oštećenja pri nasukanju nastaju u uzdužnom smjeru, dok kod mnogih sudara koji su se dogodili, oštećenja su nastala u poprečnom smjeru.

Aleksandrov [16] je također proučavao duljinu oštećenja i rezultati su prikazani na slici 42., te je otkrio da duljina slijedi manje ili više istu distribuciju osim par slučajeva velikih oštećenja kod nasukanja.



Slika 42. Histogram uzdužnog oštećenja trupa [16]

MARPOL model za onečišćenje (IMO, 1996) [63] primjenjuje mnogo jednostavniju distribuciju prikazanu na slici 43 kao procjenu duljine oštećenja. I kod ovog modela potvrđuje se da je oštećenje od sudara kraće od oštećenja pri nasukanju.

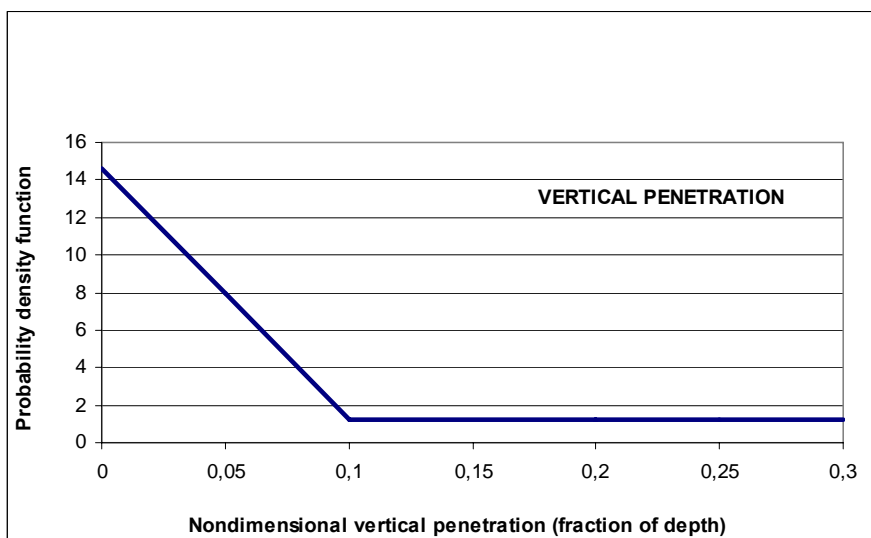


Slika 43. Pojednostavljena funkcija gustoće vjerojatnosti (PDF) za duljinu oštećenja [63]

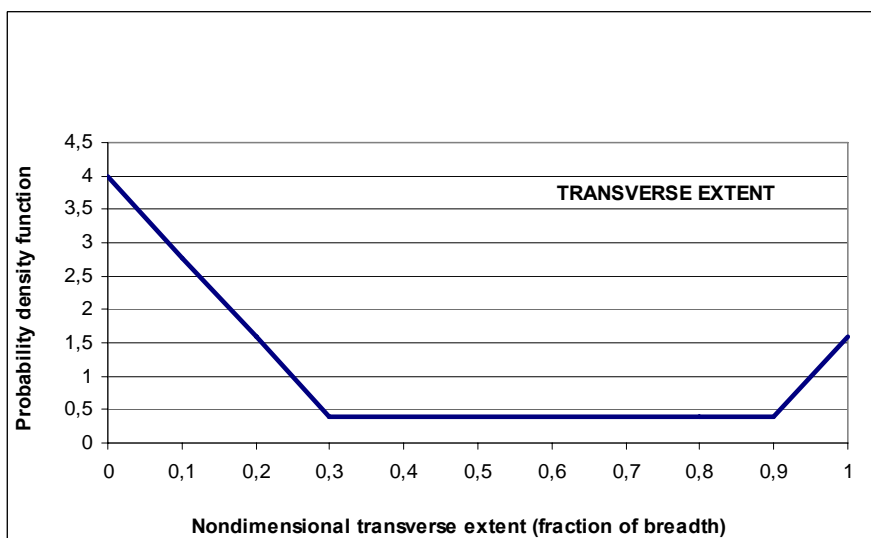
7.1.3. Dubina oštećenja

Veličina dubine oštećenja također je bila analizirana u raznim studijama. U nastavku će biti prikazani preporučeni kriteriji projektiranja propisani od IMO-a (1996) [63] za procjenu onečišćenja s brodova za prijevoz tekućih tereta. Kao i za sve studije dosad navode se kriteriji za sudar i nasukanje broda. S obzirom na cilj ovog rada navest će se samo kriteriji za nasukanje.

Procjena vertikalnog i bočnog oštećenja kod nasukanja tankera analizirana je od strane IMO-a (1996) i prikazana je kroz funkciju gustoće vjerojatnosti, slika 44. i 45. Može se prikazati da 78 % nasukanja ima udubinu vertikalnog oštećenja manju od 10 % visine broda (vertikalni razmak između dna broda i prve neprekinute palube što kod tankera predstavlja glavnu palubu). Srednje poprečno oštećenje je 50 % širine broda. Poprečno mjesto oštećenja slijedi uniformnu distribuciju što znači da sva mjesta oštećenja imaju istu vjerojatnost.



Slika 44. Vertikalna penetracija (oštećenje) kod nasukanja brodova za prijevoz tekućih tereta [63]



Slika 45. Uzdužna penetracija (oštećenje) kod nasukanja brodova za prijevoz tekućih tereta [63]

7.2. ODREĐIVANJE VELIČINE OŠTEĆENJA KAO POSLJEDICE NASUKANJA

Poznato je da se energija ne može potrošiti već da se ona prenosi. Kod nasukanja kinetička energija koju brod posjeduje u trenutku nasukanja prenosi se u obliku razaranja na morsko dno koje je u kontaktu s trupom broda te na elastičnu i plastičnu deformaciju trupa broda. Do danas, češće se istraživalo posljedice nasukanja na trup broda nego na morsko dno. Posljedice po obalu istraživalo se u slučaju udara broda u izgrađenu obalu, a najčešće se radilo o udaru broda u most ili zaštitne građevine koje priječe da brod udari u nosive stupove mosta.

Procjena apsorbirane energije pri nasukanju broda jednostavnija je u usporedbi s sudarnim scenarijem zbog činjenice da je sva kinetička energija pridružena samo jednom brodu. Apsorbirana energija E_I dana je sljedećim izrazom:

$$E_t = \frac{1}{2} D \cdot (1 + C_h) \cdot v^2$$

gdje je:

D – deplasman broda (kg)

C_h – dodatni hidrodinamički koeficijent mase

v – brzina broda pri nasukanju (m/s).

7.2.1. Razvoj scenarija nasukanja

Kako je već prikazano u ovom radu, razlikuje se nasukanje koje je nastalo pri zanošenju broda uslijed vanjskih sila bez da brod ostvaruje poriv i nasukanje pri radu stroja i ostvarivanju određenog poriva broda. Iako je scenarij nasukanja različit, energija sraza, odnosno veličina oštećenja ovisit će o brzini broda u trenutku nasukanja.

Pri nasukanju broda dolazi do pojavljivanja sljedećih sila:

- podizanje broda kome se suprotstavlja sila teža
- sila trenja nastala trljanjem dna trupa broda o morsko dno
- sile uključene u plastičnu deformaciju trupa broda
- sile uključene u lomljenje oplata dna i ostalih strukturnih elemenata dna broda.

Ako je sila teža značajno veća od sile sraza, neće doći do podizanja broda što će rezultirati plastičnom deformacijom dna broda. Ako je sila sraza velika u odnosu na silu težu, brod se podiže i nastavlja se kretati preko točke nasukanja. Čvrstoća oplata može neko vrijeme sprječavati probijanje oplata, ali kako se točka nasukanja pomiče prema sredini broda sila prodiranja (penetracije) će rasti. Ako je čvrstoća oplata veća u odnosu na silu sraza, brod može prijeći preko točke nasukanja ili zaustaviti se na njoj bez da dođe do probijanja trupa broda.

Ipak, vjerojatniji scenarij je da sila sraza prevaziđe čvrstoću oplata te da dođe do probijanja oplata broda. Ukoliko je do probijanja oplata došlo u području tanka goriva ili su oštećenja toliko velika da je došlo do probijanja oplata dvodna i pokrova dvodna kod brodova koji prevoze tekuće terete kao posljedica bit će istjecanje bilo goriva, bilo tereta.

Duljina zaustavljanja broda x_s u metrima pri nasukanju na ravno dno dana je sljedećim izrazom (prilagođeno SI sustavu jedinica iz [101]):

$$x_s = v \cdot \sqrt{\frac{(1 + C_h) \cdot D}{g \cdot TPM \cdot \sin \alpha \cdot (\mu \cdot \cos \alpha + \sin \alpha)}}$$

gdje je:

v – brzina broda pri nasukanju (m/s)

D – deplasman broda (t)

g – ubrzanje sile teže (m/s²)

C_h – dodatni hidrodinamički koeficijent mase

α – inklinacija morskog dna (°)

TPM – masa koju je potrebno ukrcati/iskrcati da dođe do promjene gaza od 1 m (t/m)

μ – koeficijent trenja (1,2 za tvrda dna do 0,4 za mekana dna).

Navedeni izraz pretpostavlja scenarij nasukanja gdje se brod zaustavlja tako da je dno trupa broda paralelan s morskim dnom, a prijenos energije nije uključio zakretanje broda.

Tablica 20. Koeficijenti dodatne mase vode

Način kretanja broda	Koeficijent dodatne mase vode C_h	
	U opsegu	Predloženi
Zalijetanja (<i>surge</i>) – linearno gibanje u smjeru uzdužne osi	0,02 - 0,07	0,05
Zanašanje (<i>sway</i>) – linearno gibanje u smjeru poprečne osi	0,4 - 1,3	0,85
Zaošijanje (<i>yaw</i>) – rotacijsko gibanje oko vertikalne osi	0,21	0,21

U prije navedenom izrazu uključen je i dodatni hidrodinamički koeficijent mase C_h . Kada je brod usporen tada je i masa broda i dio okolne vode oko broda usporen. Stoga, gubitak kinetičke energije nije jedino ovisan o masi broda nego i o virtualnoj dodatnoj masi. Dodatna masa je funkcija veličine, trajanja i smjera usporenja. Razni autori su istraživali vrijednost navedenog koeficijenta, a u tablici 20. prikazane su vrijednosti procjene dodatne mase vode na osnovi istraživanja koje je učinio Zhang [109].

7.2.2. Oštećenje pri nasukanju

Zhang je u svojoj doktorskoj disertaciji [109] predložio sljedeći pristup za procjenu veličine oštećenja kao rezultat nasukanja. Veličina oštećenja materijala V_C dana je izrazom:

$$V_C = L_D \cdot B_D \cdot t_{eqv} (\text{m}^3)$$

a apsorbirana energija E_I procijenjena je prema sljedećem izrazu:

$$E_I = 3,21 \cdot \left(\frac{t_{eqv}}{B_D} \right)^{0,6} \cdot \sigma \cdot V_C$$

gdje je:

L_D – duljina oštećenja na brodskom dnu (m)

B_D – širina oštećenja (m)

t_{eqv} – ekvivalent debljine lima dna broda (m)

σ – prosječna čvrstoća lima dna broda (320 MPa).

U prijašnjem izrazu, ekvivalent debljine lima dna broda uzima u obzir i čvrstoću uzdužnih ukrepa.

Kako je već navedeno, modeli nasukanja koji se dobivaju istraživanjima zadnjih 15-ak godina u pravilu se prilagođavaju kako bi se mogli koristiti uz pomoć računala. Prvi računalni modeli razvijali su zasebno elemente procjene rizika kao što su npr. model vjerojatnosti

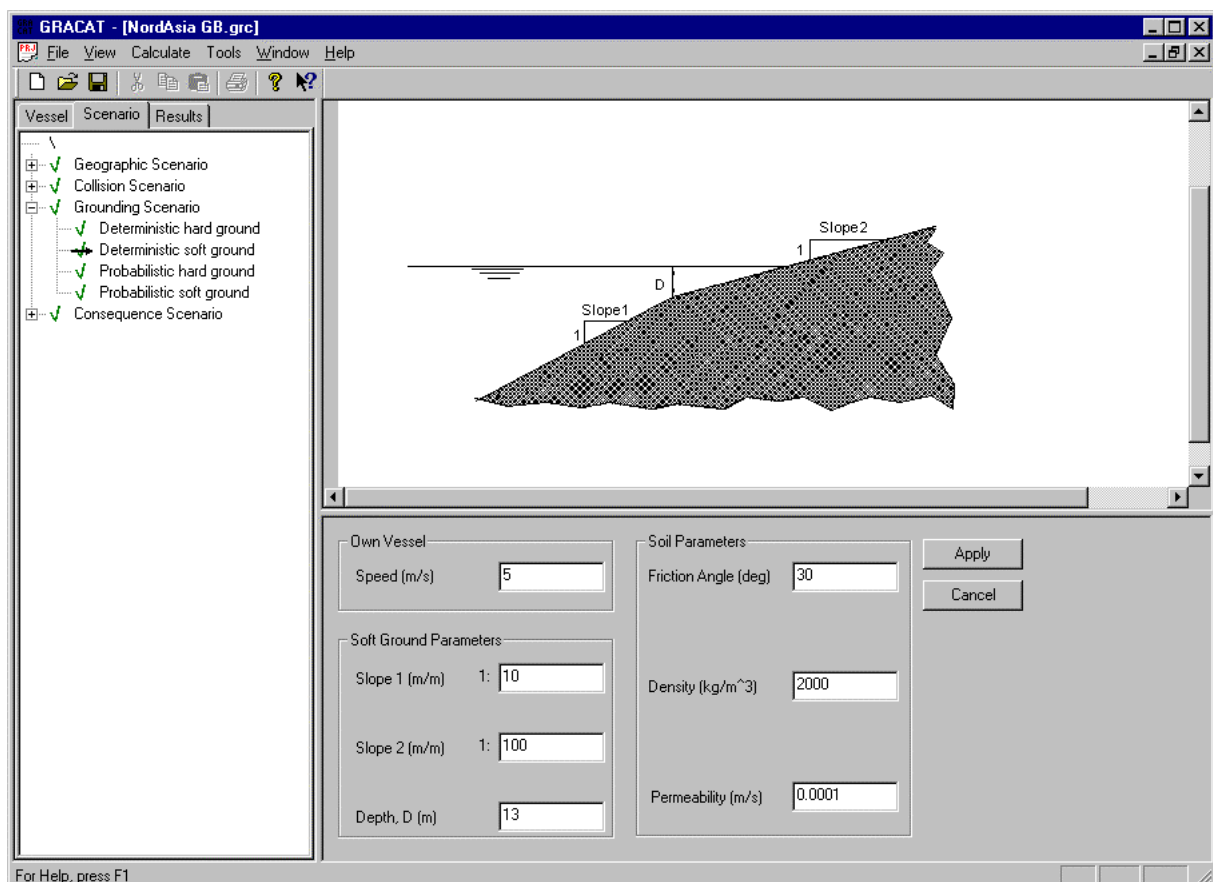
nasukanja ili model veličine oštećenja broda kao posljedica nasukanja (vrlo često i sudara). Kasnije su nastali modeli koji su objedinili prije navedene modele te dodali još i model posljedice oštećenja da bi se mogla analizirati krajnja posljedica nezgode.

Neki od poznatih računalnih modela su GRACAT [25], GRISK [103], *BaSSy Tool and IWRAP MAK II* (2006-2008), *MARCS Marine Accident Risk Calculation System* [105], SHIPCOF, SAMSON [98], MARTRAM [104], DYMITRI [19].

Navedeni modeli analiziraju rizik nasukanja i sudara. Računalni programi odvojeni su u module koji predstavljaju različite modele. Pojedinačni modeli analiziraju sljedeće:

- vjerojatnost događaja – procjena vjerojatnosti nasukanja ili sudara,
- oštećenje broda – modeli koji računaju karakteristike oštećenja broda kao posljedica nasukanja ili sudara,
- posljedica – analiza stanja oštećenog broda i okoliša (naročito onečišćenje),
- radnje za ublažavanje posljedica – identifikacija i evaluacija popravnih mjera za posljedice koje se razmatraju.

Dobra strana ovakvih programa očituje se u tome da se mogu koristiti za različita područja plovidbe što kasnije omogućava uspoređivanje različitih plovnih ruta, različitih vrsta brodova na istim ili različitim plovnim rutama te na taj način određivanja rizika na cijelom plovnom području koje je predmet razmatranja.



Slika 46. Prikaz zaslona programa GRACAT – model nasukanja [108]

Iako je vrijednost ovakvih modela velika, nedostatak ovakvih programa je nepostojanje jednoznačnog modela koji bi odredio što to predstavlja prihvatljivi rizik.

Jedan pozitivan pomak u tom smjeru predstavlja multidisciplinarni SAFGOF projekt koji je sponzoriran od Europske unije (2007-2013), a provodi se u *Kotka Maritime Research Center* i u njega su uključeni *Universities of Helsinki and Turku, Helsinki University of Technology i Kymenlaakso University of Applied sciences*. U navedenom projektu procjenjuje se rizik pomorskog prometa u Finskom zaljevu trenutno, te 2015. godine. Zatim se na osnovi navedenih procjena određuju posljedice na okoliš. Ono po čemu se razlikuje od prethodnih projekata je to što istražuje utjecaj nacionalnih i međunarodnih propisa na rezultate procjene rizika te pruža pomoć zakonodavnoj vlasti u donošenju odluka.

8. ODREĐIVANJE PRIHVATLJIVOG RIZIKA

Opće je poznato da praktično sve ljudske aktivnosti uključuju neki rizik. Prihvaćanje teze o "nultom riziku" praktično je zabluda. Razne vrste ljudskih aktivnosti mogu dovesti do različitih vrsta rizika. Pomorsko okruženje predstavlja jedno od njih gdje je rizik iznad prosječan. Poznato je da je glavna uloga navigacije sigurno i efikasno vođenje broda između dviju željenih točaka. U stvarnosti se to provodi vođenjem broda po planiranom putu. Tijekom plovidbe, na brod mogu djelovati mnogi čimbenici koji otežavaju postizanje željenog cilja. Čimbenici proizlaze iz funkcioniranja broda u predodređenom sustavu čovjek – tehnologija – okolina. Bilo koji od ova tri čimbenika može djelovati na sustav broda i otežati ili čak onemogućiti postizanje željenog cilja (sigurna plovidba broda).

U 70-im godinama dolazi do naglog povećanja roba koje se prevoze morem što je rezultiralo velikim povećanjem svjetske pomorske flote. Pritom valja istaknuti da nije došlo do prevelikog povećanja broja brodova, ali je došlo do velikog povećanja ukupne brodske tonaže što znači da je porasla veličina brodova. Ipak, veličina brodova nije rasla u nedogled, odnosno do predviđenih milijun tona nosivosti, već je ona stala kada je dosegla za to vrijeme prihvatljivu veličinu. Jedan od razloga zašto veličina brodova nije više rasla bila je i povećana prijetnja okolišu u slučaju pomorskih nezgoda. Pored toga, broj luka koje su mogle primati tako velike brodove bio je mali što je ipak bio jedan od osnovnih razloga zašto se stalo s gradnjom većih i većih brodova. Pristupni plovni putovi i luke koje su se gradile godinama prije brodova ipak su morali početi prihvaćati sve veće brodove za koje nisu bile projektirane. Izgradnja novih luka zahtijeva znatna novčana sredstva, a u mnogim slučajevima je i nemoguća što onda uvjetuje da se postojeći prilazni plovni putovi i luke prilagode prihvaćanju novih i većih brodova.

Da bi se zadržala sigurna razina plovidbe, određena poboljšanja moguća su kroz provođenje mjera koje uključuju produbljivanje i proširivanje plovnih putova i područja za manevriranje u luci, bolje označavanje plovnih putova, uspostavu sustava nadzora i upravljanja pomorskom plovidbom te određivanje operativnih zahtjeva koje valja provoditi. Upravo je i cilj ovog rada predložiti model kojim je moguće odrediti uvjete koji će omogućiti sigurnu plovidbu broda na svim dijelovima plovnog puta, a da se pridruženi rizik koji pritom nastaje može smatrati prihvatljivim.

8.1. OPĆI PRINCIP ZA OCJENU PRIHVATLJIVOSTI POMORSKIH PLOVIDBENIH RIZIKA

Proces sigurne plovidbe broda kroz određeno specifično područje može se zamisliti kao sustav. Navigacijski sigurnosni sustav može ovisiti o određenom broju različitih stanja. Prvenstveni cilj upravljanja rizikom je odrediti mjere koje će omogućiti sigurno stanje sustava.

Sigurno stanje sustava P_S može se opisati pomoću vjerojatnosti nastanka nezgode P_A :

$$P_A = P(x > X) \quad (8.1)$$

gdje je:

P_A – vjerojatnost nastanka nezgode

x – stanje sustava

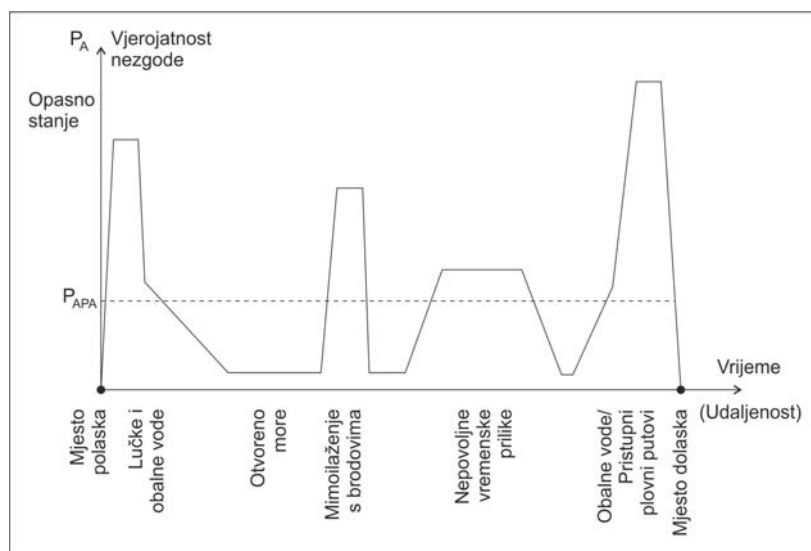
X – ograničenje.

Dakle, kada je stanje sustava x veće od ograničenja X postoji vjerojatnost nezgode P_A .

Sigurno stanje sustava P_S predstavlja komplement vjerojatnosti nastanka nezgode P_A te se može pisati:

$$P_S = 1 - P_A = P(x < X) \quad (8.2)$$

Iz navedenog izraza može se zaključiti da kada je sustav u tzv. "potpuno" sigurnom stanju $P_S = 1$ da je to situacija kada je vjerojatnost nezgode $P_A = 0$. Ovakva situacija pri eksploataciji broda je gotovo nemoguća. Ako se uzme u obzir cijeli plovni put od mjesta polaska do mjesta dolaska, uvijek postoji situacija gdje je vjerojatnost nezgode veća od nule ($P_A > 0$), slika 47. Prihvaćajući činjenicu da i na oceanskom dijelu putovanja uz dobre meteorološke i oceanološke uvjete mogu nastati neželjeni događaji koji mogu rezultirati nezgodom (npr. požar), može se zaključiti da brod neće nikada biti u stanju "potpune" sigurnosti.



Slika 47. Vjerojatnost pomorske nezgode na plovnom putu od mjesta polaska do mjesta dolaska

Stoga je potrebno odrediti mjere, odnosno vrijednosti, koje određuju razinu sigurnosti u kvantitativnom smislu radi procjene sigurnosti²⁹. Najčešće se ovakve mjere (vrijednosti) izražavaju kao vjerojatnost nezgode, slika 48. Kod ovakvog pristupa, razina sigurnosti može se prikazati izrazom:

$$P_{SAL} = 1 - P_{APA} = 1 - P(x < Y) \quad (8.3)$$

gdje je:

P_{SAL} – prihvatljiva razina sigurnosti

²⁹ Procjena sigurnosti može se provesti i u kvalitativnom smislu, ali ona ne daje mogućnost procjene je li nešto dovoljno sigurno ili ne već usporedbu sigurnosti za različite uvjete procjene.

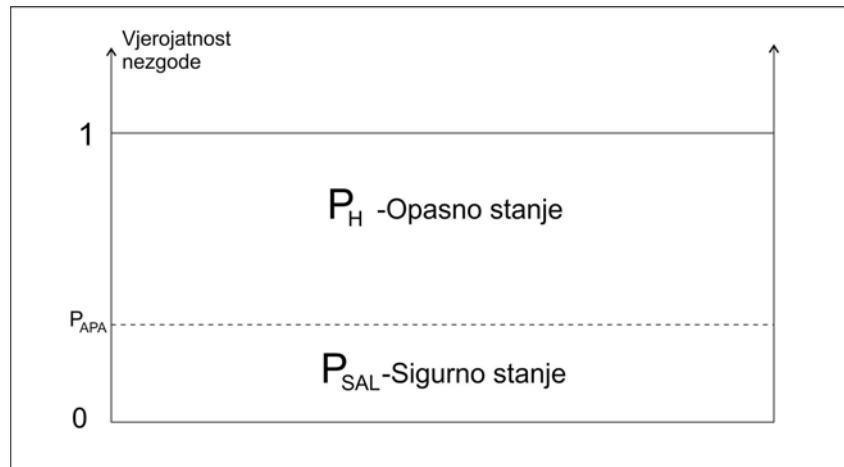
P_{APA} – pretpostavljena vjerojatnost nezgode (određena unaprijed)

x – stanje sustava

Y – ograničenja koja odgovaraju pretpostavljenoj prihvatljivoj razini sigurnog stanja.

U tom slučaju, vjerojatnost nastanka opasnog stanja P_H može se prikazati kao:

$$\begin{aligned} P_{APA} &\leq P_H < 1 \\ P_H &= 1 - P_{SAL} = P(x > Y) \end{aligned} \quad (8.4)$$



Slika 48. Područje sigurnog i opasnog stanja sustava

Uzimajući u obzir činjenicu da je za državu bitno da se gubici ne dogode ili da je razina gubitaka prihvatljiva, može se pisati da opasno stanje sadržava neželjene događaje pa prijašnji izrazi poprimaju sljedeći oblik:

$$P_H = P(x > Y) \text{ za } C > c \quad (8.5)$$

gdje je:

C – gubitak čiji je uzrok neželjeni događaj, kao npr. posljedica nezgode izražena u primjenjivim (relevantnim) jedinicama i

c – granica minimalnih gubitaka.

Dakle, ako su gubici iznad minimalne granice $C > c$ sustav prelazi u opasno stanje (postoji vjerojatnost nezgode).

Na osnovi gornjih razmatranja može se zaključiti da navigacijski rizik R_N uključuje vjerojatnost nastanka nezgode i veličinu posljedice (gubitaka) ako do nezgode dođe. S obzirom na definiciju rizika prihvaćenu u poglavlju 3., navigacijski rizik se može prikazati sljedećim izrazom:

$$R_N = P_A \cdot C \quad (8.6)$$

Posljedice nastalih nezgoda u pomorstvu mogu se bitno razlikovati i pokušati svesti sve posljedice na jednu vrijednost je veoma teško. S druge strane, posljedica mora biti prikazana na način da se može jednoznačno vrednovati što za neke vrste posljedica zahtijeva

odgovarajuću pretvorbu. Potpuno pravilnu pretvorbu za posljedice kao što su oštećenje ili gubitak broda, gubitak tereta, oštećenje lučkih građevina, povrede ili smrt osoba, onečišćenje morskog okoliša i gubitak potencijalne zarade je teško pretpostaviti. Jedan od pokušaja generalne procjene rezultata nezgode je uvođenje ekonomske metode. Navedena metoda neovisno o vrsti gubitka, svakom gubitku pridružuje odgovarajuću novčanu vrijednost. Ipak, u nekim slučajevima takav princip može imati velikih nedostataka. Na primjer, gubitku života može se pridružiti suma novca koju će osiguranje isplatiti za neželjeni događaj. Suma novca koja će se pritom isplatiti ovisi o visini ugovorene premije, uvjetima osiguranja, itd. Isplaćeni novci s druge strane nikako neće nadomjestiti psihološki gubitak za bližu rodbinu ili sociološki gubitak za određeni dio društva. Slično, nezgode koje rezultiraju onečišćenjem okoliša također je teško procijeniti ekonomskim vrijednostima. Istjecanje ulja u okoliš s broda rezultirati će različitim posljedicama čije je vrednovanje na osnovi samo jednog kriterija vrlo teško.

Zbog toga se za procjene posljedica u pomorstvu koriste sljedeće metode:

- ekonomska metoda koja procjenjuje novčanu vrijednost (suma novca ili neke druge jedinice) svih posljedica (gubitka) nastalih pomorskom nezgodom,
- fizikalna metoda kod koje je utjecaj posljedice izražen u obliku fizikalne veličine, npr. veličina kinetičke energije broda pri sudaru/udaru ili nasukanju naspram energiji koju može preuzeti neka obala, lučka građevina, mostovi, itd.
- metoda relativne procjene koja uspoređuje uzorke posljedice nezgode, kao npr. uspoređivanje nezgode broda koji prevozi opasan teret s brodom koji prevozi manje opasan teret.

Metoda koja će se koristiti za procjenu posljedice nezgode ovisi o subjektu koji procjenu provodi ili o subjektu za kojega se procjena provodi. Cilj ovog rada je predložiti model koji će kasnije služiti državi ili određenom subjektu na užem području (npr. županija, područje neke lučke uprave i sl.) za donošenje propisa u svezi s pomorskim rizicima. Stoga je vrlo pogodno i ispravno koristiti fizikalni model za određivanje posljedice nezgode. Ipak, valja napomenuti da izvorno navedena metoda ne uzima u obzir dodatne posljedice nezgode koja je u korelaciji s teretom koji se prevozi. Kako se lako može pretpostaviti da će jedan te isti brod koji plovi istim područjem i pri istim vanjskim uvjetima generirati različite rizike ako u jednom slučaju prevozi na primjer teret ugljena, a u drugom slučaju opasni tekući teret, valja svakako u procjenu rizika uključiti i vrstu tereta.

Kako fizikalni model polazi od određivanja veličine oštećenja broda, valja rezultat dobiven modelom (mjesto oštećenja, duljina, širina, dubina oštećenja, itd.) usporediti prvenstveno s konstrukcijom broda (raspored tankova balasta, goriva i tereta³⁰ i dr.), njihovim kapacitetima, a zatim i teretom koji se prevozi. Posljedice određene na ovakav način služe za procjenu veličine rizika. Ukoliko je tako dobivena procijenjena veličina rizika veća od unaprijed određene prihvatljive veličine rizika, valja kroz propise ili radne postupke utjecati ili na smanjenje vjerojatnosti nastanka neželjenog stanja ili na smanjenje posljedice ako do neželjenog stanja dođe.

³⁰ Odnosi se na brodove koji prevoze tekuće terete

8.2. ODREĐIVANJE PRIHVATLJIVOSTI POMORSKIH PLOVIDBENIH RIZIKA

Procjena sigurnosti plovidbe mijenja se kako se razvijaju nove metode procjene. Kvalitativna procjena na principu "dobro/loše" zamjenjuje se kvantitativnom metodom procjene sigurnosti koja se oslanja na navigacijske rizike. Prema Galoru [28], razlikuju se tri metode za određivanje prihvatljivosti rizika:

- vrijednost apsolutnog rizika
- konstanta rizika
- relativno povećanje rizika.

U prvoj metodi unaprijed određena vrijednost rizika odnosi se na pretpostavljenu graničnu vrijednost. Ponekad je ta vrijednost određena u propisima³¹. Kod ove metode vrijedi sljedeći princip:

$$R_N \leq R_P$$

gdje je:

R_N – navigacijski rizik

R_P – unaprijed određena granična vrijednost rizika.

Druga metoda, metoda konstantnog rizika, nastala je razvojem prve metode. Primjenjuje se u onim scenarijima gdje se posljedice nezgode mogu mijenjati. Ovakav slučaj nastaje kada brod određene veličine plovi u određenom plovnom području uzastopno, a da pritom prevozi terete različitog stupnja opasnosti ili kad određenim područjem plove brodovi sličnih obilježja, ali prevoze također terete različitih stupnjeva opasnosti. Tipičan primjer su brodovi za prijevoz rasutih tereta i brodovi za prijevoz tekućih tereta. Naime, oba tipa broda vrlo su sličnih obilježja trupa, pogona, navigacijske opreme, itd., ali s obzirom na teret koji prevoze mogu polučiti bitno različite posljedice u slučaju nezgode. Zbog toga, da bi se uvijek održala nepromijenjena razina sigurnosti, rizik u svim scenarijima mora biti jednak. Navedeni princip može se prikazati sljedećim izrazom:

$$R_{N1} = R_{N2} = P_{A1} \cdot C_1 = P_{A2} \cdot C_2 = P_{An} \cdot C_n$$

gdje je:

R_{N1}, R_{N2} – navigacijski rizici kod različitih scenarija

P_{A1}, C_1 – vjerojatnost nastanka nezgode i posljedice nezgode kod tereta male opasnosti

P_{A2}, C_2 – vjerojatnost nastanka nezgode i posljedice nezgode kod tereta veće opasnosti

P_{An}, C_n – vjerojatnost nastanka nezgode i posljedice nezgode kod n-te vrste tereta.

Ako se posljedica jedne nezgode promijeni, tada, da bi se zadržala unaprijed određena razina rizika, vrijednost vjerojatnosti nastanka nezgode mora se također promijeniti. Navedeno se može prikazati sljedećim izrazom:

$$P_{A2} = P_{A1} (C_1 / C_2)$$

³¹ Jedan od primjera je i kapacitet putničkih brodova u vodama Hong Konga gdje vlasti ne dozvoljavaju da gubitak života (PLL) u pomorskoj nezgodi prijeđe brojku od 1000 ljudi. Zbog tog uvjeta brodovi koji plove tim područjem ne smiju imati kapacitet ljudi na brodu veći od 1000.

Kod prije spominjanog slučaja kada se razmatraju dva broda za prijevoz različitih vrsta tereta sličnih obilježja, a kako bi se kod oba broda zadržala ista razina rizika može se za potrebe plovidbe broda s opasnijim teretom predvidjeti proširivanje plovnog puta, produbljivanje i sl. Ako to zbog lokalnih prilika nije moguće, tada valja primijeniti druge mjere kao npr. uvođenje strožih ograničenja što se tiče vanjskih uvjeta, predvidjeti obveznu upotrebu jednog ili više tegljača, itd. U posebnim slučajevima, kada posljedice nezgoda mogu biti velike, a nije ih moguće umanjiti nekim od mjera, valja od konkretnog slučaja (scenarija) odustati.

U nekim slučajevima može se pojaviti potreba da se u postojećim lukama prihvaćaju sve veći brodovi, a da one za takve brodove nisu ni projektirane ni građene. Iskustvo koje postoji na osnovi dotadašnjeg iskorištavanja luke neće omogućiti neposrednu podršku odluci da se prihvaćaju veći brodovi. Pomorske vlasti tada nerijetko moraju donijeti odluku na osnovi intuitivnog promišljanja, a da su pritom neprestano izloženi pritisku lučkih vlasti ili operatera koji su za navedeni posao zainteresirani.

U takvim slučajevima koristi se metoda kojom se određuje relativno povećanje rizika. Navedeni princip može se prikazati sljedećim izrazom:

$$\rho_R = \Delta R / R_p = (R_U - R_p) / R_p$$

gdje je:

ρ_R – relativno povećanje rizika

ΔR – povećanje rizika

R_p – navigacijski rizik prije uvođenja promjena

R_U – navigacijski rizik nakon uvođenja promjena.

Uzimajući u razmatranje da je rizik kombinacija vjerojatnosti nezgode i njenih posljedica, može se pisati:

$$\rho_R = \rho P_A + \rho C$$

gdje je:

ρP_A – relativno povećanje vjerojatnosti nezgode

ρC – relativno povećanje posljedice nezgode.

S obzirom na način određivanja pomorskog rizika prikazan u ovom radu za kriterij određivanja prihvatljivog rizika potrebno je koristiti kombinaciju prve dvije metode, tj. metodu kojom se utvrđuje najprije vrijednost apsolutnog rizika, a zatim metodu konstante rizika. Vrijednost apsolutnog rizika valja odrediti prvenstveno prema veličini posljedice (gubitaka), a zatim za bilo koji dio plovnog puta i za bilo koju vrstu brodova pri određivanju prihvatljivog rizika koristiti metodu konstantnog rizika.

8.3. PRIMJENA MODELA NASUKANJA NA ODREĐIVANJE PRIHVATLJIVIH RIZIKA

Model nasukanja prikazan u poglavlju 6. predstavlja analitički geometrijski model. Ako se rizik pomorske plovidbe promatra od strane države, odnosno zakonodavne vlasti, polazi se od pretpostavke da je osnovni interes da se nasukanje ne dogodi. Pritom se podrazumijeva da do nasukanja ne dođe ni zbog ljudske pogreške, ni zbog nastanka

izvanrednog događaja ni zbog više sile. Prije navedeno može se postići uz uvođenje obveznog peljarenja, tegljenja i upravljanjem plovidbom od strane VTS centra. Promatrajući s druge strane, plovni put i luka u koju brod uplovljava mora biti konkurentna na tržištu u odnosu na druge luke. Navedene mjere uobičajene su pri manevriranju broda kod uplovljavanja/isplovljavanja u/iz luke, ali se pri plovidbi prilaznim plovnim putovima rjeđe koriste i njihovo primjenjivanje svakako bi predstavljalo "preveliku sigurnost".

Zbog navedenog, država ne mora isključiti nezgode pri kojima dolazi do nasukanja, ali mora odrediti što će biti posljedica nasukanja i je li ona za državu prihvatljiva ili ne³². Poradi ovakvog principa u radu je korišten analitički model jer se pri definiranju modela nasukanja ne uzima u obzir distribucija prometa brodova kako je to slučaj kod statističkih modela. Dakle, primijenjen je princip da prolaskom različitih brodova određenim područjem godišnje može doći do nasukanja pri čemu broj nasukanja nije bitan, ali posljedica bilo kojeg nasukanja mora biti manja od razine prihvatljivosti posljedice koju treba odrediti država.

Geometrijski model nasukanja prikazan u poglavlju 6. razlikuje se od ostalih geometrijskih modela razmatranih u ovom radu. Većina autora koji koriste geometrijske modele kao rezultat dobivaju geometrijsku vjerojatnost nasukanja. Geometrijsku vjerojatnost dobivaju na osnovi pretpostavki kao što su na primjer da brodu prijeti nasukanje ako ne poduzme neku radnju da nasukanje izbjegne, da će brod skrenuti s kursa za neki kut φ koji će rezultirati nasukanjem, da će brod presjeći rub kanala (Buffonov problem igle), da je razlika između širine broda i širine plovnog puta veća ili manja, itd. Kod svih ovih modela autori uvode neke od parametara koje moraju pretpostaviti. Za neke pretpostavke oslanjanju se na statističke podatke kod prijašnjih nezgoda, a za neke koriste ekspertno zaključivanje.

Korištenje statističkih podataka osporavano je od mnogih autora, a u novije vrijeme sve više. Naime, statističke baze podataka sežu i 30 – 40 godina unatrag i vrlo je upitno mogu li se one primijeniti za vrednovanje današnjih uvjeta. U posljednjih 40 godina došlo je do velikih promjena u konstrukciji brodova, veličini brodova, navigacijskoj opremi na brodovima, edukaciji pomoraca, projektiranju i označavanju plovnih putova, itd. i svakako se može zaključiti da nekadašnji statistički podaci ne mogu dati realnu sliku sadašnjosti. Ipak, statističke podatke ne treba potpuno izbaciti jer mogu biti preliminarni pokazatelji vrsta i broja pomorskih nezgoda.

Geometrijski model nasukanja u ovom radu ne uzima u obzir statističke podatke već modelira različite scenarije izvanrednog događaja. Pritom, kako je to već navedeno, razmatra se izvanredni događaj kvara kormilarskog sustava gdje se pretpostavljaju različite veličine brodova, različiti kutovi otklona kormila i različite inicijalne brzine u trenutku nastanka kvara. Rezultat izvanrednog događaja prikazan je binarno, tj. ovisno o krivulji okretanja broda u usporedbi sa širinom plovnog puta dobiva se rezultat koji pokazuje je li do nasukanja došlo ili ne. Premda se za jedan brod mogu modelirati mnogi scenariji, ovisno o kutu otklona kormila,

³² Nasukanje broda *Marko Polo* 2009. godine na otok Sit i nasukanje broda *Slavutich* 2010. godine u Fažanskom kanalu primjeri su nasukanja koji nisu imali posljedica po državu jer prilikom nasukanja nije došlo do onečišćenja mora.

inicijalnoj brzini i udaljenosti planiranog puta od ruba plovnog puta, dobivaju se rezultati koji služe za određivanje posljedice nasukanja.

Kao što je opisano u poglavlju 7. mehanika oštećenja pri nasukanju prvenstveno ovisi o brzini i masi broda, karakteristikama morskog dna, sili trenja između trupa i morskog dna i čvrstoći konstrukcije trupa broda. Država može utjecati na sve navedene čimbenike osim na karakteristiku morskog dna. Pritom se moraju razlikovati mjere koje može provoditi samostalno i mjere koje može provesti s ostalim državama kroz rad u raznim međunarodnim tijelima koji donose međunarodne propise. Samostalno, država može određivati brzinu broda, masu broda, a povezano s tim i silu trenja između trupa i morskog dna. Na međunarodnoj razini država s ostalim članicama sudjeluje u donošenju propisa koji se odnose na konstrukciju trupa broda.

S obzirom na cilj ovog rada, a to je model kojim će država moći određivati prihvatljivi rizik plovidbe brodova na svojim plovnim putovima odabran je fizikalni model. Fizikalni model izabran je iz razloga što se smatra opravdanim da se za određivanje prihvatljivog rizika koristi kriterij posljedice oštećenja broda prilikom nasukanja. Zbog toga se kao kriterij prihvatljivog rizika predlaže scenarij gdje, iako je do nasukanja došlo, pritom nije došlo i do onečišćenja mora. Dakle, princip traži da prilikom nasukanja ne smije doći do probijanja tankova goriva ili tereta koji onda posljedično izazivaju onečišćenje mora. Kod ovog principa uspoređuju se oštećeni brodski prostori sa sadržajem u njima³³.

Budući da su plovni put i vrsta dna definirani geografskim obilježjima te je mogućnost utjecaja države na njih vrlo mala ili nemoguća, proizlazi da država može utjecati jedino na masu i brzinu broda. Masa i brzina broda određuju kinetičku energiju broda koja predstavlja fizikalnu veličinu i koja se onda može dalje koristiti za određivanje posljedice nasukanja.

Dakle, može se zaključiti, da je cilj modela nasukanja dobiti fizikalne veličine koje služe kao ulazni parametri za određivanje posljedice nasukanja. Pritom model nasukanja ne uzima u obzir statističke podatke već se modelom istražuje svaki scenarij zasebno, a onda se izabire onaj koji predstavlja najnepovoljniji scenarij.

8.4. PRIKAZ MODELA NASUKANJA

Za potrebe utvrđivanja parametara pri nasukanju kod raznih scenarija napravljen je simulacijski model. Osnova za simulaciju jest skup podataka o kretanju sličnih brodova preuzet mjerenjima stvarnih brodova. Na temelju navedenog skupa podataka simulacijski modeli nasukanja i pada brzine razvijeni u poglavlju 6. određuju krivulje kretanja broda prema željenom scenariju. Nadalje, simulacijski model određuje neprekidno sve parametre putanje broda i kao rezultat daje parametre nasukanja broda ako postoje uvjeti da do njega dođe. Za potrebe dobivanja navedenih parametara program uspoređuje krivulju kretanja broda s udaljenošću izobate nasukanja od planirane plovne rute.

Simulacijski model je dvostupanjski, tj. najprije se interpolacijom dobivaju parametri koji služe za određivanje krivulje kretanja broda za željeni scenarij, a zatim se za izabranu

³³ Sadržaj može biti balast, gorivo, teret (tekući ili suhi)

širinu plovnog puta (do izobate nasukanja) dobivaju parametri nasukanja. Parametri nasukanja ulazni su podaci za model veličine oštećenja broda pri nasukanju.

Ulazni parametri za određivanje opće krivulje kretanja broda su:

- deplasman broda (t)
- otklon kormila (°)
- početna brzina broda (čv).

Na osnovi ulaznih parametara, simulacijski model određuje krivulju kretanja broda. Kao rezultat simulacije dobiva se:

- maksimalni bočni pomak (po osi x)
- maksimalno napredovanje (po osi y)
- koeficijent otpora w koji se koristi u drugom koraku u modelu smanjenja brzine.

Ulazni podaci za određivanje parametara nasukanja broda su:

- rezolucija točaka na krivulji
- udaljenost plovidbene rute od izobate nasukanja (m).

Kao krajnji rezultat simulacijskog modela dobivaju se:

- podaci o najbližoj točki klotoide (parametri x , y i τ)
- smjer nasukanja (°)
- prijeđeni put od trenutka nastanka izvanrednog događaja do mjesta nasukanja (m)
- vrijeme od trenutka nastanka izvanrednog događaja do mjesta nasukanja (min)
- brzina broda u trenutku nasukanja (m/s i čv).

Ulazni parametri:

Deplasman (t) = 250000
 Otklon kormila (°) = 12
 Početna brzina (čv) = 8

Podaci iz baze:

Scenario	Vrsta broda	Brod	Deplasman	Otklon kormila	Početna brzina	X	Y	Otpor
SC 39	Bulk carr	OS 13	202000	10	6.0	2156	1718	0.00769
SC 43	Bulk carr	OS 14	202000	10	10.0	2159	1697	0.02068
SC 38	Bulk carr	OS 13	202000	20	6.0	1717	1346	0.01267
SC 42	Bulk carr	OS 14	202000	20	10.0	1715	1333	0.03414
SC 51	VLCC 2	OS 16	321260	10	5.5	2100	1834	0.01104
SC 55	VLCC 2	OS 17	321260	10	10.0	2103	1837	0.03376
SC 50	VLCC 2	OS 16	321260	20	5.5	1854	1491	0.01684
SC 54	VLCC 2	OS 17	321260	20	10.0	1875	1492	0.05186

Rezultat interpolacije:

Maksimalni bočni pomak: X = 2063 m
 Maksimalno napredovanje: Y = 1687 m
 Koeficijent otpora: W = 0,02012

Najbliza točka klotoide:

x (m) = 500.3
 y (m) = 1525.2
 tau = 0.88

Smjer (°) = 54.8
 Prijedjeni put (m) = 1673
 Vrijeme (min) = 7.7
 Brzina (m/s) = 2.8
 (čv) = 5.4

Slika 49. Prikaz zaslona simulacijskog modela

Za simulacijski model može se reći da je univerzalan jer se može koristiti za određivanje prihvatljivog rizika na svim vrstama plovnih putova. Jedina predradnja koju je potrebno učiniti je učitati željeni skup podataka za karakteristične brodove koji će plovni put koristiti. Svi drugi podaci koji se u simulacijskom modelu koriste uobičajeni su podaci koji se na brodovima koriste. Laka dostupnost uobičajenih podataka o brodu, koji će predstavljati ulazne parametre u simulacijskom modelu, jedan je od ciljeva izrade modela koji je u potpunosti zadovoljen.

8.5. ANALIZA REZULTATA

Simulacijskim modelom nasukanja istraženi su rezultati različitih scenarija nasukanja. Prema mogućnostima programa varirani su veličina broda, kut odklona kormila, inicijalna brzina broda i udaljenost izobate nasukanja od plovidbene rute broda. S obzirom da je početni skup podataka izabran za brodove koji prevoze tekuće terete i brodove koji prevoze rasute terete, jasno je da dobiveni rezultati odgovaraju navedenoj vrsti brodova. Rezultati koji su se analizirali su vrijeme od trenutka nastanka izvanrednog događaja do mjesta nasukanja i brzina broda u trenutku nasukanja.

Vrijeme od trenutka nastanka izvanrednog događaja do mjesta nasukanja, podatak je koji se može dalje analizirati s obzirom na ponašanje osoba koje upravljaju brodom i mogućnostima koje su im na raspolaganju na brodu da bi se spriječilo nasukanje. Kao što je već objašnjeno, simulacijski model nasukanja ne predviđa neke moguće radnje od strane posade broda osim zaustavljanja stroja u trenutku nastanka izvanrednog događaja. S obzirom da je iz modela poznato vrijeme do trenutka nasukanja kao i brzina u svakoj točki kretanja broda, može se u određenim scenarijima gdje se to smatra opravdanim predvidjeti i provođenje određenih mjera sprječavanja nasukanja.

Najvažniji analizirani podatak je brzina broda u trenutku nasukanja. Kako je prikazano u poglavlju 7., brzina broda uz masu broda ključni su parametri za određivanje kinetičke energije broda koja predstavlja jedan od čimbenika za određivanje veličine oštećenja pri nasukanju.

Variranjem kuta odklona kormila od minimalne vrijednosti od 5° do maksimalne vrijednosti od 35° za jedan konkretan brod primijetilo se da su brzine u trenutku nasukanja veće kada je odklon kormila manji, neovisno što je prijedeni put i vrijeme do trenutka nasukanja veće. Iz ove spoznaje došlo se do zaključka da će "najnepovoljniji scenarij" pri nasukanju nastati kada je kut odklona broda mali³⁴. Kako je već navedeno za određivanje prihvatljivog rizika potrebno je primijeniti princip "najnepovoljnijeg scenarija" iz čega se zaključuje da se pri izradi skupa podataka može smanjiti broj simulacija, tj. da je dovoljno simulirati samo najmanji kut odklona kormila (5°). Kutovi odklona kormila manji od 5° su vrlo mali odkloni kormila i s obzirom na analizirani izvanredni događaj u ovom radu smatraju se slobodnim zaletom broda gdje neće doći do većeg zanošenja broda s planiranog puta, osim ako na njega ne djeluju vanjske sile.

³⁴ Češći su kvarovi kormilarskog uređaja pri kojem list kormila ostaje otklonjen za neki manji kut, a ne za najveći.

8.6. MOGUĆNOSTI DALJNJEG RAZVOJA

Simulacijski model moguće je razvijati i za druge vrste brodova kao i za druge vrste izvanrednih događaja. Nadalje, simulacijski model moguće je razvijati za potrebe države i za potrebe VTS-a.

Kako je to već navedeno, predstavljeni model vrijedi za brodove za prijevoz rasutih tereta i brodove za prijevoz tekućih tereta. Dodatnim istraživanjima moguće je dobiti skup podataka i za ostale vrste brodova. Za svaku novoodređeni skup podataka zatim valja ispitati odgovara li postojeći model nasukanja ili ne. U slučaju da on ne odgovara, potrebno je izvršiti korekciju parametara α , β i τ .

Simulacijski model moguće je razviti i za druge vrste izvanrednih događaja koji direktno utječu na mogućnost kontrole brzine i smjera broda kao što su kvar pogonskog stroja i gubitak napajanja.

Osim razvoja simulacijskog modela radi dobivanja parametara nasukanja broda valja razvijati i model sudara brodova. Sam model kretanja broda je isti, a valja odrediti nove scenarije za sudar brodova i odabrati odgovarajući model oštećenja broda pri sudaru.

Za potrebe države model se može koristiti za istraživanje nezgoda brodova i posljedica koje nastaju. Ovdje valja naglasiti da se u prošlosti, a najčešće još i danas, propisi donose na osnovi podataka o nezgodama koje su se dogodile. Predloženi pristup omogućava proaktivno djelovanje. Rezultati dobiveni korištenjem modela omogućuju ispravno vrednovanje odluka koje se moraju donositi na državnoj razini. Odluke koje bi se mogle donositi na državnoj razini su:

- određivanje razine prihvatljivosti pomorskih plovidbenih rizika
- donošenje propisa koji se odnose na sigurnost pomorske plovidbe
- zabrane ili ograničenja plovidbe određenim plovnim putom, itd.

Iako se odluke koje donosi država provode kroz kraće ili duže razdoblje može se reći da je model statički, ali se tijekom modeliranja on može koristiti i kao dinamički.

Operativno provođenje mjera sigurnosti plovidbe određenih od strane države ili nekog lokalnog tijela valja povjeriti službi nadzora i upravljanja pomorskom plovidbom (VTS). VTS služba model može koristiti kao statički ili dinamički. Statički model predstavlja primjenu modela s obzirom na stvarni pomorski promet, ali s unaprijed određenim scenarijima kretanja broda. Krajnji domet i najveća vrijednost bila bi korištenje dinamičkog modela.

Dinamički model bi predstavljao sustav koji bi omogućio procjenu rizika (mogućnost nastanka nezgode i njezinu posljedicu) u stvarnom vremenu za sve vrste brodova i svaki dio plovnog područja. Model bi morao odrediti i omogućiti sljedeće:

- dinamički odrediti mogućnost nasukanja i sudara brodova
- procijeniti posljedice mogućih nezgoda (za ljude, okoliš, infrastrukturu, itd.) na osnovi obilježja brodova i područja plovidbe
- omogućiti automatsko upozorenje VTS operateru o riziku na određenom dijelu plovnog puta te pružiti podršku pri donošenju odluka o mjerama za smanjenje rizika.

Da bi se omogućilo prije navedeno model bi morao koristiti sljedeće podatke od kojih su neki statički, a neki dinamički. Statički podaci su:

- geografska obilježja područja nadzora
- obilježja morskog dna
- pravila o izbjegavanju sudara na moru
- propisi koji određuju posebnosti plovidbe promatranim područjem.

Dinamički podaci su:

- podaci o brodu
- podaci o planu putovanja broda
- podaci o teretu koji prevozi
- podaci o količinama goriva na brodu
- podaci o kretanju broda (na primjer na temelju AIS podataka ili putem radarskog osmatranja)
- meteorološki i oceanološki podaci u trenutku plovidbe broda promatranim područjem.

Na osnovi dobivenih podataka, VTS operater mogao bi donositi odluke koje bi proslijedio brodu. Odluke mogu biti sljedeće:

- određivanje udaljenosti na kojoj bi brod trebao ploviti od kopna ili prilikom mimoilaženja s drugim brodovima,
- određivanje brzine kojom bi brod trebao ploviti na određenom dijelu plovnog puta ili prilikom mimoilaženja s drugim brodom,
- zabrana mimoilaženja dva broda na određenom dijelu plovnog puta ako njihovo mimoilaženje uz primjenu svih prije navedenih mogućnosti još uvijek predstavlja neprihvatljivi rizik,
- u slučaju mogućnosti izbora plovnog puta određivanje plovnog puta gdje se rizik plovidbe broda može smatrati prihvatljivim,
- određivanje potrebe za korištenjem tegljača pri prolazu broda određenim područjem.

Praćenje kretanja broda, simulacija i procjena rizika unaprijed i u stvarnom vremenu te donošenje odluka i razmjena donesenih odluka s brodom prema mišljenju autora ovog rada predstavlja neizbježnu budućnost.

9. ZAKLJUČAK

Ovom doktorskom disertacijom sustavno je istražen rizik koji nastaje pri plovidbi broda. S obzirom da je nasukanje jedna o najčešćih nezgoda pri kojoj u pravilu rijetko dolazi do gubitka ljudskih života, ali zato dolazi do zagađenja s negativnim posljedicama po okolinu, cilj istraživanja je bio upravo istražiti rizike nasukanja broda te odrediti kriterije prema kojima bi se navedeni rizik vrednovao.

Radi mogućnosti dobivanja prihvatljivih rizika nasukanja izrađen je model koji omogućuje variranje ulaznih parametara da bi vrijednost rizika bila unutar graničnih vrijednosti. Pri određivanju graničnih parametara koji definiraju sigurnu plovidbu odvojeno su istraženi parametri sigurne plovidbe kada svi brodski sustavi funkcioniraju ispravno od slučaja kada tijekom plovidbe dolazi do izvanrednog događaja, a mogućnost utjecaja posade na smanjenje posljedica izvanrednog događaja je mala ili praktično nemoguća.

Cilj pri određivanju vrijednosti prihvatljivog rizika nije bio da se potpuno eliminira rizik nasukanja, nego da rizik nasukanja bude prihvatljiv neovisno o vrsti broda, vrsti tereta ili području kojim brod plovi.

Za potrebe definiranja koeficijenata za određivanje širine plovnog puta analizirani su sigurnosni uvjeti na plovnom putu koji utječu na sigurnu plovidbu broda. U tu svrhu pojedinačno su analizirani načini određivanja položaja broda, utjecaj okoline na kretanje broda te utjecaj brodske opreme na kretanje broda. Za potrebu definiranja koeficijenata analizirana je stručna i znanstvena literatura koja se bavi ovom temom, obavljani su intervjui s aktivnim pomorcima i peljarima te provedena istraživanja na navigacijskom simulatoru. Širina plovnog puta određena pomoću definiranih koeficijenata može se smatrati sigurnom za plovidbu broda uz pretpostavku da svi brodski sustavi rade dobro te da brodom upravlja i kormilari osoba koja se ponaša kao "dobar pomorac".

Drugi dio problema koji je valjalo istražiti bio je rizik nasukanja kada tijekom plovidbe dolazi do izvanrednog događaja. U tu svrhu određeni su mogući izvanredni događaji na brodu koji imaju utjecaj na smjer i brzinu broda čime je u stvari definirano kretanje broda, a u slučaju nastanka nasukanja i veličina oštećenja. Uz konzultacije sa stručnjacima brodstrojarstva zaključeno je da na ovako definirano kretanje broda utječe način rada pogonskog i kormilarskog sustava te su uz pretpostavku nastanka navedenih izvanrednih događaja definirani scenariji za koje je izrađen model nasukanja broda i model promjene brzine.

Za izradu modela nasukanja broda analizirane su zakonitosti kretanja broda pri okretanju te su definirani uvjeti koje bi krivulja kojom će se opisati putanja broda morala zadovoljiti. Postavljeni uvjeti bili su da krivulja što bolje aproksimira krivulju okretanja broda te da ima parametre (elemente) koji se mogu pridružiti nekom karakterističnom svojstvu broda pri zakretanju. Između svih analiziranih krivulja kao krivulja koja ima najslabije zakonitosti krivulji okretanja broda izabrana je klotoida (prijelaznica).

Uspoređujući krivulju kretanja broda i klotoidu došlo se do zaključka da klotoida vrlo dobro aproksimira krivulju okretanja broda u prvoj i drugoj fazi, dok bi u trećoj fazi valjalo

koristiti zakonitosti kružnice. Budući da se pri izboru krivulje trebao zadovoljiti i drugi uvjet, pristupilo se modificiranju parametarske jednadžbe klotoide i u konačnici dobilo krivulju koja vrlo dobro aproksimira krivulju okretanja broda. Dobivena modificirana krivulja ispitana je na 60 scenarija provedenih na navigacijskom simulatoru.

Nakon što je izrađen model kretanja broda valjalo je odrediti i model promjene brzine. Pri odabiru modela promjene brzine nije se moglo koristiti postojeće modele jer oni modeliraju pad brzine broda kada se on kreće pravocrtno, stoga je za potrebe ovog rada izrađen model promjene brzine koji može prikazati promjenu brzine u bilo kojoj točki krivulje okretanja broda kada je otklon kormila konstantan, a stroj zaustavljen. Prema istoj analogiji, važan uvjet pri izradi modela bio je i definiranje ulaznog parametra koji se može pridružiti nekom karakterističnom svojstvu broda pri plovidbi, odnosno u trenutku nastanka izvanrednog događaja. U tu svrhu izabrana je inicijalna brzina broda.

Da bi se prikazale moguće posljedice nasukanja analizirani su kronološki radovi i modeli u svezi s mehanikom oštećenja broda pri nasukanju. Prikazani su rezultati prvih istraživanja koja se oslanjaju na statističke podatke o veličini oštećenja pri nasukanju koja su se već dogodila. Zatim su prikazana neka od kasnijih istraživanja koja daju empirijske izraze za određivanje veličine oštećenja pri nasukanju. Na kraju su prikazani zadnji radovi gdje se veličina oštećenja određuje pomoću modela koji se kalibriraju prema nastalim oštećenjima brodova. Navedeni modeli se u današnje vrijeme razvijaju uz neizbježnu upotrebu računala koji omogućuju uključivanje većeg broja parametara čime se dobivaju vrlo dobri rezultati.

Rezultati istraživanja koji su prije navedeni služe kako bi se mogao postići osnovni cilj ove disertacije, a to je predložiti konkretni način određivanja prihvatljivosti pomorskih plovidbenih rizika. Metoda koja se koristi za procjenu posljedice nezgode ovisi o subjektu koji procjenu provodi ili o subjektu za kojega se procjena provodi. S obzirom na cilj ovog rada predložen je model koji može služiti državi (nadležnoj upravi) ili određenom subjektu na užem području za donošenje propisa u svezi s pomorskim rizicima.

Poradi prije navedenog izabran je fizikalni model koji polazi od određivanja veličine oštećenja broda. Kao prihvatljivi kriterij oštećenja predložen je princip gdje je prilikom nasukanja broda došlo do oštećenja trupa, ali nije došlo do onečišćenja mora. Kod ovog principa uspoređuje se veličina oštećenja i to oštećeni prostori na brodu te sadržaj u njima. Budući da je veličina oštećenja funkcija vrste dna, konstrukcije broda, mase i brzine broda te kuta nasukanja, proizlazi da se izvana može utjecati jedino na masu i brzinu broda koje određuju kinetičku energiju broda, a ona predstavlja fizikalnu veličinu. Vrijednost modela je i u tome što ne uzima u obzir statističke podatke već se modelom istražuje svaki scenarij zasebno, a onda se izabire onaj koji predstavlja najnepovoljniji događaj. Rezultat najnepovoljnijeg događaja služi da bi se odredila vrijednost prihvatljivog rizika za konkretni scenarij.

Za potrebe utvrđivanja parametara pri nasukanju kod raznih scenarija razvijen je simulacijski model. Simulacijski model je dvostupanjski, tj. najprije se dobivaju parametri koji služe za određivanje krivulje kretanja broda, a zatim se za izabranu širinu plovnog puta (do izobate nasukanja) dobivaju parametri nasukanja. Parametri nasukanja ulazni su podaci za određivanje veličine oštećenja broda pri nasukanju.

Simulacijski model je univerzalan jer se može koristiti za određivanje prihvatljivog rizika na svim vrstama plovnih putova. Jedina predradnja koju je potrebno učiniti je učitati željeni skup podataka za karakteristične brodove koji će plovni put koristiti. Jednostavnost korištenja i laka dostupnost uobičajenih podataka o brodu bio je i jedan od ciljeva prilikom izrade modela koji je u potpunosti zadovoljen.

Razvijeni simulacijski model vrijedi za brodove za prijevoz rasutih tereta i brodove za prijevoz tekućih tereta. Dodatnim istraživanjima valjalo bi model razvijati na način da se naprave skupovi podataka kretanja i ostalih vrsta brodova kao i drugih vrsta izvanrednih događaja.

Model se također može dalje razvijati ovisno o njegovom krajnjem korisniku. Za potrebe države model se može razvijati za istraživanje nezgoda brodova i posljedica koje nastaju. Vrijednost ovakvog pristupa je u proaktivnom djelovanju, a rezultati dobiveni korištenjem modela omogućili bi ispravno vrednovanje odluka koje se moraju donositi na državnoj razini.

Predloženi model se može koristiti i u svrhu provedbe mjera sigurnosti plovidbe određenih od strane države, a kroz službu nadzora i upravljanja pomorskom plovidbom (VTS). VTS služba model može koristiti kao statički (uzimajući u model stvarni pomorski promet s unaprijed određenim scenarijima kretanja broda), ali i kao dinamički model. Dinamički model bi predstavljao sustav koji bi omogućio procjenu rizika u stvarnom vremenu za sve vrste brodova i svaki dio plovnog područja, a za svoj rad bi koristio statičke i dinamičke podatke.

S obzirom na navedeno u uvodnim razmatranjima, a to je da se razvoj društva temelji na principu održivog razvoja i da se zaštita okoliša provodi na nedovoljnoj stručnoj razini uz nedovoljnu koordinaciju stručnih i znanstvenih institucija, može se zaključiti da ovaj rad predstavlja doprinos unapređenju sigurnosti plovidbe i zaštite okoliša od onečišćenja s brodova.

LITERATURA

KNJIGE

- [1] Benković, F., et al., Terestrička i elektronska navigacija, Split, Hidrografski institut ratne mornarice, 1986., str. 299.
- [2] Cahill, R. A., Collisions and their causes, 3rd ed., London, The Nautical Institute, 2002.
- [3] Cahill, R. A., Strandings and their causes, 6th ed., London, The Nautical Institute, 2002.
- [4] Hensen, H., Tug use in port, a practical guide, London, The Nautical Institute, 1997.
- [5] Janeš, V., B. Čavrak, Procjena opasnosti za opasne tvari, Zagreb, Zavod za istraživanje i razvoj sigurnosti, 1999.
- [6] Jelalian, A. V., Laser radar systems, Boston, Artech House, 1992.
- [7] Kristiansen, S., Maritime transportation safety management and risk analysis, Oxford, Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005.
- [8] Munro-Smith, R., Merchant ship types, London, Marine Media Management, 1975.
- [9] Managing risk in shipping, a practical guide, London, The Nautical Institute, 1999.
- [10] Sciutto, G., C. A. Brebbia, Maritime engineering and ports, Boston, WIT Press, 1998.
- [11] Swift, A. J., Bridge team management, a practical guide, London, The Nautical Institute, 2000.
- [12] Thoresen, C. A., Port design, guidelines recommendations, Trondheim, Tapir Publishers, 1988.
- [13] Vinnem, J. E., Offshore risk assessment, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1999.
- [14] Zec, D., Planiranje pomorske plovidbe, Rijeka, Pomorski fakultet u Rijeci, 1997.
- [15] Zečević, T., J. Crnković, Matematički modeli i metode simulacije, Rijeka, Fakultet za pomorstvo i saobraćaj, 1987.

ČLANCI

- [16] Alexandrov, M., Probabilistic approach to the effectiveness of the ship life-saving systems, Transactions of SNAME, 14 (1970), 391-416.
- [17] Amrozowicz, M., A. Brown, M. Golay, A Probabilistic analysis of tanker groundings, 7th International Offshore and Polar Engineering Conference, Honolulu, Hawaii, 1997.
- [18] Burgers, A., M. Kok, The statistical analysis of ship manoeuvring simulator results for fairway design based on the interdependency of fairway cross-section transits, International Harbour Congress, Antwerp, 1988.

- [19] Dand, I., R. D. Colwill, The Development and application of a dynamic marine traffic simulator for the assessment of marine risk, Inaugural Int' Conference on Port and Maritime R&D and Technology, Maritime Port Authority, Singapore
- [20] Dand, I., Some measurements of interaction between ship models passing on parallel courses, NMI Report 108, Feltham, 1981.
- [21] Dand, I. W., An Approach to the design of navigation channels, National Maritime Institute, Report R104, 1981.
- [22] Diamantidis, D., Risk acceptance criteria, Joint Committee of Structural Safety, JCSS, Document #3, 2008.
- [23] Ditlevsen, O., Decision modeling and acceptance criteria, Structural Safety, 25 (2003), 2.
- [24] Fowler, T. G., E. Sørgård, Modeling ship transportation risk, Risk Analysis, 20 (2000) 2, str. 225-244.
- [25] Friis-Hansen, P., B. C. Simonsen, GRACAT: software for grounding and collision risk analysis, Marine Structures 15 (2002), str. 383-401
- [26] Fujii, Y., /et all/, Some Factors Affecting the Frequency of Accidents in Marine Traffic: I - The Diameter of Evasion for Crossing Encounters, II - The probability of Stranding, III - The Effect of Darkness of the Probability of Collision and Stranding. Journal of Navigation, 27 (1974), 2, str. 239-247.
- [27] Galor, W., Safety of navigation in watre areas limited by hydro technical port structures, Fundacja Rozwoju WSM, Szczecin, 2002.
- [28] Galor, W., The movement of ship in water areas limited by port structures, Annual of Navigation, 10 (2005), str. 23-37.
- [29] Kite-Powell, H. L., /et all/, Investigation of potential risk factors for groundings of commercial vessels in U.S. ports, International Journal of Offshore and Polar Engineering, 9 (1999), 1, str. 16-21.
- [30] Kunz, C. U., Ship bridge collision in river traffic, analysis and design practice, Ship collision analysis, Rotterdam, Balkeman, Rotterdam, 1998.
- [31] Lo, D. C., Dong-Taur Su, Jan-Ming Chen, Application of Computational Fluid Dynamics Simulations to the Analysis of Bank Effect in Restricted Waters, The Journal of Navigation, 62 (2009), str. 477-491.
- [32] Macduff, T., The Probability of vessel collisions, Ocean Industry, 9 (1974), 9, str.144-148.
- [33] Nathwani, J., N. C. Lind, M. D. Pandey, Principles for managing risk: a search for improving the quality of decision, Risk and Safety of Technical Systems, 1999.
- [34] Nathwani, J., J. Narveson, Three principles for managing in the public interest, Risk Analysis, 1995.

- [35] Norbin, N., Manoeuvring in confined waters: interaction phenomena due to side banks or other ships, 14th International Towing Tank Conference, Report of the Manoeuvrability Committee, Appendix VIII, 1975.
- [36] Pandey, M. D., Nathwani, J., Life quality index for the estimation of societal willingness-to-pay for safety, *Structural Safety*, 26 (2004), 2.
- [37] Simonsen, B. C., Hansen, P. F., Theoretical and Statistical Analysis of Ship Grounding Accidents, *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 2000., 122: str. 200-207.
- [38] Skjong, R., Eknes, M. L., *Societal risk and societal benefits*, Risk Decision and Policy, Cambridge University Press, 2002.
- [39] SNAME, Proposed Procedures for Determining Ship Controllability Requirements and Capabilities, Panel H-10, First Ship Architects and Marine Engineers, Washington, D.C. (1975.)
- [40] Stahl, B., et al., Acceptance criteria for offshore platforms, *J. Offshore Mech. Arct. Eng.*, 122 (2000), 3.
- [41] Sun, H. W., N. C. Evans, Comparative risk indicators, Special Project Report SPR 1/2001.
- [42] Vaughan, H., Bending and tearing of plate with application to ship-bottom damage, *The Naval Architect*, 1978., May, str.97-99.
- [43] Vrouwenvelder, T., et al., Risk assessment and risk communication in civil engineering, *Safety, Risk, Reliability – Trends in Engineering*, Malta, 2001.

KONVENCIJE I DRUGI PRAVNI PROPISI

- [44] British standard code of practice for maritime structures, Part 1. General criteria, British Standards Institution.
- [45] Commission communication of 21 March 2000 to Parliament and the Council on the safety of the seaborne oil trade, COM(2000) 142 final, EU, 2000.
- [46] Communication from the Commission to the Council and the European Parliament of 6 December 2000 on a second set of Community measures on maritime safety following the sinking of the oil tanker Erika, COM(2000) 802 final, EU, 2000.
- [47] Convention on the International Regulations for Preventing Collision at Sea, IMO, 1972.
- [48] Directive 2002/59/EC, Establishing a Community vessel traffic monitoring and information system, EU, 2002.
- [49] Directive 2009/16/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on port State control
- [50] IMO MEPC/Circ.372, Reports on marine casualties and incidents, Revised harmonized reporting procedures – Reports required under SOLAS regulation I/21 and MARPOL 73/78 articles 8 and 12.

- [51] IMO MSC/Circ.953, Reports on marine casualties and incidents, Revised harmonized reporting procedures – Reports required under SOLAS regulation I/21 and MARPOL 73/78 articles 8 and 12.
- [52] IMO Resolution A.751(18), Interim standards for ship maneuverability, 1993.
- [53] IMO Resolution A.342(9), Recommendation on Performance Standards for Automatic Pilots, 1975.
- [54] IMO Resolution A.382(10), Magnetic Compasses Carriage and Performance Standards, 1977.
- [55] IMO Resolution A.424(11), Performance Standards for Gyro-Compasses, 1979.
- [56] IMO Resolution A.477(12), Performance Standards for Radar Equipment, 1981.
- [57] IMO Resolution A.815(19), World-wide Radio navigation system, 1995.
- [58] IMO Resolution A.817(19), Performance Standards for Electronic Chart Display and Information Systems (ECDIS), 1995.
- [59] IMO Resolution A.819(19), Performance Standards for Shipborne Global Positioning System (GPS) Receiver Equipment, 1995.
- [60] IMO Resolution A.860(20), Maritime Policy for a future Global Navigation Satellite System (GNSS), 1997.
- [61] IMO, Explanatory Notes for the SOLAS Regulations on Ship Subdivision and Damage Stability of Cargo Ship of 100 Meters and Over, Resolution A.684(17), London, 1993.
- [62] IMO, Formal Safety Assessment, MSC 83/INF.2, 2007.
- [63] IMO, Interim Guidelines for the Approval of Alternative Methods of Design and Construction of Oil Tankers under Regulation 13 F(5) of Annex I of MARPOL 73/78, MARPOL 73/78 – 1994 and 1995 Amendments, London, 1996.
- [64] International Maritime Organization, Ship's routing, 6th edition, London, 1991.
- [65] MSC 81/6/3, Goal-based new ship construction standards, London, IMO, 2006.
- [66] MSC 83/INF.2, Consolidated text of the guidelines for formal safety assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process, London, IMO, 2007.
- [67] MSC.64(67), Annex 3, Amendment to Resolution A.342(9) on Performance Standards for Automatic Pilots, 1996.
- [68] MSC Circular 64(67), Annex 4, Recommendation on Performance Standards for Radar Equipment, 1996.
- [69] MSC/83, Formal Safety Assessment – Consolidated text of the Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process, London, IMO, 2007.
- [70] MSC/Circ.1022, MEPC/Circ.391, Guidelines on the use of Human Elements Analyzing Process (HEAP) and for Formal Safety Assessment (FSA) in the IMO rule-making process, London, IMO, 05/2002.

- [71] MSC/Circ.1023, MEPC/Circ.392, Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process, London, IMO, 04/2002.
- [72] Naredba o plovidbi teritorijalnim morem i unutrašnjim morskim vodama RH, Narodne novine 105/97.
- [73] Naredba o plovidbi u prolazu u šibensku luku, u Pašmanskom tjesnacu, u prolazu Mali Ždrelac i Vela vrata, rijekama Neretvom i Zrmanjom, te o zabrani plovidbe Pelješkim, Koločepskim, Unijskim kanalom i kanalom Krušija, dijelovima Srednjega kanala, Murterskoga mora i Žirjanskoga kanala, Narodne novine 09/07.
- [74] Plan intervencija kod iznenadnih onečišćenja mora, Narodne novine 92/08.
- [75] Pomorski zakonik, Narodne novine 181/04. s izmjenama i dopunama, Narodne novine 76/07., 146/08.
- [76] Pravilnik o mjernim jedinicama, Narodne novine 2/07.
- [77] Pravilnik o obavljanju inspekcijskog nadzora sigurnosti plovidbe, Narodne novine 127/05.
- [78] Pravilnik o rukovanju opasnim tvarima, uvjetima i načinu obavljanja prijevoza u pomorskom prometu, ukrcavanja i iskrcavanja opasnih tvari, rasutog i ostalog tereta u lukama, te načinu sprječavanja širenja isteklih ulja u lukama, Narodne novine 51/05.
- [79] Pravilnik o uvjetima i načinu održavanja reda u lukama i na ostalim dijelovima unutarnjih morskih voda i teritorijalnog mora RH, Narodne novine 90/05.
- [80] Regulation (EC) No 1406/2002, Establishing a European Maritime Safety Agency, EU, 2002.
- [81] Regulation (EC) No 417/2002 of the European Parliament and of the Council of 18 February 2002 on the accelerated phasing-in of double hull or equivalent design requirements for single hull oil tankers, EU, 2002.
- [82] Uredba o procjeni utjecaja na okoliš, Narodne novine 34/97.
- [83] Uredba o procjeni utjecaja zahvata na okoliš, Narodne novine 64/08.
- [84] Zakon o postupnom isključenju iz plovidbe tankera bez dvostruke oplate, Narodne novine 48/04.

OSTALI IZVORI

- [85] Approach Channels, A Guide for design, PIANC/IAPH, 1997.
- [86] Capability of ship manoeuvring simulation models for approach channels and fairways in harbours, PIANC, 1992.
- [87] Dand, I., Some measurements of interaction induced by surface piercing and flooded banks, NMI Report 110, Feltham, 1981.
- [88] DNV, Marine risk assessment, Offshore technology report, 2001.
- [89] Frančić, V., Metodologija procjene stupnja ugroženosti broda na plovnom putu, magistarski rad, Rijeka, V. Frančić, 2004.

- [90] Sigurnost plovidbe tankera Jadranskim morem na plovnom putu do luke Omišalj, Rijeka, Pomorski fakultet u Rijeci, 2004.
- [91] IALA recommendations for Leading Lights, E-112, Saint Germain en Laye, 1998.
- [92] IALA, Aids to Navigation Guide (Navguide), 4th ed., 2001, str. 24.
- [93] International Loran Association, Enhanced Loran (eLoran), Definition Document, Report Version: 1.0, 2007.
- [94] Jebsen, J. J., V. C. Papakonstantinou, Evaluation of physical risk of ship grounding, doktorska disertacija, Massachusetts Institute of Technology, 1997.
- [95] Jelavić, V., Metoda procjene ekoloških rizika broda, doktorska disertacija, Zagreb, V. Jelavić, 2004.
- [96] Kostilainen, V., Analysis of casualties of tankers in the Baltic, gulf of Finland and gulf of Bothnia in 1960-1969., Helsinki University of Technology, Ship Hydrodynamics Laboratory, Raport No. 5, Otaniemi, 1971.
- [97] Kostilainen, V., M. Hyvärinen, Ship casualties in the Baltic, gulf of Finland and gulf of Bothnia in 1971-1975., Helsinki University of Technology, Ship Hydrodynamics Laboratory, Report No. 10, Otaniemi, 1976.
- [98] Maritime research Institute Netherlands, SAMSON: safety assessment models for shipping and offshore in the North Sea, 2006.
- [99] Međunarodni sustav jedinica (SI), 8. izd., Zagreb, Državni zavod za mjeriteljstvo, 2006.
- [100] Mohović, R., Model manevriranja brodom u ograničenim plovnim područjima u funkciji sigurnosti i zaštite morskog okoliša, doktorska disertacija, Rijeka, R. Mohović, 2002.
- [101] National Research Council, Tanker Spills Prevention by Design, National Academy Press, Washington, DC, 1991.
- [102] Prediction of wind and current loads on VLCCs, Oil Companies International Marine Forum (OCIMF), London, 1977.
- [103] Ravn, E. S., P. F. Hansen, P. Engberg, User manual for the GRISK program, 2008.
- [104] Royal Haskoning, Marine Traffic Risk Assessment Model (MARTRAM), 2003.
- [105] SAFECO II 2000. Safety of shipping in coastal waters: Demonstration of risk assessment techniques for communication and information exchange, SAFECO II Final report for publication, Revision 2.
- [106] Stamatelatos, M. G., Risk Assessment and Management Tools and Applications, NASA Headquarters, 2002.
- [107] Stranice online enciklopedije Wikipedija o Fresnelovim integralima: http://en.wikipedia.org/wiki/Fresnel_integral (10.3.2010.)
- [108] User manual for GRACAT - grounding and collision analysis toolbox, 2000.

- [109] Zhang, S., The mechanics of ship collisions, Ph.D. Thesis, Department of Naval Architecture and Offshore Engineering, Technical University of Denmark, Lyngby, 1999.

POPIS OZNAKA

A_c	–	podvodna površina broda
A_w	–	nadvodna površina broda
B	–	širina broda
B_{bc}	–	koeficijent širine plovnog puta zbog utjecaja različitih oblika obalnog ruba
B_{cl}	–	koeficijent širine plovnog puta zbog utjecaja uzdužne morske struje
B_{ct}	–	koeficijent širine plovnog puta zbog utjecaja bočne morske struje
B_D	–	širina oštećenja
B_h	–	koeficijent širine plovnog puta zbog dubine plovnog puta
B_{owt}	–	širina jednosmjernog plovnog puta izražena pomoću širine broda
B_{pos}	–	točnost određivanja položaja tijekom kretanja broda po planiranom putu
B_s	–	koeficijent širine plovnog puta zbog brzine kojom se brod kreće
B_{smc}	–	osnovna manevarska širina plovnog puta
B_{smc-tu}	–	osnovna manevarska širina plovnog puta kada se pri plovidbi koriste tegljači
B_{st}	–	sposobnost kretanja broda planiranim putom
B_{tw}	–	koeficijent širine plovnog puta zbog dvosmjerne plovidbe brodova
B_v	–	koeficijent širine plovnog puta zbog utjecaja valova
B_w	–	koeficijent širine plovnog puta zbog utjecaja vjetra
c	–	granica minimalnih gubitaka
C	–	gubitak čiji je uzrok neželjeni događaj, kao npr. posljedica nezgode izražena u primjenjivim (relevantnim) jedinicama
C_B	–	koeficijent punoće deplasmana
C_c	–	koeficijent otpora tijela izloženog djelovanju morske struje
cfw	–	koeficijent reljefa plovnog puta
C_h	–	dodatni hidrodinamički koeficijent mase
C_v	–	koeficijent djelovanja valova
C_w	–	koeficijent otpora tijela izloženog djelovanju vjetra
d	–	udaljenost od objekta koji se osmatra
D	–	deplasman broda
d_1	–	udaljenost između broda i prve oznake pokrivenog smjera
d_2	–	udaljenost između prve i druge oznake pokrivenog smjera
d_H	–	horizontalna udaljenost obalnog ruba od trupa broda
E_I	–	apsorbirana energija
E_{lop}	–	pogreška stajnice
$\pm e_{pos}$	–	pogreška određivanja položaja broda
E_{pos}	–	ukupna pogreška određivanja položaja broda
F_c	–	sila morske struje
F_{ext}	–	koeficijent utjecaja vanjskih sila

F_v	– sila vala
F_w	– sila vjetra
g	– ubrzanje sile teže
h	– dubina vode
h_{eff}	– utjecaj dubine vode na manevarske karakteristike broda
H_s	– značajna visina vala
L	– duljina broda
L_D	– duljina oštećenja na brodskom dnu
LOA	– duljina broda preko svega
L_{pp}	– duljina broda između perpendikulara
L_{wl}	– duljina broda na trenutnoj vodenoj liniji
M	morska milja (1852 m)
Ob	– linijska osjetljivost pokrivenog smjera
P_A	– vjerojatnost nastanka nezgode
P_{APA}	– pretpostavljena vjerojatnost nezgode
P_H	– opasno stanje
P_S	– sigurno stanje sustava
P_{SAL}	– prihvatljiva razina sigurnosti
R_N	– navigacijski rizik
R_P	– unaprijed određena granična vrijednost rizika
R_p	– navigacijski rizik prije uvođenja promjena
R_U	– navigacijski rizik nakon uvođenja promjena
S_{ch}	– koeficijent obilježja obalnog ruba
S_{eff}	– utjecaj obalnog ruba na kretnje broda
smc	– koeficijent manevarskih obilježja broda
T	– gaz broda
t_0	– vrijeme nastanka izvanrednog događaja
t_{eqv}	– ekvivalent debljine lima dna broda
t_g	– vrijeme nasukanja
TPM	– masa koju je potrebno ukrcati/iskrcati da dođe do promjene gaza od 1 m
tu	– koeficijent utjecaja tegljača
v	– brzina broda
V_C	– veličina oštećenja materijala
v_g	– brzina broda u trenutku nasukanja
v_i	– brzina broda u trenutku nastanka izvanrednog događaja
Vr_c	– relativna brzina morske struje u odnosu na brod
Vr_w	– relativna brzina vjetra u odnosu na brod
x	– stanje sustava
X	– ograničenje
x_{max}	– maksimalni bočni pomak
y_{max}	– maksimalno napredovanje

Y	– ograničenja koja odgovaraju pretpostavljenoj prihvatljivoj razini sigurnog stanja
α	– inklinacija morskog dna
γ	– veličine kuta pri kojem oko prosječnog osmatrača počinje osmatrati oznake odvojeno
ΔK	– promjena kursa ili pogreška pokazivanja smjera
ΔR	– povećanje rizika
δ_R	– kut otklona kormila
λ	– duljina vala
μ	– koeficijent trenja
ρ_a	– gustoća zraka
ρ_C	– relativno povećanje posljedice nezgode
ρ_{P_A}	– relativno povećanje vjerojatnosti nezgode
ρ_R	– relativno povećanje rizika
ρ_w	– gustoća vode
σ	– prosječna čvrstoća lima dna broda
φ	– geografska širina
ω_{err}	– pogreška u smjertanju azimuta

POPIS KRATICA

- AIS – Automatizirani sustav izvješćivanja s brodova (*Automatic Identification System*)
- ALARP – Rizik "toliko mali koliko je razborito" (*As Low As Reasonably Practicable*)
- CAS – Shema za procjenu stanja broda (*Condition Assessment Scheme*)
- COLREG – Konvencije o međunarodnim pravilima o izbjegavanju sudara na moru (*Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea*)
- DGPS – Diferencijalni navigacijski satelitski sustav (*Differential Global Positioning System*)
- DNV – *Det Norske Veritas* (klasifikacijski zavod)
- DSA – "Sasvim lagano naprijed" (*Dead Slow Ahead*)
- EBL – Linija za mjerenje azimuta (*Electronic Bearing Line*)
- ECDIS – Elektroničke karte (*Electronic Chart Display and Information System*)
- EMSA – Europsku agenciju za pomorsku sigurnost (*European Maritime Safety Agency*)
- EU – Europska unija (*European Union*)
- FA – "Svom snagom naprijed" (*Full Ahead*)
- FSA – Metoda formalne procjene sigurnosti (*Formal Safety Assessment*)
- GLONASS – Globalni navigacijski satelitski sustav (*Global Navigational Satellite System*)
- GPS – Globalni pozicionirajući sustav (*Global Positioning System*)
- HEAP – Proces analize elemenata ljudskog ponašanja (*Human Element Analysing Process*)
- HRB – Hrvatski registar brodova
- HRS – Visokorizični brodovi (*High Risk Ship*)
- HSC – Vrlo brza plovila (*High-Speed Craft*)
- HSS – Vrlo brzi brodovi (*High-Speed Ships*)
- IALA – Međunarodno udruženje ustanova za svjetionike (*International Association of Lighthouse Authorities*)
- IAPH – Međunarodno udruženje luka i zakloništa (*International Association of Ports and Harbors*)
- IHO – Međunarodna hidrografska organizacija (*International Hydrographic Organization*)
- IMO – Međunarodna pomorska organizacija (*International Maritime Organization*)
- IMPA – Međunarodno udruženje pomorskih peljara (*International Maritime Pilot Association*)
- LoA – Duljina broda preko svega

LRS	– Niskorizični brodovi (<i>Low Risk Ship</i>)
MARPOL	– Međunarodne konvencije o zaštiti mora od onečišćenja s brodova (<i>International Convention on the Prevention of Pollution from Ships</i>)
MEPC	– Odbora za zaštitu morskog okoliša (<i>Maritime Environment Protection Committee</i>)
MSC	– Odbor za pomorsku sigurnost (<i>Maritime Safety Committee</i>)
NASA	– Američka agencija za svemirska istraživanja (<i>National Aeronautics and Space Administration</i>)
NELS	– Sjevernoeuropski Loran-C sustav (<i>Northwest European Loran-C System</i>)
PIANC	– Udruženje stalnog međunarodnog navigacijskog kongresa (<i>Permanent International Association of Navigation Congresses</i>)
PLL	– Gubitak ljudskih života (<i>Persons Lost of Life</i>)
SI	– Međunarodni sustav jedinica
SRS	– Umjereno rizični brodovi (<i>Standard Risk Ship</i>)
UKC	– Slobodni prostor ispod kobilice
VDR	– Uređaja za bilježenje podataka o putovanju broda (<i>Voyage Data Recorder</i>)
VLCC	– Vrlo veliki brod za prijevoz sirove nafte (<i>Very Large Crude Carrier</i>)
VRM	– Pomična kružnica udaljenosti (<i>Variable Range Marker</i>)
VTMIS	– Sustav nadzora i upravljanja pomorskim prometom (<i>Vessel Traffic Management and Information Systems</i>)
ŽOC	– Županijski operativni centar

POPIS SLIKA

SLIKA 1. DIJAGRAM TOKA FSA METODOLOGIJE	8
SLIKA 2. UZROČNO-POS LJEDIČNI SLIJED DOGAĐAJA KOD POMORSKIH NEZGODA	19
SLIKA 3. UTJECAJ VJETRA NA MANEVARSKE KARAKTERISTIKE BRODA (KRUŽNICA OKRETANJA).....	30
SLIKA 4. UTJECAJ BOČNOG VJETRA NA PLOVIDBU BRODA	31
SLIKA 5. GIBANJA BRODA - ŠEST STUPNJEVA SLOBODE	33
SLIKA 6. UTJECAJ OBALNOG RUBA NA PLOVIDBU BRODA	35
SLIKA 7. PROMJENA SMJERA PLOVIDBE ZBOG UTJECAJA BOČNE OBALE	36
SLIKA 8. POVEĆANJE ŠIRINE PLOVNOG PUTA OVISNO O OBILJEŽJIMA OBALNOG RUBA	37
SLIKA 9. SILE I MOMENTI KOJI NASTAJU KOD MIMOILAŽENJA BRODOVA	37
SLIKA 10. METODOLOGIJA PROJEKTIRANJA PLOVNIH PUTOVA	41
SLIKA 11. ELEMENTI ŠIRINE PLOVNOG PUTA ZA JEDNOSMJERNU PLOVIDBU	44
SLIKA 12. GRAFIČKI ISPIS SIMULACIJA KRETANJA BRODA NA NAVIGACIJSKOM SIMULATORU TRANSAS NTPRO 4000 ZA RAZLIČITE BRODOVE	46
SLIKA 13. UTJECAJ POGREŠKE ODREĐIVANJA POLOŽAJA NA ŠIRINU PLOVNOG PUTA	55
SLIKA 14. ELEMENTI ŠIRINE PLOVNOG PUTA ZA DVOSMJERNU PLOVIDBU	56
SLIKA 15. RADIJUS OKRETA BRODA KAO FUNKCIJA KUTA OTKLONA KORMILA I DUBINE VODE	57
SLIKA 16. ŠIRINA KOJU BROD PROLAZI PRI OKRETANJU KAO FUNKCIJA KUTA OTKLONA KORMILA I DUBINE VODE	58
SLIKA 17. FAZE PLOVIDBE BRODA ZAKRIVLJENIM DIJELOM PLOVNOG PUTA	59
SLIKA 18. KARAKTERISTIKE ZAKRIVLJENOG DIJELA PLOVNOG PUTA I NAVIGACIJSKE OZNAKE NA NJEMU	60
SLIKA 19. LIBERIJSKI BROD ZA PRIJEVOZ RASUTIH TERETA „FEDRA“ NASUKAN NA NAJJUŽNIJEM DIJELU GIBALTARA 10. LISTOPADA 2008. POD UTJECajem VJETRA BRZINE 125 KM/H	62
SLIKA 20. NIZOZEMSKI TERETNI BROD „ARTEMIS“ NASUKAN NA LES SABLES D’OLONNE, NA ZAPADNOJ OBALI FRANCUSKE, 10. OŽUJKA 2008. POD UTJECajem VJETRA BRZINE 130 KM/H	63
SLIKA 21. VRSTE NASUKANJA	63
SLIKA 22. SCENARIJ NASUKANJA ANALIZIRAN U RADU	64
SLIKA 23. VJEROJATNOST NASUKANJA NA PLOVNOM PUTU PREMA MACDUFFU	65
SLIKA 24. MODEL NASUKANJA PREMA FUJIIU	66
SLIKA 25. MODEL NASUKANJA PRI RADU PORIVNOG SUSTAVA	68
SLIKA 26. MODEL NASUKANJA PRI DJELOVANJU VANJSKIH SILA, ALI BEZ DJELOVANJA PORIVNOG SUSTAVA	69
SLIKA 27. MODEL NASUKANJA NA BOČNU OBALU PLOVNOG PUTA	69
SLIKA 28. VJEROJATNOST UDARA/NASUKANJA U/NA PREPREKU NA PLOVNOM PUTU KADA JE DOŠLO DO KVARA KORMILARSKOG UREĐAJA	70
SLIKA 29. UZROČNO-POS LJEDIČNI SLIJED OPISANIH IZVANREDNIH DOGAĐAJA	73
SLIKA 30. GRAFIČKI PRIKAZ IZVEDENE SIMULACIJE NA NAUČIČKOM SIMULATORU TRANSAS NTPRO 4000.....	75
SLIKA 31. KARAKTERISTIČNE FAZE PRI OKRETANJU BRODA.....	76
SLIKA 32. MATEMATIČKI OBLIK KLOTOIDE	78
SLIKA 33. GEOMETRIJSKI SLIČNE KLOTOIDE OVISNE O PARAMETRU A	78
SLIKA 34. USPOREDBA KLOTOIDE I KRIVULJE OKRETANJA BRODA	79
SLIKA 35. POSTIGNUTO POKLAPANJE MODELA KRETANJA BRODA SA STVARNOM KRIVULJOM KRETANJA BRODA	82
SLIKA 36. POSTIGNUTO POKLAPANJE MODELA PROMJENE BRZINE SA SIMULIRANOM FUNKCIJOM BRZINE	83
SLIKA 37. DISTRIBUCIJA UZDUŽNOG CENTRA OŠTEĆENJA PRI NASUKANJU, 174 NEZGODE U BALTIČKOM PODRUČJU, 1960.-1969., 1971.-1975.	85
SLIKA 38. DISTRIBUCIJA UZDUŽNOG CENTRA MJESTA SUDARA I NASUKANJA (DUŽINE SEKCIJA DANE SU U 5 % LPP-A).....	85
SLIKA 39. DISTRIBUCIJA UZDUŽNOG CENTRA OŠTEĆENJA (DUŽINA SEKCIJE DANA JE U 10 % LPP-A)	86
SLIKA 40. POJEDNOSTAVLJENA FUNKCIJA GUSTOĆE VJEROJATNOSTI (PDF) ZA LOKACIJU OŠTEĆENJA	86

SLIKA 41. HISTOGRAM DULJINE UZDUŽNIH OŠTEĆENJA ZA NEZGODE U BALTIČKOM PODRUČJU, 1960.-1969., 1971.-1975.	87
SLIKA 42. HISTOGRAM UZDUŽNOG OŠTEĆENJA TRUPA	87
SLIKA 43. POJEDNOSTAVLJENA FUNKCIJA GUSTOĆE VJEROJATNOSTI (PDF) ZA DULJINU OŠTEĆENJA	88
SLIKA 44. VERTIKALNA PENETRACIJA (OŠTEĆENJE) KOD NASUKANJA BRODOVA ZA PRIJEVOZ TEKUĆIH TERETA	89
SLIKA 45. UZDUŽNA PENETRACIJA (OŠTEĆENJE) KOD NASUKANJA BRODOVA ZA PRIJEVOZ TEKUĆIH TERETA	89
SLIKA 46. PRIKAZ ZASLONA PROGRAMA GRACAT – MODEL NASUKANJA	92
SLIKA 47. VJEROJATNOST POMORSKE NEZGODE NA PLOVNOM PUTU OD MJESTA POLASKA DO MJESTA DOLASKA	95
SLIKA 48. PODRUČJE SIGURNOG I OPASNOG STANJA SUSTAVA	96
SLIKA 49. PRIKAZ ZASLONA SIMULACIJSKOG MODELA.....	102

POPIS TABLICA

TABLICA 1. POGREŠKA POLOŽAJA U METRIMA PORADI POGREŠKE U SMJERANJU AZIMUTA OD $\pm 1^\circ$	21
TABLICA 2. POGREŠKE GPS-A I DGPS-A	25
TABLICA 3. KARAKTERISTIKE RADA eLORAN SUSTAVA	26
TABLICA 4. SKALA KARTE, PRIMJENA I ODGOVARAJUĆA TOČNOST	28
TABLICA 5. TOČNOST POJEDINIH UREĐAJA I METODA ODREĐIVANJA POLOŽAJA	29
TABLICA 6. OSNOVNA MANEVARSKA ŠIRINA PLOVNOG PUTA	44
TABLICA 7. POMAK S PLANIRANOG PUTA PRIKAZAN U FUNKCIJI ŠIRINE BRODA B	45
TABLICA 8. KOEFICIJENTI ŠIRINE PLOVNOG PUTA OVISNI O BRZINI BRODA B_s	47
TABLICA 9. KOEFICIJENTI ŠIRINE PLOVNOG PUTA OVISNI O DUBINI PLOVNOG PUTA B_H	48
TABLICA 10. KOEFICIJENTI ŠIRINE PLOVNOG PUTA OVISNI O UTJECAJU STEPENASTOG OBLIKA OBALNOG RUBA ..	49
TABLICA 11. KOEFICIJENTI ŠIRINE PLOVNOG PUTA OVISNI O UTJECAJU BLAGOPOLOŽENOG OBLIKA OBALNOG RUBA	49
TABLICA 12. KOEFICIJENTI ŠIRINE PLOVNOG PUTA OVISNI O UTJECAJU BOČNOG VJETRA B_W	50
TABLICA 13. KOEFICIJENTI ŠIRINE PLOVNOG PUTA OVISNI O UTJECAJU BOČNE MORSKE STRUJE B_{CT}	51
TABLICA 14. KOEFICIJENTI ŠIRINE PLOVNOG PUTA OVISNI O UTJECAJU UZDUŽNE MORSKE STRUJE B_{CL}	51
TABLICA 15. KOEFICIJENTI ŠIRINE PLOVNOG PUTA OVISNI O VALOVIMA B_V	52
TABLICA 16. OSNOVNA MANEVARSKA ŠIRINA PLOVNOG PUTA KADA SE PRI PLOVIDBI KORISTE TEGLJAČI B_{SMC-TU}	53
TABLICA 17. METODE POZICIONIRANJA I PRAĆENJA KRETANJA BRODA PO PLANIRANOM PUTU	54
TABLICA 18. KOEFICIJENTI ŠIRINE PLOVNOG PUTA ZBOG DVOSMJERNE PLOVIDBE B_{TWT}	57
TABLICA 19. PRIKAZ IZABRANIH VRSTA I VELIČINA BRODOVA NA NAVIGACIJSKOM SIMULATORU	75
TABLICA 20. KOEFICIJENTI DODATNE MASE VODE	91

PRILOZI

Prilog 1. Scenariji koji su istraživani na navigacijskom simulatoru

Scenarij	Brod	Deplasman (t)	Brzina (čv)	Otklon kormila (°)
1	Chemical tanker	44 288	5,4	35
2	Chemical tanker	44 288	5,4	20
3	Chemical tanker	44 288	5,4	10
4	Chemical tanker	44 288	5,4	5
5	Chemical tanker	44 288	10	35
6	Chemical tanker	44 288	10	20
7	Chemical tanker	44 288	10	10
8	Chemical tanker	44 288	10	5
9	Chemical tanker	44 288	14,5	35
10	Chemical tanker	44 288	14,5	20
11	Chemical tanker	44 288	14,5	10
12	Chemical tanker	44 288	14,5	5
13	Oil tanker	77 100	5,5	35
14	Oil tanker	77 100	5,5	20
15	Oil tanker	77 100	5,5	10
16	Oil tanker	77 100	5,5	5
17	Oil tanker	77 100	10	35
18	Oil tanker	77 100	10	20
19	Oil tanker	77 100	10	10
20	Oil tanker	77 100	10	5
21	Oil tanker	77 100	15	35
22	Oil tanker	77 100	15	20
23	Oil tanker	77 100	15	10
24	Oil tanker	77 100	15	5
25	VLCC 4	137 092	5,8	35
26	VLCC 4	137 092	5,8	20
27	VLCC 4	137 092	5,8	10
28	VLCC 4	137 092	5,8	5
29	VLCC 4	137 092	10	35
30	VLCC 4	137 092	10	20

Scenarij	Brod	Deplasman (t)	Brzina (čv)	Otklon kormila (°)
31	VLCC 4	137 092	10	10
32	VLCC 4	137 092	10	5
33	VLCC 4	137 092	14,7	35
34	VLCC 4	137 092	14,7	20
35	VLCC 4	137 092	14,7	10
36	VLCC 4	137 092	14,7	5
37	Bulk 2	202 000	6	35
38	Bulk 2	202 000	6	20
39	Bulk 2	202 000	6	10
40	Bulk 2	202 000	6	5
41	Bulk 2	202 000	10	35
42	Bulk 2	202 000	10	20
43	Bulk 2	202 000	10	10
44	Bulk 2	202 000	10	5
45	Bulk 2	202 000	14,6	35
46	Bulk 2	202 000	14,6	20
47	Bulk 2	202 000	14,6	10
48	Bulk 2	202 000	14,6	5
49	VLCC 2	321 260	5,5	35
50	VLCC 2	321 260	5,5	20
51	VLCC 2	321 260	5,5	10
52	VLCC 2	321 260	5,5	5
53	VLCC 2	321 260	10	35
54	VLCC 2	321 260	10	20
55	VLCC 2	321 260	10	10
56	VLCC 2	321 260	10	5
57	VLCC 2	321 260	15,7	35
58	VLCC 2	321 260	15,7	20
59	VLCC 2	321 260	15,7	10
60	VLCC 2	321 260	15,7	5

Prilog 2. Numerički prikaz ispisa izvedene simulacije

Exercise:	Dani - simulacija - doktorat.nti										
Own ship:	OS 7 - Oil tanker (Dis.77 100 t)										
Time interval:	00:00:00 - 00:16:14										
Step:	00:00:30										
TIME	LAT	LON	COG	SOG	HDG	LOG	SET	DRIFT	RUD	ROT	RPM L
Sec	°	°	°	knt	°	knt	°	knt	°	°/min	-
0	49.99999799	9.99999759	000	15.008	000	15.008	090	0.0	0	0.00	109
30	50.00207480	9.99999141	000	15.053	002	15.048	271	0.4	5	7.00	109
60	50.00417463	9.99991137	003	15.222	007	15.183	276	1.1	5	13.00	109
90	50.00627328	9.99961285	008	15.020	015	14.913	284	1.8	5	18.00	51
120	50.00825653	9.99897233	016	14.160	025	13.976	294	2.3	5	21.00	43
150	50.01003842	9.99794874	025	13.210	036	12.977	305	2.5	5	21.00	39
180	50.01156899	9.99657849	035	12.252	046	11.998	316	2.5	5	21.00	34
210	50.01282505	9.99494376	045	11.357	057	11.098	327	2.4	5	20.00	2
240	50.01380402	9.99314886	054	10.464	067	10.208	337	2.3	5	19.00	0
270	50.01452170	9.99128568	064	9.678	076	9.433	346	2.2	5	18.00	0
300	50.01500597	9.98942113	072	8.976	085	8.742	355	2.0	5	17.00	0
330	50.01528747	9.98760416	080	8.358	094	8.136	003	1.9	5	16.00	0
360	50.01539641	9.98586859	088	7.818	102	7.609	011	1.8	5	15.00	0
390	50.01536078	9.98423634	096	7.331	109	7.131	019	1.7	5	14.00	0
420	50.01520560	9.98272040	103	6.906	116	6.718	025	1.6	5	13.00	0
450	50.01495277	9.98132732	109	6.522	122	6.344	032	1.5	5	12.00	0
480	50.01462120	9.98005904	115	6.178	129	6.008	038	1.4	5	12.00	0
510	50.01422702	9.97891429	121	5.867	135	5.706	044	1.4	5	11.00	0
540	50.01378395	9.97788964	127	5.586	140	5.432	050	1.3	5	10.00	0
570	50.01330358	9.97698027	132	5.330	146	5.182	055	1.2	5	10.00	0
600	50.01279569	9.97618045	137	5.096	151	4.955	060	1.2	5	10.00	0
630	50.01226848	9.97548397	142	4.882	156	4.746	065	1.1	5	9.00	0
660	50.01172882	9.97488442	147	4.685	160	4.555	070	1.1	5	9.00	0
690	50.01118243	9.97437533	151	4.503	165	4.378	074	1.1	5	8.00	0
720	50.01063411	9.97395034	156	4.334	169	4.214	079	1.0	5	8.00	0
750	50.01008778	9.97360330	160	4.178	173	4.062	083	1.0	5	8.00	0
780	50.00954673	9.97332830	164	4.031	177	3.918	087	0.9	5	7.00	0
810	50.00901362	9.97311971	168	3.896	181	3.788	091	0.9	5	7.00	0
840	50.00849064	9.97297222	172	3.769	185	3.664	095	0.9	5	7.00	0
870	50.00797958	9.97288081	175	3.650	189	3.548	098	0.9	5	7.00	0
900	50.00748191	9.97284077	179	3.537	192	3.439	102	0.8	5	6.00	0
930	50.00699874	9.97284768	182	3.431	196	3.335	105	0.8	5	6.00	0
960	50.00653095	9.97289740	186	3.331	199	3.238	109	0.8	5	6.00	0

Prilog 3. Modeliranje putanje i brzine

