Model ranog otkrivanja opasnosti - doprinos učinkovitosti sustava nadzora i upravljanja pomorskim prometom

Rudan, Igor

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:188:130677

Rights / Prava: Attribution-ShareAlike 4.0 International/Imenovanje-Dijeli pod istim uvjetima 4.0 međunarodna

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Image not found or type unknown

Repository / Repozitorij:

Repository of the University of Rijeka Library - SVKRI Repository

UNIRI DIGITALNA KNJIŽNICA

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET
RIJEKA

Mr.sc. Igor Rudan

MODEL RANOG OTKRIVANJA OPASNOSTI – DOPRINOS UČINKOVITOSTI SUSTAVA NADZORA I UPRAVLJANJA POMORSKIM PROMETOM

DOKTORSKA DISERTACIJA

Rijeka, 2010.

Doktorska disertacija pod naslovom «Model ranog otkrivanja opasnosti – doprinos učinkovitosti sustava nadzora i upravljanja pomorskim prometom» obranjena je na Pomorskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci dana 22. rujna 2010. godine pred Stručnim povjerenstvom u sastavu:

1. Dr.sc. Serđo Kos, redoviti profesor Pomorskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci
2. Dr.sc. Pavao Komadina, redoviti profesor Pomorskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci
3. Dr.sc. Josip Kasum, redoviti profesor Pomorskog fakulteta Sveučilišta u Split

S A Ž E T A K

U ovoj doktorskoj disertaciji sustavno su sagledane mogućnosti učinkovitijeg nadzora pomorske plovidbe u pogledu sigurnosti plovidbe te očuvanja okoliša zbog povećanja broja i veličine brodova. Temeljem dobivenih rezultata, nakon provedenih istraživanja, definiran je model ranog otkrivanja opasnosti kao doprinos učinkovitosti sustava nadzora i upravljanja pomorskim prometom. Osnovna postavka modela zasniva se na zasebnom nadzoru putovanja broda u nadziranom području, kako s obzirom na interakciju broda s okolinom (nasukanje) tako i na međusobnu interakciju svih plovila u sustavu (sudar).

Korištenjem spoznaja s postojećih sustava nadzora i upravljanja pomorskim prometom, analizom stručne i znanstvene literature, anketiranjem VTS operatora te istraživanjem na navigacijskom simulatoru utvrđene su mogućnosti izrade modela ranog otkrivanja opasnosti.

U modelu se po prvi puta koristi procjena opasnosti i određuje mogućnost nezgoda unaprijed određivanjem položaja broda te predviđanjem njegovog, te položaja svih ostalih brodova u budućnosti, po principu 2D (geografske koordinate) + D (vrijeme). Uspoređujući podatke svakog pojedinog broda s cjelokupnom bazom podataka o stanju plovnog puta te stanju pomorskog prometa već unaprijed se otkrivaju potencijalne prijetnje sigurnosti plovidbe i okoliša. Kod predloženog modela ranog otkrivanja opasnosti domena broda definirana je kao kružnica opisana oko broda čime se mogu tumačiti i tri slučaja povrede domene promatranog broda (postoji povreda te se definira vrijeme ulaska i izlaska iz domene, granični slučaj povrede domene, te nema povrede domene promatranog broda).

Za potrebe predviđanja položaja broda u prostoru razvijen je model predviđanja brzine broda. Navigacijski simulator je korišten za simuliranje učinka djelovanja vanjskih hidrometeoroloških utjecaja (brzina vjetra, visina vala, morska struja i smjer djelovanja) na brzinu promatranih brodova, a za izradu modela koristila se neuronska mreža.

Ključne riječi: model ranog otkrivanja opasnosti, sustav nadzora i upravljanja pomorskim prometom – VTS, otkrivanje interakcija broda s okolinom, otkrivanje međusobne interakcije plovila, model predviđanja brzine broda

A B S T R A C T

This doctoral thesis provides a systematic overview of the possibilities of a more effective sea navigation monitoring in terms of safety of navigation, and environment protection needed due to the increase in the number and size of ships. On the basis of the results gained by the undertaken research, a model of early danger detection has been defined in order to contribute to the effectiveness of the Vessel Traffic Service. The fundamental postulate of the model is based on a separate ship voyage monitoring in the monitored area, with respect to the ship's interaction with the environment (grounding), as well as to the mutual interaction of all the vessels in the system (collision).

With the help of the knowledge from the existing Vessel Traffic Services, expert and scientific literature analysis, surveys performed on VTS operators, and navigation simulator research, the possibilities of drawing up a model of early danger detection have been discovered.

For the first time, the model facilitates danger estimation and determines the possibility of an accident beforehand by determining the ship's position, and predicting its position as well as the positions of other ships in the future by the principle of 2D (geographic coordinates) + D (time). By comparing the data of each ship with the entire data base regarding the waterway and sea traffic conditions, potential threats to the safety of navigation and the environment are detected in advance. In the proposed model of early danger detection, the ship's domain is defined as a circle around the ship, and it can be used to define three kinds of domain violations of the monitored ship (there is a violation and it is defined by the time of the entering and exiting the domain, the borderline case of domain violation, and there is no domain violation of the monitored ship).

For reason of ship's position prediction in space, a ship's speed prediction model has been developed. A navigation simulator was used to simulate the effects of external hydrometeorological elements (wind velocity, wave height, sea current and the course of the elements) on the speed of the monitored ships, while a neural network was used for the making of the model.

Keywords: early danger detection model, Vessel Traffic Service – VTS, detection of the ship's interaction with the environment, detection of the mutual vessel interaction, ship's speed prediction model.

SADRŽAJ

1 UVOD 1

1.1 Obrazloženje teme doktorske disertacije i definicija problema istraživanja 1
1.2 Ciljevi istraživanja i radne teze doktorske disertacije 2
1.3 Dosadašnja istraživanja 3
1.4 Prikaz metoda istraživanja 4
1.5 Struktura rada 5

2 UTJECAJ LJUDSKOG FAKTORA NA NEZGODE U POMORSTVU 7

3 DOSADAŠNJE STANJE NADZORA – MOGUĆNOSTI I OGRANIČENJA 19

3.1 Nadzor plovidbe od strane zapovjednika/časnika na brodu 20

3.1.1 Planiranje pomorske plovidbe 20
3.1.2 Izvođenje pomorske plovidbe 23

3.2 Obalni sustav nadzora i upravljana pomorskom plovidbom 31

3.2.1 Značajke obalnih sustava nadzora 32
3.2.2 Osnovne sastavnice obalnih sustava nadzora 36
3.2.3 Dosadašnja istraživanja i mogućnosti obalnih sustava nadzora 43

4 MODEL RANOG OTKRIVANJA OPASNOSTI 51

4.1 Rano otkrivanje opasnosti s obzirom na interakciju broda s okolinom 52

4.1.1 Provjera plana putovanja svakog broda prije ulaska u sustav nadzora 53
4.1.2 Konceptualni algoritam pregledavanja svakog putovanja 54
4.1.3 Definiranje koeficijenata za određivanje graničnih vrijednosti svakog putovanja 61
4.1.4 Definiranje vrijednosti plovnog puta raspoloživog za odvijanje planiranog putovanja 68
4.1.5 Praćenje i nadzor provođenja planiranog plana putovanja 71

4.2 Rano otkrivanje opasnosti kod međusobne interakcije brodova u nadziranom dijelu plovnog puta 77

4.2.1 Model ranog otkrivanja interakcije među brodovima na plovnom putu 77
4.2.2 Model predviđanja brzine broda u odnosu na hidro-meteorološke utjecaje 87

5 PRIMJENA MODELA RANOG OTKRIVANJA OPASNOSTI NA PODRUČJU JADRANSKOG MORA 103

5.1 Obilježja Jadranskog mora 103

5.2 Rano otkrivanje interakcije broda s okolinom na prilaznom plovnom putu luke Rijeka 105
5.3 Rano otkrivanje interakcije brodova na prilaznom plovnom putu luke Rijeka 110

6 ZAKLJUČAK 114

LITERATURA 117

POPIS TABLICA 130

POPIS SLIKA 131

POPIS SIMBOLA 132

1 UVOD

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

1.1 Obrazloženje teme doktorske disertacije i definicija problema istraživanja

Rast svjetskog gospodarstva, dovodi do sveobuhvatnog povećanja prometa roba, posebice prometa roba morem. Ovakav porast prijevoza roba morem dovodi do potrebe za učinkovitijim nadzorom pomorske plovidbe u pogledu sigurnosti plovidbe te očuvanja okoliša zbog povećanja broja i veličine brodova.

Nadzor pomorske plovidbe u današnje se vrijeme može podijeliti u dva segmenta i to nadzor plovidbe od strane časnika na brodu te nadzor plovidbe od strane operatora s kopnenih sustava nadzora. Poboljšana sredstva nadzora i komunikacije (izmjene informacija između brodova, te broda i obale), kao i mogućnost sagledavanja cjelokupnog nadziranog plovnog područja nedvosmisleno dovode do zaključka da obalni sustavi nadzora imaju mogućnost boljeg pregleda pomorskog prometa, unutar područja nadzora, od časnika koji sudjeluju u pomorskom prometu na brodovima.

Dosadašnji obalni sustavi nadzora zasnovani su na nadzoru određenog, najčešće manjeg, područja različitim dostupnim sredstvima nadzora, što može predstavljati ograničavajući faktor u budućnosti. Nadzor definiranih područja provodi se postavljanjem stalnih ograničenja temeljem kojih se detektiraju potencijalne opasnosti o kojima operateri izvješćuju brodove. U današnje vrijeme raznoliko strukturiranog pomorskog prometa postavljanjem općih ograničenja za detektiranje opasnosti ne može se postići optimalni učinak nadzora i upravljanja pomorskim prometom. Ovakav način nadzora zbog prevelike «zauzetosti» operatora jednostavno ne omogućava pregledavanje i nadzor većih morskih područja.

Osnovna postavka modela ranog otkrivanja opasnosti zasniva se na zasebnom pristupu nadzora putovanja svakog broda u nadziranom području, kako s obzirom na

interakciju broda s okolinom (nasukanje) tako i na međusobnu interakciju svih plovila u sustavu (sudar). Ovakav pristup u potpunosti se razlikuje od dosadašnjeg nadzora pomorske plovidbe od strane obalnih sustava koji se baziraju na nadzoru područja. Nadziranje izvođenja plovidbenog pothvata svakog pojedinog broda odvojeno, na temelju unaprijed poznatog plana putovanja te dodijeljenih ograničenja u prostoru i vremenu pridonosi gotovo trenutnom otkrivanju neusklađenosti s planom putovanja.

Mogućnost korištenja ovako definiranog modela ranog otkrivanja opasnosti, automatskim detektiranjem potencijalnih opasnosti na promatranom plovnom putu, uvelike će olakšati rad VTS operatora, poglavito stoga što se podaci o predviđenim opasnim situacijama detektiraju «značajno» unaprijed. To omogućava kvalitetniji nadzor većeg morskog područja pošto se operatoru ostavlja dovoljno vremena za interakciju u sustav plovidbe, i otklanjanje potencijalnih opasnosti.

1.2 Ciljevi istraživanja i radne teze doktorske disertacije

Osnovni cilj ove doktorske disertacije jest stvaranje teorijskih osnova za izradu modela ranog otkrivanja opasnosti, kao doprinosa učinkovitosti obalnih sustava nadzora pomorskog prometa, baziranog na zasebnom nadzoru svakog putovanja (dvije prostorne komponente + vrijeme), a ne na nadzoru područja.

S obzirom na konstantan trend rasta pomorskog prometa, naročito prometa opasnih tereta morem, kao i na povećanu gustoću brodova u pojedinim plovnim područjima, te stalno povećanje dimenzija i brzine brodova, nameće se potreba za učinkovitim nadzorom pomorskog prometa.

Dosadašnji nadzor pomorske plovidbe, od strane obalnih sustava nadzora, izvodi se po metodi nadzora plovidbenog područja. Rezultati ovoga rada mogli bi poslužiti za stvaranje drukčijeg sustava nadzora prema modelu odvojenog nadzora putovanja svakog broda zasebno, te na temelju takvih podataka određivanje međusobnih interakcija brodova (u prostoru i vremenu) u području nadzora.

Kao rezultat znanstvenoistraživačkog rada dobiven je model ranog otkrivanja opasnosti zasnovan na predviđanju kretanja svakog pojedinog broda te otkrivanja potencijalnih opasnosti značajno unaprijed. Predloženi model ranog otkrivanja opasnosti

kao doprinos obalnim sustavima nadzora pomorskog prometa može se načelno podijeliti u dva osnovna segmenta:

- rano otkrivanje opasnosti s obzirom na interakciju broda s okolinom,
  - provjera plana putovanja svakog broda prije ulaska u sustav nadzora
  - praćenje i nadzor provođenja planiranog plana putovanja
- rano otkrivanje opasnosti kod međusobne interakcije brodova u nadziranom dijelu plovnog puta
  - dinamičko dodjeljivanje prostora u sustavu nadzora.

Ostali ciljevi rada mogu se promatrati kao ciljevi koji proizlaze iz osnovnog postavljenog cilja, a uključuju:

- analiziran i sistematiziran prikaz utjecaja ljudskog faktora na nezgode u pomorstvu,
- analizirano i prikazano trenutno stanje nadzora pomorske plovidbe sa stajališta nadzora od strane zapovjednika i brodskih časnika te nadzora obalnih službi, te prikazane prednosti i ograničenja istih,
- definirane razloge uvođenja modela zasnovanog na pojedinačnom predviđanju kretanja brodova te otkrivanja potencijalnih opasnosti značajno unaprijed ,
- mogućnost primjene novog sustava nadzora, tj. modela ranog otkrivanja opasnosti na području Jadranskog mora,
- predložene mogućnosti daljnjeg istraživanja.

1.3 Dosadašnja istraživanja

Nadzor i upravljanje pomorskim prometom od strane obalnih sustava trenutno se na zadovoljavajući načni izvodi na određenim manjim morskim područjima u svijetu. Međutim, rastom pomorskog prometa te sve većim sigurnosnim ali i ekološkim zahtjevima postavljaju se novi zadaci pred spomenute sustave. Jedna od temeljnih zadaća jest pravovremeno otkrivanje potencijalno opasnih situacija na u budućnosti sve većim područjima nadzora, što će operatorima ostavljati dovoljno vremena za interakciju u sustav.

Organizacija nadzora i upravljanja pomorskim prometom na plovnim putovima obrađena je u većem broju stručne i znanstvene literature. Dosadašnja istraživanja, u domaćoj i stranoj stručnoj i znanstvenoj literaturi, uglavnom se bave segmentom pojedinačnog slučaja izbjegavanja sudara na moru, kao i načinom određivanja optimalnog plovidbenog pravca na pojedinom plovnom putu. Tim istraživanjima rijetko se obrađuje mogućnost predviđanja kretanja brodova značajno unaprijed, a time i mogućnost ranog otkrivanja potencijalnih opasnosti, kao i lakše planiranje i odlučivanje o njihovom otklanjanju.

Tijekom izrade ove doktorske disertacije korištene su spoznaje trenutno ugrađenih obalnih sustava nadzora i to sustava VTS Transas 4000 (simulator) te spoznaje s Kronsberg-ovog VTS sustava ugrađenog od strane Lučke uprave Rijeka za nadzor Riječkog zaljeva.

Navedeni razlozi bili su povod da se u ovoj disertaciji obradi tematika vezana uz definiranje modela ranog otkrivanja opasnosti kao doprinos učinkovitosti sustava nadzora i upravljanja pomorskim prometom.

1.4 Prikaz metoda istraživanja

U ovoj doktorskoj disertaciji su se tijekom znanstvenog istraživanja, formuliranja i prezentiranja rezultata istraživanja, koji polaze od izrade modela nadzora i upravljanja pomorskim prometom zasnovanim na pojedinačnom predviđanju kretanja brodova, koristile brojne znanstvene metode pomoću kojih je istražen postavljeni problem i predmet istraživanja, te dokazana postavljena znanstvena hipoteza.

Definirani predmet istraživanja podijeljen je na zasebne dijelove, uz pomoć metode klasifikacije, te je svaki pojedinačni dio posebno analiziran. Kako se kod analize pojedinih područja, a sve u sklopu predmeta istraživanja, zahtijevalo poznavanje više znanstvenih područja, u izradi ovog rada korištene su sljedeće metode istraživanja bitne za izučavanje pojedinih tema: metoda analize i sinteze, indukcija i dedukcija, metoda deskripcije, metoda klasifikacije i komparacije, metoda intervjua i metoda ankete, metoda modeliranja, statističke metode, metoda kompilacije, opća teorija sustava, metoda generalizacije i specijalizacije te metoda proučavanja dokumentacije. Korištenje

spomenutih metoda omogućilo je određivanje svih utjecajnih čimbenika, relevantnih za navedenu problematiku istraživanja.

Pri izradi doktorske disertacije korišteni su i neki od dostupnih računalnih programa.

1.5 Struktura rada

Struktura doktorske disertacije s naslovom " *Model ranog otkrivanja opasnosti – doprinos učinkovitosti sustava nadzora i upravljanja pomorskim prometom* " proizlazi iz definiranih ciljeva i zadataka, te ocjene dosadašnjih istraživanja. Tekst je grupiran u pet poglavlja koja se sadržajno nadovezuju.

U prvom poglavlju definiran je problem i predmet istraživanja, postavljena znanstvena hipoteza, određena svrha i cilj istraživanja, data ocjena dosadašnjih istraživanja, prikazane najvažnije znanstvene metode korištene u istraživanju i prezentaciji rezultata, te obrazložena struktura disertacije.

Utjecaj ljudskog faktora na nezgode u pomorskoj plovidbi razmatran je u drugom poglavlju. Analizom različitih dostupnih statističkih podataka vezanih uz nezgode u pomorstvu prikazan je stupanj zastupljenosti ljudske pogreške te je definirano nekoliko karakterističnih skupina pogrešaka. Unutar poglavlja sistematizirano je prikazan pojam i struktura «ljudske pogreške» prema različitim načinima klasificiranja pogrešaka općenito te primjenjivo na pomorsku plovidbu.

U trećem poglavlju prikazano je dosadašnje stanje nadzora nad pomorskim prometom. Poglavlje se tematski dijeli u dva dijela: nadzor plovidbe s pojedinog broda te nadzor plovidbe od strane kopnenih sustava nadzora. Kod donošenja plana putovanja zapovjednik je ograničen s trenutno dostupnim podacima kojima na brodu raspolaže, što se u budućnosti može smatrati nedovoljnim radi brzine odvijanja plovidbenog pothvata i donošenje odluka, što stvara dodatna ograničenja u provođenju samog plana.

Povodom stalnog rasta pomorskog prometa, naročito prometa opasnih tereta u posljednjih pedesetak godina uviđa se potreba za nadzorom i upravljanjem pomorskim prometom od strane obalnih sustava nadzora. Međutim ovakvi sustavi također imaju određena ograničenja, koja utječu na kvalitetu nadzora plovidbe na nadziranom području, te su analizirana i prikazana u ovom poglavlju.

U četvrtom poglavlju prikazan je i obrađen nadzor i upravljanje pomorskim prometom zasnovan na pojedinačnom predviđanju kretanja brodova. Sustav se sastoji u zasebnoj kontroli planiranih putovanja svakog pojedinog broda na definiranom području nadzora uz pomoć predloženog modela, te specijaliziranih operatora. Sama provjera sastoji se od provjere planiranog putovanja prije dolaska broda u nadzirano područje kao i mogućnosti provjere te korekcije u slučaju odstupanja od planiranog putovanja. Smisao ovog sustava je u stalnom sustavnom praćenju i nadziranju provedbe putovanja svakog pojedinog broda u području nadzora, čime se olakšava donošenje odluka od strane operatora, te smanjuje mogućnost previda opasnih situacija.

U modelu se po prvi put koristi procjena opasnosti i određuje mogućnost nezgoda unaprijed, određivanjem položaja broda te predviđanjem njegovog, te položaja svih ostalih brodova u budućnosti, po principu 2D (geografske koordinate) + D (vrijeme). Uspoređujući podatke svakog pojedinog broda s cjelokupnom bazom podataka o stanju plovnog puta te stanju pomorskog prometa već se unaprijed otkrivaju potencijalne prijetnje sigurnosti plovidbe te okolišu, posebice morskom.

Nakon općih rezultata prikazanih u prethodnom poglavlju u petom je poglavlju prikazana mogućnost primjene modela ranog otkrivanja opasnosti zasnovanog na pojedinačnom predviđanju kretanja brodova, na području Jadranskog mora.

U šestom, zaključnom poglavlju, ukratko su istaknuti temeljni zaključci istraživanja i znanstveni doprinos rezultata. Osim toga, predložene su mogućnosti daljnjeg istraživanja ovog područja, koje su proizašle na temelju saznanja do kojih se došlo tijekom istraživanja prikazanih ovom doktorskom disertacijom.

2 UTJECAJ LJUDSKOG FAKTORA NA NEZGODE U POMORSTVU

Pomorski transport s više od 90 % sudjeluje u globalnoj razmjeni dobara na svjetskom tržištu. Ovakav razvoj u volumenu i učinkovitosti pomorskog transporta ponajviše se očituje u povećanju broja te veličine brodova, koji postaju sve sofisticiraniji i brži.

Moderni pomorski transport je spoj stručnih i kompleksnih operacija koje su objedinjene i definirane raznim međunarodnim i nacionalnim propisima i standardima. Posljednjih tridesetak godina pomorska se industrija značajnije posvetila povećanju kvalitete i sigurnosti brodske strukture, te pouzdanosti brodskih sustava, a sve u cilju smanjivanja broja nezgoda te povećanja uspješnosti pomorskog transporta. Sva provedena istraživanja dovela su do unapređenja izvedbe brodskog trupa, pogonskih i propulzijskih sustava, kao i navigacijske opreme koja se u današnje vrijeme koristi na brodovima. To je rezultiralo činjenicom da su današnji brodovi u tehnološkom smislu vrlo napredne sustavne cjeline, s velikim stupnjem pouzdanosti svih ugrađenih sustava.

Međutim i dalje broj nezgoda i njihove posljedice u pomorskoj industriji definiraju pomorski transport kao transport visokog rizika, u usporedbi s ostalim granama transporta.[1] Jedan od ključnih razloga je i taj što je preduvjet podizanja standarda sigurnosti na brodovima kvalificirana i dobro obučena posada, pošto se u većini slučajeva nezgode pripisuju upravo ljudskoj pogreški (*eng. human error*). Pomorski su sustavi u bazi podređeni ljudima koji njima upravljaju zbog toga se u nekim istraživanjima ljudska pogreška pojavljuje kao jedan od glavnih faktora (75 - 96% svih pomorskih nezgoda[2]).

U današnje vrijeme ljudska pogreška je subjekt istraživanja u gotovo svim industrijskim granama i profesijama. Uobičajeno se opisuje kao netočna odluka, nepravilno izvedena radnja ili nepoduzimanje određenih radnji (nečinjenje). U dostupnoj literaturi postoji nekoliko definicija ljudske pogreške. U rezoluciji međunarodne

[1] Wang, J, Zhang, S.M. – Management of human error in shipping operations, Professional Safety, 2000.
[2] Rothblum A.M., Human error and Maritime Safety, U.S. Coast Guard Research Study, 1998.

pomorske organizacije (IMO[3]) A.850(20)[4] ljudski faktor se definira kao kompleksan višedimenzionalan ishod koji utječe na pomorsku sigurnost i zaštitu morskog okoliša. Ljudski faktor prema definiciji uključuje cjelokupan spektar aktivnosti koje se izvode od strane posade broda, kopnenog menadžmenta, nadzornih tijela, brodogradilišta, i svih ostalih involviranih subjekata. Prema UK P&I Club-u[5] ljudsku pogrešku može se definirati kao „aktivnost (ili propust) koja može biti identificirana kao izravan povod nekom događaju (iz kojeg proizlazi odgovornost)". Prema ABS[6] ljudsku pogrešku može se definirati kao „odstupanje od prihvatljivih ili poželjnih postupaka od strane pojedinca koje za posljedicu ima neprihvatljiv ili nepoželjan rezultat". U zračnome transportu ljudske pogreške bi mogli definirati kao „razliku onoga što je trebalo biti izvedeno i onoga što je uistinu izvedeno"[7].

Pomorske nezgode se vrlo rijetko dešavaju kao rezultat jedne ljudske pogreške, već se u pravilu dešavaju kao rezultat lančanih pogrešaka ljudi koji upravljaju brodom. U pomorskom transportu lančane pogreške koje dovode do pomorskih nezgoda rezultat su rada na zapovjedničkome mostu, gdje se jedna pogreška u odlučivanju nadovezuje na drugu, a da se uopće nije primijetila opasnost od prve pogreške. U istraživanju provedenom u Danskoj[8] na uzorku od 100 pomorskih nezgoda utvrđeno je da se broj vezanih pogrešaka nalazio u rasponu od 7 do 58, koje su prethodile pojedinoj nezgodi. U 93% slučajeva nezgodi je prethodio lanac pogrešaka izvedenih od strane jedne ili najčešće više osoba uključenih u pomorski pothvat. Istraživanje je također pokazalo da je svaka ljudska pogreška koja je prethodila nezgodi bila potrebna da se nezgoda stvarno i desi, što znači da bi samo jedno „ne dešavanje" pogreške u nizu pogrešaka rezultiralo izostankom pomorske nezgode.

Općenito, pojam poljudske greške u pomorstvu podrazumijeva pogreške nenamjernog poduzimanja neprimjerene radnje ili nepoduzimanja primjerene radnje u

[3] IMO – International Maritime Organization

[4] Resolution A.850(20); Human element vision, principles and goals for the organization

[5] http://www.ukpandi.com

[6] American Bureau of Shipping (ABS), „ISM; ISO, SWOT and Human Element Seminar Workbook", Huston, ABS, 1996.

[7] Ž. Marušić, I. Alfirević, O. Pita, "Methods for increasing of aircraft maintenance system reliability", Tehnički vjesnik 14, Zagreb, 2007.

[8] Wagenaar W.A. and Groeneweg J.; Accidents at sea: Multiple cause and impossible consequence, Int. J. Man-Machine Studies, 27, 1987.

cilju upravljanja i vođenja broda na prihvatljiv način. Nenamjerne pogreške nastaju slučajno bez stvarne namjere pojedinca u počinjenje izvanrednog događaja sa štetnim posljedicama.

U pomorske nezgode koje su uzrokovane ljudskom pogreškom uobičajeno se ubrajaju one kojima je osnovni uzrok pogreška pri rukovanju uređajima i opremom, neodgovarajuće održavanje uređaja i opreme, nepoštivanje propisanih radnih postupaka ili propuštanje obavljanja propisanih mjera. Ljudski faktor se najčešće promatra kroz pojave kao što su umor, iskustvo/neiskustvo, moral, motivacija, upravljačka struktura, standardi za stjecanje stupnja obrazovanja, uvjeti službe, okoliš, lojalnost, jezik komunikacije i uvježbanost. Pogreške se definiraju od jednostavnih pogrešaka do velike nemarnosti prema redoslijedu: nerazumijevanje, propust, nepažnja, kriva prosudba i neznanje.

Opće je prihvaćeno da je u ljudskoj prirodi konstantno kršenje definiranih pravila, bez obzira kakva ona bila, a iako nisu sva kršenja pogubna, konstantno pomicanje prihvatljivih granica rizika dovodi do neželjenih posljedica. Prihvati li se činjenica da pravila znače sigurno provođenje radnih procedura, tada svako kršenje tih pravila povećava rizik od nastupanja nezgoda. Povreda pravila ne mora nužno značiti i nezgodu, ali dovodi cijeli proces u područje gdje svaka sljedeća pogreška ima povećani potencijal za neprimjeren, potencijalno opasan ishod cjelokupnog procesa, kao što je prikazano relacijom:

Povreda pravila + pogreška = nezgoda, ozljeda, šteta

Razlika između povrede pravila i pogreške često je nejasna ali su osnovne razlike prikazane u sljedećoj tablici[9].

[9] UK P&I CLUB, The Human Factor, www.ukpandi.com

Tablica 1 Prikaz razlika između povrede pravila i pogreške

Pogreške	Povrede pravila
Proizlaze uglavnom iz informacijskih čimbenika, kao što su netočno ili nestručno znanje	Proizlaze uglavnom iz motivacijskih čimbenika. Oblikovane su prema stavu, vjerovanjima, socijalnim normama te organizacijskim ustrojima
One su nenamjerne, većinom kao memorijska pogreška (*eng. lapse*) ili pogreška pozornosti (*eng. slip*)	Uobičajeno sadrže namjerno ili hotimično odstupanje od pravila, propisa te sigurnih radnih procedura
Mogu biti objašnjene s napomenom kako pojedina osoba upravlja dostupnim informacijama	Mogu biti shvaćene samo u socijalnom kontekstu
Vjerojatnost nastajanja pogreške može biti smanjen poboljšanjem relevantnih informacija	Mogu biti smanjene samo mijenjanjem stavova, vjerovanja, socijalnih normi te organizacijskih ustroja
Pogreške se mogu desiti u svim situacijama. One ne moraju same biti izložene riziku.	Povrede pravila, po definiciji dovode one koji u njima sudjeluju u područje povećanog rizika

Izvor: UK P&I CLUB, The Human Factor, www.ukpandi.com

Pogreške koje mogu biti jednostavno memorijske ili pogreške pozornosti mogu biti svrstane u nekoliko skupina:

- rutina – pojava kada osoba postane toliko stručna i vješta u obavljanju pojedinog zadataka, da više ne misli neprestano na to što bi se nepredviđeno moglo dogoditi tijekom radnog zadatka;
- redovitost – proces zaboravljanja postojanja straha tijekom obavljanja pojedinih operacija;
- unutarnji rizik – bez obzira koliko se osigurali opasnosti ne nestaju;
- spora entropija – sustavi i procedure zastarijevaju ili su neuspješne da odgovore na promjene vanjskih utjecaja što povećava vjerojatnost nastajanja nezgode;
- Murphy-jev zakon – ako se može desiti onda će se i desiti.

Povreda pravila kršenjem sigurnih radnih postupaka nije isključivo vezana samo uz nesmotrenost, nemar ili nepažnju ljudi uključenih u pojedini proces. Studija, objavljena u *Fairplay Daily News Service* (07. June 2006.)[10], provedena nad 4000

[10] http://www.lrfairplay.com

pomoraca pokazala je da čak polovica svih ispitanika često krši pravila sigurnih radnih postupaka. Ovakav pokazatelj ne smije se sagledavati kao pogreška pojedinog pomorca, već češće kao pogreška u pristupu vođenja pojedine organizacije u kojoj pomorac radi. Utjecaji koji dovode do nepoštivanja pravila, osim odgovornosti pojedinca, mogu se sagledati i kroz organizacijski ustroj i to kroz:

- zahtjeve radnog mjesta,
- kvalitetu pomagala i opreme,
- da li osoba koja nadzire cjelokupan proces odobrava ili ne odobrava kršenje propisa kako bi se posao obavio,
- kvalitetu i svrsishodnost propisa, pravila i procedura,
- kulturu i organizacijsku ustrojenost kompanije prema sigurnosnim standardima.

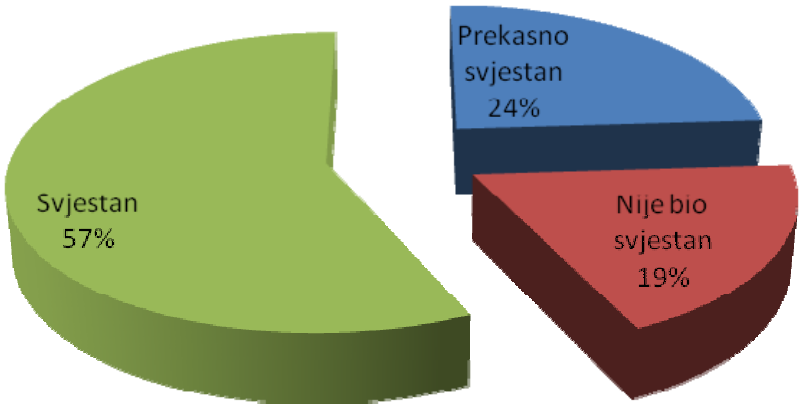
Važnost navedenih utjecaja očitava se i kroz pojedina istraživanja[11] koja pokazuju da svega 25% cjelokupne svjetske flote sudjeluje u više od 50% svih pomorskih nezgoda u svijetu. Također je zamijećeno da 25% „sigurnih" brodova sudjeluje u manje od 7% svih nezgoda, što dovodi do zaključka da bi se postizanjem jednakog standarda sigurnosti na svim brodovima ukupan broj pomorskih nezgoda u svijetu smanjio za 72%.

Naime istraživanje provedeno od strane MAIB-a[12] na uzorku od 1.647 sudara, nasukanja ili prijavljenih izbjegnutih nezgoda dovelo je do tri osnovna uzroka nastajanja pomorskih nezgoda:

- nasukanje i umor – trećina svih nasukanja dogodila se radi umora časnika koji je sam obavljao stražu na zapovjedničkom mostu;
- sudar i nadzor – trećina svih brodova uključenih u sudarne situacije desila se radi slabog nadzora oko vlastitog broda;
- sigurnosne procedure i uloga zapovjednika – trećina svih nezgoda desila se u noćnim uvjetima s jednim članom posade na zapovjedničkome mostu.

[11] P. W. Richardsen; 25 percent of all ships represent 51 percent of all ships accidents, 2004. (DNV - Det Norske Veritas) www.dnv.com

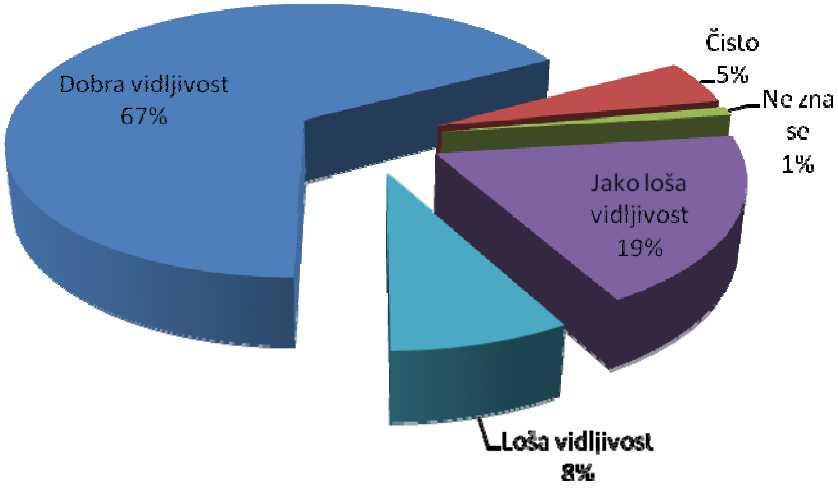
[12] MAIB – Marine Accident Investigation Branch, Bridge Watchkeeping Safete Study, Safety Study 1/2004



Slika 1: Svjesnost člana/članova straže o prisustvu drugih brodova prije sudara

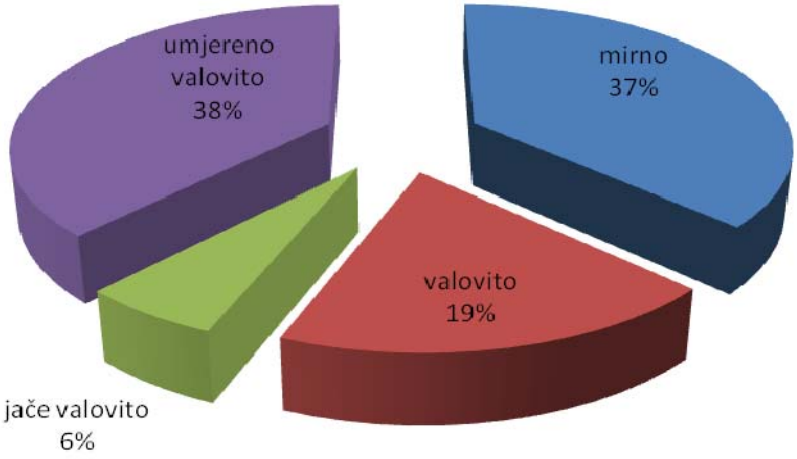
Izvor: Marine Accident Investigation Branch (MAIB), http://www.maib.gov.uk

Prema navedenom istraživanju čak 55% svih nezgoda otpada na sudare, dok 31% nezgoda otpada na nasukanja brodova, a većina svih nezgoda (67%) desila se za lijepog vremena i pri relativno povoljnim vremenskim prilikama (mirno more 37% te umjereno valovito 38%), što pokazuju i sljedeći grafovi.



Slika 2: Vidljivost kod nastajanja nezgode

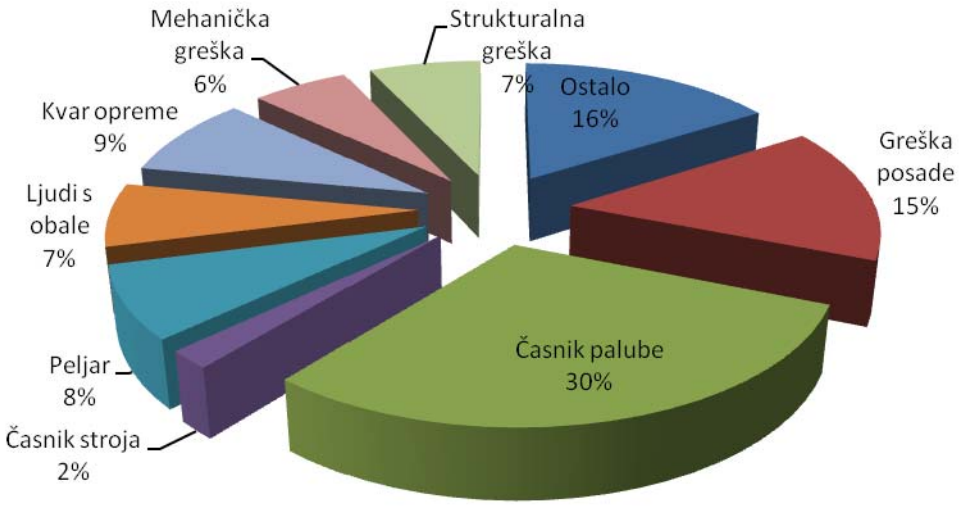
Izvor: Marine Accident Investigation Branch (MAIB), http://www.maib.gov.uk



Slika 3: Stanje mora u trenutku sudara

Izvor: UK P&I Club, www.ukpandi.com

Prema podacima iz 2003. godine[13], a prema istraživanjima UK P&I Club-a na uzorku od 6091 velikih nezgoda (iznad 100.000$ štete) u periodu od 15 godina, pomorsku privredu stoje prosječno 541 milijuna dolara godišnje, od čega je čak 62% nezgoda posljedica ljudske pogreške.



Slika 4: Uzroci nastajanja nezgode

Izvor: www.he-alert.org

[13] The Nautical Institute, The International Maritime Human Element Bulletin, Issue No.1 October 2003.; www.he-alert.org

Prema drugim istraživanjima[14] čak polovica svih nezgoda koje se dešavaju u pomorstvu mogu se pripisati navigacijskoj pogreški, od kojih 7% otpada na različite kontakte, 20% na nasukanja brodova, dok čak 22% otpada na sudare dvaju ili više brodova. U ovakvim nezgodama uloga čovjeka, u ovome slučaju časnika koji održava plovidbenu stražu na zapovjedničkom mostu, je više nego značajna te se pojavljuje gotovo u svim slučajevima.

Upravo različito poimanje pojedinih situacija nastalih tijekom pomorskog pothvata dvaju časnika na različitim brodovima najčešće dovodi do krajnje neželjenih situacija kao što je sudar brodova. Iako oba časnika plovidbu izvode prema istim pravilima za izbjegavanje sudara na moru, različito tumačenje istih pravila, različit pristup i tumačenje novonastalih situacija kao i nedovoljno dorečena pravila za izbjegavanje sudara na moru ostavljaju mjesta ovakvim nezgodama.

Svjesnost okolnosti koje se dešavaju, je sposobnost pravilnog sagledavanja situacije oko vlastitog broda, te mogućnost predviđanja daljnjeg razvoja iste. Ona ovisi o mogućnostima svake osobe posebno, a definirana je pozornošću, moći zapažanja, pamćenjem, predviđanjem, načinom odlučivanja, te je stoga podložna osobnim razlikama sudionika pomorskog podtvata.

Ove su odlike iznimno značajne za navigacijske časnike koji tijekom izvođenja straže upravo na temelju tih mogućnosti donose odluke o načinu izvođenja plovidbenog podtvata uspoređujući unaprijed definirani plan putovanja sa svim novonastalim situacijama koje se dešavaju tijekom putovanja. Upravo navedene odlike su različite kod svakog pojedinog časnika, što ovisi o talentu, karakteru, znanju, uvježbanosti, ali i iskustvu.

Kao razlog potvrđivanja navedenih teza na Pomorskom fakultetu u Rijeci provedeno je anketno istraživanje[15] među 123 časnika palube i zapovjednika broda. Svi sudionici ankete tijekom anketiranja aktivno su pohodili jedan od tečajeva od kojih je

[14] O. Nortun; The human factor, 2004., www.dnv.com

[15] Upitnik – Prilog unapređenju simulacija izvanrednih događaja korištenjem stvarnih parametara preuzetih iz uređaja za zapis podataka plovidbenog putovanja (*Voyage Dana Recorder*)

većina utvrđena STCW[16] – konvencijom, a tečajevi su se izvodili na jednom od specijaliziranih navigacijskih simulatora (Transas 3000 i Transas 4000). Cjelokupno anketiranje pristupnika bilo je anonimno i dragovoljno.

Starosna dob anketiranih časnika ili zapovjednika kretala se u rasponu od 21 do 55 godina s različitim plovidbenim iskustvom na brodu. Indikativno je za napomenuti da su svi anketirani sudionici završili Višu pomorsku školu ili Pomorski fakultet, što je prema pozitivnim hrvatskim propisima preduvjet za pristupanje polaganju ispita za prvog časnika odnosno zapovjednika broda. Veličine brodova, na kojima su plovili anketirani sudionici u posljednjem ugovoru, kretale su se u rasponu od 85 do 380 metara duljine, obuhvaćajući različite tipove brodova.

Ispitujući subjektivan dojam izbjegnute nezgode (*eng. near miss*), među anketiranim sudionicima samo 34 sudionika ankete (28 %) odgovorili su potvrdno na činjenicu da su doživjeli izbjegnutu nezgodu tijekom svojeg plovidbenog staža. Također od ukupnog broja ispitanika 18 sudionika ankete (7 %) bilo je sudionik pomorske nezgode na jednom od brodova na kojima su do sada plovili. Ovakvo smanjivanje uzorka (34 sudionika koja su umalo doživjela nezgodu) omogućava da se rezultati dobiveni navedenim istraživanjem shvate kao trend dok bi za detaljnije rezultate uzorak morao biti veći.

Od ukupnog broja potvrdnih odgovora o doživljaju izbjegnute nezgode, subjektivan pristup doveo je do značajnog raspršivanja rezultata udaljenosti među brodovima u trenutku izbjegnute nezgode. Podaci o dobivenom raspršivanju prikazani su u sljedećoj tablici.

[16] STCW - *The International Convention on **S**tandards of **T**raining, **C**ertification and **W**atchkeeping for Seafarers* - Međunarodne konvencije o standardima za izobrazbu, izdavanje svjedodžbi i držanje straže pomoraca, 1978.

Tablica 2 Različite udaljenosti među brodovima kod subjektivnog odlučivanja o postojanju izbjegnute nezgode

Udaljenost (M)	Broj odgovora	Postotak (%)
0,1	10	29,4
0,2	8	26,5
0,3	4	11,7
0,4	1	2,9
0,5	4	11,8
1,0	4	11,8
2,0	2	5,9

Izvor: Autor

Ispitivanja ukupnog uzorka, dobivenog anketiranjem časnika i zapovjednika, provedena su pomoću neparametrijskih testova za male nezavisne uzorke kao što su jednosmjerna analiza varijance, χ^2 test, Mann-Whitney te Kolmogorov–Smirnov testovi. Pomoću navedenih testova pokušala se pronaći zavisnost između pojedinih grupa ispitanika. Uspoređujući godine časničkog staža, podijeljene u tri kategorije (0-2, 3-9 i 10 i više) s rezultatima udaljenosti među brodovima u trenutku izbjegnute nezgode nije pronađena značajnija razlika.

Značajnija razlika nije pronađena niti kod ispitivanja zavisnosti časničkog, zapovjedničkog statusa na brodu, u odnosu na udaljenosti među brodovima u trenutku umalo nezgode što dovodi do zaključka da je doživljaj umalo nezgode izrazito subjektivan osjećaj i ne ovisi o godinama časničkog staža kao ni o časničkom, zapovjedničkom statusu ispitanika. Uspoređujući odgovore koji su dali učesnici ankete koji su doživjeli pomorsku nezgodu (osamnaest sudionika ili 14,6 % ispitanika), a ujedno su i umalo doživjeli nezgodu (devet sudionika ili 26 % ispitanika), u odnosu na sve ispitanike koji su umalo doživjeli nezgodu, glede udaljenosti između brodova, također nije dobivena značajnija razlika.

Značajna razlika dobivena je uspoređujući sudionike ankete koji plove na brodovima za prijevoz tekućih i rasutih tereta sa svim ostalim sudionicima koji su umalo doživjeli nezgodu. Koristeći Mann-Whitney test za ispitivanje zadanog uzorka utvrđeno

je da za $U = 70,0$ proizlazi $P = 0.025$ ($P < 0,05 \rightarrow 95\%$), što pokazuje s 95% točnosti da časnici koji plove brodovima za prijevoz tekućih te rasutih tereta pojam doživljene izbjegnute nezgode definiraju s većim udaljenostima među brodovima u odnosu na časnike s ostalih brodova (kontejnerski, putnički, ro-ro, …).

Uspoređujući subjektivan doživljaj umalo nezgode (udaljenost među brodovima) s veličinom brodova napravljena je podjela brodova na kojima su plovili sudionici ankete prema veličini broda u tri kategorije: do 169 m, od 170 - 250 m, te više od 250 m. Jednosmjernom analizom varijance utvrđena je značajna statistička razlika udaljenosti među brodovima u trenutku izbjegnute nezgode i veličine broda samo između prvoe i treće kategorije brodova (manji od 169 i veći od 250 m) što pokazuju i rezultati $F = 3,818$; $P = 0.033$ ($P < 0,05 \rightarrow 95\%$). Time je na zadanom uzorku utvrđeno s 95% točnosti da časnici koji plove brodovima većim od 250 m pojam doživljene izbjegnute nezgode definiraju s većim udaljenostima među brodovima u odnosu na časnike koji plove na brodovima manjim od 169 m duljine.

Iz svega navedenoga vidljivo je da u većini pomorskih nezgoda ljudski faktor igra značajnu ulogu, posebice u slučaju navigacijske pogreške, gdje je gotovo isključivi faktor u nastajanju nezgode ljudski faktor. Upravo su te nezgode tema ove doktorske disertacije, tj. metode i načini ranog otkrivanja takvih nezgoda od strane obalnih sustava nadzora pomorskog prometa.

Nepobitno je dokazano[17] da tehnologijski napreci doprinose smanjivanju nastajanja pomorskih nezgoda, čega su najbolji primjer ECDIS, VTS, VTMIS sustavi. Broj nezgoda značajno je smanjen uvođenjem ovakvih sustava bilo na brodove ili u pojedina područja nadzora, upravo stoga što omogućavaju operatorima na brodu i kopnu poboljšano sagledavanje situacije, a samim time i donošenje ispravnih odluka. Međutim sustavi služe kao pomoć operatorima što ponovno uvodi ljudski faktor u sustave nadzora.

Kasnije prikazani model ranog otkrivanja opasnosti pridonest će gotovo trenutnom otkrivanju potencijalnih navigacijskih pogreški od strane obalnih sustava nadzora. Ovakve se pogreške lakše uočavaju iz izdvojenih sustava (obalni sustavi

[17] H. N. Psarafis; P. Cardis; N. Desypris, G. Panagakos, N.Ventikos: The Human element as a factor in marine accidents

nadzora) pošto oni nisu direktno uključeni u cjelokupan lanac pogrešaka, nego samo nezavisno provjeravaju stvarno kretanje broda u nadziranom području plovidbe. Dakako sustav je osmišljen da bez sudjelovanja operatora otkriva potencijalne opasnosti na plovnom putu (neusklađenost plana putovanja ili njegove realizacije te interakcija sa svim ostalim planovima) te da o tome „signalima upozorenja“ pravovremeno obavijesti operatora kojem se ostavlja dovoljno vremena za reagiranje u sustavu te sprečavanje nastajanja nezgoda ili njihova ublažavanja.

3 DOSADAŠNJE STANJE NADZORA – MOGUĆNOSTI I OGRANIČENJA

Nadzor pomorske plovidbe u današnje vrijeme prvenstveno se može podijeliti u dva segmenta:

- nadzor plovidbe od strane zapovjednika/časnika na brodu te,
- nadzor plovidbe od strane operatora s kopnenih sustava nadzora.

Nadzor plovidbe s broda nadalje se može ponovno podijeliti u dva segmenta i to kao planiranje pomorskog podtvata između početne i krajnje točke putovanja, te nadzor provođenje plana od strane zapovjednika broda i brodskih časnika. Prilikom planiranja pomorskog pothvata časnici koriste sve njima dostupne informacije. Konačne odluke o načinu izvođenja plovidbenog podtvata donose se neposredno prije poduzimanja određenih radnji na temelju vizualnog motrenja situacije oko vlastitog broda, te trenutno prikupljenih informacija s različitih uređaja (Radar, AIS, ECDIS, …).

Poboljšana sredstva nadzora i komunikacije (izmjene informacija između brodova te broda i obale), kao i mogućnost sagledavanja cjelokupnog nadziranog plovnog područja nedvosmisleno dovode do zaključka da obalni sustavi nadzora imaju mogućnost boljeg pregleda pomorskog prometa, unutar područja nadzora, od časnika koji sudjeluju u pomorskom prometu na brodovima. Samim tim u današnje su vrijeme kopneni operatori, na temelju svih prikupljenih i obrađenih informacija u puno boljem položaju, u odnosu na zapovjednika te brodske časnike, da odluče što bi u konkretnoj situaciji trebalo učiniti. Sve ovo tehnički dovodi do mogućnosti da u budućnosti brodovi budu kontrolirani i upravljani od strane obalnih sustava nadzora, te da postanu slični kontroli avionskog prometa[18].

Međutim, postoje i svojevrsna ograničenja postojećih obalnih sustava nadzora pomorske plovidbe. Dosadašnji obalni sustavi nadzora zasnovani su na nadzoru određenog, najčešće manjeg, područja različitim dostupnim sredstvima nadzora. Nadzor definiranih područja provodi se od strane iskusnih operatora koji u nadziranim područjima postavljaju i određuju opća ograničenja temeljem kojih detektiraju potencijalne opasnosti o kojima izvješćuju brodove.

[18] W.A. O'neill, Ex Secretary-General of IMO, www.imo.org

Postavljanjem općih ograničenja za detektiranje opasnosti ne može se u današnje vrijeme raznoliko strukturiranog pomorskog prometa, s obzirom na veličine, brzine i karakteristike brodova, postići optimalni učinak nadzora i upravljanja pomorskim prometom. Ovakav način nadzora ne omogućava pregledavanje i nadzor velikih morskih područja, posebice područja s velikom gustoćom pomorskog prometa zbog «prezauzetosti» operatora u nadziranju svekolikih parametara.

3.1 Nadzor plovidbe od strane zapovjednika/časnika na brodu

Stalnim razvojem i unapređivanjem današnji brodovi, spadaju u složene tehničke sustave. Kako plovidba broda ima svrhu i određeni cilj, moguće je odrediti pojam pomorskog putovanja jednog broda kao skup radnji kojima se u konačnom vremenskom periodu brod vodi, na siguran način, od ishodišta do odredišta sukladno dobroj pomorskoj praksi.[19]

3.1.1 Planiranje pomorske plovidbe

Upravljanje brodom može se odrediti kao slijed odluka donesenih tijekom plovidbe i njihovih provedbi kojima se na siguran način ostvaruje cilj putovanja. Planiranje putovanja valja razumjeti kao skup odluka o namjeravanom načinu provedbe putovanja donijetih prije započinjanja putovanja na temelju dostupnih podataka ponajprije s ciljem da se umanji opasnost od pomorskih nezgoda uzrokovanih navigacijskim pogreškama. Obaveza planiranja svakog putovanja pomorskih brodova proizlazi iz odredbi STCW konvencije, koja je dopunama iz 1995. godine u prilogu koji se sastoji od osam poglavlja u posljednjem propisuje način držanja straže.

Obveza planiranja putovanja[20] se izričito utvrđuje i to kako slijedi:

[19] D. Zec, Planiranje pomorske plovidbe, Rijeka 1997.

[20] *STCW 78/95*, Odjeljak A-VIII/2 Ustroj straže i načela koja se moraju poštivati, dio 2- Planiranje putovanja i dio 3.1-Načela koja valja poštivati pri držanju plovidbene straže, 1995

opći uvjeti:

3 Namjeravano putovanje mora se planirati unaprijed, uzimajući u obzir sve odnosne obavijesti, a svaki zacrtani kurs valja provjeriti prije početka putovanja.

4 Upravitelj stroja mora u dogovoru sa zapovjednikom unaprijed utvrditi što je potrebno za namjeravano putovanje, uzimajući u obzir potrebe goriva, vode, maziva, kemikalija, potrošnih i drugih pričuvnih dijelova, alata, zaliha i druge potrebe.

Planiranje prije svakog putovanja:

5 Prije svakog putovanja zapovjednik broda mora osigurati planiranje namjeravanog puta od luke polaska do prve luke pristajanja, uz uporabu odgovarajućih i primjerenih karata te drugih nautičkih publikacija neophodnih za namjeravano putovanje, koje sadrže točne, potpune i svježe obavijesti glede onih navigacijskih ograničenja i opasnosti koje su stalne i predvidljive naravi i o kojima ovisi sigurna plovidba broda.

Provjera i prikaz planiranog puta:

6 Kada se na osnovi svih odnosnih obavijesti planiranje puta dovrši, planirani se put mora jasno prikazati na odgovarajućim kartama, a prikaz mora tijekom putovanja uvijek biti dostupan odgovornom časniku straže.

Skretanje s planiranog puta:

7 Ako se tijekom putovanja donese odluka o izmjeni naredne luke pristajanja na planiranom putu ili ako je zbog drugih razloga neophodno da brod značajnije skrene s planiranog puta, onda se takav izmijenjeni put mora planirati prije značajnijeg skretanja s izvorno planiranog puta.

Prepoznajući presudnu važnost u pogledu sigurnosti ljudi i brodova uključenih u pomorska putovanja, kao i zaštitu morskog okoliša od potencijalnih štetnih djelovanja

Međunarodna pomorska organizacija (*IM*O) 25. studenog 1999. godine donosi rezoluciju A.893(21) *„Preporuke za planiranje putovanja*[21]*“*.

Današnjim je propisima utvrđeno da se planiranje pomorskog putovanja mora izvesti od točke odlaska (mjesta priveza na kojem se brod nalazi prije započinjanja putovanja) pa sve do konačne krajnje točke putovanja (mjesta priveza u luci dolaska). Između dvije zadane točke, početne i krajnje, planiranje putovanja temelji se na sakupljanju informacija dostupnih brodu.

Prvi segment planiranja putovanja jest skupljanje svih mogućih informacija koje mogu utjecati na planirano putovanje. Prikupljanje te naknadna procjena prikupljenih podataka može se smatrati najvažnijim dijelom planiranja, jer se na osnovi njihove količine i pouzdanosti gradi plan putovanja. Podatke koje valja prikupiti za svako planirano putovanje može se podijeliti na:

- podatke o brodu i teretu ako ga brod prevozi;
- navigacijsku podršku na pojedinim segmentima plovnog puta;
- meteorološke i hidrografske podatke koji se mogu očekivati na plovnom putu;
- opće uvjete okoline.

Podaci o brodu i teretu koji brod prevozi jedini su podaci koje brodski časnici mogu uzeti sa sigurnošću prilikom planiranja putovanja. Ti se podaci odnose na osnovne mjere i dimenzije broda, brodski poriv, konstrukcijska obilježja, manevarska svojstva, obilježja tereta koji brod prevozi te su stalno dostupni.

Važan podatak koji će određivati smjer i brzinu broda je razina navigacijske podrške u pojedinom području plovidbe. Plovidbeni put odredit će se ovisno o mogućnosti određivanja pozicije, koja ovisi o raspoloživim navigacijskim sustavima i pomagalima na brodu i obali. Navigacijsku podršku na brodu možemo podijeliti na navigacijske sustave koji direktno određuju poziciju broda i na ostala navigacijska pomagala pomoću kojih se može posredno odrediti pozicija broda, utvrditi smjer, brzinu i dubinu ispod kobilice.

Hidrometeorološki čimbenici koji utječu na kretanja broda su vjetar, morske struje, dubina mora i valovi. Oni mogu neposredno djelovati na izbor plovidbenog puta,

[21] IMO Rezolucija A.893(21), *Guidelines for voyage planning*, 1999

a mogu djelovati i na manevarska svojstva broda što će posredno također imati utjecaj na izbor plovidbenog puta. Promjena stanja ovih čimbenika u vremenu može zahtijevati promjenu načina izvršenja plana plovidbe ili čak i promjenu plana plovidbe.

Opći uvjeti okoline koji utječu na izbor puta su zemljopisni uvjeti, prometni uvjeti, raspoloživost objekata sigurnosti plovidbe, ugovorna i druga ograničenja, te sigurnosni uvjeti.

Svi čimbenici, osim podataka o brodu i teretu, su podložni promjenama u većem ili manjem vremenskom periodu, te samim tim časnicima djelomično poznati. Naime podaci o mogućnosti određivanja pozicije broda neposredno su vezani uz raspoloživost sustava za određivanje. O promjenama stanja plovnog puta (radovi na dijelu plovnog puta, ratne vježbe, uvođenje novih plovidbenih pravaca, itd.) ili kvarovima obalnih sustava pomorci se redovito obavještavaju putem oglasa za pomorce. Međutim navedene promjene u dijelu plovnog puta mogu se dogoditi nakon započinjanja putovanja samog broda, te kao takve nisu uzete u obzir kod planiranja putovanja. Iako većina brodova ima mogućnost primanja informacija o promjenama na plovnome putu njihov dotok tijekom izvođenja putovanja može biti zanemaren što direktno utječe na sigurnost izvođenja planiranog putovanja.

Promjenama u vremenu prvenstveno su podložni hidrometeorološki uvjeti na plovnome putu, kao i opći uvjeti okoline, prvenstveno prometni uvjeti na pojedinom segmentu plovnoga puta.

Zapovjednik broda je pri donošenju plana putovanja ograničen trenutno dostupnim podacima koje na brodu ima, što se u budućnosti može smatrati nedovoljnim radi brzine odvijanja plovidbenog pothvata te sve veće gustoće pomorskog prometa najčešće koncentriranog na pojedina navigacijska područja. Danas na brodovima upravo takvi ograničeni podaci služe kao temelj za planiranje i izvođenje putovanja i to bez mogućnosti preispitivanja i ocjene od strane treće osobe, tj. kopnene službe ili nezavisnog sustava. U daljnjim će poglavljima biti prikazan nezavisan obalni sustav za pregled svakog zasebnog plana putovanja.

3.1.2 Izvođenje pomorske plovidbe

Upravljanje brodom može se definirati kao slijed odluka donijetih tijekom plovidbe i njihovih provedbi kojima se na siguran način ostvaruje cilj putovanja tj. plan

putovanja. Da bi se kvalitetno izvelo planirano putovanje brodom, mora postojati kvalitetna razina navigacijske podrške. Udaljenost do najbliže navigacijske opasnosti obično je presudan čimbenik koji utječe na izbor plovidbenog puta, naravno u kombinaciji s raspoloživom razinom navigacijskih sustava i pomagala na brodu. Kako bi navigacijska oprema na svim brodovima zadovoljavala određene kriterije, IMO donosi standarde kojima navigacijska oprema mora odgovarati (*eng. IMO Performance Standards for Radiocommunications and Navigational Equipment*[22]). Propisani su opći uvjeti koji trebaju biti zadovoljeni od strane navigacijske podrške vezano uz:

- područje pokrivanja – je područje gdje signal (radio-navigacijskog sustava) omogućava korisniku određivanje pozicije sa zahtijevanom razinom točnosti;
- raspoloživost – je postotak vremena unutar kojeg neki sustav ili sredstvo obavlja zahtijevanu ulogu unutar određenih uvjeta;
- kapacitet sustava – je broj korisnika koji sustav mogu koristiti odjednom;
- pouzdanost – je vjerojatnost da sustav obavlja određene funkcije bez pogrešaka pod određenim uvjetima za određeni period vremena;
- točnost – je stupanj usklađenosti između pozicije dobivene izračunom i stvarnog položaja broda uz određenu vjerojatnost. Najčešće se koristi 95-postotna točnost. Točnošću se mogu definirati podaci kao što su koordinate pozicije broda, brzina, vrijeme, kut, itd.

Sve odluke časnika, vezane uz pomorsku plovidbu tj. provedbu plana putovanja, donose se na temelju informacija sa sustava koje brod ima. Takve odluke uz sva spomenuta ograničenja sustava opterećene su i subjektivnim percipiranjem trenutne situacije uokolo vlastitog broda i to od strane dežurnog časnika u straži. Istraživanja pokazuju[23] da je gotovo u svim nezgodama u pomorstvu u većoj ili manjoj mjeri zastupljen ljudski faktor. Upravo stoga utjecaj ljudskog faktora na nezgode u pomorskoj plovidbi zasebno je obrađen u prijašnjem poglavlju.

[22] www.imo.org

[23] S. Brewer, Collaboration to address human element issues in maritime safety, www.dnw.com

Tablica 3 Podaci koje časnik palube treba uzeti u obzir prilikom izvođenja plovidbene straže, vezano uz plovidbu broda i komunikacije

• Integralni zapovjednički most -provedba putovanja -komunikacije -kontrola stroja -kontrola tereta (npr. tanker) -sigurnost te sigurnosna zaštita • ECDIS • Razni alarmi[24] • Pomorska karta • Magnetski kompas • Žiro kompas • Radari (ARPA) • Dubinomjer • Brzinomjer • Pokazivač otklona kormila	• Pokazivač otklona krilca vijka • Broj okretaja stroja • Gradijent skretanja • Radio goniometar • GPS/GLONASS • DGPS/DGLONAS • LRIT • Loran • VDR • Podaci o planu putovanja • Brodski dnevnik • Dnevnik devijacije kompasa • Bilješke o navigacijskim aktivnostima • Izvještaji o analizi putovanja • Razne liste provjere	• Upute o sustavima • Odredbe zapovjednika • Informacije o manevru • Radarskim sjenama • Meteorološka upozorenja • SAR • Zone plovidbe • Sustavi javljanja brodova • VTS • Navigacijski sustavi • Navigacijske karte i publikacije • Signali pogibelji • Poruke pogibelji • Lučki peljari • Oglasi za pomorce • Pravila i propisi države čiju zastavu brod vije

Izvor: International Maritime Human Element Bulletin – Alert, Issue No.21 september 2009.

Tendencija smanjivanja broja članova posade[25], kao i povećanje opsaga poslova te novo ugrađenih uređaja, često bez prethodnog obučavanja časnika, dovodi do

[24] Kod novijih brodova na zapovjedničkom mostu može se javiti čak od 200 do 300 različitih alarma vezanih uz navigacijske i komunikacijske uređaje, dok se prikazivanjem i alarma iz područja strojarnice i teretnog prostora ta vrijednost penje na više od 1000 različitih alarma.

[25] Primjerice u vrijeme svjetske ekonomske krize (2009.-2010.) većina tankerskih brodara je sa svojih brodova izostavila trećeg časnika palube. Naime prijašnjih je godina ustaljena praksa bila da se na brodu nalaze jedan treći i dva druga časnika koja su izvodila plovidbenu stražu, dok je prvi časnik bio isključivo oficir za teret, te kao takav nije obavljao plovidbenu stražu.

preopterećenost časnika, što nerijetko završava pomorskim nezgodama. Primjerice brza i obvezatna implementacija automatskog identifikacijskog sustava (AIS[26]) na SOLAS brodove[27], bez prethodnog istraživanja o njegovoj upotrebi od strane časnika imala je za posljedicu nepravilno rukovanje sustavom većine pomorskih časnika, tj. većina informacija koja se izmjenjivala sustavom bila je pogrešna. Tek se tri godine kasnije, radi uočavanja nepravilnog korištenja AIS sustava[28], uvodi se tečaj izobrazbe časnika od strane STCW konvencije[29], međutim i dalje kao preporučeni tečaj. U prethodnoj je tablici prikazano o kojim informacijama časnik palube treba voditi računa tijekom plovidbene straže, vezano uz plovidbu broda te komunikaciju.

Osim o nadziranju i rukovanju navedenim informacijama tijekom plovidbene straže časnici moraju voditi računa i o čitavom nizu (više od 140 pojedinačnih područja) ostalih informacija vezanih uz:

- operacije s teretom,
- zdravlje i brigu o zdravlju posade,
- izobrazbu i treniranje,
- propise i certifikate,
- brodsku administraciju,
- postupke u slučaju nužde i sigurnosne zaštite,
- posadu broda, itd.

Nadzor provedbe plana putovanja od strane časnika na zapovjedničkome mostu izvodi se prvenstveno koristeći navigacijske sustave i pomagala za pozicioniranje, otkrivanje objekata uokolo vlastitog broda, komuniciranje, te prikaz položaja broda u prostoru.

Pod navigacijskim se sustavima prvenstveno podrazumijevaju danas dostupni globalni navigacijski satelitski sustavi (GPS i GLONASS) te hiperbolički sustav pozicioniranja (Loran-C). Standarde koje mora zadovoljiti globalni navigacijski

[26] AIS - Automatic Identification System

[27] A.Harati-Mokhtari, Automatic Identification System (AIS): Dana Reability and Human Error Implications, The Journal of Navigation (2007.)

[28] Sudar brodova Hyundai Dominon i Sky Hope, prema istraživanjima MAIB (Marine Accident Investigation Branch) direktna je posljedica nestručnog rukovanja sa AIS sustavom, www.maib.gov.uk

[29] Model Course 1.34 – Automatic Identification Systems, International Maritime Organization, London 2006.

satelitski sustav odredila je Međunarodna pomorska organizacija (IMO) rezolucijom A.819(19)[30] te daljnjim nadopunama rezolucija MSC.112(73)[31]. Standardi su u skladu sa zahtjevima navedenim u dodatku rezolucije A.815(19)[32] prihvaćenim na istom zasjedanju IMO-a.

U ostala se navigacijska pomagala koja služe za sigurno izvođenje plana putovanja svrstavaju radar, AIS, brzinomjer, dubinomjer, magnetski kompas, žiro-kompas, auto pilot, elektroničke karte, te svi ostali sustavi koji se kod današnjih brodova nalaze kod integriranih zapovjedničkih mostova.

Izraz integrirani zapovjednički most[33] (*eng. Integrated bridge system*) podrazumijeva više mogućih kombinacija povezivanja navigacijske opreme i programskih paketa, rađenih za usklađivanje svih potrebnih parametara navigacije, tako da pojedini integrirani navigacijski sustavi mogu biti složeni od različitih komponenti. Općenito, može se reći da integrirani navigacijski sustav povezuje sva raspoloživa navigacijska sredstva na pojedinom brodu u jednu cjelinu što omogućava časnicima centralizirani pristup senzorima i informacijama, a sve u svrhu povećanja sigurnosti.



Slika 5: Integrirani zapovjednički most

Izvor: www.sperrymarine.northropgrumman.com

[30] IMO Rezolucija A.819(19), *Performance Standards for Shipborne Global Positioning System (GPS) Receiver Equipment*, 1995;
[31] Resolution MSC.112(73), *Adoption of the Revised Performance Standards for Shipborne Global. Positioning System (GPS) Receiver Equipment,* 2000.
[32] IMO Rezolucija A.815(19), *World-wide Radionavigation system*, 1995
[33] www.imo.org

Navigacijski radar[34] je uređaj za detekciju (otkrivanje) objekata, mjerenje kutova i daljina te izbjegavanje sudara na moru. Napredak u korištenju radara kao sredstva za izbjegavanje sudara na moru predstavljaju ARPA[35] radarski sustavi, koji imaju mogućnost simuliranja učinka manevra vlastitim brodom u odnosu na plovidbenu situaciju. Ograničenja pomorskih navigacijskih radara prvenstveno se očituju u pogreškama očitavanja smjera (+/- 1°) te pogreški očitanja udaljenosti promatranih objekata (+/- 1% udaljenosti), ali se iste smatraju prihvatljivim, kao i velikom utjecaju vremenskih prilika (kiša, valovi) na smetnje u prikazu objekata. Osvježavanje podataka izvodi se svakim sljedećim okretajem antene (minimum 20/min.), za sve podatke koji se nalaze unutar radarskog horizonta, koji je definiran visinom radarske antene/objekta s obzirom na zakrivljenosti zemaljske kugle. Ograničenje ARPA sustava u prikazu smjera i brzine promatranih objekata ogledavaju se u tromosti sustava kod prikaza promjene smjera promatranih objekata. To se očituje u činjenici da ARPA sustavi smjer kretanja promatranog broda definiraju na principu da suma kvadrata najmanjih udaljenosti nekoliko prošlih pozicija od zadanog pravca bude minimalna.

Generalno gledajući časnici tijekom navigacijske straže koristeći ARPA radarski uređaj određuju azimut i udaljenost prema pojedinom objektu[36] (drugom brodu), koji ne predstavlja pravo kretanje već relativno kretanje između dva broda. Kod definiranja sudarne situacije rabe se vrijednosti najmanje udaljenosti koja će se ostvariti između dva broda (CPA[37]) te vremena kada će se ista desiti (TCPA[38]), čime se definira trokut vektora. Povreda odnosno zadovoljavanje oba minimalno definirana uvjeta (CPA i TCPA), od strane časnika pojedinog broda u konkretnoj situaciji znači pristupanje manevriranju broda u svrhu otklanjanja sudarne situacije, a sve u skladu s pravilima za izbjegavanje sudara na moru[39].

[34] F. Benković, i dr., Terestrička i elektronska navigacija, 1986.
[35] ARPA – eng. *Automatic Radar Plotting Aid*
[36] S.L.Kao, K.T.Lee, K.Y.Chang,M.D.Ko, A Fuzzy Logic Method for Collision Avoidance in Vessel Traffic Service, The Journal of Navigation (2007.), 60.
[37] eng. CPA – Closest Point of Approach
[38] Eng. TCPA – Time of Closest Point of Approach
[39] Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea, 1972 (COLREGs), www.imo.org

Automatski identifikacijski sustav[40] (AIS) kao primopredajni uređaj koji koristeći VHF frekvencije za izmjenu podataka omogućuje pomorskim brodovima svih tipova (kao i obalnim stanicama) identifikaciju brodova koji se nalaze u dometu VHF[41] uređaja. Upravo korištenje VHF područja frekvencija[42] kod ovog uređaja omogućavaju puno manji utjecaj vremenskih prilika na stvaranje smetnji prilikom primanja i slanja podataka.

Temeljna funkcija AIS-a je automatsko i kontinuirano emitiranje i razmjena podataka između sudionika pomorske plovidbe. Podaci koje AIS odašilje podijeljeni su u četiri skupine i to:

- statički podaci (podaci o brodu - IMO broj, pozivni znak, duljina, širina broda, i sl.),
- dinamički podaci (podaci o kretanju – trenutna pozicija, kurs, brzina, itd.),
- podaci o plovidbi (gaz broda, luka odredišta, predviđeno vrijeme dolaska itd.) i
- sigurnosni podaci.

Informacije s uređaja se mogu koristi i u situacijama izbjegavanja sudara[43] na moru, kao dodatan izvor informacija o stanju pomorskog prometa uokolo vlastitog broda.

Ograničenja AIS sustava očituju se u činjenici da sustav ima mogućnost izmjene podataka samo s brodovima koji posjeduju[44] AIS, te čiji AIS uređaj zadovoljavajuće radi. Primjerice prema izmijenjenom članku 21.[45] rezolucije A.917(22), zapovjednik

[40] Resolution A.917(22) Guidelines for the onboard operational use of shipborne automatic identification systems (AIS)

[41] VHF - Very high frequency, područje radijske frekvencije između 30 MHz i 300 MHz.

[42] Međunarodni savez za telekomunikacije je AIS sustavu dodijelio dvije frekvencije, i to 161,975 MHz (VHF kanal 87) i 162,025 MHz (VHF kanal 88), a u dijelovima svijeta gdje su ti kanali već zauzeti mogu se dodijeliti i drugi kanali

[43] N.A.Witt, J.B.Hooper, A.P. Mcdermott, The AIS-Asssisted Collision Avoidance, The Journal of Navigation (2009.), 62.

[44] Prema IMO-u obvezni propisi i zahtjevi za ugradnjom AIS uređaja odnose se na sve teretne brodove tonaže veće od 300 BT ako plove u međunarodnoj plovidbi, teretne brodove veće od 500 BT te na sve putničke brodove

[45] Maritime and Coustguard Agency, Revised carriage reqirement for Automatic Identification Systems (AIS), MSN 1795 (M)

broda može isključiti AIS uređaj ako smatra da time podiže sigurnost ili sigurnosnu zaštitu vlastitog broda (primjerice područje pirata).

Tablica 4 Usporedba prednosti i nedostataka radara i AIS uređaja

Radar		AIS	
Svi objekti vidljivi pri povoljnim vremenskim uvjetima	(+)	(-)	Vidljivi samo objekti koji imaju AIS i drže ga uključenim
Obalna linija i ostali fiksni ili plutajući objekti vidljivi	(+)	(-)	Obalni rub nevidljiv, kao i plutajući objekti ako nisu opremljeni AIS uređajem
Nemogućnost nadziranja područja radarskih sjena	(-)	(+)	Mogućnost nadziranje cijelog područja
Smanjena mogućnost detektiranja prilikom loših vremenskih uvjeta	(-)	(+)	Mali utjecaj vremenskih prilika na detektiranje objekata
Neograničen broj objekata koji se mogu pratiti	(+)	(-)	Ograničen broj praćenih objekata
Velika frekvencija osvježivanja podataka o objektu	(+)	(-)	Frekvencija osvježivanja podataka ovisi o brzini objekta
Visoka cijena ugrađivanja sustava radarskog nadzora	(-)	(+)	Mala cijena koštanja sustava

Izvor: http://www.mar-it.de

Zajedničko korištenje radara i AIS uređaja omogućava najkvalitetnije pregledavanje situacije oko vlastitog broda, upravo korištenjem prednosti svakog uređaja, a samim tim umanjivanje nedostataka istih.

Autopilot služi za automatsko održavanje broda u željenom kursu te mora imati alarm koji se aktivira kada brod skrene s kursa više nego što je to unaprijed određeno ili kada dođe do pada/gubitka napajanja uređaja, što će utjecati na siguran rad uređaja. Standarde koje mora zadovoljiti autopilot navedeni su u rezoluciji A.342(9)[46] i MSC.64(67)[47]. Noviji uređaji imaju mogućnost izbora praćenja plana putovanja (*eng. keeping track*), na način da autopilot sam okreće dolaskom do točke okreta predviđene planom putovanja. Uređaj informacije o kursu broda prima sa žiro kompasa[48] koji isti dobiva s obzirom na smjer pravog sjevera.

[46] IMO Rezolucija A.342(9), *Recommendation on Performance Standards for Automatic Pilots*, 1975
[47] Rezolucija MSC.64(67), *Annex 3, Amendments to Resolution A.342(9) on Performance Standards for Automatic Pilots*, 1996
[48] IMO Rezolucija A.424(11), *Performance Standards for Gyro-Compasses*, 1979

Subjektivan pristup časnika navedenoj količini informacija, zajedno s ograničenošću, te dometom otkrivanja navigacijski bitnih informacija uokolo vlastitog broda, brodskim navigacijskim sustavima, dovodi brodske časnike u podređeni položaj u odnosu na obalne sustave nadzora[49]. Upravo stoga, a povodom konstantnog rasta pomorskog prometa, naročito prometa opasnih tereta u posljednjih pedesetak godina uvidjela se potreba za kvalitetnijim i potpunijim nadzorom i upravljanjem pomorskim prometom, posebno na području lučkih prilaznih plovnih putova, kao i u područjima s velikom učestalošću pomorskog prometa (kanali, zaljevi, sustavi usmjerene i odijeljene plovidbe, itd.).

Današnji stupanj pomorske sigurnosti uključuje sve potrebne mjere i postupke koji mogu utjecati na smanjivanje rizika pomorskih nezgoda, čime se preventivno djeluje na zaštiti ljudskih života i imovine na moru, kao i na zaštiti mora i morskog okoliša. Jedna od ključnih mjera je nadziranje i upravljanje pomorskim prometom na određenom području od strane obalnih sustava nadzora i upravljanja.

3.2 Obalni sustav nadzora i upravljana pomorskom plovidbom

Sa stajališta Međunarodne pomorske organizacije i njihovog gledišta na sigurnost plovidbe definiran je sustav nadzora i upravljanja pomorskom plovidbom s nazivom *Vessel Traffic Service – VTS.* Prema definiciji Međunarodne pomorske organizacije[50] služba nadzora plovidbe definira se kao:

- «služba uspostavljena od strane nadležne vlasti u svrhu unapređivanja sigurnosti i učinkovitosti pomorskog prometa, te zaštite morskoga okoliša. Služba mora imati mogućnost međudjelovanja s prometom te mogućnost davanja odgovora na prometnu situaciju koja se razvija na području VTS nadzora.»

[49] W.A.O'Neil, Co-ordination of VTS standards in the United Kingdom, 1999., www.imo.org

[50] Rezolucija Međunarodne pomorske organizacije A.857(20): Smjernice za sustav nadzora i upravljanja pomorskom plovidbom – *Guidelines for vessel traffic services;* Izmijenjena i dopunjena rezolucija A.578(14)

3.2.1 Značajke obalnih sustava nadzora

Iako se sustav nadzora plovidbe počeo primjenjivati već pedesetih godina prošloga stoljeća prve radnje od strane Međunarodne pomorske organizacije pokrenute su 1968. godine prihvaćanjem Rezolucije A.158(ES.IV)[51]. Daljnji koraci na međunarodnoj razini poduzeti su uvođenjem VTS smjernica (*VTS Guidelines*[52]) 1985. godine od strane IMO-a, te donošenjem dopuna istih 1997. godine, u koje je uključena i definicija VTS-a.

Imajući u vidu spomenutu definiciju jasno je da služba nadzora pomorske plovidbe minimalno treba pružati informacije sudionicima pomorske plovidbe u području nadzora VTS-a. Usprkos tome mogu se pružati i ostale usluge kao nadogradnja službe VTS, kojima se znatno pridonosi sigurnosti pomorske plovidbe i očuvanju mora i morskoga okoliša. Poslovi VTS-a sastoje se od odašiljanja jednostavnih informacija pa sve do organiziranja plovidbe na određenom području nadzora.

Uloga sustava nadzora i upravljanja pomorskim prometom može se podijeliti u tri osnovne kategorije:

- pružanje informacija brodovima u području VTS-a *(eng. information service);*
- pružanje pomoći u vođenju navigacije VTS područjem *(eng. navigational assistance service);*
- organiziranje pomorske plovidbe na VTS području nadzora *(eng. traffic organization services).*

Pružanjem potrebnih informacija sudionicima pomorske plovidbe omogućuje se kvalitetnije donošenje navigacijskih odluka na plovnome putu. Informacije se odašilju u točno određenim intervalima ili dodatno prema potrebama i ocjeni VTS operatora s obzirom na zahtjeve pomorskog prometa, kao i u slučaju zahtjeva s brodova u plovidbi promatranim područjem. Informacije mogu sadržavati podatke o položaju, identitetu i namjerama ostalih plovila u promatranom području (stanje prometa), stanju plovnoga

[51] Rezolucija A.158(ES.IV) - *«Recommendation on Port Advisory Services»*

[52] Rezolucija Međunarodne pomorske organizacije A.578(14): Smjernice za sustav nadzora i upravljanja pomorskom plovidbom - *Guidelines for vessel traffic services*

puta, meteorološka izvješća, te ostale informacije i opasnosti koje mogu utjecati na siguran prolazak broda promatranim područjem.

Prilikom plovidbe VTS područjem pružanje pomoći od strane VTS operatora može biti od velike koristi brodovima u slučaju otežanih navigacijskih ili meteoroloških okolnosti ili u slučaju otkazivanja pojedinog ili svih brodskih uređaja za sigurno izvođenje plovidbe. VTS operatori ovdje se direktno uključuju u davanje savjeta brodu u pogledu vođenja sigurne navigacije. Pomoću sredstava nadzora stalno prate razvoj situacije te poduzimaju nove korektivne mjere davanjem dodatnih savjeta brodu. Savjeti brodovima daju se na njihov zahtjev ili u slučaju kada VTS operator procijeni da je neophodno pružanje savjeta pojedinom brodu ili brodovima s obzirom na prometne, hidrografske i meteorološke okolnosti na nadziranom plovnom području.

Nadgradnja ovakvog načina organizacije nadzora je organiziranje kompletne pomorske plovidbe od strane VTS-a. Ovakvim načinom rada već se u ranoj fazi sprečava nastajanje opasnih situacija u pomorskom prometu na području VTS nadzora jer se brodovi od strane operatora usmjeravaju na plovidbenom pravcu. To može uključivati i postavljanje dodatnih zahtjeva na području VTS nadzora kao što su utvrđivanje prioriteta plovidbe, trenutno dodjeljivanje koridora plovidbe pojedinom brodu ili brodovima, obavezno javljanje u području nadzora, određivanje maksimalne brzine plovidbe u pojedinom području i ostale mjere neophodne za sigurno izvođenje pomorskog prometa na VTS području.

Uspostavljanjem sustava nadzora i upravljanja pomorskim prometom očekivani doprinosi mogu se definirati kao:

- unapređenje sigurnosti pomorskog prometa – nadziranjem cjelokupnog područja unaprijed se utvrđuju i otklanjaju moguće prijetnje sigurnosti plovidbe. Ovo obilježje veoma ovisi o kvaliteti sustava, koji se može podijeliti na četiri cjeline: oprema, operateri, vježba, procedure;[53]
- unapređenje uspješnosti pomorskog prometa – pravovremenim planiranjem te otklanjanjem kašnjenja postiže se optimalni protok plovila određenim

[53] Kop, G.: *«General Principles of VTS and the IMO Guidelines»*, The Nautical Institute On Pilotage and Shiphandling, 1990. str. 205-208

plovnim područjem. Prednost ovakvog vođenja pomorskog prometa utjecat će na djelotvornost krajnjih korisnika luke;

- unapređenje zaštite mora i morskog okoliša – samim osiguranjem sigurnog izvođenja plovidbe smanjuje se rizik nastajanja onečišćenja.

Najvažnija funkcija sustava nadzora i upravljanja pomorskim prometom (VTS) je povećanje sigurnosti pomorskog prometa te zaštita mora i morskog okoliša. U posljednjih dvadesetak godina razvijali su se i drugi slični sustavi, poglavito u Europskoj Uniji gdje su se vršila istraživanja kako proširiti pojam i područje djelovanja klasičnih VTS sustava. Najpoznatiji sustav, proizašao iz iskustava VTS-a je VTMIS – *(eng. Vessel Traffic Management and Information Service)*[54], koji je nastao na prijedlog Europske Unije s ciljem poboljšanja djelotvornosti pomorskog prometa i pomorske trgovine. Termin VTMIS u današnjem značenju definiran je u projektu EC DG VII još 1994. godine.[55]

Iz svih dosadašnjih projekata vezanih uz istraživanje mogućnosti i potreba VTMIS-a došlo se do određenih zaključaka kako se može povećati uspješnost pomorskog prometa. Prvenstveni zaključak je da VTS sustavi moraju surađivati sa svim ostalim sudionicima u domeni pomorskog prometa kako bi se povećala djelotvornost pomorskog prometa, te u isto vrijeme omogućila viša razina sigurnosti i zaštite okoliša. Kao sljedeći zaključak navodi se potreba za uvođenjem standardiziranih postupaka i izmjene podataka između sudionika vezanih uz pomorski promet čime bi se smanjilo ponavljanje određenih postupaka, a time povećala produktivnost pomorskog prometa.

Iz projekata EU proizašlo je također da VTMIS moraju karakterizirati jedan ili oba sljedeća elemenata:

- elektronička izmjena podataka i pružanje usluga u neposrednoj okolini, regiji ili između udaljenih subjekata (horizontalna izmjena podataka)
- elektronička izmjena podataka s ostalim službama u pomorstvu – službenim ili komercijalnim, logistička usluga (vertikalna izmjena podataka).

---

[54] Directive 2002/59/EC of the European Parliament and of the Council of 27 June 2002 establishing a Community vessel traffic monitoring and information, http://eur-lex.europa.eu

[55] Mike Hadley, Ingo Harre; Vessel Traffic Management and Information Services (VTMIS); 2nd Biennial Congress of the International Harbour Master Association, Dubai, UAE, 29 April – 3 May 2000

Iz ovakvih zahtjeva vezanih uz karakteristike VTMIS-a donesena je definicija,[56] koja glasi:

- «VTMIS je skup mjera koje u određenom području i pod određenim okolnostima smanjuju rizike plovidbe i zagađenja, a istovremeno povećavaju sigurnost plovidbe i protočnost plovidbenog puta.»

VTMIS uključuje sve službe koje pružaju usluge na određenom području, koje može biti regionalno, nacionalno ili međunarodno, kao i sve informacije vezane uz plovidbu koje se pružaju u stvarnom vremenu.[57] VTMIS odgovara na javne i osobne potrebe za upravljanjem pomorskim prometom, međutim bitno je naglasiti da VTMIS nije sustav (eng. *system*) već servis za pružanje usluga (eng. *services*), tj. informacija[58].

Prema Hrvatskom Ministarstvu mora prometa i infrastrukture[59], sustav za nadzor i upravljanje pomorskim prometom (*Vessel Traffic Monitoring and Information System*) je složeni tehnički i informacijski sustav namijenjen praćenju, upravljanju i organizaciji cjelokupnog pomorskog prometa u unutarnjim morskim vodama, teritorijalnom moru i zaštićenom ekološko-ribolovnom pojasu Republike Hrvatske koji se sastoji od pomorskog obalnog sustava automatske identifikacije brodova (*Coastal Automated Identification of Ships System*), pomorskog radarskog sustava (*VTS Radar System*), pomorskog radiokomunikacijskog sustava, te drugih sustava kojima se osigurava uvid u plovidbene okolnosti na moru i ostvaruje interakcija s učesnicima pomorskog prometa.

Služba nadzora i upravljanja pomorskim prometom je upravna, organizacijska i institucionalna struktura u sastavu Ministarstva mora, prometa i infrastrukture koja uporabom VTMIS-a obavlja poslove praćenja, nadzora, upravljanja i organizacije pomorskog prometa u unutrašnjim morskim vodama, teritorijalnom moru i zaštićenom ekološko-ribolovnom pojasu Republike Hrvatske.

Sustav pomorskog prometa (*Vessel Traffic System- VTS*) čini skup hrvatskih i međunarodnih propisa kojima se uređuje sigurna plovidba unutarnjim morskim vodama,

---

[56]Susanne Schreeck, Klearchos Aliferis; Institute for ship Operation, «Vessel Traffic management and Information Service NETwork VTMIS-NET A European Project»; www.issus.fh-hamburg.de/iss_web/projekte/vtmis-net

[57] Marten Koopmans, CA 29 Management Committee in Lisbon, 1998; www.waterman-ts.net/Results/Literature/Papers/papers.html

[58] http://home.t-online.de/home/VTMIS/index.htm

[59] www.mmpi.hr

teritorijalnim morem i zaštićenim ekološko-ribolovnim pojasom Republike Hrvatske koje provodi VTMIS služba.

Hrvatski sabor na sjednici 5. prosinca 2008. godine donio je Zakon o izmjenama i dopunama Pomorskog zakonika[60] (NN 146/2008). Ovim Zakonom stvoren je temelj za uspostavu cjelovite službe nadzora i upravljanja pomorskim prometom u sastavu Ministarstva mora, prometa i infrastrukture s pridruženim VTMIS-om.

Sukladno Pomorskom zakoniku, nadzor i upravljanje pomorskim prometom provodi se u cilju povećanja sigurnosti pomorske plovidbe, učinkovitosti pomorskog prometa i zaštite morskog okoliša, te obuhvaća:

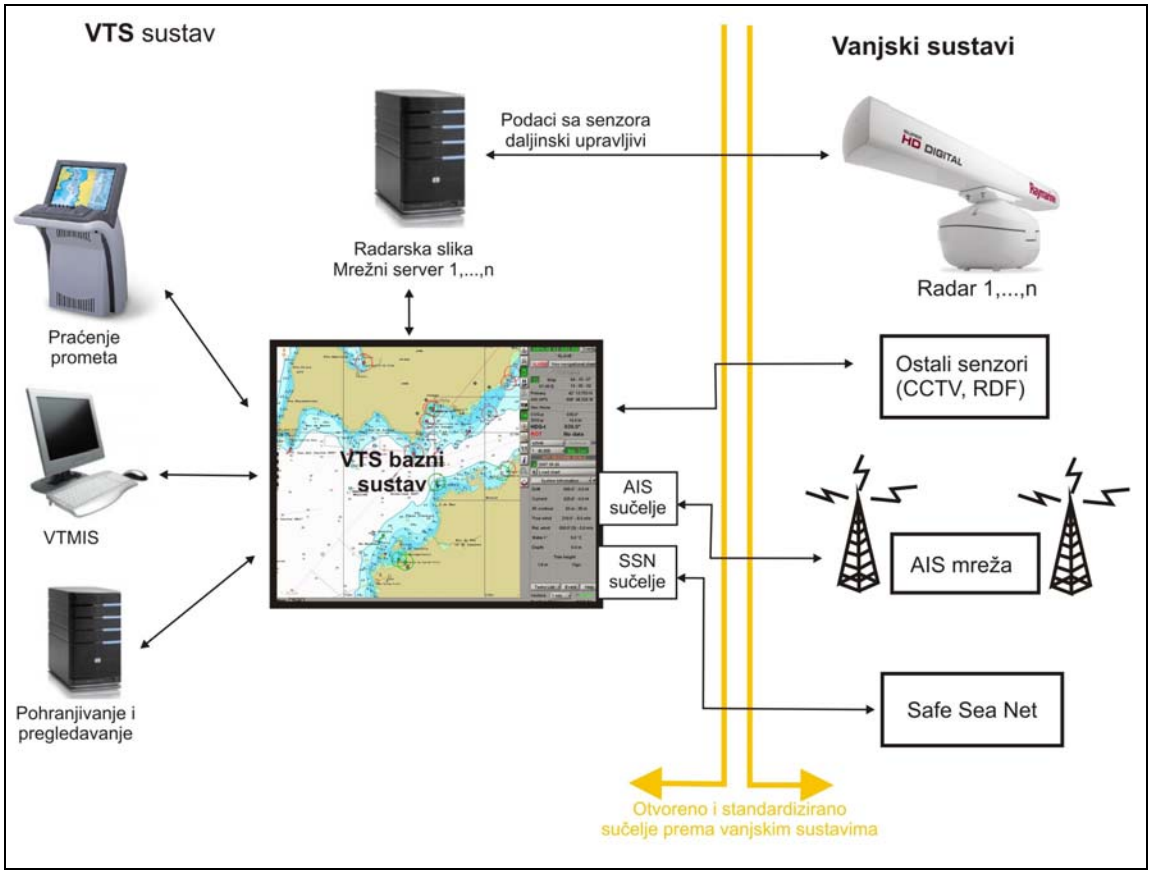
- prikupljanje podataka o pomorskim objektima i pomorskom prometu,
- davanje podataka pomorskim objektima,
- davanje plovidbenih savjeta i podrške u plovidbi pomorskim objektima,
- organizaciju plovidbe i upravljanje pomorskim prometom.

3.2.2 Osnovne sastavnice obalnih sustava nadzora

Za izvođenje poslova nadzora i upravljanja pomorskim prometom važno je da sustav ima mogućost stvaranja, primanja, obrađivanja i odašiljanja nužno potrebnih informacija. Uspješnost funkcioniranja sustava bazira se na konstantnom posjedovanju trenutačnih informacija o stanju pomorskog prometa na plovnome putu, kao i o stanju samog plovnog puta. VTS se smatra kombinacijom softverskih aplikacija, te hardverske podrške u obliku sustava i senzora koji omogućavaju visoko pouzdan nadzor prometa.[61]

[60] http://narodne-novine.nn.hr

[61] Government of Flanders, Agency for Maritime service and Coast Shipping Assistence Division, MRCC&VTS funcionalities Today&Tomorrow, White Paper Belgium



Slika 6: VTS komponente

Izvor: autor prema predlošku u http://login.safetyatsea.se

Prikupljanje informacija izvodi se putem radara, AIS-a, CCTV, VHF sustava, međusobnom komunikacijom između VTS operatora i brodova u nadziranom području te vizualnim nadzorom u uvjetima povoljnih meteoroloških prilika. Prikupljanjem informacija[62] AIS-om uvelike se smanjila potreba za dodatnim verbalnim komuniciranjem između VTS operatora i brodova, što je olakšalo i arhiviranje podataka pošto se podaci s brodova prikupljaju u digitalnom obliku.

Ova karakteristika AIS sustava[63] značajna je pri uporabi uređaja u VTS područjima u kojima se može očekivati velika gustoća pomorskog prometa. Vrijeme emitiranja na radiokanalu podijeljeno je u vremenske jedinice jednakih razmjera, čije se

[62] Z. Ou, J. Zhu, AIS Database Powerwd by GIS Technology for Maritime Safety and Security, The Journal of Navigation (2008.), 61.

[63] G.Guliano, Shipboard Automatic Identification System Display, Transportation Reasrch Bord, Washington D.C. 2003.

veličine sinkroniziraju pomoću GPS vremenskog signala. Veličina vremenske jedinice koja se dodjeljuje pojedinom brodu ovisi o brzini i navigacijskom statusu svakog pojedinog broda. Takvo dijeljenje vremenskih jedinica izvodi se samoorganizirano pa se cijeli protokol naziva samoorganizirajući vremenski podijeljeni višestruki pristup (SOTDMA[64]).

Pored samostalnog i kontinuiranog odašiljanja (SOTDMA), dodatni načini su:

- dodijeljeni način odašiljanja (eng. *Assigned Mode*),
- upravljani način odašiljanja (eng. *Polled Mode*).

Kod dodijeljenog načina komuniciranja odgovarajuće opremljena obalna stanica preuzima odgovornost za sve AIS komunikacije u jednom području te dodjeljuje vremenske intervale za odašiljanje pojedinim AIS brodskim stanicama. Ovakav se način komuniciranja primjenjuje u područjima gustog prometa, a brodska AIS stanica vraća se u samostalni način rada nakon intervala od četiri do osam minuta.

Kod upravljanog načina komuniciranja nadležna uprava za promet zahtijeva određene informacije neposredno od AIS stanice. Primjerice, u slučaju statičkih podataka, interval osvježavanje samostalnog načina odašiljanja jest šest minuta, međutim VTS može zahtijevati ove informacije čim brod uđe u domet AIS-a bez čekanja od šest minuta, što ne zahtijeva dodatne akcije od strane operatora brodske AIS stanice.

Još jedna od prednosti korištenja AIS uređaja[65] kod VTS sustava je mogućnost postavljanja AIS AtoN[66]. Pri grafičkom prikazu AIS informacija, kod primjerice označavanja pozicije plutače, AIS AtoN je prikazan simbolom oblika romba s prekriženim linijama na mjestu pozicije. Ukoliko AIS nije postavljen na AtoN-u, nego na određenoj udaljenosti (npr. na kopnu), simbol je crvene boje, a takvi AtoN naziva se sintetički (eng. *synthetic*), to je ekonomičnija solucija od postavljanja AIS na AtoN (simbol plave boje). VTS sustavima ostavlja se mogućnost postavljanja virtualnih plutača koje naznačuju sigurne prolaze ili označavaju novonastala opasna područja (npr.

[64] SOTDMA - *Self Organizing Time Division Multiple Access*
[65] www.dft.gov.uk
[66] AtoN - *Aids to Navigation*

nasukane brodove). Na ekranu AIS brodske stanice prikazuje se plutača iako ona fizički ne postoji, a simbol virtualnog AIS AtoN-a sadrži oznaku "V" ispod prekriženih linija.



Simbol AIS AtoN postavljenog na definiranoj poziciji: simbol oblika romba, plave boje, s prekriženim linijama na mjestu pozicije



Simbol kada AIS AtoN nije postavljen na definiranoj poziciji nego na određenoj udaljenosti: simbol oblika romba, crvene boje, s prekriženim linijama na mjestu pozicije, naziva se sintetički (eng. *synthetic*)



Simbol virtualnog AIS AtoN-a sadrži oznaku "V" ispod prekriženih linija

Slika 7: AIS AtoN

Izvor: www.trinityhouse.co.uk

Prikupljanje podataka putem radarskih sustava jedini je autonoman način (uz video nadzor pri manjim udaljenostima te povoljnim meteorološkim prilikama) prikupljanja podataka o prometu na promatranom području. Pošto radarski sustavi detektiranje objekata baziraju na prihvaćanju odbijenih elektromagnetskih valova[67] odaslanih sa svojih antenskih sustava, takvi podaci ne ovise o sudjelovanju detektiranih ciljeva. Svi elektromagnetski valovi prostiru se brzinom svjetlosti[68], čime se podaci o promatranom području dobivaju gotovo trenutno, a osvježavaju se ovisno o brzini okretanja antene.

[67] Elektromagnetski val je osciliranje električnog i magnetskog polja određenom frekvencijom *(f)*, a time i valnom dužinom *(λ)*, povezanih relacijom $c = f \times \lambda$, gdje je c brzina prostiranja valova; Grupa autora; Terestrička i elektronska navigacija; Republički hidrografski institut – Split, 1986; Split; str. 628.

[68] c = 299.792,5 x 10^3 m/s u vakuumu

Sustav radarskog nadzora u VTS područjima najčešće se sastoji od lanca daljinski upravljanih radarskih uređaja. Time se omogućava kvalitetnije nadziranje promatranog područja, pogotovo zbog nemogućnosti radara da otkriva objekte iza fizičkih prepreka na plovnome putu (otoci, poluotoci, rtovi itd.). Uređaji su spojeni mikrovalovima ili optičkim kabelima s VTS središnjicom, gdje se prikazivanje prikupljenih podataka vrši na više pojedinačnih zaslona, radarskih ili ECDIS[69] uređaja.

Današnji VTS radarski sustavi imaju mogućnost praćenja, obrađivanja, istovremenog prikazivanja i neprekidnog osvježavanja informacija za neograničeni broj ciljeva[70]. Osnovna razlika između brodskih ARPA navigacijskih radara i VTS radarskih sustava je što VTS radarski sustavi imaju mogućnost simuliranja učinaka plovidbe dva proizvoljno odabrana cilja u području plovnoga puta[71] (brodski simuliraju samo u odnosu na vlastiti brod), što uvelike olakšava upravljanje plovidbom od strane VTS operatora.

Točnost u otkrivanju i prikazivanju objekata kod VTS radara značajno je kvalitetnija od brodskih navigacijskih radara. Te vrijednosti[72] za male objekte brzine deset do dvadeset čvorova na pet milja udaljenosti koristeći deset centimetarsko (X-band) područje frekvencija VTS radara s kratkim iznose:

- za udaljenost ± 10 m
- za azimut ± 0.4°
- za kurs ± 2.0°
- za brzinu ± 0.8 čv.

Za nadziranje pojedinih dijelova plovnog puta osim radarskih i AIS uređaja koriste se i sredstva video nadzora. Ovakvim sredstvima u pravilu se nadziru bliža obalna područja, područja prostora same luke, stanje lučkih vezova, udaljeni terminali nad kojima ne postoji neposredna vizualna kontrola iz VTS centra, itd. Ovakvi vizualni podaci nadopunjuju podatke prikupljene pomoću AIS uređaja te služe za prikazivanje

[69] Sustav elektroničkih navigacijskih karata; ECDIS – *Electronic Display and Information System*
[70] www.transas.com
[71] G.P.Smeaton, F.P.Coenen, Developing an Intelligent Marine Navigation System, Computing and Control Engineering Journal, 1(2), 1990.
[72] Technical and Maintenance Manual, VET5070, VTS Extractor and Tracker, 2006 KONGSBERG NORCONTROL IT

cjelokupnog područja i svih plovila koja nemaju AIS uređaje. Pri videonadzoru upotrebljavaju se kamere koje mogu pratiti i nadzirati objekte za danjeg svjetla i infra crvene kamere koje mogu izvoditi nadzor i u noćnim uvjetima te u uvjetima slabe vidljivosti, dok je upravljanje kamerom automatsko ili manualno od strane operatora. Osim toga digitalne kamere namijenjene nadzoru pomorske plovidbe pružaju mogućnost detekcije pokreta (eng. *Video Motion Detection*) ili softverskog pojačanja pozadinskog svjetla, što olakšava otkrivanje i praćenje brodova u noćnim uvjetima.

Za stvaranje potpune slike o nadziranom području od iznimnog značaja za obalne sustave nadzora je i mogućnost prikupljanja meteoroloških i oceanoloških podataka. Podaci se prikupljaju na razne načine od općih meteorološko-oceanoloških prognoza vremena, najčešće državnih meteoroloških zavoda, ili s internih sustava prikupljanja navedenih podataka.

Na području Republike Hrvatske primjerice temeljna ustanova za meteorologiju i hidrologiju je Državni hidrometeorološki zavod - DHMZ[73]. Temeljna djelatnost DHMZ-a su meteorološka motrenja (mjerenja i opažanja), prijenos podataka i njihova daljnja obrada. Prognoza vremena je jedna od aktivnosti DHMZ-a po kojoj je meteorološka služba prepoznatljiva u javnosti. Prema duljini prognostičkog razdoblja prognoze vremena mogu se podijeliti u nekoliko skupina: vrlo kratkoročne (do 12 sati; eng. *nowcasting* do 3 sata), kratkoročne (do tri dana unaprijed), srednjoročne (do deset dana unaprijed), dugoročne (dulje od deset dana, mjesečne i sezonske). U sklopu Zavoda djeluje i pomorska meteorološka služba, a unutar te službe odvijaju se dvije osnovne djelatnosti: motrenje stanja vremena i mora na Jadranu i u priobalju te prognoza tih stanja.

Obalni sustavi nadzora za skupljanje meteorološko-hidroloških podataka imaju[74] bazne obalne meteorološke postaje kao i meteorološko-oceanološke plutače postavljene u području nadzora. Senzori sa takvih sustava[75] mogu vrlo precizno mjeriti pojedine parametre kao što su:

[73] http://meteo.hr/

[74] Lučki kontrolni centar luke Rijeka posjeduje obalnu meteorološku postaju, hidro-meteorološku plutaču na području Riječkog zaljeva kao i sustav za objedinjavanje, prikaz, analiziranje i pohranjivanje sakupljenih podataka

[75] Meteorological and Hydrological Sensor for Dana Buoy and Automatic Weather Station, www.aadi.no

- smjer vjetra – točnost određivanja ± 5°,
- brzina vjetra – točnost ± 2% od očitanja,
- stanje vidljivosti – točnost ± 10%,
- visina valova – određivanje signifikantne visine vala (1/3 H) s točnosti od ± 15%,
- brzina i smjer morske struje – točnost očitanja brzine ± 3 cm/s, točnost smjera ± 5°.

Za prikazivanje podataka o stanju prometa na promatranim dijelovima plovnoga puta u dijelu pod nadzorom VTS-a često se koristi osim radarske panoramske slike i sustav elektronskih navigacijskih karata. Postavljanje podataka na elektronsku kartu izvršava se veoma lako pošto su svi prikupljeni podaci s radara, AIS uređaja, meteo senzora itd. u elektronskom digitalnom obliku što olakšava prenošenje i razmjenu podataka između uređaja. Elektronske karte vektorskog tipa, kao nova tehnologija bitno poboljšavaju navigacijsku sigurnost nadziranog područja te operativnu uspješnost sustava nadzora i upravljanja pomorskom plovidbom. Organizacija podataka na vektorskim kartama temelji se na točnom utvrđivanju koordinata točaka i veza među njima, tako da tvore geometrijske figure u obliku točaka, linija ili područja. Prednost prikazivanja prikupljenih podataka na elektronskim kartama očituje se u mogućnosti stalnog prikazivanja objekata u prostoru, stvarnog i detaljnog prikazivanja obalnog područja, mogućnosti povećavanja (zoom) određenoga područja neovisno o njegovom smještaju u prostoru (radarom se može povećano prikazati samo područja na manjoj udaljenosti), konstantnom točnom prikazivanju granica područja nadzora ili granica obalne države (unutrašnje morske vode, teritorijalno more, ekološko ribolovni pojas, gospodarski pojas) i slično.

Osim prikupljanja i prikazivanja podataka VTS centar mora imati mogućnost obrade prikupljanih podatka kao i mogućnost njihovog pohranjivanja. Obradom podataka poboljšava se djelotvornost upravljanja pomorskim prometom u području VTS nadzora, čime se neposredno utječe na smanjivanje vjerojatnosti nastajanja pomorskih nezgoda kao i na povećanje uspješnosti pomorskog prometa. Današnjim sustavima za pohranjivanje podataka moguće je sačuvati sve podatake prikupljene u određenom VTS području u razdoblju od protekla tri mjeseca do godinu dana, s mogućnošću njihove

pohrane i na ostale memorijske medije. Pohranjeni podaci koriste se u slučajevima traganja i spašavanja, prilikom određivanja početnog područja pretraživanja, te u slučajevima pomorskih nezgoda, kada se podaci koriste kao dokazni materijal. Prikupljeni i pohranjeni podaci mogu se rabiti i u slučajevima osposobljavanja VTS kadrova simuliranjem raznih situacija, kao i u svrhu stalnog unapređivanja sustava nadzora i upravljanja pomorskim prometom na promatranom području.

3.2.3 Dosadašnja istraživanja i mogućnosti obalnih sustava nadzora

Trenutno VTS sustavi nemaju dovoljno tehničkih mogućnosti nadzora da u potpunosti mogu zadržati sigurnost u nadziranom području. Bez kvalitetnih sustava uzbunjivanja desile su se mnoge pomorske nezgode a da operatori u obalnim centrima nadzora nisu to ni primijetili[76].

Nadzor i upravljanje pomorskim prometom od strane obalnih sustava trenutno se izvodi na određenim manjim morskim područjima u svijetu. Međutim rastom pomorskog prometa te sve većim sigurnosnim, ali i ekološkim zahtjevima postavljaju se novi izazovi pred spomenute sustave. Jedan od temeljnih zahtjeva jest pravovremeno otkrivanje potencijalno opasnih situacija na sve većim područjima nadzora u budućnosti, što će operatorima ostavljati dovoljno vremena za uključivanje u sustav sigurnosti i organizacije plovidbe.

Organizacija nadzora i upravljanja pomorskim prometom na plovnim putovima obrađena je u većem broju znanstvene i stručne literature. Dosadašnja istraživanja, u domaćoj i stranoj, znanstvenoj i stručnoj literaturi, uglavnom se bave segmentom pojedinačnog slučaja izbjegavanja sudara na moru, kao i načinom određivanja optimalnog plovidbenog pravca na pojedinom plovnom putu. Tim istraživanjima rijetko se obrađuje mogućnost predviđanja kretanja brodova, a time i mogućnost otkrivanja potencijalnih opasnosti značajno unaprijed, kao i lakše planiranje i odlučivanje u otklanjanju istih.

[76] S.L.Kao, K.T.Lee, K.Y. Chang, M.D.Ko, A Fuzzy Logic Method foe Collision Avoidance in Vessel Traffic Service, The Journal of Navigation (2007.), 60.

Tijekom izrade ove doktorske disertacije među ostalim koristile su se spoznaje i mogućnosti trenutno ugrađenih obalnih sustava nadzora i to sustava VTS Transas 4000[77] (simulator) te spoznaje s Konsberg-Norcontrol VTS sustava ugrađenog od strane Lučke uprave Rijeka za nadzor Riječkog zaljeva[78].

Wlodzimierz Filipowicz (2004.) u članku „*Vessel Traffic Control Problems*“[79] prikazuje način određivanja područja (sektora) povećane opasnosti, u kojima je potrebno pobliže pratiti kretanje brodova (područja križanja kursova u shemama odvojene plovidbe), te načine definiranja i nadziranja kapaciteta pojedinog sektora, u odnosu na dodijeljene koeficijente opasnosti svakom pojedinom brodu. Temeljem tih pokazatelja autor definira granične količine prometa na pojedinom području plovidbe, dok vrijeme dolaska i odlaska broda u/iz pojedinog područja definira kao slučajne (*eng. fuzzy*) vrijednosti dobivene određenom razdiobom. Broj dozvoljenih brodova u pojedinom području definira se temeljem težinskih koeficijenata svakoga broda, a vezano uz mogući utjecaj istih na okoliš u slučaju nezgode. Samim tim cjelokupan rad zasniva se na nadzoru područja, u kojem se definiraju podpodručja od posebne opasnosti, te se u njima ograničava mogući broj brodova u istome trenutku, a brodovima se dodjeljuju nove plovidbene rute u područjima s manjom gustoćom prometa.

Sheng-Long Kao, Kuo-Tien Lee, Ki-Yin Chang i Min-Der Ko (2007.) u članku pod nazivom “*A Fuzzy Logic Method for Collision Avoidance in Vessel Traffic Service*[80]“ definirali su novu metodu otkrivanja sudarnih situacija u nadziranom području na bazi neizrazite logike. U predloženom modelu alarm otkrivanja potencijalnih sudarnih situacija aktivira se preklapanjem zaštitnih kružnica, dvaju različitih brodova. U radu je opisan i način definiranja veličine (radijus) kružnice za svaki pojedini brod u odnosu na veličinu i brzinu broda te vremenske prilike na plovnome putu. Sudarne situacije otkrivaju se na temelju pravocrtne udaljenosti te kuta

[77] Autor posjeduje certifikat „*Operational instructor – Training Course for the folowing products: NTPro 4000 ver.4.62, TGS 4100 ver.6.1*“ koji dokazuje osposobljenost za rukovanje simulatorima Transas NTPRO i VTS 4000.

[78] Autor je u sklopu istraživanja za potrebe doktorske disertacije aktivno prisustvovao osposobljavanju djelatnika Lučke uprave Rijeka za rad na VTS sustav nadzora luke Rijeka, te nakon polaganja stekao certifikat „*Certificate of Competency – VOC 5060 Operator Training Course Port of Rijeka VTMIS*“

[79] The Journal of Navigation (2004.), 57.

[80] The Journal of Navigation (2007.), 60.

pravca koji prolazi kroz sjecišta formirana preklapanjem dviju zaštitnih kružnica. Cjelokupan model bazira se na neizrazitoj logici, bilo kod definiranja zaštitnih kružnica ili određivanja sudarnih situacija, ali cjelokupni izračuni baziraju se na trenutno prikupljenim podacima o kursu i brzini broda što je vrlo slično ARPA sustavima. Jedina prednost prema ARPA sustava je mogućnost automatskog i sustavnog praćenja svih objekata u području nadzora, te otkrivanja sudarnih situacija.

Roman Smierchalski (1999.) u članku „*Evolutionary trajectory planning of ships in navigation traffic areas*[81]“ prikazuje verziju brodskog sustava evolutivnog planiranja trajektorije broda uvođenjem pojedinačnih promjena brzine broda na pojedinom segmentu plovidbenog pothvata. Unutar rada autor opisuje način procjenjivanja sigurne trajektorije pojedinog broda upotrebom različitih operatora (izbjegavanje fiksnih prepreka te sudara na moru) uvođenjem operacije mijenjanja brzine broda po pojedinim segmentima plovidbenog puta. Planiranje sigurne trajektorije broda dijeli se prvenstveno u dva dijela „*off-line*“ te „*on-line*“ planiranje. Kod „*off-line*“ planiranje trajektorije se procjenjuje na temelju pretpostavke da će svi okolni brodovi zadržati trenutni smjer i brzinu, dok se kod „*on-line*“ planiranja na temelju nadzornih uređaja (radara), otkriva odstupanja od početnih tvrdnji, te se planirana trajektorija mijenja. Kod izvedbe cjelokupnog sustava rješavaju se problemi krajnjih sudarnih situacija, gdje se istima smatra pojavljivanje drugog broda 5 do 8 nautičkih milja ispred pramca broda, te 2 do 4 nautičke milje iza broda.

Tomas Statheros, Gareth Howells i Klaus McDonald-Maier (2008.) u članku „*Autonomus Ship collision Avoidance Navigation Concepts, Technologies and Techniques*[82]“ ocjenjuju djelotvornost sustava za izbjegavanje sudara na moru,te prikazuju teorijske osnove kod uspostave različitih koncepata istog sustava. Definiraju se tri različita pristupa rješavanju problema izbjegavanja sudara na moru i to: matematički modeli i algoritmi, računalni – evolutivni algoritmi, neuronske mreže, neizrazita logika te hibridni samostalni navigacijski sustavi. Primjećuje se da gotovo u svim dosadašnjim istraživanjima hidrometeorološke prilike oko broda nisu uzete u obzir prilikom izrade modela izbjegavanja sudara na moru. Autori zaključuju da će se umjetni

[81] Journal of Marine Science and Technology,1999.,4

[82] The Journal of Navigation (2008.), 61.

navigacijski sustavi moći koristiti kao primarni u pomorskoj navigaciji tek kada takvi „pametni“ sustavi budu imali manje dvojbe nego što ih imaju navigacijski časnici.

SESAR konzorcij u dokumentu pod imenom „*The ATM Target Concept*[83]“ (2007.) razvija ideju upravljanja avionskim prometom (*ATM – Air Traffic Management*) na bazi 4D trajektorije (3 prostorne dimenzije + vrijeme). Unutar ovog dokumenta autori pokušavaju definirati sustav u kojem će svaki pojedini let u krajnosti biti izveden što je moguće sličnije sa početnom planiranju, dok je uloga sustava nadzora i upravljanja sigurna izvedba leta. Temeljno kod ATM koncepta je centraliziranje bazirano na:

- snažnoj mreži koja omogućava kvalitetnu izmjenu informacija,
- novom komunikacijskom sustavu za izmjenu informacija (zrak-zrak, zemlja-zemlja i zemlja-zrak),
- povećanju pouzdanosti avionskih i zemaljskih automatskih sustava podrške.

ATM koncept operativnosti za 2020. godinu predstavlja promjenu s obrasca nadzora zračnog prostora na nadzor zasebne trajektorije, što znači novi pristup u upravljanu zračnim prostorom. Projektom je predviđeno da i dalje čovjek (s primjerenim znanjem i vještinama) čini jezgru budućeg Europskog ATM sustava, međutim uvažavajući povećanje zračnog prometa očekuje se nova unaprijeđena razina automatske podrške u odlučivanju. Najznačajniji doprinos sigurnosti zračnog prometa proizlazi iz boljeg i točnijeg planiranja, što će rezultirati povećanjem otkrivanja opasnih situacija te automatskim otkrivanjem sudarnih situacija značajno prije nego što to omogućuju današnji sustavi nadzora. ATM koncept nadzora putovanja povećavamogućnost nadzora (broj aviona u zadanom području), smanjivanjem prosječnog rada operatora po pojedinom letu, smanjujući potrebu za taktičkom intervencijom u planu putovanja. Svaki planirani let izvodi se prema unaprijed definiranom putovanju sa tri prostorne te vremenskom dimenzijom. Putovanje se stalno nadzire[84], a dobiveni podaci se uspoređuju s planom putovanja čime se otkrivaju potencijalna odstupanja, dok se njihovo ispravljanje unaprijed provjerava uzimajući u obzir cjelokupno stanje zračnog prostora.

[83] SESAR consortium, DLM – 0612-001-02-00a – September 2007.

[84] M.Porretta, W.schuster, A.Majumdar, W.Ochieng, *Strategic Conflict Detection and Resolution Using Aircraft Intent Information*, The Journal of Navigation (2010.), 63.

Za povećanje sigurnosti u području nadzora obalnih sustava od iznimne je važnosti sustav detektiranja potencijalno opasnih situacija[85] (*eng. Target Warnings*), koji kao dio VTS sustava omogućava automatsko otkrivanje opasnosti. Današnji sustavi detektiranja potencijalno opasnih situacija koji se definiraju u sklopu postojećih VTS sustava, detektiranje takvih situacija baziraju na procjenama i predikcijama kretanja objekata dobivenih na temelju podataka iz vlastitih senzora te podataka o definiranim opasnim područjima (npr. zabranjena, zaštićena područja itd.). U pogledu otkrivanja opasnih situacija te zbog povreda valjanih pravila i propisa[86], analiziraju se sljedeće situacije:

- objekt prelazi aktivnu sigurnosnu liniju (*eng. guard line conflict*),
- objekt ulazi u aktivni zaštitni krug ili zaštitno područje (*eng. guard area conflict*),
- objekt napušta plutaču (*eng. buoy conflict*),
- objekt prekoračuje brzinu kretanja definiranu u pojedinom području (*eng. speed limit*),
- objekt ulazi u zabranjeno ili ograničeno područje (*eng. prohibited/restricted area*),
- objekt ulazi u posebno područje podređeno drugom objektu (*eng. area collision conflict*),
- kada su vrijednosti vremena i udaljenosti do najmanje udaljenosti koja će se ostvariti između dva broda (CPA) manje od definiranih vrijednosti (*eng. collision conflict*) i
- kada objekt prilazi aktivnom specijalno definiranom području s namjerom ulaska (*eng. area conflict warning*).

Analizirajući prije navedene VTS sustave tvrtki Konsberg - Norkontrol i Transas utvrđeno je da oni imaju i dodatne sustave upozorenja o mogućim opasnim situacijama u nadziranom području, kao što su primjerice:

[85] *Operation Manual*, VOC 5060 ENC, VTS Operator Workstation, Konsberg – Norkontrol IT AS
[86] Government of Flanders, Agency for Maritime service and Coast Shipping Assistence Division, MRCC&VTS funcionalities Today&Tomorrow, White Paper, Belgium

- objekt napušta pomorski prolaz (objekt izlazi iz pomorskog prolaza koji mu je bio dodijeljen pri ulasku),
- objekt skreće s kursa u području pomorskog prolaza (objekt mijenja kurs u odnosu na dodijeljeni kurs u području pomorskog prolaza),
- minimalna udaljenost između objekata u području pomorskog prolaza je manja od dozvoljene,
- objekt se kreće krivom stanom zone odvajanja,
- skretanje s planiranog putovanja (objekt prelazi dodijeljene granice odstupanja od zadanog kursa ili udaljenosti).

Kod navedenih je sustava utvrđena analogija otkrivanja opasnosti bazirana na mogućnosti uvođenja općih mjera zaštite za pojedino područje, te nadziranje kršenja istih od strane brodova u sustavu. Ovakva analogija nedovoljno kvalitetno uzima u obzir raznolikost različitih vrsta brodova s obzirom na dimenzije, brzinu, teret, itd. Međutim, do sada nije bilo radova koji bi otkrivanje potencijalnih opasnosti od strane obalnih sustava nadzora bazirali na zasebnom nadzoru plovidbe svakog pojedinog broda, a ne na nadzoru područja, i to na bazi planiranja kretanja brodova značajno unaprijed.

Kroz ovu doktorsku disertaciju nastavlja se istraživanje započeto u sklopu izrade magistarskog rada pod naslovom «Prijedlog ustroja sustava nadzora i upravljanja plovidbom Jadranskim morem i prilaznim plovnim putovima do hrvatskih luka»[87] izrađenog pod mentorstvom dr.sc. Pavla Komadine, red. prof. Pomorskog fakulteta u Rijeci. Unutar magistarskog rada predstavljena su, na razini koncepta, dva modela planiranja plovidbenih pravaca od strane VTS operatora za svaki pojedini brod u nadziranom području. Kod prvog modela definiran je konceptualni prikaz planiranja plovidbenog pravca broda u području VTS-a prije dolaska broda, dok je drugim modelom definiran konceptualni algoritamski prikaz nadzora izvođenja pomorske plovidbe planirane prema prije navedenom modelu planiranja plovidbe. Upravo se za slanje plana putovanja svih brodova u nadziranom području može koristiti AIS sustav[88], gdje se u okviru podataka o plovidbi može slati i podatke o planiranom putovanju

[87] Magistarski rad 25.05.2005. uspješno je obranjen na Pomorskom fakultetu u Rijeci

[88] A.Harati-Mokhtari, Automatic Identification System (AIS): Dana Reability and Human Error Implications, The Journal of Navigation (2007.) 60

(poruka 17 u AIS protokolu). Kako trenutno slanje ovih podataka nije obvezatno (podatak se daje prema odluci zapovjednika) podaci se vrlo rijetko odašilju s brodskih AIS postaja.

Intervjuiranjem iskusnih VTS operatora[89] na temu kritičnih situacija kod nadzora pomorskog prometa, a u skladu s mogućim unapređivanjem pomorskog prometa došlo se do nekoliko zaključaka:

- u slučaju velikog intenziteta prometa, gotovo je nemoguće manualno otkrivanje svih neuobičajenih situacija u nadziranom području,
- poznavanje plana putovanja broda omogućilo bi rano otkrivanje potencijalno opasnih situacija,
- izazov je izgraditi sustav koji će samo upozoravati operatora na potencijalno opasane situacije.

U istraženoj literaturi, prevladavaju radovi koji prilaze problemu izbjegavanja sudara na moru sa stajališta broda, najčešće bazirani na vrijednosti najmanje udaljenosti koja će se ostvariti između dva broda (CPA) te vremena kada će se to dogoditi (TCPA). Tako definirani modeli kao ulazne parametre najčešće uzimaju dostupne podatke koje omogućuju različiti sustavi kao što su ARPA i AIS, a predviđanje opasnih situacija računaju na temelju trenutnih stanja brodova (trenutna brzina i kurs pojedinog broda), ne uzimajući u obzir moguća skretanja broda u skladu s planom putovanja.

Navedeni razlozi bili su povod da se u ovoj disertaciji obradi tematika vezana uz definiranje modela ranog otkrivanja opasnosti kao doprinos učinkovitosti sustava nadzora i upravljanja pomorskim prometom.

Mogućnost automatskog detektiranja potencijalnih opasnosti na promatranom plovnom putu uvelike će olakšati rad VTS operatora, naročito ako se podaci o predviđenim opasnim situacijama detektiraju «značajno» unaprijed. To omogućava kvalitetniji nadzor većeg morskog područja što operateru ostavlja dovoljno vremena za interakciju u sustav plovidbe, i otklanjanje potencijalnih opasnosti. Uvođenje ovakvog modela ranog otkrivanja opasnosti u postojeće VTS sustave neće otkloniti odgovornost operatora da konstantno i sustavno nadzire promatrano područje.

[89] Baltic Sea Safety - BaSSy summary, www.surship.eu

U svezi s odabranim problemom i predmetom istraživanja postavljena je sljedeća radna hipoteza:

analizom trenutnih sustava nadzora i upravljanja pomorskim prometom te podataka koji se izmjenjuju između broda i obale moguće je utvrditi sustav koji će na temelju sveobuhvatno prihvaćenih i obrađenih podataka svakog broda odvojeno, a sagledavajući plovno područje u cjelini, te predviđanjem podataka o plovidbi brodova u vremenu, imati mogućnost sa zadovoljavajućom točnosti detektirati moguće opasne situacije značajno unaprijed čime će se unaprijediti nadzor i upravljanje pomorskim prometom.

4 MODEL RANOG OTKRIVANJA OPASNOSTI

Rast svjetskog gospodarstva, kao i vanjskotrgovinske razmjene dovodi do povećanja prometa roba, posebice prometa roba morem, koje se smatra jednim od najekonomičnijih načina prijevoza[90]. Ovakav porast prijevoza roba morem nameće konstantno povećanje broja brodova, rast veličina (sve su češći brodovi koji premašuju 300 pa i 400 metara duljine) i brzine brodova. Sve ovo dovodi do potrebe za učinkovitijim nadzorom, kako u pogledu sigurnosti plovidbe, zaštite ljudskih života i imovine na moru, te okoliša posebice morskog tako i sve veće potrebe za sigurnosnom zaštitom (*security*) pomorskog prometa uopće.

Početkom 2009. godine ukupan broj brodova uključenih u pomorski transport iznosio je 46 155 brodova[91] s približno 1,15 milijardi tona nosivosti, te kapacitetom od 1,45 milijuna TEU[92] jedinica. Od ukupnog broja na tankersku flotu otpada 11 925 tankera s 463,3 milijuna tona nosivosti, od čega je 43,5 milijuna tona izgrađeno 2008., a najbrži rast u posljednjih nekoliko godina, od približno 18% godišnje, bilježe LNG[93] brodovi.

Dosadašnje stanje nadzora prikazano u prijašnjim poglavljima zasnovano je na nadzoru određenog najčešće manjeg područja različitim dostupnim sustavima nadzora (radar, AIS, CCTV, …). Nadzor definiranih područja provodi se od strane iskusnih operatora koji u nadziranim područjima postavljaju i određuju opća ograničenja temeljem kojih detektiraju potencijalne opasnosti o kojima izvješćuju brodove. Ovakav način nadzora jednostavno ne dozvoljava tj. ne omogućava pregledavanje i nadzor velikih morskih područja, posebice područja s velikom gustoćom pomorskog prometa zbog velike zauzetosti operatora u nadziranju svekolikih parametara. Također tako postavljena opća ograničenja neadekvatno odgovaraju na današnje potrebe nadzora s obzirom na stanje različito strukturiranog pomorskog prometa prema dimenzijama i brzinama brodova u pomorskoj plovidbi.

---

[90] Do 2020 godine očekuje se 100% povećanje prijevoza suhih tereta morem

[91] ISL Shipping Statistics and Market Review, issue 1/2: World Merchant Fleet; Issue 3: World Tanker Market; 2009.

[92] TEU – Twenty-foot equivalent unit – volumen koji zauzima jedan standardni 20 stopni kontejner, jedinica mjere za kapacitet kontejnerskih brodova/terminala

[93] LNG – Liquifide natural gas – Ukapljeni prirodni plin

Poboljšana sredstva nadzora i komunikacije (izmjena informacija između brodova te broda i obale), kao i mogućnost sagledavanja cjelokupnog plovnog područja dovode do zaključka da obalni sustavi nadzora imaju mogućnost boljeg pregleda pomorskog prometa od sudionika u pomorskom prometu na brodovima. Samim tim u današnje vrijeme VTS operatori, na temelju svih prikupljenih i obrađenih informacija su u puno boljem položaju, u odnosu na zapovjednika te brodske časnike, da odluče što bi u konkretnoj situaciji trebalo učiniti.

Osnovna postavka sustava zasnovanog na nadzoru svakog broda zasebno te pojedinačnom predviđanju kretanja brodova jest u zasebnom pristupu nadzora putovanja svakog broda u nadziranom području, kako s obzirom na interakciju broda s okolinom (nasukanje) tako i na međusobnu interakciju svih plovila u sustavu (sudar). Ovakav pristup u potpunosti se razlikuje od dosadašnjeg, nadzora pomorske plovidbe od strane obalnih sustava koji se baziraju na nadzoru područja, i imaju svrhu nadopunjavanja istog.

Predloženi model ranog otkrivanja opasnosti kao doprinos obalnim sustavima nadzora pomorskog prometa može se načelno podijeliti u dva osnovna segmenta:

- rano otkrivanje opasnosti s obzirom na interakciju broda s okolinom
  - provjera plana putovanja svakog broda prije ulaska u sustav nadzora
  - praćenje i nadzor provođenja planiranog plana putovanja
- rano otkrivanje opasnosti kod međusobne interakcije brodova u nadziranom dijelu plovnog puta
  - dinamičko dodjeljivanje prostora u sustavu nadzora

4.1 Rano otkrivanje opasnosti s obzirom na interakciju broda s okolinom

Planiranje pomorske plovidbe svakog broda izvode navigacijski časnici pod nadzorom i u suglasnosti sa zapovjednikom broda kako je već navedeno u prijašnjim poglavljima. Prilikom spomenutog planiranja časnici se oslanjaju na njima dostupne informacije prikupljene tijekom pripreme planiranja putovanja. Putovanje se planira detaljno i to u svakom segmentu od mjesta odveza pa do mjesta priveza, uključujući i područja u kojima će se koristiti usluge peljara.

Iako ovakvi planovi putovanja u sebi sadrže mnoštvo informacija trenutno ne postoji obaveza da ih pregleda obalni sustav nadzora i upravljanja pomorskom plovidbom, pa čak i ako se dio putovanja izvodi u području koje je pod njihovim nadzorom.

4.1.1 Provjera plana putovanja svakog broda prije ulaska u sustav nadzora

Povijesno je naime sigurnost broda oduvijek bila odgovornost zapovjednika broda, pa tako i krajnju odgovornost za planiranje i izvođenje putovanja u konačnici snosi zapovjednik broda. U današnje vrijeme razvoja pomorstva te sve većeg rasta pomorskog prometa kao i njegove koncentracije na pojedinim plovnim područjima, a u trendu smanjivanja broja članova posade te povećanja opsega zaduženja časnika, dolazi do potrebe za nezavisnom provjerom plana putovanja. Takva se potreba posebno očituje u područjima s povećanom gustoćom pomorskog prometa, te posebno osjetljivim područjima, koja su najčešće pokrivena obalnim sustavima nadzora i upravljanja pomorskom plovidbom.

Iako je more na svojem većem dijelu plovno za sve brodove, ipak se na njemu stvaraju određeni plovni putovi. Takve plovne putove možemo smatrati svojevrsnim «morskim prometnicama», a najsličniji primjer su koridori u zračnome prometu. Obilježja pojedinog plovnog područja određena su pretežitim obilježjima plovnih putova koji prolaze tim plovnim područjem.

Prema tumačenju Konvencije Ujedinjenih naroda o pravu mora (1982.) valja razlikovati plovni put od plovidbenoga puta.[94] Plovni put je pojas mora kojim brodovi mogu sigurno ploviti, a plovidbeni je put dio plovnoga puta kojim brod zaista plovi.

Plovidbeni put može se definirati kao pojas mora u kome se normalno održava promet između dviju točaka na moru. Određivanje plovnoga puta na određenom morskom području proizlazi iz kompromisnog rješenja najkraće i najsigurnije spojnice koja povezuje točke na moru ili kopnu. U Republici Hrvatskoj utemeljena je pravna definicija plovnoga puta koja glasi: «Plovni put u unutrašnjim morskim vodama i u

[94] Pomorski Zbornik 23(1985.), Plovni i plovidbeni putovi na moru, Davorin Rudolf, 355-365

teritorijalnom moru Republike Hrvatske jest morski pojas dovoljno dubok i širok za sigurnu plovidbu plovnog objekta, koji je prema potrebi i obilježen.»[95]

Sa stajališta sigurnosti plovidbe plovni putovi mogu se podijeliti na obvezatne, preporučene, ne preporučene i zabranjene, a u pravnome smislu na nacionalne i međunarodne. Ono što izdvaja plovidbeni put od ostalog dijela mora jesu navigacijska pomagala tj. mogućnost određivanja položaja broda u svim uvjetima plovljenja u odnosu na postojeće opasnosti. Prema pravnoj definiciji u RH u objekte sigurnosti plovidbe na plovnome putu, pomoću kojih se može odrediti položaj broda, ubrajaju se: svjetionici, obalna svjetla, plutače i druge oznake, signalne postaje i radio postaje, optički, zvučni, električni, elektronski, radarski i drugi uređaji za sigurnu plovidbu. Temeljem Međunarodne konvencije o sustavu pomorskih oznaka iz 1980. godine, plovni putovi se obilježavaju po kombiniranom[96] lateralnom (bočnom) i kardinalnom (osnovnom) sustavu oznaka.

4.1.2 Konceptualni algoritam pregledavanja svakog putovanja

U područjima pod nadzorom obalnih sustava nadzora postoji potreba, ali i mogućnost, da se svako pojedino planirano putovanje broda, nezavisno i sustavno provjeri. Od obalnih sustava u budućnosti se očekuje pojedinačan pristup u nadzoru svakog planiranog putovanja. Uzimajući u obzir karakteristike broda te svojstva tereta koji se prevozi, meteorološke čimbenike, navigacijsku podršku na pojedinom segmentu plovnog puta kao i opće uvjete okoline utvrđuju se ograničenja koja se očituju u izradi matrice opasnosti za svako pojedino putovanje.

U segmentu provjere plana putovanja unaprijed, podaci iz matrice ulaznih podataka koriste se za određivanje minimalnih vrijednosti udaljenosti rute planiranog putovanja od fiksnih prepreka uzimajući u obzir različite segmente područja nadzora. Pojedinačnim pristupom u sagledavanju svakog pojedinog putovanja omogućava se određivanje optimalnih graničnih vrijednosti svakog putovanja s obzirom na karakteristike pojedinog broda (dimenzije, brzina, manevrabilnost, itd.), vrstu tereta, te specifičnosti pojedinog segmenta plovnog puta.

[95] Pomorski zakonik, N.N. br. 181., Zagreb 2004. sa izmjenama i dopunama N.N. 76/07, 146/08

[96] Postoje dva sustava označavanja plovnih putova: sustav IALA A i sustav IALA B.

Na odluku o minimalnoj dozvoljeno udaljenosti od fiksnih prepreka kod planiranja putovanja utjecat će i broj točaka okreta (Wp[97]), kao i veličine promjene smjera koje se očekuju na pojedinom okretu. Prilikom definiranja graničnih vrijednosti u obzir se uzimaju i svi utjecaji stanja plovnog puta, od meteoroloških i oceanoloških do statičkih i dinamičkih obilježja plovnoga puta.

Pojedinačnim pristupom provjere svakog putovanja omogućava se već kod planiranja putovanja da se rute brodova udaljavaju na, za obalnu državu, prihvatljive udaljenosti od fiksnih prepreka, čime se ostavlja dovoljno mogućnosti kod intervencija u slučaju izvanrednih okolnosti. Također pojedinačnim pristupom dodjeljivanja graničnih vrijednosti udaljenosti rute od fiksnih opasnosti svakom planiranom putovanju omogućava se lakše rješavanje potencijalno kritičnih situacija u budućnosti.

Dodjeljivanjem različitih graničnih vrijednosti postižu se primjerice veće udaljenosti plovidbenih pravaca od obale za velike brodove, brodove koji prevoze opasne terete, brodove smanjenih maneverskih sposobnosti, LNG, LPG brodove, itd. Unaprijed planiranim odmicanjem od obale omogućava se lakše otkrivanje potencijalnih opasnosti, pri prolasku broda nadziranim područjem, kao što su neplanirano skretanje s kursa, otkazivanje stroja ili kormilarskog uređaja.

Vrijednosti graničnih udaljenosti definirane su pojedinačno za određeni broj potpodručja u sustavu nadzora. Naime definiranjem potpodručja unutar sustava nadzora omogućava se stvaranje jedinstvenih zahtjeva s obzirom na karakteristike pojedinog segmenta područja nadzora. Stvaranje baze podataka, tj. definiranje krajnjih granica plovnog puta u nadziranom području, ostavlja se VTS operatorima koji s obzirom na specifična znanja i iskustva imaju mogućnost definirati optimalne vrijednosti. Takva bi baza sadržavala vrijednosti minimalnih udaljenosti od fiksnih prepreka na pojedinom segmentu plovnog puta uzimajući u obzir različite karakteristike brodova koji se namjeravaju prihvaćati, karakteristike tereta koji brodovi prevoze te njihov moguć utjecaj na okoliš u slučaju nezgoda.

Temeljem definirane matrice ulaznih podataka svakog pojedinog putovanja postoji mogućnost određivanja i detektiranja povrede, graničnih vrijednosti kod svakog unaprijed planiranog putovanja. Takva ograničenja očituju se prvenstveno u otkrivanju

[97] *Wp* – eng. Waypoint

grubih pogreški planiranja putovanja od strane časnika te zapovjednika broda. U takve se grube pogreške ubraja planiranje plovidbenog putovanja preblizu ili preko fiksnih ograničenja s obzirom na dubinu[98] (otoci, otočići, hridi, plićine, itd.) ili ne korištenje utvrđenih plovidbenih pravaca (zona odvojene plovidbe, preporučeni plovidbeni pravci) te slično. Ovakve se pogreške svrstavaju u grube pogreške kod planiranja putovanja pošto savjesnim korištenjem svih danas dostupnih informacija na brodovima koje zapovjednici/časnici imaju kod planiranja putovanja do ovakvih previda ne bi smjelo dolaziti.

Osim otkrivanja grubih pogrešaka u planiranju putovanja, koje su posljedica nestručnog planiranja, još je značajnija mogućnost otkrivanja potencijalno opasnih situacija kojih zapovjednici nisu mogli biti svjesni prilikom planiranja. Neke od takvih situacija su nasukanje ili potapanje broda u dijelu plovnog puta[99], akcije traganja i spašavanja ili vojne akcije na dijelu plovnog puta, tegljenje plutajućih objekata smanjenom brzinom plovnim putom[100], veće skupine ribarskih brodova u ribolovu[101] ili slične situacije.

Potapanje broda „Tricolor“ 14. prosinca 2002. u području Engleskog kanala je za posljedicu imalo dodatno oštećivanje dva broda u vrlo kratkom vremenu na podrtinu broda, a sve to u području pod nadzorom jednog od najstarijih VTS sustava. Iako su od strane obalnih sustava stalno odašiljane poruke o poziciji i mjestu potapanja, a mjesto nezgode označavano korištenjem tri broda za nadzor mjesta nezgode i postavljanjem svjetleće plutače, već sljedećeg dana u podrtinu je udario brod „Nikola“. Ni kasnije dodatno označavanje podrtine s pet plutača od čega je jedna osim svjetlom bila opremljena RACON[102] uređajem, te korištenjem dodatna dva broda za označavanje i

[98] Primjerice nasukanje broda „*CLF Performer*“ 28. Svibnja 2008. desilo se radi nepažljivog planiranja putovanja korištenjem elektroničke karte te povlačenja rute područjem s dubinama manjim od aktualnog gaza broda, „*Report on the investigation of the grounding of* ***CFL Performer,*** *Haisborough Sand, North Sea*”, www.maib.gov.uk

[99] Primjer potonuća broda „Tricolor“ u Engleskom tjesnacu nakon sudara s kontejnerskim brodom „Kariba“

[100] Tegljenje platforme „Scarabeo 4“, dimenzija 109 x 104 m, područjem Jadranskog mora brzinom od 4 čv

[101] Primjerice nasukanje LNG tankera *El Passo Paul Kaiser* dogodilo se zbog višestrukog izbjegavanja ribarskih brodova u blizini rta Europa

[102] RACON – RAdio beaCON

nadzor mjesta nezgode nisu spriječila da 01. siječnja 2003. godine u podrtinu udari brod „Vicky“. Osim oštećivanja brodova „Nikola“ i „Vicky“, više od 100 drugih brodova[103] prošlo je kroz dobro označeno područje podrtine i ne sluteći u kakvoj se opasnosti nalaze, zanemarujući pritom postavljene plutače, pomorska svjetla, Oglase za pomorce te sve ostale načine oglašavanja podrtine.



Slika 8: Potonuće broda „Tricolor“ u području Engleskog tjesnaca

Izvor: www.classictiger.com

Naknadnim istraživanjima utvrđeno je da radi velike gustoće pomorskog prometa u navedenom području, kao i velikog broja redovitih linija brodovi nerijetko u planiranju putovanja odabiru identične točke okreta (Wp). Također je utvrđeno da časnici međusobno (ne isključivo između časnika iste kompanije) izmjenjuju podatke o prethodno planiranim putovanjima u pojedinom području, što dovodi do ponovnog korištenja istih podataka, kao i mogućnosti korištenja istog plana putovanja istovremeno od dvaju ili više brodova.

Ovakve situacije veoma je teško otkrivati i u dobro opremljenim obalnim sustavima nadzora, što pokazuje i primjer broda „Tricolor“, prvenstveno zato što rade na principu nadzora područja, a ne principu nadzora putovanja. Nadzor područja s velikom gustoćom pomorskog prometa dovodi do velike zauzetosti operatora obalnih sustava.

[103] D.Last, Time For A Sea Change?, Navigation News, September/Octobet 2009

Njima se kao mogućnost ostavlja upotreba i postavljanje općih mjera otkrivanja opasnosti kao što su linija ulaska u nadzirano područje, otkrivanje prevelikih brzina, granična bočna linija plovnog puta, itd. Tek postojanjem mogućnosti pregledavanja i odobravanja plana putovanja unaprijed, prije ulaska u područje nadzora, te stalni nadzor tijekom plovidbe, omogućava se automatsko i neposredno otkrivanje ovakvih potencijalnih opasnosti, te mogućnost njihova otklanjanja.

Postojanjem mogućnosti ubacivanja u sustav validacije plovidbenih putovanja podatke o novim fiksnim (podrtina) ili pomičnim (tegalj) opasnostima, koje se dese ili se dešavaju na plovnome putu, sustav automatski otkriva opasne situacije s obzirom na novo nastalo stanje plovnog puta. Automatsko otkrivanje opasnosti očituje se prvenstveno u tome da postoji mogućnost trenutne usporedbe svih planova putovanja koji se izvode na nadziranom području s novonastalom opasnosti pregledavanjem centralne baze planova putovanja. Po istom se obrascu pregledavaju i otkrivaju potencijalne opasnosti kod svih novih planova putovanja, za putovanja koja će se tek izvoditi u području nadzora.

Primjer pogreške u planu putovanja nepoznavanjem trenutnog stanja plovnog puta može se opisati nasukanjem broda „Freya“[104] na prilazu rijeci Elbe 16. prosinca 2008. godine. Naime radi izgradnje obalnog svjetla jedan dio plovnog puta stavljen je van funkcije i propisno označen navigacijskim plutačama, a cjelokupni su radovi i ograničenja oglašeni primjereno u oglasima za pomorce. Zapovjednik i časnik broda ne znajući novonastale okolnosti na plovnom putu, a sve poradi neimanja novih oglasa za pomorce u kojima su navedene okolnosti bile oglašene, prilikom planiranja putovanja plovidbenu rutu povlače područjem izvođenja radova.

Izvođenjem plana putovanja prema planiranom, brod „Freya“ ne sluteći ulazi u područje radova te udara u postavljene konstrukcije zbog čega trpi značajnija oštećenja trupa u podvodnom dijelu broda. Istragom je utvrđeno da članovi posade broda u tijeku nezgode nisu bili pod utjecajem alkohola, a vremenske su prilike bile dobre. U području nezgode djeluje i *Cuxhaven VTS*, čiji su operatori uočili kretanje broda „Freya“ prema

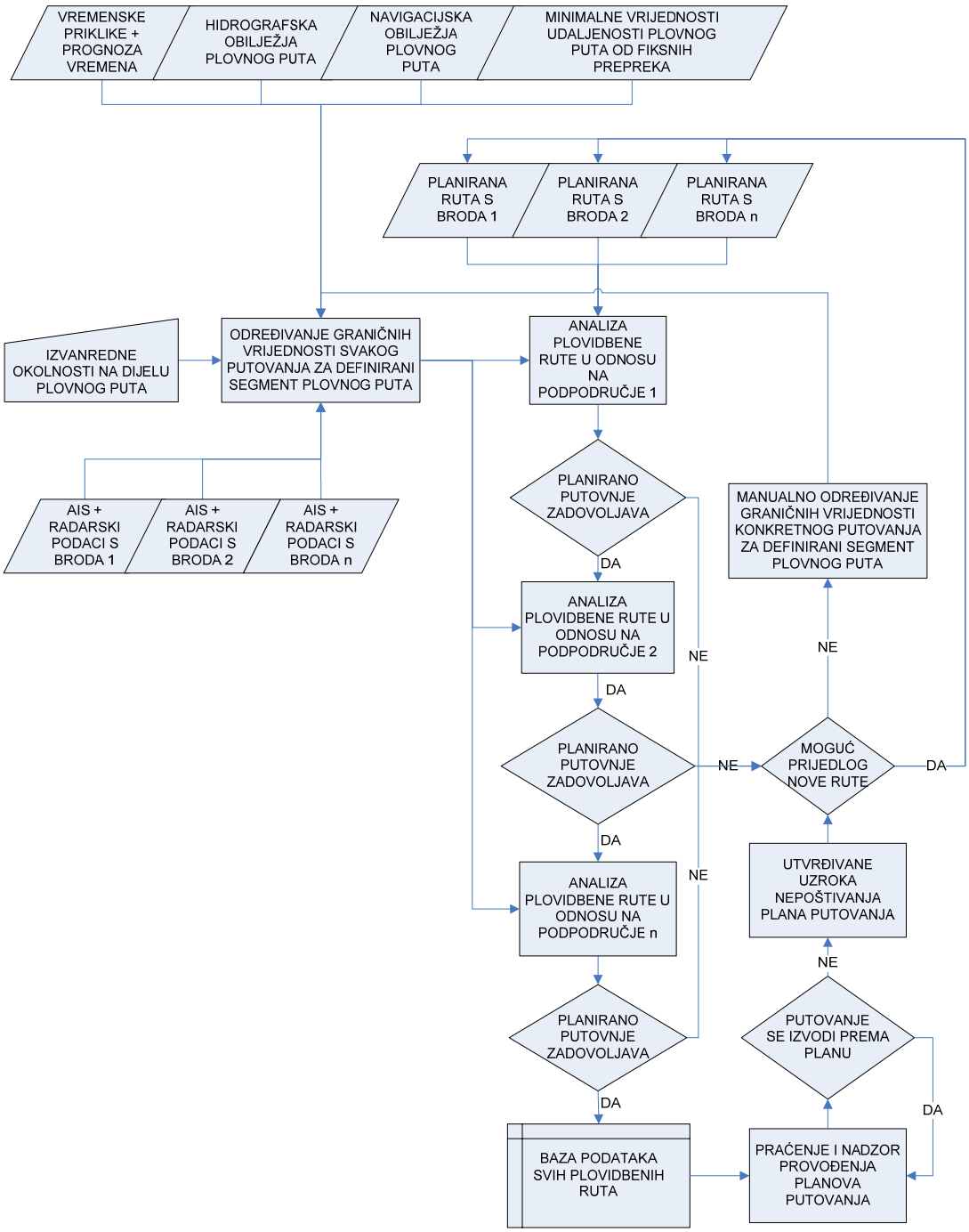
[104] Bundesstelle für Seeunfalluntersuchung, Federal Bureau of Maritime Casualty Investigation, Summary Investigation Report 617/08, Collision of the cargo ship FREYA with the Gelbsand front light structure in the Elbe approach; 16 December 2008

području izvođenja radova, kada je bilo prekasno, te pozivanje broda i davanje uputa više nije imalo učinka na izbjegavanje nezgode. Oglas za pomorce sa spomenutim ograničenjima na plovnom putu redovitim i ustaljenim putom stigao je na brod dan nakon nezgode, čime se djelomično umanjuje odgovornost zapovjednika i časnika broda za nesavjesno planiranje plovnog podtvata.

Ovakve i slične nezgode gotovo u potpunosti bi bile otklonjene ukoliko bi VTS sustavi unaprijed dobivali plan putovanja broda te ga imali mogućnost trenutno i sustavno provjeriti i usporediti sa stvarnom i aktualnom situacijom plovnog puta prije započinjanja plovidbenog pothvata. Međutim i konstantna provjera svakog zasebnog plana putovanja tijekom njegovog izvođenja dinamičkim unošenjem i praćenjem stanja plovnog puta dovodi do trenutnog otkrivanja potencijalno novonastalih opasnih situacija.

Za prikazivanje načela i redoslijeda pregledavanja svakog plana putovanja u pojedinom segmentu plovnog puta izabran je dijagram toka (engl. *flowchart*). Ovakvim načinom moguće je grafički prikazati međusobno povezane postupke prilikom pregleda plana putovanja, odnosno prikazati međusobno povezane postupke ili provjere koji zajedno čine jedinstvenu aktivnost.

Vremensko logički slijed odvijanja radnji prikazan je nizom usmjerenih veza međusobno povezanih pomoću likova raznih oblika, a predstavlja redoslijed provjere plana putovanja po pojedinom segmentu plovnog puta. Različiti likovi u prikazanom dijagramu prikazuju različite postupke koje je potrebno učiniti tijekom provjere plana putovanja. Paralelogramima su predočeni podaci koji se skupljaju preko nezavisnih senzora ili baze podataka izrađene od strane VTS operatora, a služe kao ulazne informacije za definiranje graničnih vrijednosti. Pomoću pravokutnog trapeza prikazan je podatak koji se manualno unosi u sustav nadzora, a vezan je uz izvanredne okolnosti koje se dogode na pojedinom dijelu plovnog puta. Pravokutnicima su definirani procesi koji se odvijaju unutar sustava, koji u sebi mogu sadržavati i niz manjih potprocesa kao dio osnovnog procesa, dok su rombovi s definiranim pitanjem simboli odlučivanja koji će odrediti daljnji tok nadzora. Pravokutnik s dvije dodatne okomite linije podijeljen u četiri polja predstavlja bazu podataka u konkretnom slučaju svih planova putovanja koji zadovoljavaju uvjete graničnih vrijednosti.



Slika 9 Konceptualni algoritam pregledavanja svakog plana putovanja prije ulaska u područje nadzora

Izvor: Autor

4.1.3 Definiranje koeficijenata za određivanje graničnih vrijednosti svakog putovanja

Sigurnost plovidbe, a samim time i pojava izvanrednog događaja ovise o obilježjima plovnog puta koji su pretežito nepromjenjivi tijekom vremena, ali uvelike i o vanjskim, često tijekom vremena vrlo promjenjivim čimbenicima, kao što su meteorološki i oceanološki uvjeti koji vladaju na plovnom putu ili gustoća i smjerovi prometa brodova. Pritom, svaki čimbenik specifično djeluje različitom «snagom» na svako pojedino planirano putovanje, te su njihovi utjecaji promjenjivi za svaki segment plovnog puta.

Pod navigacijskim obilježjima plovnog puta podrazumijevaju se sva ona obilježja koja omogućavaju snalaženje na moru odnosno određivanje položaja broda u svim uvjetima, upravljanje i nadzor kretanja brodova, balisažu, itd. S obzirom na stalnost u određenom vremenskom razdoblju uvjetno se mogu podijeliti na statička i dinamička obilježja plovnog puta pri čemu se u statička navigacijska obilježja ubrajaju ona obilježja i čimbenici koji nisu podložni značajnim promjenama u kraćim vremenskim razmacima (npr. svjetionici, obalna i lučka svjetla…) dok se u dinamička obilježja ubrajaju ona koja su u većoj ili manjoj mjeri podložna promjenama tijekom vremena (npr. gustoća i frekvencija brodova na određenom području…).

Određivanje graničnih vrijednosti svakog putovanja na pojedinom segmentu plovnog puta izvodi se uzimajući u obzir sve podatke važne za provjeravanje pojedinog putovanja. Podlogu cjelokupnom sustavu sačinjavaju kvalitetno uneseni/prikazani podaci o hidrografskim obilježjima plovnog puta. Jedan od danas najzastupljenijih sustava prikaza nadziranog područja je korištenje ECDIS sustava. ECDIS je brodski navigacijski sustav za integrirani prikaz elektroničkih karata, pozicije broda te drugih informacija i uređaja u realnom vremenu, koji se također koristi kod obalnih sustava nadzora i upravljanja pomorskim prometom. Prednost korištenja ovog sustava kao baze za prikaz hidrografskih obilježja kod provođenja operacija pregledavanja plana

putovanja je i relativno velika zastupljenost[105] ECDIS-a kod većine brodova danas, čime se olakšava izmjena informacija o planiranom putovanju između broda i obale.

Kod definiranja graničnih vrijednosti svakog pojedinog putovanja i to za svaki pojedini segment plovnog puta u obzir se prvenstveno uzimaju specifične karakteristike broda, kao i svi ostali podaci značajni za određivanje graničnih vrijednosti. Time se postiže pojedinačni pristup provjere svakog planiranog putovanja zasebno. Podaci koji se uzimaju u obzir dijele se u dvije podgrupe podataka i to:

- statički podaci:
  - duljina broda (L - k_L)
  - širina broda (B - k_B)
  - gaz broda (T - k_T)
  - deplasman (D - k_D)
  - status plovnog puta i broda (SPB – k_{SPB})
- dinamički podaci značajni za određivanje graničnih vrijednosti kao što su:
  - meteorološki i oceanološki uvjeti na plovnom putu (VP - k_{VP})
  - brzina broda (vb – k_{vb})
  - postojanje točki okreta (WP) na promatranom segmentu plovnog puta te veličina promjene kursa (ΔK - $k_{\Delta K}$).

Svaki se od navedenih koeficijenata (k_L, k_B, k_T, k_D, k_{SPB}, k_{VP}, k_{vb}, $k_{\Delta K}$) dijeli na 11 podkategorija (0 – 10) definiranih za pojedino područje nadzora, s obzirom na karakteristike brodova koji se prihvaćaju. Ovako definiranim koeficijentima može se kvalitetno pristupiti provjeri svakog putovanja s obzirom na specifične karakteristike broda, uzevši u obzir vremenske prilike te stanje plovnog puta.

Pristupajući pojedinačnoj provjeri i nadzoru svakog planiranog putovanja obilježja broda neposredno opisuju utjecaj svakog pojedinačnog čimbenika, uzimajući u obzir različitost svakog broda.

Veličina broda prvenstveno je određena duljinom, širinom, gazom, deplasmanom, te visinom broda. Visina broda kod definiranja granične vrijednosti u

[105] Pododbor IMO-a za sigurnost plovidbe donesao je prijedlog koji sadrži vremenski raspored za uvođenje obveznog ECDIS-a za SOLAS brodove prema vrsti, tonaži i datumu gradnje u periodu od 2012. do 2018. godine

planiranju putovanja nije uzeta u obzir jer visina broda utječe na mogućnost prolaska broda ispod mostova ili visećih kabela. Kako je plovni put u području prolaska ispod mosta u pravilu sužen, plovidba brodova se uobičajeno izvodi sredinom plovnog puta pa računanje graničnih vrijednosti gubi na težini.

Kod određivanja duljine broda kod brodova se uobičajeno koriste dvije duljine: duljina između okomica (*Length between perpendiculars* – L_{BP}) i duljina preko svega (*Length over all* – L_{OA}) koje se rabe u predloženom modelu. Širina preko svega (B) je najveća širina broda sa svim privjescima i nadogradnjama uključujući i teret, ako ga brod prevozi. Gaz broda (T) je okomita udaljenost između vodene plovne linije i najniže točke podvodnog dijela broda u mirovanju. Ovisi o trenutnoj nakrcanosti broda i gustoći mora, a ima utjecaj i na brzinu broda te održavanje smjera plovidbe broda.

Deplasman broda ili istisnina (D) jednaka je masi vode koju brod istisne uranjanjem tj. predstavlja zbroj težine broda i svih težina na brodu. Redovito se izražava kao masa broda u tonama. Deplasman broda neposredno djeluje na brzinu broda, prvenstveno na vrijeme i udaljenost zaustavnog puta. Brodovi većeg deplasmana imaju duži zaustavni put s dužim vremenskim razdobljem potrebnim za zaustavljanje, pošto se kod njih javlja velika kinetička energija.

Među dinamičke utjecaje koji utječu na određivanje graničnih vrijednosti planiranog putovanja na dijelu plovnog puta prvenstveno spadaju meteorološki i oceanološki uvjeti, kao i brzina broda, postojanje točki okreta (WP) na promatranom segmentu plovnog puta te veličina promjene kursa (ΔK).

Postoje brojni meteorološki (temperatura zraka, atmosferski tlak, vjetar, gustoća i vlažnost zraka, isparavanje, magla, oblaci, oborine i električne pojave, vidljivost i dr.) i oceanografski (temperatura, slanost, gustoća, prozirnost i boja mora, elementi morskih valova, struja i morskih mijena, prostiranje zvuka i dr.) elementi. Na odvijanje sigurne plovidbe na plovnom putu neposredan utjecaj imaju samo neki od navedenih elemenata te se mogu promatrati kao čimbenici sigurnosti plovidbe broda.

Meteorološki, te u manjoj mjeri oceanografski elementi vremenski i prostorno su vrlo promjenjivi. Stoga u pogledu procjene stupnja opasnosti broda na plovnom putu pri vrednovanju ovog čimbenika on mora biti direktno vezan uz mjere i dimenzije broda čije se putovanje razmatra. U daljnjem tekstu prikazana je tablica s načinom određivanja

vrijednosti koeficijenta meteoroloških i oceanoloških prilika u odnosu na ljestvicu stanja mora, te različitih veličina brodova.

Brzina broda vezana je uz karakteristike poriva te režim rada propulzora, što kod vijaka sa stalnim usponom ovisi o broju okretaja vijka, kod vijaka s promjenjivim usponom o trenutnom kutu krila s obzirom na os rotacije, te kod brodova na vodeni mlazni pogon o smjeru i brzini protoka vodenog mlaza. Kod brodova razlikujemo najveću brzinu, putnu brzinu i manevarsku brzinu broda. Najveća brzina rijetko se koristi i predstavlja najveću brzinu koju brod postiže pri maksimalnom režimu rada stroja/eva. Putna brzina je najpovoljnija brzina s najviše čimbenika kao što su potrošnja pogonskog goriva, vibracije, itd. Kod kasnije prikazanog modela ranog otkrivanja opasnosti kao početna vrijednost uzima se putna brzina broda u mirnome moru, te se na osnovi vanjskih utjecaja definira promjena brzine.

Među dinamička obilježja koja utječu na određivanje graničnih vrijednosti definira se postojanje točki okreta (Wp) u planiranom putovanju na promatranom dijelu plovnog puta. Iako je postojanje točki okreta statička osobina, sam način izvođenja promjene kursa izrazito je dinamička osobina koja ovisi o veličini promjene kursa (ΔK), ali i manevarskim karakteristikama broda.

Mogućnost sigurnog okreta broda na plovnom putu jedan je od važnih čimbenika sprečavanja nasukanja broda ili izbjegavanja sudara. Manevarska obilježja broda glede kruga okreta smatraju se zadovoljavajuća, ako[106]:

- tijekom pokusa okretanja broda (kut otklona kormila 35°) napredovanje ne prijeđe 4,5 duljine broda (L), a taktički promjer ne smije biti veći od 5 duljina broda,
- tijekom pokusa početne sposobnosti okretanja broda (kut otklona kormila 10° u desno/lijevo) brod ne prevali više od 2,5 duljine broda do trenutka kad mu se kurs promjeni 10°.

Može se zaključiti da veće vrijednosti osnovnih elemenata kruga okreta utječu na smanjenje sigurnosti plovidbe broda odnosno da bi se postigla ista razina sigurnosti plovidba se mora odvijati plovnim putom većih dimenzija (širina, dubina mora,

[106] Rezolucija skupštine IMO-a A.751(18) – INTERIM STANDARDS FOR SHIP MANOEUVRABILITY, 1993

udaljenost najbližeg kopna). Za sigurnu plovidbu broda, osim poznavanja osnovnih manevarskih obilježja broda, potrebno je ta obilježja promatrati u međudjelovanju s vanjskim čimbenicima koji na njih imaju utjecaj.

Koeficijent vremenskih prilika k_{vp} definira u rasponu od 0 - 10 utjecaj vrijednosti stanja mora prema kodu Svjetske meteorološke organizacije (skala od 0 - 9) u odnosu na karakteristike promatranog broda. Karakteristike broda definiraju se zbrajanjem koeficijenta (k_{L+} k_{B+} k_{T+} k_D) za promatrani brod, te se s određenom sumom ulazi u navedenu tablicu iz koje proizlazi vrijednost koeficenta k_{vp}.

Tablica 5 Tablica koeficijenata vremenskih prilika definirana za različite veličine brodova

		$\sum k_{L+}\, k_{B+}\, k_{T+}\, k_D$									
		0-4	**5-8**	**9-12**	**13-16**	**17-20**	**21-24**	**25-28**	**29-32**	**33-36**	**37-40**
K_{vp}	**0**	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t
	1							2		3	
	2						2		3		4
	3					2		3		4	
	4				2		3		4		5
	5			2		3		4		5	
	6		2		3		4		5		6
	7	2		3		4		5		6	
	8		3		4		5		6		7
	9	3		4		5		6		7	
	10	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8

Izvor: Autor

Vrijednosti stanja mora prema svjetskoj meteorološkoj organizaciji prikazane su u sljedećoj tablici. Iako vrijednosti ljestvice stanja mora imaju raspon od 0 do 9, stanje mora 9 nije uzeto u obzir prilikom izrade tablice koeficijenta vremenskih prilika jer se smatra da stanje mora 8, a posebice 9 stvaraju značajnije poteškoće pri plovidbi i najvećim brodovima.

Tablica 6 Ljestvica stanja mora prema kodu Svjetske meteorološke organizacije

Stanje mora	Opis stanja	Visina valova (m)
0	Mirno	0
1	Naborano	0 – 0,1
2	Malo valovito	0,1 – 0,5
3	Umjereno valovito	0,5 – 1,25
4	Valovito	1,25 – 2,5
5	Jače valovito	2,5 – 4
6	Jako valovito	4 – 6
7	Teško more	6 – 9
8	Vrlo teško more	9 – 14
9	Izuzetno teško more	> 14

Izvor: www.meteo.hr

Koeficijent stanja plovnog puta i broda (k_{SPB}) dobiva se uzimajući u obzir ponajprije tip broda koji planira izvršiti zadano putovanje, raspoloživost obalnih sustava za orijentaciju i nadzor (radar, AIS, VHF komunikacija, pomorska svjetla, plutače …), kvalitetu podataka koje brod odašilje prema kopnenim sustavima nadzora te vrijeme odvijanja putovanja (dan/noć) promatranim segmentom plovnog puta. Prema tipu brodovi se dijele u nekoliko kategorija iz kojih proizlazi vrijednost (D_1) i to prema sljedećoj podjeli:

- ostali, s težinskim faktorom 0,
- putnički, s težinskim faktorom 1,
- teretni, s težinskim faktorom 2,
- HSC[107], s težinskim faktorom 3,
- tankeri, s težinskim faktorom 4,
- LNG/LPG, s težinskim faktorom 5.

Raspoloživost obalnih sustava za orijentaciju i nadzor (D_2), kao i kvalitetu podataka koje se dobiva s broda (D_3), na svakom pojedinom nadziranom dijelu plovnog puta zasebno bi se opisalo podjelom u tri opisne kategorije i to:

[107] HSC – Vrlo brzi brodovi (*eng. High-speed craft*), čije je glavno obilježje brzina koja u m/s prelazi 3,7 * $\Delta^{0,166}$ gdje je Δ oznaka istisnine u m^3

- dobro, s težinskim faktorom 0
- srednje, s težinskim faktorom 2
- loše, s težinskim faktorom 5.

Vrijeme odvijanja putovanja tj. dnevno/noćni uvjeti plovidbe (D_4) opisali bi se tako da dnevni uvjeti plovidbe imaju težinski koeficijent 1, dok noćni uvjeti plovidbe imaju težinski koeficijent 2. Naime studija provedena od strane MAIB-a[108] između 1994. i 2003. godine, na uzorku od 1674 sudara, nasukanja te izbjegnutih nezgoda pokazala je da se čak 55% svih nezgoda ili umalo nezgoda desilo za vrijeme mraka i to u vremenskom periodu od 03:00 do 06:00 sati.

Ukupna vrijednost koeficijenta k_{SPB} dobiva se prema sljedećem izrazu:

$$k_{SPB} = \frac{(D_1 + D_2 + D_3) + (D_1 + D_2 + D_3) \times D_4}{(\max D_1 + \max D_2 + \max D_3) \times 3} \times 10 \quad (1)$$

Svaki od navedenih podataka dijeli se na jedanaest podkategorija (0 – 10) kako je prikazano u tablici, a svakoj podkategoriji pridružena je vrijednost „koeficijenta opasnosti“. Za izvedbu tablice odlučivanja na pojedinom području nadzora potrebno je iskustvo ali i približno poznavanje tipa i veličina brodova koji gravitiraju području nadzora. Ostavlja se mogućnost VTS operatorima da temeljem osobnog iskustva popune tablicu odlučivanja, čime se postiže optimalna mogućnost nadzora planiranja putovanja u zadanom nadziranom području, kao i optimalno podešavanje sustava.

Podaci prikazani u sljedećoj tablici odabrani su temeljem ankete provedene između djelatnika Lučkog kontrolnog centra u Rijeci (VTS Rijeka), te prikazuju vrijednosti karakteristične za luku Rijeka.

[108] MAIB – Marine Accident Investigation Branch, Bridge Watchkeeping Safete Study, Safety Study 1/2004

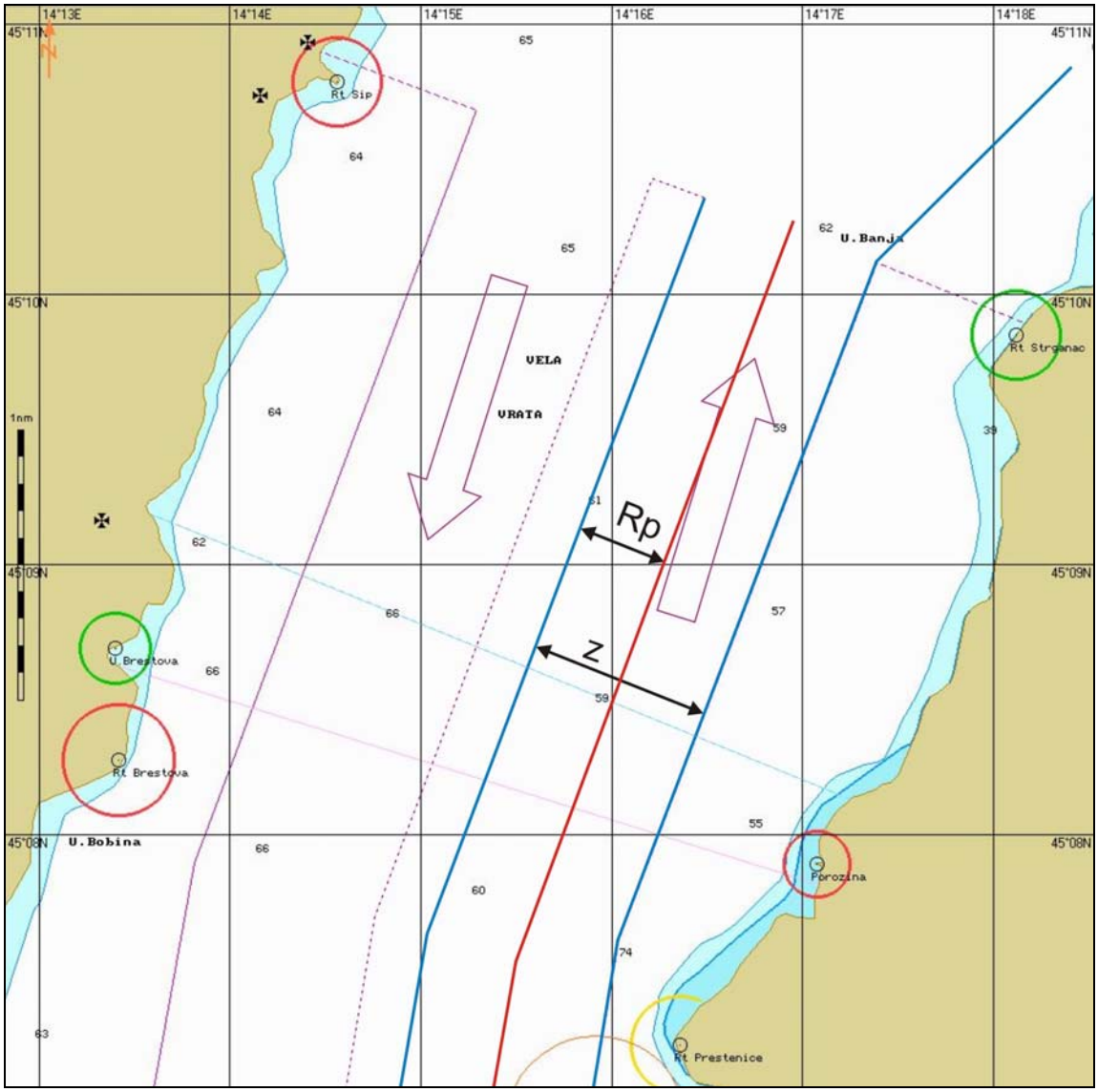
Tablica 7 Vrijednosti koeficijenata za definiranje udaljenosti planiranog putovanja od fiksnih opasnosti izrađenih na temelju ankete operatora u VTS centru lukčke uprave Rijeka

L		***B***		***T***		***D***		***vb***		**ΔK**		***VP***		***SPB***	
(m)	k_L	***(m)***	k_B	***(m)***	k_T	***(t)***	k_D	***(čv)***	k_{VB}	***(°)***	$k_{\Delta K}$	***sm***	K_{VP}		k_{SPB}
0-20	0	0-5	0	0-2	0	0-100	0	0-2	0	0-5	0		0		0
20-50	1	5-10	1	2-4	1	100-500	1	2-5	1	5-10	1		1		1
50-80	2	10-15	2	4-6	2	500-2000	2	5-8	2	10-15	2		2		2
80-100	3	15-20	3	6-8	3	2000-5000	3	8-11	3	15-20	3		3		3
100-150	4	20-25	4	8-10	4	5000-10000	4	11-14	4	20-25	4		4		4
150-200	5	25-30	5	10-12	5	10000-25000	5	14-17	5	25-30	5		5		5
200-250	6	30-35	6	12-14	6	25000-60000	6	17-20	6	30-35	6		6		6
250-300	7	35-40	7	14-16	7	60000-100000	7	20-23	7	35-40	7		7		7
300-350	8	40-45	8	16-18	8	100000-200000	8	23-26	8	40-45	8		8		8
350-400	9	45-50	9	18-20	9	200000-300000	9	26-29	9	45-50	9		9		9
400-	10	50-	10	20-	10	300000-	10	29-	10	50-	10		10		10

Izvor: Autor (izrađeno temeljem ankete provedene među djelatnicima LKC Rijeka)

4.1.4 Definiranje vrijednosti plovnog puta raspoloživog za odvijanje planiranog putovanja

Vrijednost plovnog puta raspoloživog za odvijanje planiranog putovanja R_p definira se prvenstveno s obzirom na cjelokupnu širinu plovnog puta (X), definiranu vrijednost najmanje udaljenosti plovnog puta od fiksnih prepreka od strane VTS operatora (Y) te vrijednosti širine plovnog puta za jednosmjernu plovidbu (Z).



Slika 10: Prikaz vrijednosti *Z* i R_p kod plovnog područja s usmjerenom plovidbom

Izvor: Autor (izrađeno na elektroničkoj karti sustava Transas)

Ispisujući iz tablice odlučivanja vrijednosti koeficijenata za svaku pojedinu vrijednost, a uzimajući u obzir prije navedene podatke o brodu, planiranom putovanju i teretu koji se prevozi, dobiva se suma koeficijenata:

$$\sum k = k_L + k_B + k_T + k_D + k_{vb} + k_{\Delta K} + k_{VP} + k_{SPB} \qquad (2)$$

gdje su:

- k_L - koeficijent duljine broda (m)
- k_B - koeficijent širine broda (m)
- k_T - koeficijent gaza broda (m)
- k_D - koeficijent deplasmana broda (t)
- k_{vb} - koeficijent brzine broda (čv)
- $k_{\Delta K}$ - koeficijent promjene kursa broda (°)
- k_{VP} - koeficijent vremenskih prilika
- k_{SPB} - koeficijent stanja plovnog puta i broda

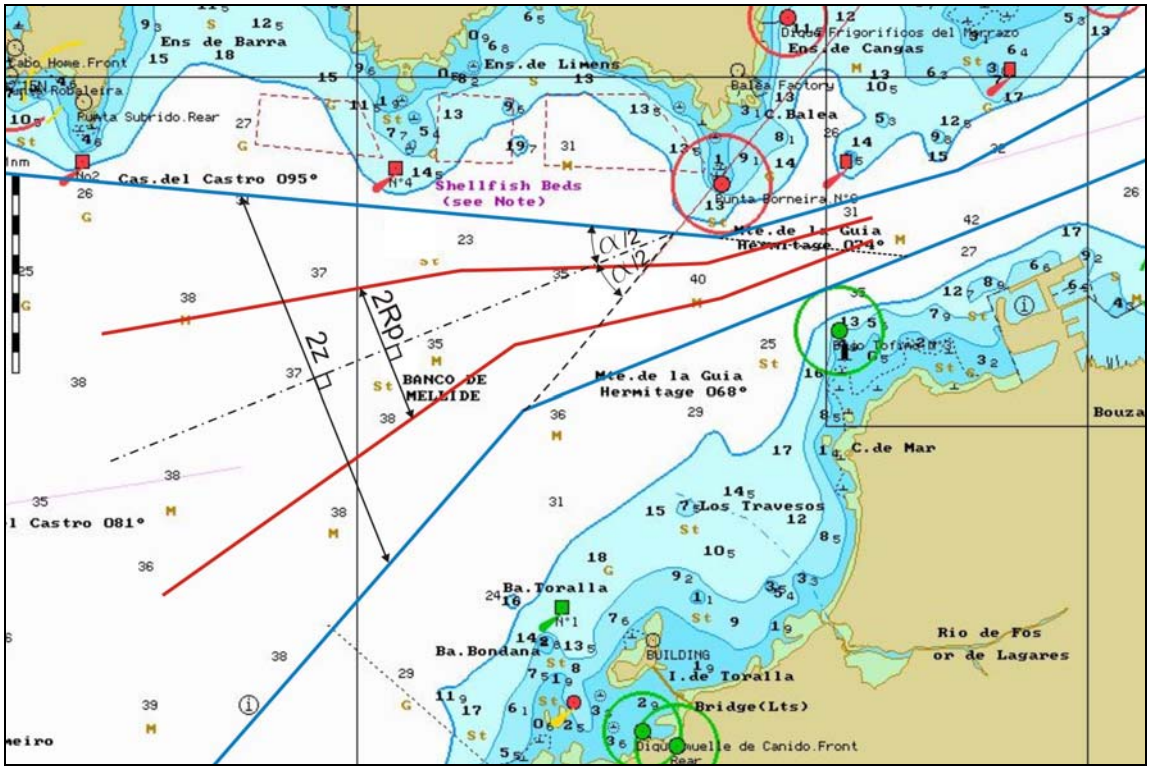
Dobivenom sumom koeficijenata $\sum k$ u daljnjem postupku određuje se raspoloživi prostor za izvođenje zadanog putovanja. Usporedbom raspoloživog prostora sa stvarnim planom putovanja izrađenog na brodu od strane časnika (zapovjednika) utvrđuje se neslaganje te pristupa izmjeni plana putovanja.

Kod izračuna raspoloživog prostora (R_p) plovnog puta za provedbu razmatranog putovanja suma koeficijenata ($\sum k$) dijeli se sa maksimalnim iznosom svih koeficijenata (80) te množi sa vrijednosti širine plovnog puta za jednosmjernu plovidbu (Z).

$$R_p = Z - \left(\sum \mathrm{k} \div 80\right) \times Z \qquad (3)$$

Ovakvim načinom izračuna raspoloživog prostora plovnog puta omogućava se udaljavanje izvođenja putovanja od fiksnih prepreka za veće i brže brodove, za ona putovanja kod kojih se javlja značajnija promjena smjera plovidbe u pojedinom segmentu plovnog puta kao i za brodove koji prevoze opasne ili štetne terete.

Sličan se princip primjenjuje i kod plovnih putova gdje se obavlja dvosmjerna plovidba. Kod dvosmjerne plovidbe u obzir se uzima cjelokupna širina plovnog puta ($2Z$), a planirana plovidba može se izvesti u dvostrukoj vrijednosti područja dobivenog računskim putem ($2R_p$).



Slika 11: Prikaz vrijednosti *Z i* R_p kod plovnog područja s dvosmjernom plovidbom
Izvor: Autor (izrađeno na elektroničkoj karti sustava Transas)

Provjerom plana putovanja unaprijed od strane obalnih sustava omogućava se otkrivanje pogrešaka u planu putovanja, kao i mogućnost udaljavanja plana putovanja na za obalnu državu prihvatljivu udaljenost od stalnih prepreka. Kod svake se provjere u obzir uzimaju specifične karakteristike pojedinog broda, segmenta plovnog puta, te meteorološko-oceanološke prilike koje se očekuju u trenutku prolaska broda nadziranim područjem. Ovakav način provjere i korekcije plana putovanja, unaprijed, te njegovo pohranjivanje, uvelike olakšava posao operatora obalnih sustava u nadzoru provođenja plana putovanja te mogućnosti ranog otkrivanja neusklađenosti plovidbe sa zadanim planom.

4.1.5 Praćenje i nadzor provođenja planiranog plana putovanja

Zasebna provjera i odobravanje izvođenja plana putovanja svakog broda, od strane obalnih sustava nadzora, čije se putovanje namjerava izvršiti nadziranim područjem prikazana je u prethodnom poglavlju. Kao što je navedeno kod provjere putovanja u obzir se uzimaju karakteristike broda te plovnog puta podijeljenog u

definirani broj potpodručja. Sveobuhvatni podaci o odobrenom planiranom putovanju pohranjuju se u bazu podataka svih planova putovanja koji se izvode ili se namjeravaju izvoditi nadziranim područjem.

Od brodova koji plove nadziranim područjem zahtijeva se da se pridržavaju plana putovanja, te plovidbu izvode što je moguće sličnije planiranom putovanju. Praćenje provedbe plana putovanja, od strane brodskih časnika, sastoji se prvenstveno od provjere položaja broda tijekom putovanja, provjere kursa preko dna, provjere brzine broda preko dna i provjere dubine mora ispod kobilice. Izvedba (provedba) putovanja i nadzor provedbe plana temelji se na podacima koji se kontinuirano prikupljaju korištenjem svih dostupnih brodskih ili obalnih sustava, tijekom prolaska broda nadziranim područjem. Stupanj pouzdanosti ovih podataka u pravilu je znatno veći od stupnja pouzdanosti podataka na kojima se zasniva izrada plana putovanja. Kao pomoć u provedbi plana putovanja brodski časnici imaju na raspolaganju postavljanje niza alarma u svrhu otkrivanja neusklađenosti između izvedbe (provedbe) putovanja i plana putovanja.

Kako uvođenje obalnih sustava nadzora pomorskog prometa, prema definiciji Međunarodne pomorske organizacije[109], ima za svrhu unaprijediti sigurnost i uspješnost pomorskog prometa te zaštitu okoliša, upravo stalna provjera provedbe plana putovanja svakog broda ima ključnu ulogu u ostvarivanju navedenih ciljeva. Nakon odobravanja ili korigiranja pojedinog plana putovanja uloga obalnih sustava sastoji se u stalnom nadzoru provođenja plana tijekom zadržavanja broda u nadziranom području. Provjeravanjem plana putovanja unaprijed omogućava se otkrivanje pogrešaka u planiranju putovanja, dok se provjerom provođenja tijekom plovidbe broda nadziranim područjem otkrivaju odstupanja od plana putovanja. Tijekom plovidbe broda nadziranim područjem odvijat će se dva međusobno odvojena procesa nadzora provođenja plana putovanja i to: nadzor od strane brodske posade i nadzor obalnih sustava.

Uloga obalnih sustava u nadzoru putovanja je otkrivanje neprovođenja plana putovanja od strane posade broda. Ono se sastoji od niza mjera i postupaka, baziranih na posebnom pristupu svakom putovanju koje se izvodi u području nadzora i to sa stajališta

[109] Rezolucija Međunarodne pomorske organizacije A.857(20): Smjernice za sustav nadzora i upravljanja pomorskom plovidbom – *Guidelines for vessel traffic services;* Izmijenjena i dopunjena rezolucija A.578(14)

broda, i u pogledu karakteristika plovnog puta. Tako zasebice definirane dozvoljene vrijednosti odstupanja pomorske plovidbe od planiranih vrijednosti u odobrenom planu putovanja omogućile bi trenutno otkrivanje potencijalnih opasnosti.

Značaj pravovremenog otkrivanja neslaganja s planom putovanja može se prikazati pomoću nasukanja putničkog broda[110] „Royal Majestiy", s 1509 putnika i članova posade, na putu iz Bermuda za luku Boston. Plovidba broda od strane časnika palube izvodila se uporabom automatskog pilota te ARPA sustava na kojem je stalno bila prikazana pozicija broda (podaci sa GPS uređaja) te ruta zadana planom putovanja. Tijekom izvođenja plovidbene straže na papirnatu navigacijsku kartu svakih sat vremena ucrtavana je pozicija broda, očitana s GPS uređaja. Odvajanjem kabela s antene, GPS prijemnik, koji je svoje podatke prosljeđivao autopilotu, integralnom zapovjedničkom mostu te ARPA sustavu, automatski se prebacio na slanje podataka dobivenih zbrojenom pozicijom. U trenutku gubitka signala uređaj je odaslao zvučni signal u trajanju od 1 sekunde, koji nije bio prepoznat od strane dežurnog časnika. Zbog djelovanja morske struje i vjetra brod se nasukao nakon 36 sati plovidbe, a u trenutku nasukanja utvrđeno je da je skrenuo s planirane rute 17 nautičkih milja zapadno[111]. Tijekom navedenih 36 sati niti jedan časnik te zapovjednik broda nije uočio neslaganje s planom putovanja tj. nije primijetio skretanje broda. Naime, na korištenom ARPA uređaju brod se stalno nalazio na planiranoj ruti, pošto je podatak o poziciji (zbrojena pozicija) dobivao s neispravnog GPS uređaja. Upravo stoga posada broda pouzdajući se u podatke s uređaja nije primijetila skretanje broda s rute. Uloga časnika u navedenoj nezgodi još je i veća uzme li se u obzir da se nasukanje dogodilo u dobro označenom (navigacijske plutače) navigacijskom području prilaska luci Boston.

Izraženiji primjer moguće pogreške kod provođenja plana putovanja, tj. plovidbe brodom je primjer[112] nasukanja broda „Doric Chariot", na čijem je zapovjedničkom mostu uz časnika straže u trenutku nezgode bio i obalni peljar. Naime, prolaskom broda

[110] M.H.Lutzhof, S.W.A.Dekker, On Your Watch: Automation on the Bridge, The Journal of Navigation (2002.), 55.

[111] B. Schager, When Technology Leads Us Astray: A Broadned View of Human Error, The Journal of Navigation (2008.), 61.

[112] Department of Transport and Regional Services, Australian Transport Safety Bureau, Navigation (Marine Casualty) Regulations investigation into the grounding of the Greek registered ship *Doric Chariot* at Piper Reef, North Queensland on 29 July 2002. Report No 182, September 2003.

kroz područje „Great Barrier Reef“ (sjeveroistočna Australija) postoji obveza korištenja obalnog peljara. Peljar je dolaskom na brod upoznat s brodskim sustavima, te je zapovjedniku i časnicima predao unaprijed pripremljeni plan putovanja navedenim područjem. Časnici su ga ubacili u GPS prijemnik te postavili alarm pogreške položaja[113] (*Cross-track Error – XTE*) na 0,2 nautičke milje. Radi zamjene obalnih objekata i nesnalaženja u navigacijskom okruženju od strane časnika u straži te člana plovidbene straže (kormilara), brod se unatoč XTE alarmu nasukao. Naime kod promatranog GPS sustava XTE alarm javlja se kao zvučni signal koji se poništava na samom uređaju (što je časnik i učinio), ali nema mogućnost uzastopnog ponavljanja u slučaju da se situacija ne mijenja. Kako se peljarenje promatranim područjem izvodi više sati peljar se u trenutku nasukanja odmarao na za to predviđenom mjestu u sklopu zapovjedničkog mosta, a dežurnom je časniku sat vremena prije dao upute o plovidbi te naznačio mjesto gdje ga treba pozvati.

Sličan slučaj nasukanja broda radi zamjene obalnih objekata jest slučaj[114] nasukanja 334 m dugačkog kontejnerskog broda „LT Cortesia“ u području engleskog kanala. Nasukanje broda dogodilo se u noćnim uvjetima plovidbe tijekom straže prvog časnika palube, koji je pogrešno tumačio navigacijske oznake na području „Varne Bank-a“. Pogreški je pridonijela i činjenica da boje korištene za noćni prikaz na elektroničkoj karti postavljenoj u integrirani zapovjednički most nisu zadovoljavajuće prikazale područja smanjenih dubina, kao ni navigacijske oznake na plovnome putu. Gotovo deset minuta ranije od nasukanja broda oglasilo se petnaest do dvadeset različitih alarma na zapovjedničkome mostu, ali ih je prvi časnik pripisao problemima sa strojem[115], pošto su se radi automatizirane strojarnice svi alarmi prikazivali i na zapovjedničkom mostu.

Iako se nasukanje desilo u području Engleskog tjesnaca gdje radi sustava odvojene plovidbe i velike gustoće pomorskog prometa djeluje jedan od najstarijih obalnih sustava nadzora sa njihove strane ništa nije primijećeno sve do trenutka nasukanja broda. Naime, čak 10 minuta prije nasukanja prvi časnik palube je izveo

[113] Greška položaja (*Cross-track Error – XTE*) je najveće dozvoljeno okomito bočno odstupanje od ucrtanog plovidbenog pravca izraženo u nautičkim miljama

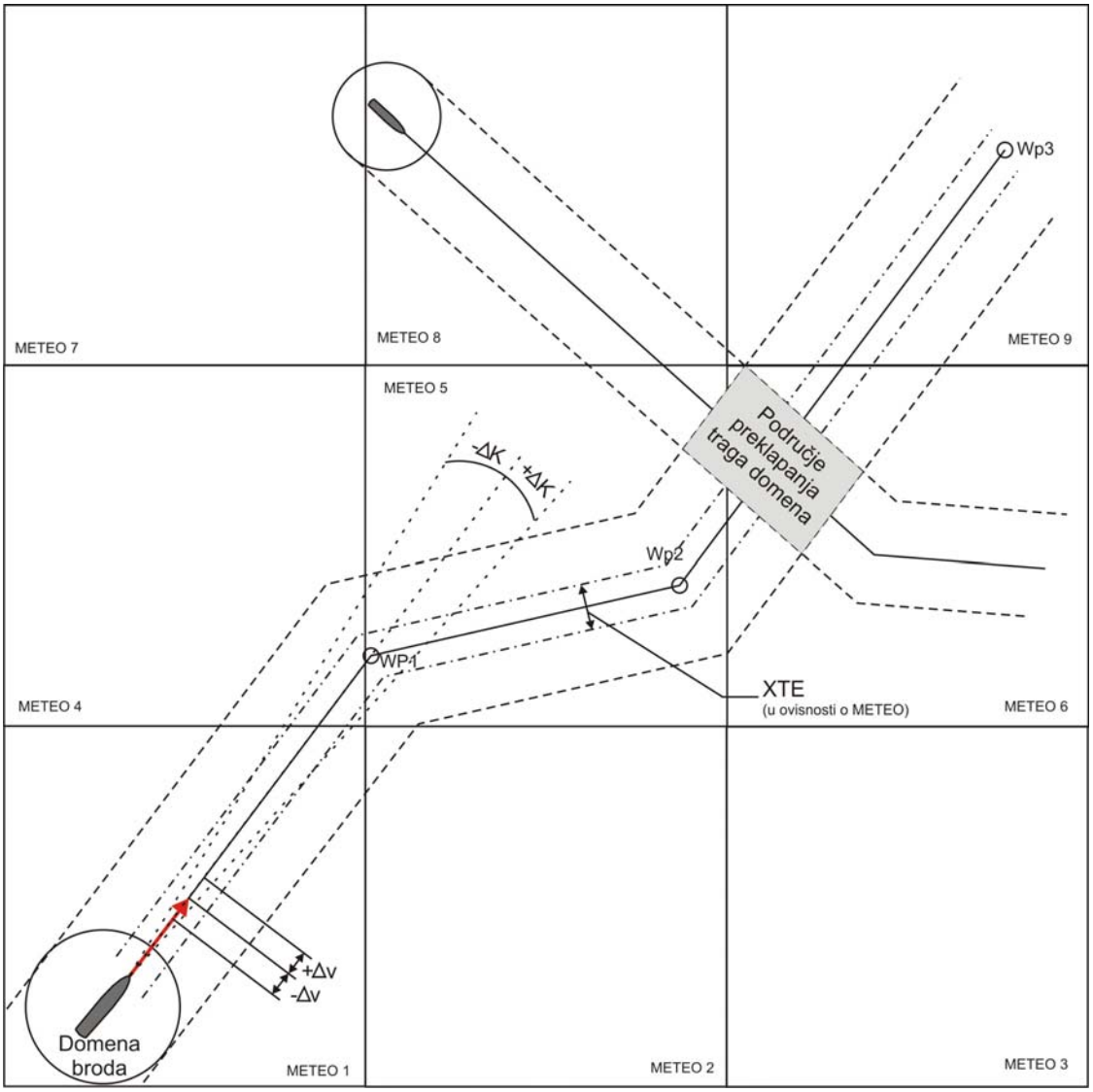
[114] Federal Bureau of Maritime Casualty Investigation, Grounding of the LT CORTESIA on 2 January 2008 on the Varne Bank in the English Channel, Investigation report 01/08, 1.April 2009.

[115] Kod brodova s automatiziranim strojarnicama, na zapovjedničkome mostu, može svirati i do tisuću različitih alarma vezanih uz navigacijske i komunikacijske uređaje te brodski stroj

posljednju promjenu kursa od čak 12° u novi kurs koji je vodio do nasukanja broda u području „Varne Bank-a“.

Upravo bi promjenom obalnih sustava nadzora pomorskog prometa, s koncepta nadzora područja, na nadzor svakog putovanja zasebno ovakve potencijalne opasnosti bile otkrivene gotovo trenutno. Naime provjeravanje plana putovanja svakog broda, te odobravanjem plana od strane obalnih sustava prije dolaska broda u nadzorno područje, kao i postavljanjem posebnihh zahtjeva u načinu provođenja plana omogućilo bi automatsko i trenutno otkrivanje potencijalno opasnih situacija. Uporaba predviđenih zahtjeva provođenja plana putovanja definirala bi se uzimajući u obzir karakteristike samog broda, te karakteristike pojedinog segmenta nadziranog područja. Vrijednosti kojima bi se provjeravalo provođenje plana putovanja mogu se definirati kao:

- ΔK – neplanirana promjena kursa u odnosu na planiranu vrijednost kursa,
- Δv – neplanirana promjena brzine u odnosu na prijašnje stanje brzine broda,
- XTE - Greška položaja (*Cross-track Error – XTE*) je najveće dozvoljeno okomito bočno odstupanje od ucrtanog plovidbenog pravca izraženo u nautičkim miljama,
- vrijeme dolaska na točku okreta,
- položaj započinjanja planirane promjene smjera.



Slika 12: Provjera provođenja plana putovanja

Izvor : Autor

Djelomična mogućnost korištenja sustava provjere provođenja plana putovanja postoji i u današnjim obalnim sustavima nadzora[116]. Dosadašnja istraživanja[117] pokazala su da operatori u veoma malom postotku koriste mogućnosti dosadašnjih sustava u smislu postavljanja svih mogućih dostupnih upozorenja za otkrivanje opasnosti na nadziranom dijelu plovnog puta.

[116] Operation Manual, VET5070, VTS Operator Workstation, 2006 KONGSBERG NORCONTROL IT

[117] P.Grundevik, Oil transport threatens the Baltic's sensitive ecosystem, SS PA Highlights 2/2006., Sweden, http://www.sspa.se

Aktivno i sustavno praćenje plana putovanja putem obalnih sustava nadzora, a bazirano na prethodno odobrenom planu putovanja, uvelike olakšava posao operatora. Naime gotovo trenutnim otkrivanjem potencijalnih opasnosti operatorima se ostavlja dovoljno vremena za interakciju u sustav plovidbe te sprečavanje potencijalnih nezgoda. Prednost nadzora svakog putovanja u odnosu na dosadašnji nadzor područja očituje se i u činjenici da sustavi automatskim otkrivanjem usmjeravaju pažnju operatora na potencijalno opasne situacije u nadziranom području u ranoj fazi, što pretpostavlja mogućnost nadzora većeg morskog područja.

4.2 Rano otkrivanje opasnosti kod međusobne interakcije brodova u nadziranom dijelu plovnog puta

Mogućnost ranog otkrivanja opasnosti kod međusobne interakcije brodova u nadziranom području tj. otkrivanje sudarnih situacija definirano je modelom prema kojem se takve situacije definira na temelju određivanja položaja brodova kao i predviđanje položaja u budućnosti po principu 2D (geografske koordinate) + D (vrijeme). Sličan pristup[118] rješavanju problema sudara razmatra se i u zrakoplovnoj industriji gdje se princip zasniva na 3D + D konceptu, te na planiranju pojedinih putovanja značajno unaprijed. Razmatrani modeli[119] kod predviđanja kretanja zrakoplova u obzir uzimaju početne vrijednosti (pozicija, brzina, smjer, ..), plan putovanja, kao i vanjske poremećaje koji mogu utjecati na izvršenje definiranog plana putovanja.

4.2.1 Model ranog otkrivanja interakcije među brodovima na plovnom putu

Sa stajališta zapovjednika broda[120] najprihvatljiviji slučaj izvedbe plana putovanja je putovanje bez ometanja, tj. putovanje oskudno događanjima. To podrazumijeva da se tijekom putovanja ne događaju nikakve situacije izbjegavanja sudara na moru, a časnici su zaokupljeni samo izvršenjem plana putovanja.

---

[118] M.Porretta, M.D.Dupuy,W.Schuster, A.Majumdar, W.Ochieng, Performance Evaluation of a Novel 4D Trajectory Prediction Model for Civil Aircraft, The Journal of Navigation (2008.), 61.

[119] M.Porretta, W.Schuster, A.Majumdar, W.Ochieng, Strategic Conflict Detection and Resolution Using Aircraft Intent Information, The Journal of Navigation (2010.), 63.

[120] W.Filipowicz, Vessel Traffic Cintrol Problems, The Journal of Navigation (2004.), 57.

Teorija domene broda definira[121] se kao površina oko broda koju drugi brodovi moraju izbjegavati ili kao područje oko broda koje časnik palube želi zadržati slobodnim od drugih brodova i stacionarnih objekata. Koncept teorije domene prvi spominju Y. Fujii 1971. Te Goodwin 1975. godine, a do danas je razvijeno više različitih pristupa izradi[122] domene broda.[123]

Kod predloženog modela ranog otkrivanja opasnosti domena broda definirana je kao kružnica opisana oko broda. Veličina tj. radijus kružnice definira se od strane operatora obalnih sustava nadzora uzimajući u obzir veličinu broda te karakteristike pojedinog segmenta plovnog puta.

Ako definiramo da se na području nadzora nalazi *n* brodova: B_1, B_2, ..., B_{n-1}, B_n, te svaki brod ima jedinstveni plan putovanja definiran planiranim točkama okreta, Wp = (φ = °, α = °), takve planove putovanja može se jednostavno zapisati izrazom:

$$B_n;\ W_{0Bn},\ W_{1Bn},\ \ldots,\ W_{m-1Bn},\ W_{mBn}$$

Temeljem ovako definiranih planova putovanja svakog broda posebice u navedenom području mogu se utvrditi sjecišta pojedinih planova putovanja, na temelju produkta vektora uspoređujući svaki zasebni segment (područje između dvije točke okreta) pojedinog putovanja sa svim segmentima putovanja ostalih brodova. Opći prikaz navedenog izračuna može se prikazati sljedećim izrazima definiranim u odnosu na provjeru sjecišta putovanja broda B_1, sa svim ostalim brodovima u nadziranom području.

$$\left(W_{n-1B_1}, W_{nB_1}, W_{z-1Bn}\right) = -\left(W_{z-1Bnx} - W_{n-1B_1x}\right) \times \left(W_{nB_1y} - W_{n-1B_1y}\right) + \left(W_{nB_1x} - W_{n-1B_1x}\right) \times \left(W_{z-1Bny} - W_{n-1B_1y}\right)$$

$$\left(W_{n-1B_1}, W_{nB_1}, W_{zBn}\right) = -\left(W_{zBnx} - W_{n-1B_1x}\right) \times \left(W_{nB_1y} - W_{n-1B_1y}\right) + \left(W_{nB_1x} - W_{n-1B_1x}\right) \times \left(W_{zBny} - W_{n-1B_1y}\right) \quad (4)$$

$$Z \in [1, m] \text{ te } n \in \left[1, m_{B_1}\right]$$

Uspoređujući rješenja, tj. predznake rješenja dobivenih iz navedenih jednadžbi za svaka dva definirana segmenta različitih planova putovanja definiraju se sljedeće zakonitosti:

[121] Z. Pietrzykowski, Ship's Fuzzy Domain – a Criterion for Navigational Safety in Narrow Fairways, The Journal of Navigation (2008.), 61.

[122] Davids 1980., 1982.; Coldwell 1983.; Zhao 1993.; Zhu 2001.; Smierzchalski 2001.; Kijima 2001., 2003.; Piertrzykowski 2004., 2006., 2008.

[123] N.Wang, X.Meng, Q.Xu, Z.Wang, A Unified Analitical Framework for Ship Domains, The Journal of Navigation (2009.), 62.

- $\left(W_{n-1B_1}, W_{nB_1}, W_{z-1Bn}\right)$ i $\left(W_{n-1B_1}, W_{nB_1}, W_{zBn}\right)$ različitog predznaka postoji sjecište navedena dva segmenta planiranih putovanja;
- $\left(W_{n-1B_1}, W_{nB_1}, W_{z-1Bn}\right)$ i $\left(W_{n-1B_1}, W_{nB_1}, W_{zBn}\right)$ jednakog predznaka ne postoji sjecište navedena dva segmenta planiranih putovanja;
- jedan od rezultata jednak 0, označava da jedan od segmenata dotiče drugi segment.

Ako se međusobnom provjerom svih segmenata planiranih putovanja utvrdi postojanje sjecišta između pojedinih segmenata, koordinate sjecišta mogu se odrediti pomoću izraza za definiranje koordinata sjecišta dva pravca u ravnini. Potrebno je najprije definirati jednadžbe pravaca na kojima leže definirani segmenti planiranog putovanja. Kako su poznate početna i krajnja točka segmenta pomoću izraza za definiranje jednadžbe pravca kroz dvije točke dobivamo sljedeća dva izraza.

$$Y - Y_{n-1B_1} = \frac{Y_{nB_1} - Y_{n-1B_1}}{X_{nB_1} - X_{n-1B_1}}\left(X - X_{n-1B_1}\right) \Rightarrow Y = Y_{n-1B_1} + \frac{Y_{nB_1} - Y_{n-1B_1}}{X_{nB_1} - X_{n-1B_1}}\left(X - X_{n-1B_1}\right) \quad (5)$$

$$Y - Y_{z-1Bn} = \frac{Y_{zBn} - Y_{z-1Bn}}{X_{zBn} - X_{z-1Bn}}\left(X - X_{z-1Bn}\right) \Rightarrow Y = Y_{z-1Bn} + \frac{Y_{zBn} - Y_{z-1Bn}}{X_{zBn} - X_{z-1Bn}}\left(X - X_{z-1Bn}\right) \quad (6)$$

Izjednačavanjem vrijednosti *Y*-a iz oba izraza dobiva se izraz iz kojeg se može izračunati vrijednost *X* koordinate sjecišta.

$$Y_{n-1B_1} + \frac{Y_{nB_1} - Y_{n-1B_1}}{X_{nB_1} - X_{n-1B_1}}\left(X - X_{n-1B_1}\right) = Y_{z-1Bn} + \frac{Y_{zBn} - Y_{z-1Bn}}{X_{zBn} - X_{z-1Bn}}\left(X - X_{z-1Bn}\right) \quad (7)$$

$$X = \frac{Y_{z-1Bn} - Y_{n-1B_1} + X_{n-1B_1} \times \frac{Y_{nB_1} - Y_{n-1B_1}}{X_{nB_1} - X_{n-1B_1}} - X_{z-1Bn} \times \frac{Y_{zBn} - Y_{z-1Bn}}{X_{zBn} - X_{z-1Bn}}}{\frac{Y_{nB_1} - Y_{n-1B_1}}{X_{nB_1} - X_{n-1B_1}} - \frac{Y_{zBn} - Y_{z-1Bn}}{X_{zBn} - X_{z-1Bn}}} \quad (8)$$

Uvrštavanjem vrijednosti *X* u jednu od prije navedenih jednadžbi (5) ili (6) može se izraziti vrijednost *Y* čime se u potpunosti definira sjecište promatranih segmenata planiranih putovanja *S = (X, Y)*.

$$Y = Y_{n-1B_1} + \frac{Y_{nB_1} - Y_{n-1B_1}}{X_{nB_1} - X_{n-1B_1}}\left(X_s - X_{n-1B_1}\right) \quad (9)$$

Kako se promatra i nadzire plovidba brodova u određenom području nadzora, potrebno je utvrditi sva meteorološko-oceanološka područja (*M*) koja su u zadanom trenutku promatranja definirana na promatranom području. Granicu prelaska broda iz jednog meteorološko-oceanološkog područja M_{k-1} u drugo M_k definiramo funkcijom:

$$Y_{M_{k-1}M_k} = f(x) \quad (10)$$

gdje je

$$k \in [1, s]$$

a, (*s*) definira broj utvrđenih meteorološko oceanoloških područja na nadziranom dijelu plovnog puta. Temeljem postupka vektorskog produkta (4) potrebno je zasebno utvrditi sjecišta svakog planiranog putovanja s meteorološko-oceanološkim područjima u nadziranom dijelu plovnog puta prema izrazima (8) i (9).

Nakon određivanja svih sjecišta planiranih putovanja s meteorološko-oceanološkim područjima potrebno je utvrditi trenutke *P*, gdje *P* predstavlja pozicije gdje brod mijenja kurs (*Wp*) ili pozicije gdje brod prelazi iz jednog u drugo meteorološko-oceanološko područje što bi mogli prikazati izrazom:

$$P \rightarrow W_p iliM \quad (11)$$

primjerice

i	*P*
0	$W_0 \rightarrow P_0$
1	$M_0 \rightarrow P_1$
2	$M_1 \rightarrow P_3$
3	$W_1 \rightarrow P_4$
…	…

Trenutak kada će brod prijeći iz jednog područja u drugo, tj kad će doseći točku *P* može se dobiti iz izraza:

$$\vec{r}_{M_k} = \vec{r}_{M_{k0}} + \vec{v}_{M_k} \times t \quad (12)$$

koji se nadalje može rastaviti:

$$X_{M_{k-1}} = X_{M_{k-1_0}} + \vec{v}_{M_{k-1X}} \times t \quad (13)$$

$$Y_{M_{k-1}} = Y_{M_{k-1_0}} + \vec{v}_{M_{k-1Y}} \times t \quad (14)$$

Ako vrijedi da je *Y* koordinata točke sjecišta jednaka *Y* koordinati točke prijašnjeg područja tj.,

$$Y_{M_{k-1}} = Y_{M_{k-1}M_k}(x) \quad (15)$$

Tada se točka prelaska iz područja u područje može definirati općom jednadžbom točke prelaska koja glasi:

$$Y_{M_{k-1_0}} + \vec{v}_{M_{k-1Y}} \times t_{M_{k-1}M_k} = Y_{M_{k-1}M_k}\left(X_{M_{k-1_0}} + \vec{v}_{M_{k-1X}} \times t_{M_{k-1}M_k}\right) \quad (16)$$

otkuda se može izvući vrijeme prelaska $t_{M_{k-1}M_k}$ koje se izražava izrazom:

$$t_{M_{k-1}M_k} = \frac{Y_{M_{k-1}M_k} \cdot X_{M_{k-1_0}} - Y_{M_{k-1_0}}}{\vec{v}_{M_{k-1Y}} - Y_{M_{k-1}M_k} \times \vec{v}_{M_{k-1X}}} \quad (17)$$

Uvrštavanjem vrijednosti vremena prelaska (17) u izraze (13) i (14) dobiva se koordinate prelaska iz područja u područje, $X_{M_{k-1}}$ i $Y_{M_{k-1}}$ tj. koordinate izlaska $\vec{r}_{M_{k-1}M_k}$.

Pomoću izraza (12) može se definirati svaki segment planiranog putovanja između trenutaka *P* i to za svaki brod zasebno u nadziranom plovnom području. Tako definirani segmenti za brod *B* mogli bi se opisati izrazima:

$$\vec{r}_B(t) = \begin{cases} \vec{r}_{P_{B_0}} + \vec{v}_{P_{B_0},P_{B_1}} \times (t - t_{P_{B_0}}), t < t_{P_{B_0}} \\ \vec{r}_{P_{B_0}} + \vec{v}_{P_{B_0},P_{B_1}} \times (t_{P_{B_1}} - t_{P_{B_0}}) + \vec{v}_{P_{B_1},P_{B_2}} \times (t - t_{P_{B_1}}), t_{P_{B_1}} < t < t_{P_{B_2}} \\ \ldots \\ \underbrace{\vec{r}_{P_{B_0}} + \vec{v}_{P_{B_0},P_{B_1}} \times (t_{P_{B_1}} - t_{P_{B_0}}) + \ldots + \vec{v}_{P_{Bi-2},P_{Bi-1}} \times (t - t_{P_{Bi-1}}), t_{P_{Bi-2}} < t < t_{P_{Bi-1}}}_{u} \\ u + \vec{v}_{P_{Bi-1},P_{Bi}} \times (t - t_{P_{Bi}}), t_{P_{Bi-1}} < t < t_{P_{Bi}} \end{cases} \quad (18)$$

Ako domenu sigurnosti oko svakog pojedinog broda definiramo pomoću kružnica[124] različitih radijusa, uzimajući u obzir specifičnosti svakog broda, meteorološke i oceanološke prilike na promatranom području, te ostale specifičnosti planiranog putovanja, tada vrijede dolje navedeni izrazi. Treba naglasiti da definirane domene u obliku kružnica ne moraju biti čvrsto definirane za cjelokupno područje nadzora, tj. mogu varirati u odnosu na područje plovidbe (obalno more, kanali, …), kao i u odnosu na vanjske prilike koje se očekuju na plovnom putu.

Radi lakšeg prikaza domene sigurnosti mogli bi definirati tako da je:

- R_A –radijus kružnice domene broda A, te da je
- R_B –radijus kružnice domene broda B.

Ako vrijedi izraz da je $R_A > R_B$, tada se pomoću sljedećeg izraza može prikazati granični slučaj povrede domene broda A od strane broda B:

$$\left|\vec{r}_B - \vec{r}_A\right| = R_A \quad (19)$$

Kvadriranjem izraza (19) dobiva se izraz:

$$\left(X_A - X_B\right)^2 + \left(Y_A - Y_B\right)^2 = {R_A}^2 \quad (20)$$

[124] Sheng-Long Kao, Kuo-Tien Lee, Ki-Yin Chang i Min-Der Ko, "*A Fuzzy Logic Method for Collision Avoidance in Vessel Traffic Service",* The Journal of Navigation (2007.), 60.

što se može svesti na kvadratnu jednadžbu po vremenu *(t),* uvrštavajući sljedeće vrijednosti u izraz (18):

$$\vec{r}_A = \vec{r}_{P_{A_0}} + \vec{v}_{P_{A_0},P_{A_1}} \times \left(t - t_{P_{A_0}}\right) \qquad \vec{r}_B = \vec{r}_{P_{B_0}} + \vec{v}_{P_{B_0},P_{B_1}} \times \left(t - t_{P_{B_0}}\right) \qquad (21)$$

koji se nadalje mogu rastaviti na:

$$X_A = X_{P_{Ao}} + \vec{v}_{P_{A_0},P_{A_1}X} \times \left(t - t_{P_{A_0}}\right) \qquad X_B = X_{P_{Bo}} + \vec{v}_{P_{B_0},P_{B_1}X} \times \left(t - t_{P_{B_0}}\right) \quad (22)$$

$$Y_A = Y_{P_{Ao}} + \vec{v}_{P_{A_0},P_{A_1}Y} \times \left(t - t_{P_{A_0}}\right) \qquad Y_B = Y_{P_{Bo}} + \vec{v}_{P_{B_0},P_{B_1}Y} \times \left(t - t_{P_{B_0}}\right) \quad (23)$$

Navedeni postupak provjere povrede domene provodi se samo za one segmente planiranog putovanja koji se događaju potpuno ili djelomično u jednakom intervalu vremena, što se može prikazati izrazom:

$$\left\lfloor t_{P_{Ai}}, t_{P_{Ai+1}} \right\rfloor \cap \left\lfloor t_{P_{Bj}}, t_{P_{Bj+1}} \right\rfloor \neq 0 \quad (24)$$

Uvrštavanjem vrijednosti X_A, X_B i Y_A,Y_B u kvadratnu jednadžbu (20) dobije se kvadratna jednadžba izražena po vremenu *t*. Opći izraz te jednadžbe možemo prikazati izrazom:

$$at^2 + bt + c = 0 \quad (25)$$

čije opće rješenje glasi:

$$t_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (26)$$

Za navedenu kvadratnu jednadžbu (20) s uvrštenim vrijednostima (22 i 23) dobivena rješenja glase[125]:

[125] Izrazi t_1 i t_2 dobiveni su korištenjem programa Mathematica, Mathematica Edition: Version 5.2 Publisher: Wolfram Research

t_1= (27)

$$\Big(2\,t_{P_{A_0}}\,v^2_{P_{A_0},P_{A_1}X}+2\,t_{P_{A_0}}\,v^2_{P_{A_0},P_{A_1}Y}-2\,t_{P_{A_0}}\,v_{P_{A_0},P_{A_1}X}\,v_{P_{B_0},P_{B_1}X}-2\,t_{P_{B_0}}\,v_{P_{A_0},P_{A_1}X}\,v_{P_{B_0},P_{B_1}X}+$$
$$2\,t_{P_{B_0}}\,v^2_{P_{B_0},P_{B_1}X}-2\,t_{P_{A_0}}\,v_{P_{A_0},P_{A_1}Y}\,v_{P_{B_0},P_{B_1}Y}-2\,t_{P_{B_0}}\,v_{P_{A_0},P_{A_1}Y}\,v_{P_{B_0},P_{B_1}Y}+2\,t_{P_{B_0}}\,v^2_{P_{B_0},P_{B_1}Y}-$$
$$2\,v_{P_{A_0},P_{A_1}X}\,X_{P_{A_0}}+2\,v_{P_{B_0},P_{B_1}X}\,X_{P_{A_0}}+2\,v_{P_{A_0},P_{A_1}X}\,X_{P_{B_0}}-2\,v_{P_{B_0},P_{B_1}X}\,X_{P_{B_0}}-2\,v_{P_{A_0},P_{A_1}Y}\,Y_{P_{A_0}}+$$
$$2\,v_{P_{B_0},P_{B_1}Y}\,Y_{P_{A_0}}+2\,v_{P_{A_0},P_{A_1}Y}\,Y_{P_{B_0}}-2\,v_{P_{B_0},P_{B_1}Y}\,Y_{P_{B_0}}+\sqrt{\Big(\big(-2\,t_{P_{A_0}}\,v^2_{P_{A_0},P_{A_1}X}-2\,t_{P_{A_0}}\,v^2_{P_{A_0},P_{A_1}Y}+$$
$$2\,t_{P_{A_0}}\,v_{P_{A_0},P_{A_1}X}\,v_{P_{B_0},P_{B_1}X}+2\,t_{P_{B_0}}\,v_{P_{A_0},P_{A_1}X}\,v_{P_{B_0},P_{B_1}X}-2\,t_{P_{B_0}}\,v^2_{P_{B_0},P_{B_1}X}+2\,t_{P_{A_0}}\,v_{P_{A_0},P_{A_1}Y}\,v_{P_{B_0},P_{B_1}Y}+$$
$$2\,t_{P_{B_0}}\,v_{P_{A_0},P_{A_1}Y}\,v_{P_{B_0},P_{B_1}Y}-2\,t_{P_{B_0}}\,v^2_{P_{B_0},P_{B_1}Y}+2\,v_{P_{A_0},P_{A_1}X}\,X_{P_{A_0}}-2\,v_{P_{B_0},P_{B_1}X}\,X_{P_{A_0}}-2\,v_{P_{A_0},P_{A_1}X}\,X_{P_{B_0}}+$$
$$2\,v_{P_{B_0},P_{B_1}X}\,X_{P_{B_0}}+2\,v_{P_{A_0},P_{A_1}Y}\,Y_{P_{A_0}}-2\,v_{P_{B_0},P_{B_1}Y}\,Y_{P_{A_0}}-2\,v_{P_{A_0},P_{A_1}Y}\,Y_{P_{B_0}}+2\,v_{P_{B_0},P_{B_1}Y}\,Y_{P_{B_0}}\big)^2-$$
$$4\,\big(v^2_{P_{A_0},P_{A_1}X}+v^2_{P_{A_0},P_{A_1}Y}-2\,v_{P_{A_0},P_{A_1}X}\,v_{P_{B_0},P_{B_1}X}+v^2_{P_{B_0},P_{B_1}X}-2\,v_{P_{A_0},P_{A_1}Y}\,v_{P_{B_0},P_{B_1}Y}+v^2_{P_{B_0},P_{B_1}Y}\big)$$
$$\big(-R_A^2+t^2_{P_{A_0}}\,v^2_{P_{A_0},P_{A_1}X}+t^2_{P_{A_0}}\,v^2_{P_{A_0},P_{A_1}Y}-2\,t_{P_{A_0}}\,t_{P_{B_0}}\,v_{P_{A_0},P_{A_1}X}\,v_{P_{B_0},P_{B_1}X}+t^2_{P_{B_0}}\,v^2_{P_{B_0},P_{B_1}X}-$$
$$2\,t_{P_{A_0}}\,t_{P_{B_0}}\,v_{P_{A_0},P_{A_1}Y}\,v_{P_{B_0},P_{B_1}Y}+t^2_{P_{B_0}}\,v^2_{P_{B_0},P_{B_1}Y}-2\,t_{P_{A_0}}\,v_{P_{A_0},P_{A_1}X}\,X_{P_{A_0}}+2\,t_{P_{B_0}}\,v_{P_{B_0},P_{B_1}X}\,X_{P_{A_0}}+$$
$$X^2_{P_{A_0}}+2\,t_{P_{A_0}}\,v_{P_{A_0},P_{A_1}X}\,X_{P_{B_0}}-2\,t_{P_{B_0}}\,v_{P_{B_0},P_{B_1}X}\,X_{P_{B_0}}-2\,X_{P_{A_0}}\,X_{P_{B_0}}+X^2_{P_{B_0}}-2\,t_{P_{A_0}}\,v_{P_{A_0},P_{A_1}Y}\,Y_{P_{A_0}}+$$
$$2\,t_{P_{B_0}}\,v_{P_{B_0},P_{B_1}Y}\,Y_{P_{A_0}}+Y^2_{P_{A_0}}+2\,t_{P_{A_0}}\,v_{P_{A_0},P_{A_1}Y}\,Y_{P_{B_0}}-2\,t_{P_{B_0}}\,v_{P_{B_0},P_{B_1}Y}\,Y_{P_{B_0}}-2\,Y_{P_{A_0}}\,Y_{P_{B_0}}+Y^2_{P_{B_0}}\big)\Big)\Big)\Big/$$
$$\big(2\,\big(v^2_{P_{A_0},P_{A_1}X}+v^2_{P_{A_0},P_{A_1}Y}-2\,v_{P_{A_0},P_{A_1}X}\,v_{P_{B_0},P_{B_1}X}+v^2_{P_{B_0},P_{B_1}X}-2\,v_{P_{A_0},P_{A_1}Y}\,v_{P_{B_0},P_{B_1}Y}+v^2_{P_{B_0},P_{B_1}Y}\big)\big)$$

t_2= (28)

$$\Big(2\,t_{P_{A_0}}\,v^2_{P_{A_0},P_{A_1}X}+2\,t_{P_{A_0}}\,v^2_{P_{A_0},P_{A_1}Y}-2\,t_{P_{A_0}}\,v_{P_{A_0},P_{A_1}X}\,v_{P_{B_0},P_{B_1}X}-2\,t_{P_{B_0}}\,v_{P_{A_0},P_{A_1}X}\,v_{P_{B_0},P_{B_1}X}+$$
$$2\,t_{P_{B_0}}\,v^2_{P_{B_0},P_{B_1}X}-2\,t_{P_{A_0}}\,v_{P_{A_0},P_{A_1}Y}\,v_{P_{B_0},P_{B_1}Y}-2\,t_{P_{B_0}}\,v_{P_{A_0},P_{A_1}Y}\,v_{P_{B_0},P_{B_1}Y}+2\,t_{P_{B_0}}\,v^2_{P_{B_0},P_{B_1}Y}-$$
$$2\,v_{P_{A_0},P_{A_1}X}\,X_{P_{A_0}}+2\,v_{P_{B_0},P_{B_1}X}\,X_{P_{A_0}}+2\,v_{P_{A_0},P_{A_1}X}\,X_{P_{B_0}}-2\,v_{P_{B_0},P_{B_1}X}\,X_{P_{B_0}}-2\,v_{P_{A_0},P_{A_1}Y}\,Y_{P_{A_0}}+$$
$$2\,v_{P_{B_0},P_{B_1}Y}\,Y_{P_{A_0}}+2\,v_{P_{A_0},P_{A_1}Y}\,Y_{P_{B_0}}-2\,v_{P_{B_0},P_{B_1}Y}\,Y_{P_{B_0}}-\sqrt{\Big(\big(-2\,t_{P_{A_0}}\,v^2_{P_{A_0},P_{A_1}X}-2\,t_{P_{A_0}}\,v^2_{P_{A_0},P_{A_1}Y}+$$
$$2\,t_{P_{A_0}}\,v_{P_{A_0},P_{A_1}X}\,v_{P_{B_0},P_{B_1}X}+2\,t_{P_{B_0}}\,v_{P_{A_0},P_{A_1}X}\,v_{P_{B_0},P_{B_1}X}-2\,t_{P_{B_0}}\,v^2_{P_{B_0},P_{B_1}X}+2\,t_{P_{A_0}}\,v_{P_{A_0},P_{A_1}Y}\,v_{P_{B_0},P_{B_1}Y}+$$
$$2\,t_{P_{B_0}}\,v_{P_{A_0},P_{A_1}Y}\,v_{P_{B_0},P_{B_1}Y}-2\,t_{P_{B_0}}\,v^2_{P_{B_0},P_{B_1}Y}+2\,v_{P_{A_0},P_{A_1}X}\,X_{P_{A_0}}-2\,v_{P_{B_0},P_{B_1}X}\,X_{P_{A_0}}-2\,v_{P_{A_0},P_{A_1}X}\,X_{P_{B_0}}+$$
$$2\,v_{P_{B_0},P_{B_1}X}\,X_{P_{B_0}}+2\,v_{P_{A_0},P_{A_1}Y}\,Y_{P_{A_0}}-2\,v_{P_{B_0},P_{B_1}Y}\,Y_{P_{A_0}}-2\,v_{P_{A_0},P_{A_1}Y}\,Y_{P_{B_0}}+2\,v_{P_{B_0},P_{B_1}Y}\,Y_{P_{B_0}}\big)^2-$$
$$4\,\big(v^2_{P_{A_0},P_{A_1}X}+v^2_{P_{A_0},P_{A_1}Y}-2\,v_{P_{A_0},P_{A_1}X}\,v_{P_{B_0},P_{B_1}X}+v^2_{P_{B_0},P_{B_1}X}-2\,v_{P_{A_0},P_{A_1}Y}\,v_{P_{B_0},P_{B_1}Y}+v^2_{P_{B_0},P_{B_1}Y}\big)$$
$$\big(-R_A^2+t^2_{P_{A_0}}\,v^2_{P_{A_0},P_{A_1}X}+t^2_{P_{A_0}}\,v^2_{P_{A_0},P_{A_1}Y}-2\,t_{P_{A_0}}\,t_{P_{B_0}}\,v_{P_{A_0},P_{A_1}X}\,v_{P_{B_0},P_{B_1}X}+t^2_{P_{B_0}}\,v^2_{P_{B_0},P_{B_1}X}-$$
$$2\,t_{P_{A_0}}\,t_{P_{B_0}}\,v_{P_{A_0},P_{A_1}Y}\,v_{P_{B_0},P_{B_1}Y}+t^2_{P_{B_0}}\,v^2_{P_{B_0},P_{B_1}Y}-2\,t_{P_{A_0}}\,v_{P_{A_0},P_{A_1}X}\,X_{P_{A_0}}+2\,t_{P_{B_0}}\,v_{P_{B_0},P_{B_1}X}\,X_{P_{A_0}}+$$
$$X^2_{P_{A_0}}+2\,t_{P_{A_0}}\,v_{P_{A_0},P_{A_1}X}\,X_{P_{B_0}}-2\,t_{P_{B_0}}\,v_{P_{B_0},P_{B_1}X}\,X_{P_{B_0}}-2\,X_{P_{A_0}}\,X_{P_{B_0}}+X^2_{P_{B_0}}-2\,t_{P_{A_0}}\,v_{P_{A_0},P_{A_1}Y}\,Y_{P_{A_0}}+$$
$$2\,t_{P_{B_0}}\,v_{P_{B_0},P_{B_1}Y}\,Y_{P_{A_0}}+Y^2_{P_{A_0}}+2\,t_{P_{A_0}}\,v_{P_{A_0},P_{A_1}Y}\,Y_{P_{B_0}}-2\,t_{P_{B_0}}\,v_{P_{B_0},P_{B_1}Y}\,Y_{P_{B_0}}-2\,Y_{P_{A_0}}\,Y_{P_{B_0}}+Y^2_{P_{B_0}}\big)\Big)\Big)\Big/$$
$$\big(2\,\big(v^2_{P_{A_0},P_{A_1}X}+v^2_{P_{A_0},P_{A_1}Y}-2\,v_{P_{A_0},P_{A_1}X}\,v_{P_{B_0},P_{B_1}X}+v^2_{P_{B_0},P_{B_1}X}-2\,v_{P_{A_0},P_{A_1}Y}\,v_{P_{B_0},P_{B_1}Y}+v^2_{P_{B_0},P_{B_1}Y}\big)\big)$$

Pomoću tri moguća rješenja kvadratne jednadžbe, koja ovise o vrijednostima diskriminante *(D = b^2 - 4ac)*, mogu se tumačiti i tri slučaja povrede domene promatranog broda,

1. ako je diskriminanta kvadratne jednadžbe *D >0*, tada jednadžba ima dva različita realna rješenja t_1 i t_2, koja prikazuju vrijeme ulaska i vrijeme izlaska broda manje domene iz domene drugog broda,

2. ako je diskriminanta kvadratne jednadžbe $D = 0$, tada jednadžba ima jedno dvostruko rješenje $t_1 = t_2$, što nam opisuje granični slučaj, kada brod manjeg radijusa domene dodiruje domenu drugog broda.
3. ako je diskriminanta kvadratne jednadžbe $D < 0$, tada jednadžba nema realnih rješenja što znači da neće doći do povrede domene između promatranih brodova, u promatranim segmentima planiranih putovanja.

Pošto su podaci koji se o poziciji broda dobivaju s nadzornih sustava, primjerice AIS sustava, definirani kao geografske koordinate:

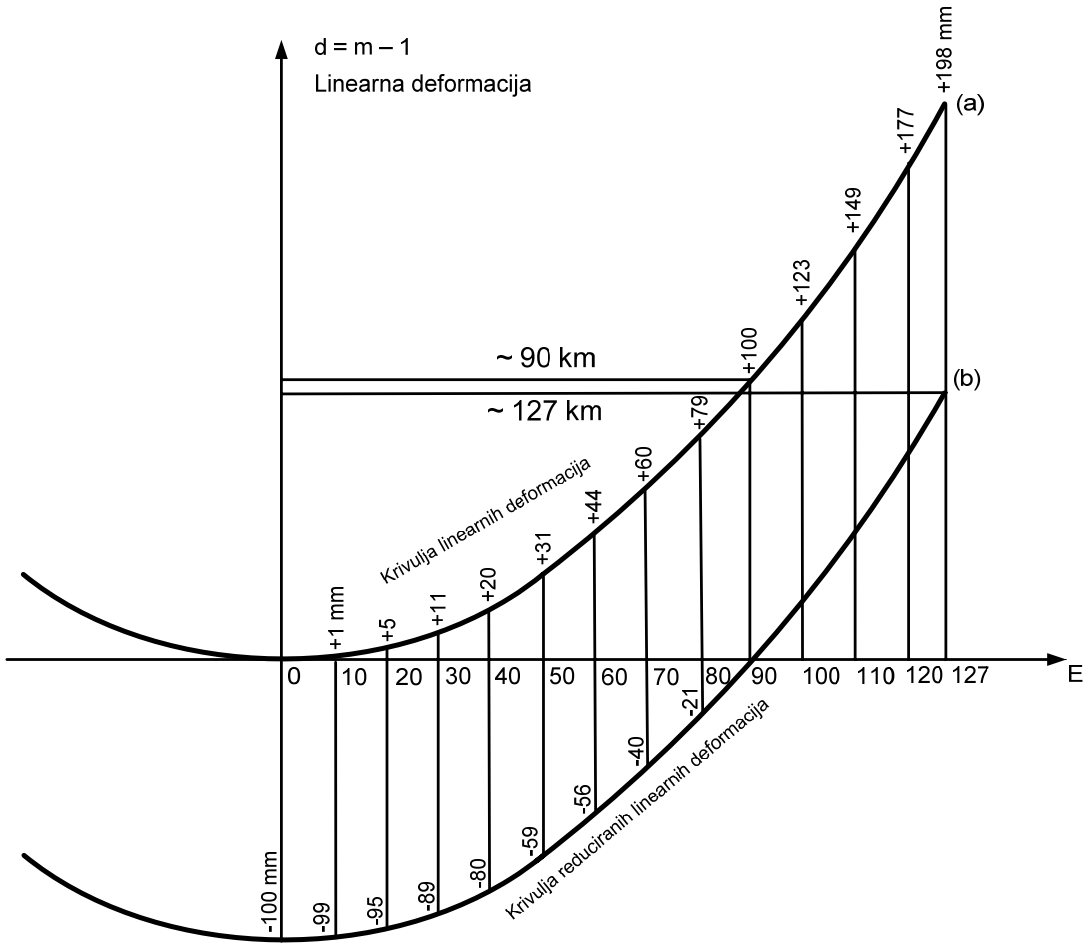
- geografska širina, φ definirana u stupnjevima (°),
- geografska dužina, λ definirana u stupnjevima (°),

potrebno je iste pomoću odgovarajućih matematičkih izvoda pretvoriti u pravokutne koordinate u ravnini projekcije (X i Y), koje se mogu rabiti u navedenim izrazima. U tu se svrhu najčešće upotrebljava poprečna Merkatorova (Gauss-Krügerova) projekcija koja je određena uvjetima:

- projekcija je konformna,
- srednji meridijan preslikava se u pravoj veličini ili je mjerilo uzduž njega stalno,
- os N = x pravokutnog koordinatnog sustava poklapa se sa slikom srednjeg meridijana.

Kod poprečne Mercatorove (Gauss-Krügerove) projekcije u kojoj nema deformacija na srednjem meridijanu, tj. u kojoj se srednji meridijan preslikava u pravoj veličini, vrijedi pravilo što je veća udaljenost od srednjeg meridijana to su i linearne deformacije veće. Ovisnost veličine linearnih deformacija o udaljenosti od srednjeg meridijana u toj projekciji prikazana je na sljedećoj slici.

Da bi se povećalo područje preslikavanja uz zadržavanje tražene točnosti, na srednjem meridijanu uvodi se maksimalna negativna deformacija. Uvođenjem te deformacije na srednjem meridijanu područje preslikavanja je prošireno i iznosi 127 km istočno i zapadno od srednjeg meridijana. U tom području prilikom računanja u ravnini projekcije možemo u potpunosti zanemariti deformacije projekcije.



Slika 13 Krivulje linearnih deformacija u poprečnoj Mercatorovoj projekciji kod a) nereduciranih i b) reduciranih koordinata

Izvor: Tehničke specifikacije za postupke računanja i podjelu na listove službenih karata i detaljne listove katastarskog plana u kartografskoj projekciji RH - HTRS96/TM, verzija 1.0

Primjerice koordinatnim sustavom poprečne Mercatorove projekcije – HTRS96/TM[126] obuhvaćeno je cijelo područje Republike Hrvatske sa srednjim meridijanom 16° 30' i linearnim mjerilom 0,9999 uzduž srednjeg meridijana. Posljedica toga je da su linearne deformacije u područjima udaljenim manje od 127 km od srednjeg meridijana manje od 1dm na 1 km, a što je sasvim zadovoljavajuće glede predloženog modela.

[126] HTRS96/TM - koordinatni sustav poprečne Mercatorove (Gauss-Krügerove) projekcije sa srednjim meridijanom 16°30' i linearnim mjerilom na srednjem meridijanu 0,9999 koji se određuje projekcijskim koordinatnim sustavom Republike Hrvatske za potrebe katastra i detaljne državne topografske kartografije.

4.2.2 Model predviđanja brzine broda u odnosu na hidro-meteorološke utjecaje

Za predviđanje brzine broda u svakom pojedinom segmentu planiranog plovnog puta, koja je potrebna radi popunjavanja gore navedenih izraza, izrađen je model predviđanja brzine broda. Kao osnova za izradu modela poslužio je navigacijski simulator tvrtke Transas, *Transas Marine Navi-Trainer, NTPRO 4000*[127] instaliran na Pomorskom fakultetu u Rijeci. Tijekom istraživanja izvedena su simuliranja za dva broda (matematički model broda) i to:

- LNG brod, osnovnih karakteristika:
  - duljina preko svega – 274,3 m
  - širina broda – 43,3 m
  - srednji gaz broda – 10,9 m
  - deplasman broda – 89.634 t
  - koeficijent punoće brodskog trupa – 0,71
  - površina kormila – 61,8 m^2
  - brzina broda kod režima stroja „svom snagom naprijed“ – 21,3 čv
- brod za prijevoz rasutih tereta, osnovnih karakteristika:
  - duljina preko svega – 290,0 m
  - širina broda – 46,0 m
  - srednji gaz broda – 18,1 m
  - deplasman broda – 202.000 t
  - koeficijent punoće brodskog trupa – 0,85
  - površina kormila – 95,1 m^2
  - brzina broda kod režima stroja „svom snagom naprijed“ – 14,6 čv

Navigacijski simulator je korišten za simuliranje učinka djelovanja vanjskih utjecaja na brzinu promatranih brodova. Sve simulacije napravljene su na morskom području s velikim dubinama (više od 200 m) te se može smatrati da dubina mora nema utjecaja na promatrane brzine broda. U svim se simulacijama kao osnova uzimalo da

[127] Navedeni simulator tvrtke Transas instaliran na Pomorskom fakultetu u Rijeci je u vrijeme istraživanja imao važeći certifikat izdan od strane Det Norske Veritas – DNV, „*Class A – Standard for certification of maritime simulators No. 2.14*“

brod konstantno plovi svom snagom naprijed, što je uobičajena brzina kod komercijalne plovidbe broda. Prilikom simuliranja utjecaja vanjskih uvjeta na brzinu broda u obzir su uzeta tri vanjska uvjeta i to:

- vjetar (simulirane brzine vjetra: 0, 10, 20, 30 i 40 čvorova)
- morska struja (simulirane brzine morske struje: 0, 1 i 2 čvora)
- valovi (simulirane visine vala: 0, 1, 2, 3, 4 metra).

Tablica 8 Skala stanja mora za Jadran i njezin odnos prema WMO[128] skali

Vjetar		**More/Valovi**				
Beaufortov stupanj Naziv	**Interval brzine vjetra, čv**	**Opis površine**	**$H_{1/3}$, m**	**Odnos prema skali WMO za oceane**		
				Stupanj stanja mora Naziv stanja mora	**$H_{1/3}$, m**	**Učestalost**
0 Utiha	0 – 1	More mirno i glatko poput ogledala	-	0 Zrcalno mirno	0	11,2%
1 Lahor	1 – 3	Stvaraju se nabori poput ribljih ljuski no bez pjene	<0,05	1 Skoro mirno	0-0,1	
2 Povjetarac	4 – 6	Sitni valovi, još uvijek kratki ali vidljivi, brjegovi se ne lome	0,2	2 Valićasto	0,1-0,5	
3 Vjetrić	7 – 10	Vrlo mali valovi čiji se vrhovi počinju razbijati. Ponegdje se vide „ovčice“ s brjegovima bijelim od pjene	0,5	3 Malo valovito	0,5-1,25	31,7%
4 Umjeren vjetar	11 – 16	Mali valovi koji se počinju produljivati: „ovčice“ su češće	0,8			
5 Svježi vjetar	17 – 21	Umjereni valovi koji su dulji: mnoge „ovčice“ ili „bijeli mačići“. Mogućnost pojave morskog dima	1,3	4 Umjereno valovito	1,25-2,5	40,2%
6 Umjereno jak vjetar	22 – 27	Veliki valovi: svi su brjegovi bijeli od pjene. Veoma vjerojatno zaprskavanje.	1,9			
7 Jak vjetar	28 – 33	More se povećava. Pjenu koja nastaje razbijanjem valova vjetar raznosi u obliku dugačkih pruga	2,6	5 Uzburkano	2,5-4,0	12,8%
8 Vrlo jak vjetar	34 – 40	Umjereno veliki valovi umjerene duljine. Valovi se razbijaju i vrtložno ih povlači vjetar. Trake pjene jako vidljive.	3,5			
9 Olujni vjetar	41 – 47	Visoki valovi. Guste trake pjene. Brjegovi se razbijaju i padaju rotirajući. Morski dim može smanjiti vidljivost	4,6	6 Vrlo uzburkano	4,0-6,1	3,0%
10 Jaka oluja	48 – 55	Jako visoki valovi, dugački brjegovi. Pjena postaje gusta. Cijelo more postaje bjeličasto. Rotacija razbijenih valova je veoma snažna. Smanjena vidljivost.	5,9			
11 Teška oluja	56 – 63	Valovi iznimno visoki (manji brodovi mogu za trenutak nestati iz vida). More je prekriveno bijelom pjenom, Vjetar raspršuje vrhove valova. Smanjena vidljivost.	7,6	7 Visoko	6,1-9,0	0,9%
12 Orkan	64 – 71	Zrak je pun pjene i magle od morskog dima. More je posve bijelo od pjene. Vidljivost jako smanjena.	8,8			

Izvor: J.P. Oršić, V. Čorić, Pomorstvenost Plovnih objekata, Rijeka 2006.

[128] WMO – Svjetska meteorološka organizacija (*eng. World Meteorological Organization*)

Pri odabiru prikazanih vrijednosti brzine vjetra, te visine valova za koje su rađene simulacije na navigacijskom simulatoru uzeta je u obzir učestalost njihova pojavljivanja na području Jadranskog mora. Kako je prikazano u prethodnoj tablici brzine vjetra do 40 čvorova s pripadajućim visinama valova do 4 metra na području Jadranskog mora imaju učestalost od 95,8%, te su stoga i odabrane definirane vrijednosti korištene pri izradi simuliranih scenarija. Definirane vrijednosti morskih struja uzete su s obzirom na moguće vrijednosti brzine morskih struja uzrokovanih vjetrom na području Jadranskog mora[129], gdje one u površinskom sloju ne prelaze vrijednost od 1,5 čvorova.

U pogledu utjecaja na plovidbu brodova morem, vjetar je vodoravno strujanje zraka. Osnovna obilježja su mu: brzina, smjer, trajnost i učestalost. Smjerom vjetra se označava smjer odakle vjetar puše. Ako se vjetar opaža po učincima na okoliš, njegova jačina se izražava u stupnjevima Beaufortove ljestvice, a smjer procjenjuje. Ukoliko se mjeri, brzina se izražava u m/s, a smjer se očitava. U navigacijskom simulatoru Transas NTPRO 4000[130] vjetar se opisuje kao jednoliko strujanje zraka uokolo broda, stalnog smjera i brzine, definirano na visini od 6 m iznad razine mora. Strukturne formule sveobuhvatnih računatih aerodinamičnih karakteristika (trupa i nadgrađa) su definirane funkcijama parcijalnih suma Fourieovih redova, kao što su:

- nedimenzionalne uzdužne aerodinamične sile,
- nedimenzionalne poprečne aerodinamične sile,
- nedimenzionalne vertikalne aerodinamične sile,
- nedimenzionalne aerodinamične sile zaošijanja,
- nedimenzionalne aerodinamične sile valjanja.

Morske struje predstavljaju vodoravno translatiranje vodenih masa, a s obzirom na sile uzročnice mogu biti: struje generirane vjetrom, geostrofičke struje, struje nagiba, struje morskih mijena i struje uzrokovane općim sustavom cirkulacije. Morske struje u korištenom simulatoru modelirane su kao stalan protok sa zadanom raspodjelom brzine. Mijenjanje brzine morske struje s dubinom nije uzeto u obzir. Sile i momenti koji proizlaze iz djelovanja morske struje na brod definirani su kao suma dviju komponenti:

[129] Peljar I., Jadransko more – Istočna obala, Četvrto izdanje, HHI. Split, 1999.
[130] NAVI TRAINER 4000 Mathematical models technical description, Chapter 3., Enviromental Mathematical Models and Resulting Aero/Hidro Forces Effects

- sile i momenti morske struje u ravnomjernom stalnom protoku
- sile i momenti zbog nepravilnog protoka morske struje.

Valovi su periodičko, visinsko, translatorno i rotaciono pomicanje morske vode uz površinu. Obilježava ih smjer nailaska, visina, duljina, perioda i iz toga proizlazi brzina. Ovise o jačini vjetra i duljini privjetrišta s obzirom da su vjetrovi prevladavajući uzročnik nastanka valova na moru. Stanje mora (valova) modelirano je na Transas NTPRO 4000 simulatoru kao statički proces sa spektralnim karakteristikama koje odgovaraju stvarnim stanjima morskih valova. Korišten je trodimenzionalni više harmonijski neregularni model valova, sa stanjem mora opisanim preko značajne valne visine[131] ($H_{1/3}$) te općeg smjera kretanja mora, dok se stanje mora definira modelom koji se sastoji od 20 harmoničnih izraza. Utjecaj valova na brod definiran je u simulatoru računanjem uzdužnih, poprečnih i vertikalnih sila, te momenata valjanja, trima i posrtanja broda.

Prilikom izrade modela predviđanja brzine broda u odnosu na vanjske podražaje uzeta su neka ograničenja. Prvenstveno sve vrijednosti su simulirane na način da svi vanjski podražaji (vjetar, valovi, morska struja) djeluju iz istog smjera[132], što podrazumijeva da se valovi formiraju kao vjetrovni valovi, a morske struje kao struje generirane vjetrom. Također sve su simulacije definirane za pravocrtno kretanje broda, što znači da je zanemaren utjecaj smanjivanja brzine zbog okretanja broda na pojedinoj točki okreta. Smanjenje brzine bez djelovanja vanjskih podražaja prikazano je u sljedećoj tablici[133] za promatrani brod za prijevoz rasutih tereta, kod otklona kormila od 10°, pri brzini broda svom snagom naprijed.

[131] Značajna valna visina definira se kao srednja visina 1/3 najviših valova

[132] Ne uzimajući u obzir da se smjer vjetra definira kao smjer od kuda vjetar puše, a smjer morskih struja kamo se kreću

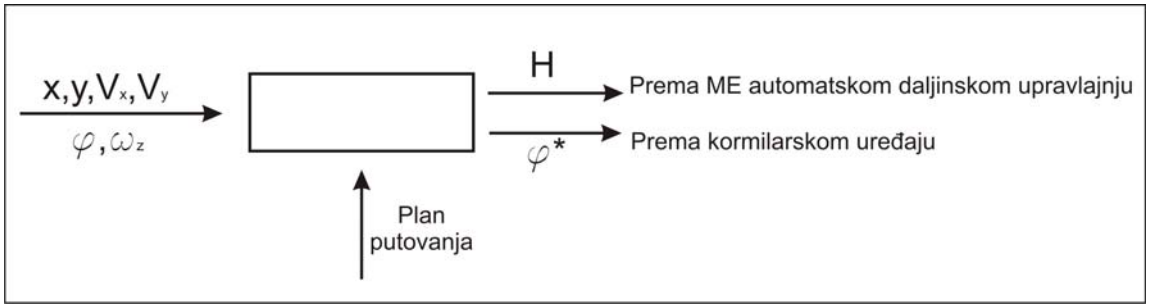
[133] NAVI TRAINER 4000, Manoeuvering Booklet, Mathematical Model of Bulk Carrier 2 (Dis. 202000 t)

Tablica 9 Prikaz smanjivanja brzine zbog okretanja broda

Svom snagom naprijed, 10 stupnjeva otklon kormila					
Promjena kursa (°)	**Vrijeme (min.)**	**Brzina nakon okreta (čv)**	**Gradijent skretanja (°/min.)**	**Napredovanje (kabeli)**	**Zanošenje (kabeli)**
10	0-58	14.4	18.6	2.32	0.03
20	1-27	14.1	21.9	3.46	0.20
30	1-54	13.8	22.8	4.46	0.51
40	2-20	13.5	22.8	5.34	0.95
50	2-46	13.2	22.5	6.13	1.53
60	3-13	12.9	22.2	6.80	2.23
70	3-40	12.6	21.9	7.33	3.03
80	4-08	12.4	21.6	7.71	3.90
90	4-36	12.2	21.4	7.94	4.83
100	5-04	12.0	21.1	8.01	5.78
110	5-33	11.8	20.9	7.90	6.72
120	6-01	11.7	21.8	7.65	7.61
130	6-30	11.5	20.6	7.24	8.44
140	7-00	11.4	20.5	6.69	9.20
150	7-29	11.3	20.4	6.03	9.84
160	7-58	11.2	20.3	5.27	10.35
170	8-28	11.1	20.2	4.42	10.73
180	8-58	11.0	20.1	3.55	10.95
270	13-32	10.5	19.5	-2.42	6.68
360	18-11	10.3	19.2	1.80	0.79

Izvor: autor prema tablici iz MANOEUVRING BOOKLET V1.06, According to: Solas II-1, regulation 28.3, St. Petersburg 2006.; Mathematical model of Bulk carrier 2 (Dis.202000t); Version: v23, Dll Version: 2.31.558; NTPRO 4000

Kod simuliranja djelovanja vanjskih utjecaja na brod kombinacije prije navedenih vrijednosti (pet stanja vjetra, tri stanja morske struje i pet stanja valova) simulirane su u šesnaest smjerova u odnosu na broda, tj. simulirano je za svakih 22,5° horizonta. Odabrano je 432 reprezentativna scenarija različitih stanja vanjskih poremećaja u 16 različitih smjerova djelovanja za svaki pojedini brod. Svaki od definiranih scenarija simuliran je u vremenu od deset minuta, a iz zadnjih pet minuta je određena prosječna brzina promatranog broda u simuliranom scenariju. Očitanja svih parametara vršila su se svakih deset sekundi, a sama simulacija je iznova započeta s definiranim vrijednostima zadanog scenarija.



Slika 14: Shematski prikaz rada autopilota prilikom zadržavanja broda na ruti

Izvor: autor, prema slici iz NAVI TRAINER 4000, Matematical Models Technical Description, Chapter 5., Automatic Vessel Movement Control Systems

Inicijalni kurs broda u svakoj simulaciji bio je 0°, te je predviđeno da se planirano putovanje broda upravo izvodi po meridijanu, a vanjski su podražaji varirani u smjeru. Prema prijašnjem poglavlju zahtijeva se od broda da se zadržava na planiranoj ruti (u konkretnom slučaju dvije točke okreta s istim koordinatama geografske dužine), bez obzira na vanjske podražaje. U tu svrhu korištena je opcija postavljanja brodskog autopilota[134] na funkciju praćenja planiranog putovanja (*eng. Track control* ili *Track mode*).

[134] NAVI TRAINER 4000 Mathematical models technical description, Chapter 5., Automatic Vessel Movement Control Systems

Own ship OS 4 (Bulk carrier 2 (Dis.202000t))
Time interval: 00:08:00 - 00:10:00; Step - 00:00:10

TIME	LAT LON	COG SOG	HDG LOG	SET DRIFT	SPD F SPD A	RUD ROT	RPM L RPM R	PITCH L PITCH R	THR B THR S
-	- -	° knt	° knt	° knt	knt knt	° °/min	- -	- -	% %
00:08:00	50°03.88N 011°23.00W	000 13.370	355 13.776	108 1.1	0.904 1.138	0 -1.00	65 -	- -	- -
00:08:10	50°03.91N 011°23.00W	000 13.354	355 13.753	106 1.2	1.158 1.087	1 0.00	65 -	- -	- -
00:08:20	50°03.95N 011°23.00W	001 13.407	355 13.776	102 1.5	1.595 1.306	5 1.00	65 -	- -	- -
00:08:30	50°03.99N 011°23.00W	000 13.221	355 13.622	107 1.2	1.299 0.894	2 2.00	65 -	- -	- -
00:08:40	50°04.02N 011°23.00W	000 13.315	355 13.722	109 1.1	0.948 1.072	2 0.00	65 -	- -	- -
00:08:50	50°04.06N 011°23.00W	359 13.306	355 13.717	110 1.0	1.109 0.788	1 1.00	65 -	- -	- -
00:09:00	50°04.10N 011°23.00W	000 13.265	355 13.665	107 1.2	0.954 1.236	2 -1.00	65 -	- -	- -
00:09:10	50°04.14N 011°23.00W	000 13.193	355 13.589	106 1.2	1.002 1.296	4 -1.00	65 -	- -	- -
00:09:20	50°04.17N 011°23.00W	000 13.292	355 13.693	107 1.2	0.784 1.374	3 -3.00	65 -	- -	- -
00:09:30	50°04.21N 011°23.00W	359 13.376	355 13.787	110 1.0	1.071 0.827	0 1.00	65 -	- -	- -
00:09:40	50°04.25N 011°23.00W	359 13.306	355 13.722	112 1.0	0.768 0.929	-1 0.00	65 -	- -	- -
00:09:50	50°04.28N 011°23.00W	359 13.316	355 13.728	110 1.0	0.943 0.930	1 0.00	65 -	- -	- -
00:10:00	50°04.32N 011°23.00W	359 13.282	355 13.692	110 1.1	0.944 0.966	1 0.00	65 -	- -	- -
END									

Slika 15: Prikaz vrijednosti očitanja nakon izvršene simulacije

Izvor: autor korištenjem *Transas Marine Navi-Trainer, NTPRO 4000*

Ovako zadani uvjeti dovodili su u pojedinim scenarijima do upotrebe brodskog kormila radi zadržavanja broda na planiranoj ruti, što je s translatornim gibanjem broda (razlika u kursu preko dna i kursu kroz vodu) dodatno utjecalo na brzinu broda. U korištenom simulatoru[135] sile hidrodinamike na list kormila ovise o brodskom gibanju i kinematičkim parametrima, geometrijskim obilježjima i površini kormila, otklonu kormila te radu brodskog propulzora. Primjer kuta otklona kormila potreban radi zadržavanja broda u definiranom kursu zbog vanjskog djelovanja vjetra prikazan je u

[135] NAVI TRAINER 4000 Mathematical models technical description, Chapter 2., Ship Motion inCalm Deep Water, Sterring Device Hydrodynamic

sljedećoj tablici[136] promatranog broda za prijevoz rasutih tereta, pri brzini broda svom snagom naprijed.

Tablica 10 Kut otklona kormila potreban radi zadržavanja kursa broda zbog djelovanja vjetra

Relativni smjer vjetra, (°)	Vrijednost otklona kormila za zadržavanje kursa broda pri sljedećim vrijednostima brzine, smjera vjetra; Svom sangom naprijed			
	15 čvorova	30 čvorova	45 čvorova	60 čvorova
0	0.1	0.1	0.2	0.2
45	- 0.3	- 1.2	- 2.9	- 5.4
90	- 0.3	- 1.8	- 4.6	- 8.7
135	- 0.1	- 1.5	- 4.2	- 7.8
180	0.1	0.1	0.1	0.1
225	0.4	1.8	4.4	8.2
270	0.6	2.1	4.8	9.1
315	0.5	1.5	3.1	5.8

Izvor: autor prema tablici iz MANOEUVRING BOOKLET V1.06, According to: Solas II-1, regulation 28.3, St. Petersburg 2006.; Mathematical model of Bulk carrier 2 (Dis.202000t); Version: v23, Dll Version: 2.31.558; NTPRO 4000

Kod konačnog određivanja brzine broda uzeta je u obzir brzina broda preko dna, tj. brzina broda u odnosu na morsko dno koja se dobiva kao rezultanta brzine kroz vodu i utjecaja morske struje, vjetra i valova na brod.

Navedeni simulirani scenariji (432 scenarija za svaki brod) korišteni su za treniranje izrađenih modela predviđanja brzine broda, korištenjem računalnog programa Mathworks MATLAB R2009b. Naime, budući da je analiziranjem 432 uzorka simuliranih scenarija metodom višestruke linearne regresije (multipli $R=0.313$[137], $R^2=9.8\%$[138], korigirani $R^2_{adj}=8.9\%$, $MSE=1.405$[139]) utvrđena značajna nelinearnost između brzine broda i analiziranih vanjskih poremećaja s obzirom na promjenu smjera djelovanja, odabrana je umjetna neuronska mreža kao temelj za izradu prije spomenutog modela. Neuronska mreža ima zavidnu točnost kod izrazito nelinearnih sustava[140], stoga

[136] NAVI TRAINER 4000, Manoeuvering Booklet, Mathematical Model of Bulk Carrier 2 (Dis. 202000 t)

[137] Koeficijentom višestruke korelacije *R* (*eng. Regression)*

[138] Koeficijent determinacije R^2 *(eng. R - Square)*

[139] Srednje kvadratna greška (*eng. Mean Squared Error - MSE*)

[140] Novaković, B., Majetić, D., Široki, M.: Umjetne neuronske mreže, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1998.

je korištena kod izrade modela predviđanja brzine broda u odnosu na vanjska hidrometeorološka djelovanja.

Umjetna neuronska mreža je masivno paralelni distribuirani procesor koji je dobar za pamćenje iskustvenog znanja. Svojstva neuronskih mreža karakteriziraju: preslikavanje ulaz-izlaz (učenje s nadzorom), adaptivnost, tolerancija na pogreške (*fault tolerance*) te neurobiološka analogija.

Kod izrade navedenih modela koristila se dvoslojna unaprijedna neuronska mreža sa sigmoidnim skrivenim neuronima te linearno izlaznim neuronima. Ovakve mreže imaju jedan ulazni sloj, jedan izlazni sloj i jedan ili više skrivenih slojeva neurona, a koriste se za rješavanje širokog spektra problema gdje se učenje pod nadzorom odvija pomoću algoritma s povratnom propagacijom pogreške (*engl. error back-propagation algorithm*). Kod spomenutih modela učenje je izvedeno s jednom od najčešće korištenih metoda[141] i to Levenberg-Marquardt[142] povratnom propagacijom pogreške.

Kao ulazni podaci korišteni su podaci dobiveni s navigacijskog simulatora, i to matrica podataka (432 x 5) koja je razbijena u dvije matrice i to ulaznu (432 x 4) i izlaznu matricu podataka (432 x 1). Ulaznu matricu podataka čine podaci o brzini vjetra, visini valova, brzini morske struje te smjeru djelovanja, dok izlaznu matricu čine brzine broda zbog navedenih vanjskih djelovanja.

Slučajnim odabirom, sva 432 uzorka podijeljena su u tri grupe i to:

- grupa za treniranje (70% uzorka ili 302 uzorka), predstavlja se neuronskoj mreži tijekom treniranja te se mreža podešava prema njezinim pogreškama
- grupa za dokazivanje valjanosti (15% uzorka ili 65 uzoraka), koristi se za mjerenje generalizacije mreže te zaustavljanje treniranja kada generaliziranje zaustavlja napredak
- grupa za testiranje (15% uzorka ili 65 uzoraka), koja nema utjecaja na treniranje mreže i kao takva omogućava nezavisno mjerenje performansi same mreže za vrijeme te nakon treniranja.

---

[141] Norgaard, M., Ravn, O., Poulsen, N. K., Hansen, L. K.: Neural Networks for Modelling and Control of Dynamic Systems: A Practitioner's Handbook, Springer, 2000.

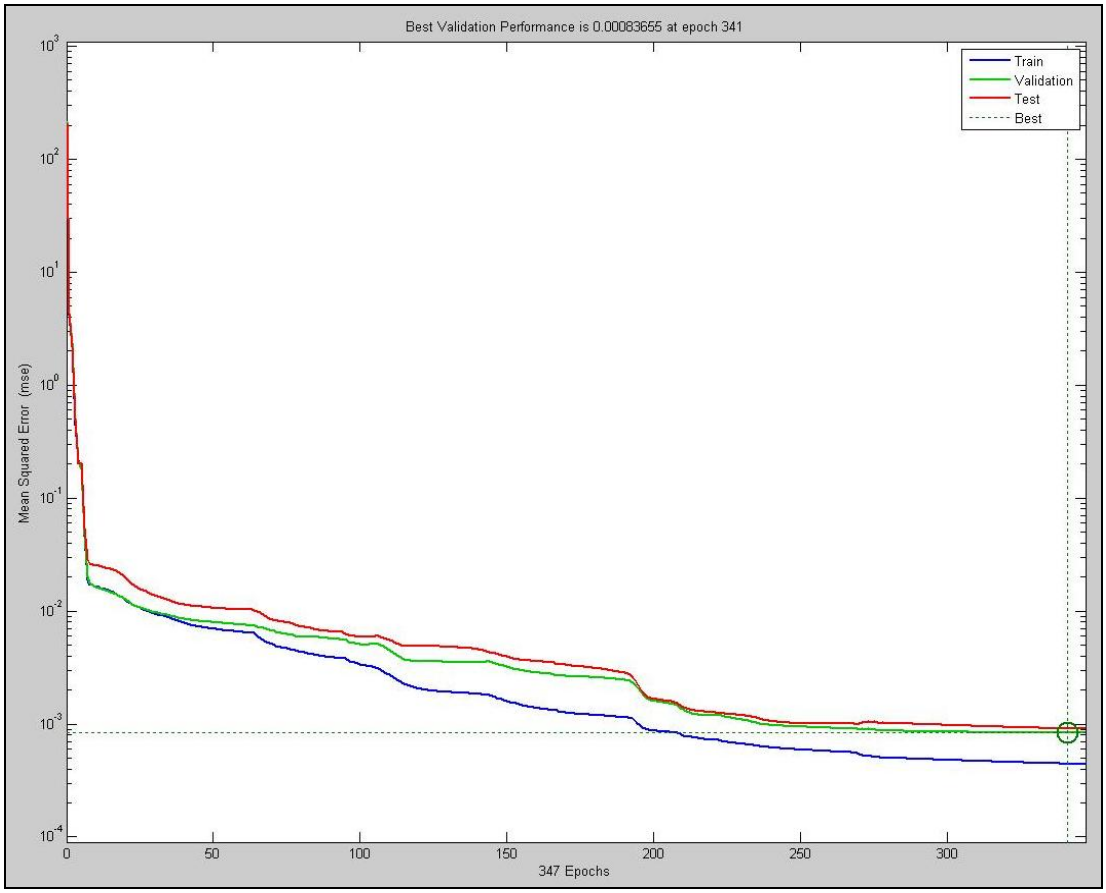
[142] + nnet.pdf (help iz Matlab-a)

Kod izrade neuronske mreže korištene za izvedbu modela definiranja brzine broda u odnosu na vanjske utjecaje korišteno je dvadeset skrivenih neurona u skrivenom sloju mreže. Navedeni broj skrivenih neurona dao je zadovoljavajuću točnost modela s prihvatljivim vremenom potrebnim za treniranje modela. Testiranje modela izvodi se provjeravanjem srednje kvadratne pogreške (*eng. Mean Squared Error - MSE*), što predstavlja prosječnu kvadratnu razliku između rezultata i podataka za testiranje, te koeficijentom višestruke korelacije *R* (*eng. Regression*), kojim se mjeri korelacija između rezultata i podataka za testiranje.

Tablica 11 Rezultati treniranja neuronske mreže

	Uzorak	MSE	R
Treniranje	302	4.42834e-4	9.99855e-1
Dokazivanje valjanosti	65	8.36546e-4	9.99740e-1
Testiranje	65	9.08155e-4	9.99711e-1

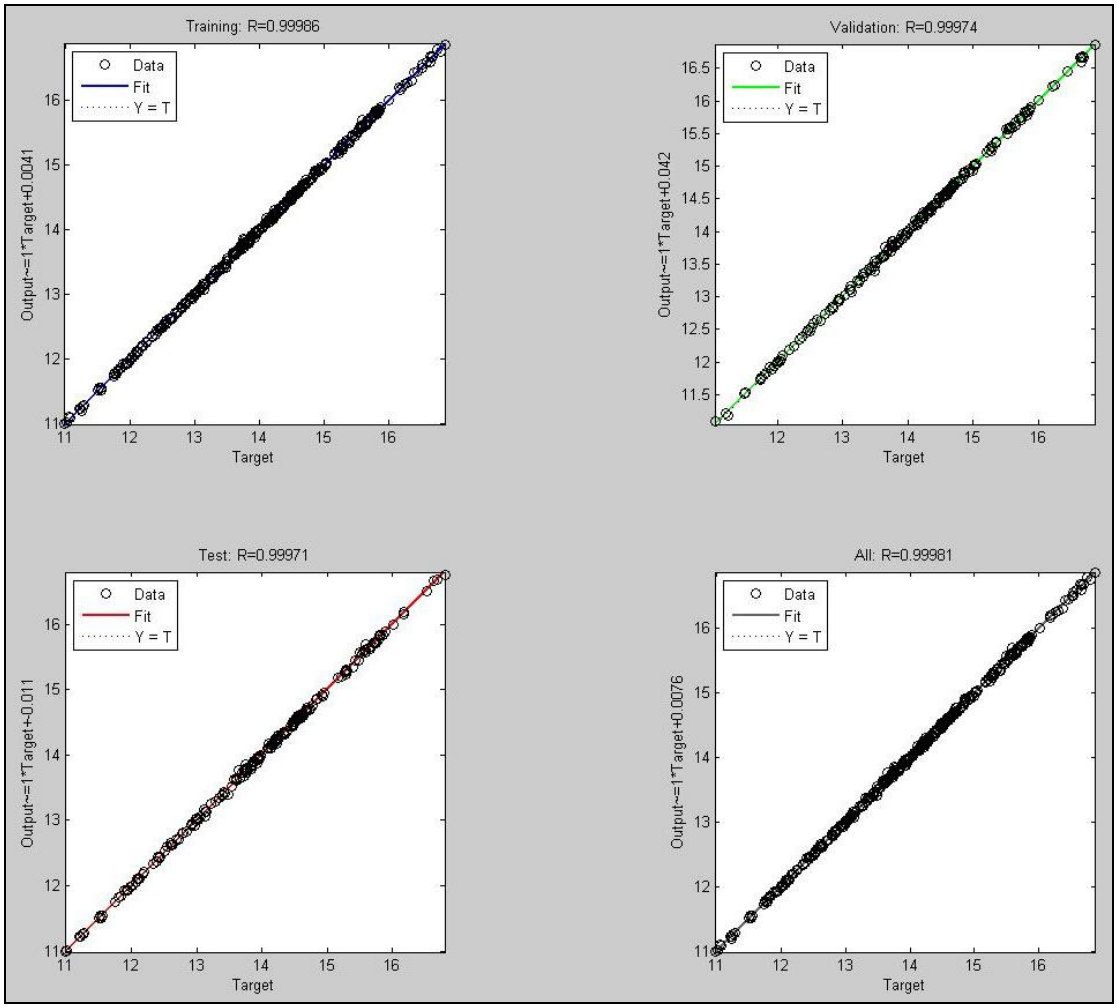
Izvor: Autor (izrađeno programom Matlab R2009b)



Slika 16: Prikaz grafa s vrijednostima prema epohama

Izvor: Autor (izrađeno programom Matlab R2009b)

Nakon završene faze treniranja mreže i zadovoljavajuće dobivenih prikazanih rezultata pristupilo se testiranju dodatnim uzorcima dobivenih na navigacijskom simulatoru, proizvoljnim odabirom simuliranih vrijednosti, čime se pokušalo utvrditi učinkovitost mreže. Dodatni podaci sastojali su se od 130 simuliranih uzoraka definiranih nasumce odabranim vrijednostima brzine vjetra, visine vala te brzine morske struje. Rezultati dobiveni dodatnim testiranjem učinkovitosti neuronske mreže, koji iznose *MSE = 1.38149e-2* i *R = 9.9718e-1*, prikazali su prihvatljivu točnost modela u predviđanju brzine broda u odnosu na vanjske hidrometeorološke prilike.



Slika 17: Grafovi s prikazom vrijednosti regresije

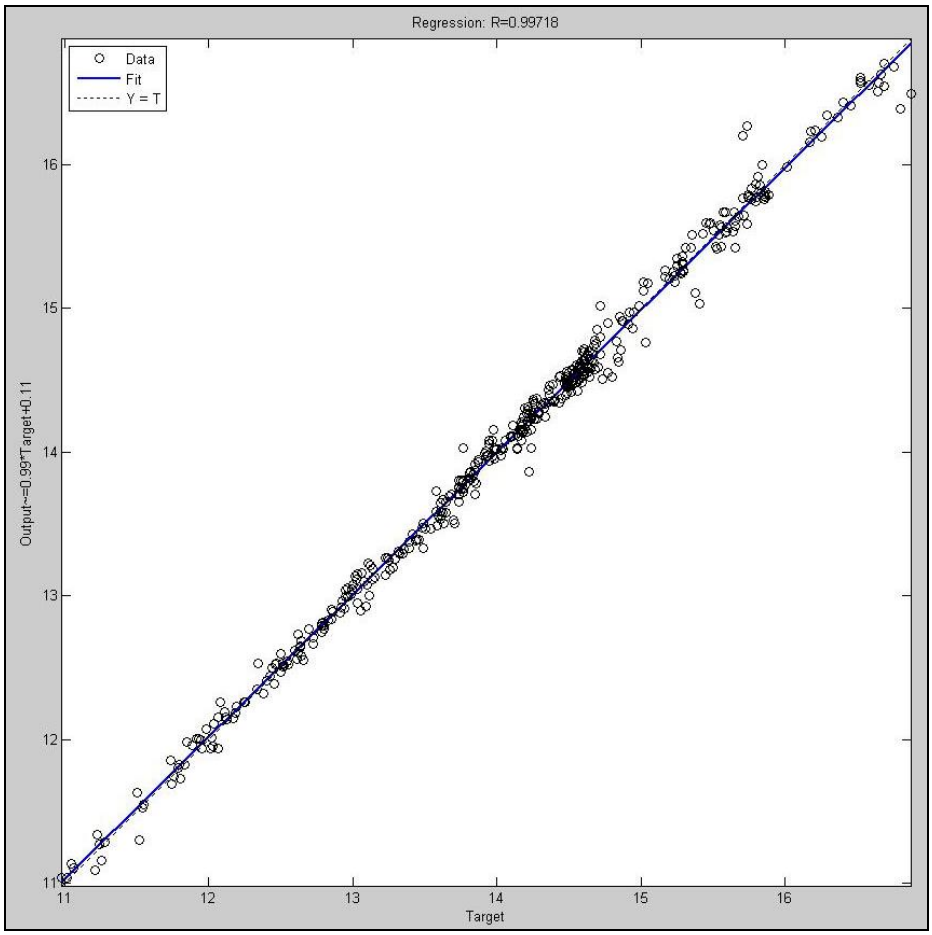
Izvor: Autor (izrađeno programom Matlab R2009b)

Novih 130 simuliranih scenarija definirano je temeljem proizvoljno odabranih kombinacija vrijednosti vanjskih podražaja unutar početno simuliranih vrijednosti (vjetar: 0 – 40 m/s; morska struja: 0 – 2 čv; valovi: 0 – 4 m), a sve u proizvoljno odabranim smjerovima djelovanja (0 – 360°). Uspoređivanjem novosimuliranih vrijednosti, s vrijednostima koje generira izrađeni model definiran na bazi neuronskih mreža, utvrđeno je da se brzina broda izrađenim modelom može predvidjeti s pogreškom unutar 0,1 čvora brzine. Ovakva točnost modela može se smatrati zadovoljavajućom uzimajući u obzir planirano područje nadzora pomorske plovidbe (unutar 60 M).

Tablica 12 Rezultati testiranja modela predviđanja brzine broda za novih 130 proizvoljno odabrana scenarija

	Uzorak	MSE	R
Dodatno testiranje	130	1.38149e-2	9.9718e-1

Izvor: Autor (izrađeno programom Matlab R2009b)



Slika 18: Graf rezultata regresije te *MSE* za novih 130 uzoraka

Izvor: Izvor: Autor (izrađeno programom Matlab R2009b)

S obzirom da se cjelokupna pomorska plovidba izvodi na zemlji kao geoidu, udaljenosti na kojima je moguće ovakvom metodom (ravninske trigonometrije) na zadovoljavajući način primijeniti model ranog otkrivanja opasnosti ponajprije su definirane Legendreov[143]-im poučkom, koji glasi:

[143] Francuski matematičar Andrien-Marie Legendre, (1752. – 1833.)

„*Sferni trokut, kojemu su stranice veoma male u usporedbi s polumjerom kugle na kojoj se on nalazi, može se bez osjetljivije pogreške zamijeniti s ravnim trokutom, kojemu su stranice po duljini jednake stranicama sfernog trokuta; površine tih dvaju trokuta skoro su jednake; a svaki kut ravnog trokuta manji je od odgovarajućeg kuta sfernog trokuta za trećinu ekscesa tog trokuta*."

Točnost Legendreovog poučka u toliko je veća, u koliko su stranice sfernog trokuta manje u usporedbi s polumjerom kugle kojoj on pripada. Tako se na primjer[144] trokut na zemaljskoj kugli (r = 6370 km), kojima stranice nisu veće od 1° ili 111,176 km (približno 60 nautičkih milja), mogu rješavati po tom poučku.

Sukladno navedenoj tvrdnji u spomenutom modelu ranog otkrivanja opasnosti, opasnosti se računaju za svaki brod u nadziranom području odvojeno i to za brodove koji se nalaze unutar radijusa od 60 nautičkih milja od promatranog broda.

Prikupljanje hidrometeoroloških podataka za popunjavanje modela predviđanja brzine broda može se izvoditi sustavima navedenim u prethodnim poglavljima, kao što su bazne meteorološke stanice ili hidrometeorološke plutače. Ovakvi sustavi imaju mogućnost očitavanja trenutnih hidrometeoroloških podataka te se oni mogu koristiti kao ulazni podaci u predloženome modelu. Uzimajući u obzir mogućnost ranog otkrivanja opasnosti (60 nautičkih milja oko broda), kao i uobičajene brzine brodova za dinamičko definiranje sustava potrebno je koristiti i prognozu vremenskih prilika. Kao neki od mogućih modela prognoze hidrometeoroloških prilika[145] ističu se model ALADIN[146] i ECMWF.[147]

ALADIN projekt numeričke prognoze vremena u osnovi je projekt suradnje zemalja članica na području numeričke prognoze vremena. Model karakterizira rad na maloj domeni i velikoj prostornoj rezoluciji kako bi se prognozirali atmosferski procesi značajni za finu skalu (npr. lokalni vjetrovi, grmljavinsko nevrijeme, zone konvekcije). Na sljedećoj je slici prikaz rezultata modela jačine i smjera vjetra za područje Jadranskog mora, s mogućnošću prognoze sedamdeset i dva sata unaprijed u intervalima od tri sata.

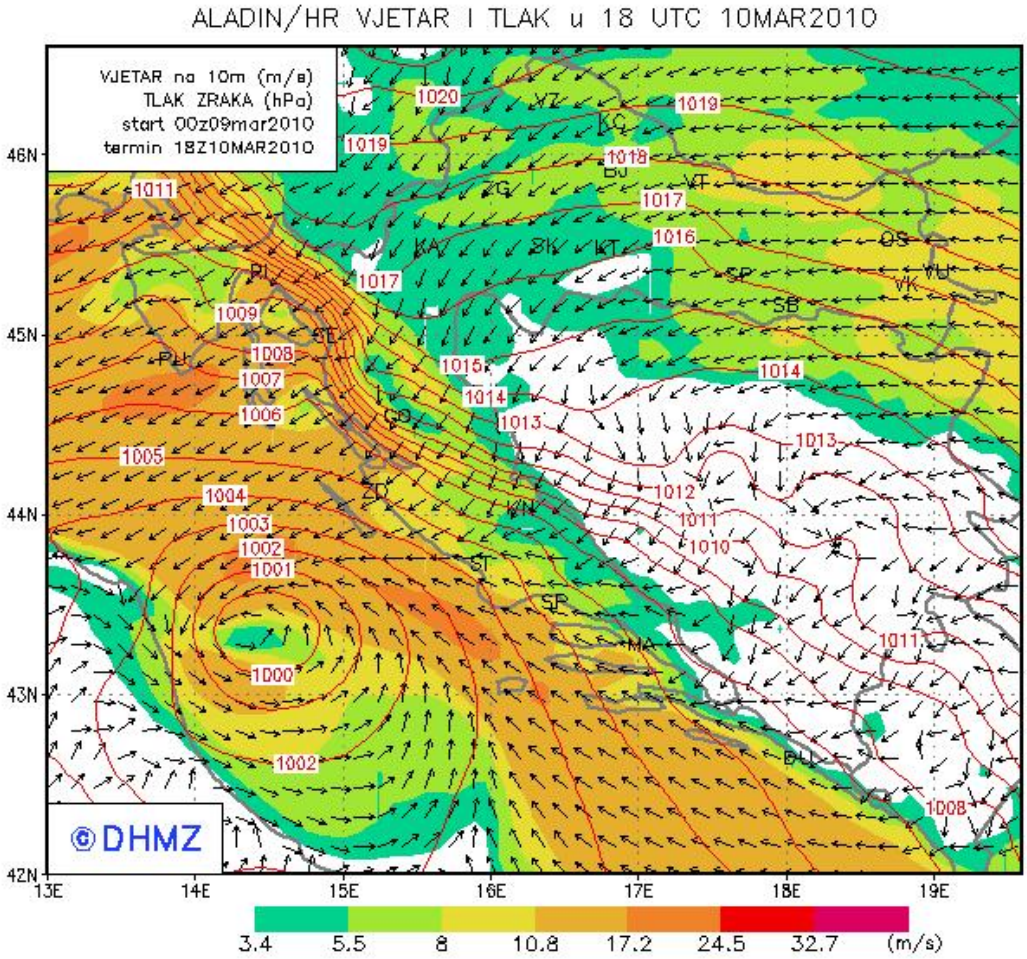
---

[144] J. Justinijanović; Astronomija I, Sferna trigonometrija

[145] Državni hidrometeorološki zavod – DHMZ, http://meteo.hr

[146] ALADIN - Aire Limitée Adaptation dynamique Développement InterNational

[147] ECMWF - European Center for Medium range Weather Forecasting



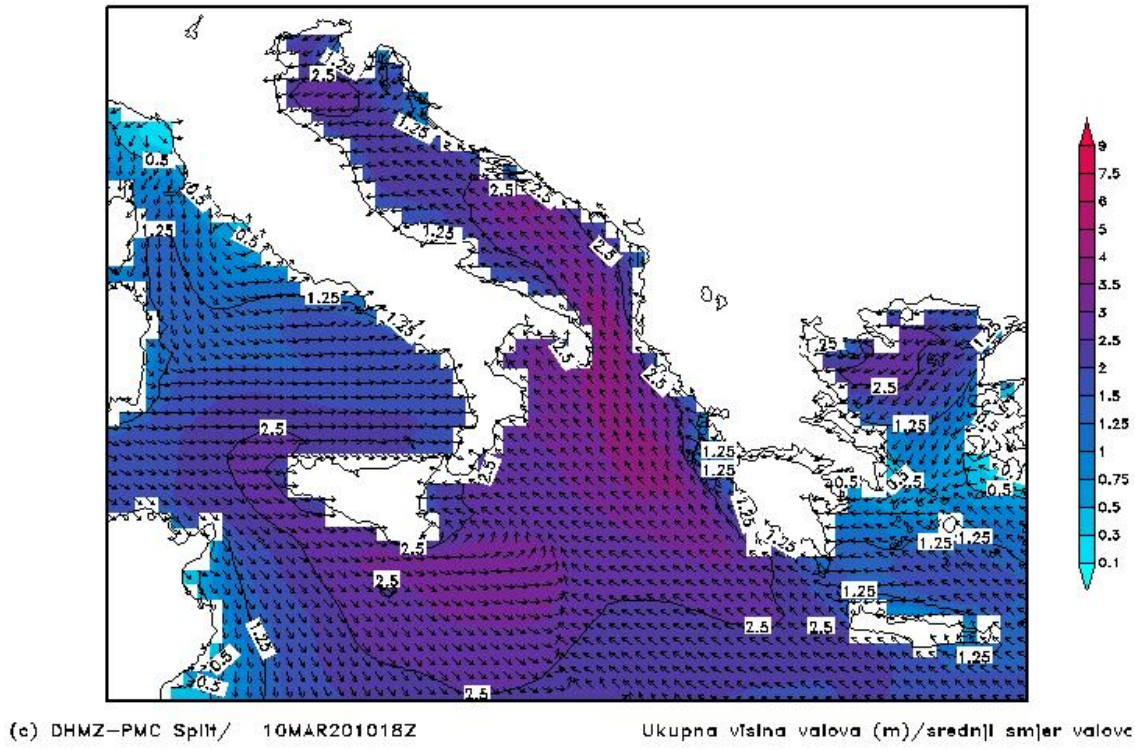
Slika 19: Prizemna karta vjetra i tlaka dobivena modelom ALADIN za područje Jadranskog mora

Izvor: DHMZ, http://meteo.hr

ECMWF je europski centar za srednjoročne prognoze, a njihov ECMWF model je globalni prognostički model u horizontalnoj rezoluciji 25 km, na devedeset i jednoj vertikalnoj razini. Prognoza valova prikazana je kartom prognoze ukupne visine i srednjeg smjera valova, izrađene prema podacima numeričkog modela (ECMWF) za četiri dana unaprijed, u intervalima od šest sati, kako je prikazano na sljedećoj slici.

Ovakvim se modelima omogućava definiranje granica prije spomenutih meteorološko-oceanoloških područja (*M*) te korištenje tih podataka metodom vektorskog produkta (4, str. 78.) utvrđivanje sjecišta svakog planiranog putovanja s meteorološko-oceanološkim područjima u nadziranom dijelu plovnog puta prema izrazima (6, i 7, str. 79).

Nakon određivanja svih sjecišta planiranih putovanja s meteorološko-oceanološkim područjima potrebno je utvrditi trenutke *P*, gdje *P* predstavlja trenutak u kojem brod prelazi iz jednog u drugo meteorološko-oceanološko područje što ima utjecaj na promjenu brzine broda.



Slika 20: Prikaz prognoze valova za Jadran dobivene modelom ECMWF

Izvor: DHMZ, http://meteo.hr

5 PRIMJENA MODELA RANOG OTKRIVANJA OPASNOSTI NA PODRUČJU JADRANSKOG MORA

5.1 Obilježja Jadranskog mora

Jadran je malo i relativno plitko more, koje se u obliku velikog zaljeva Sredozemnog mora pruža od Maranske lagune (Grado) na sjeverozapadu do Otrantskih vrata na jugoistoku. Svojom površinom Jadran predstavlja 4,6% površine cjelokupnog Sredozemnog mora.

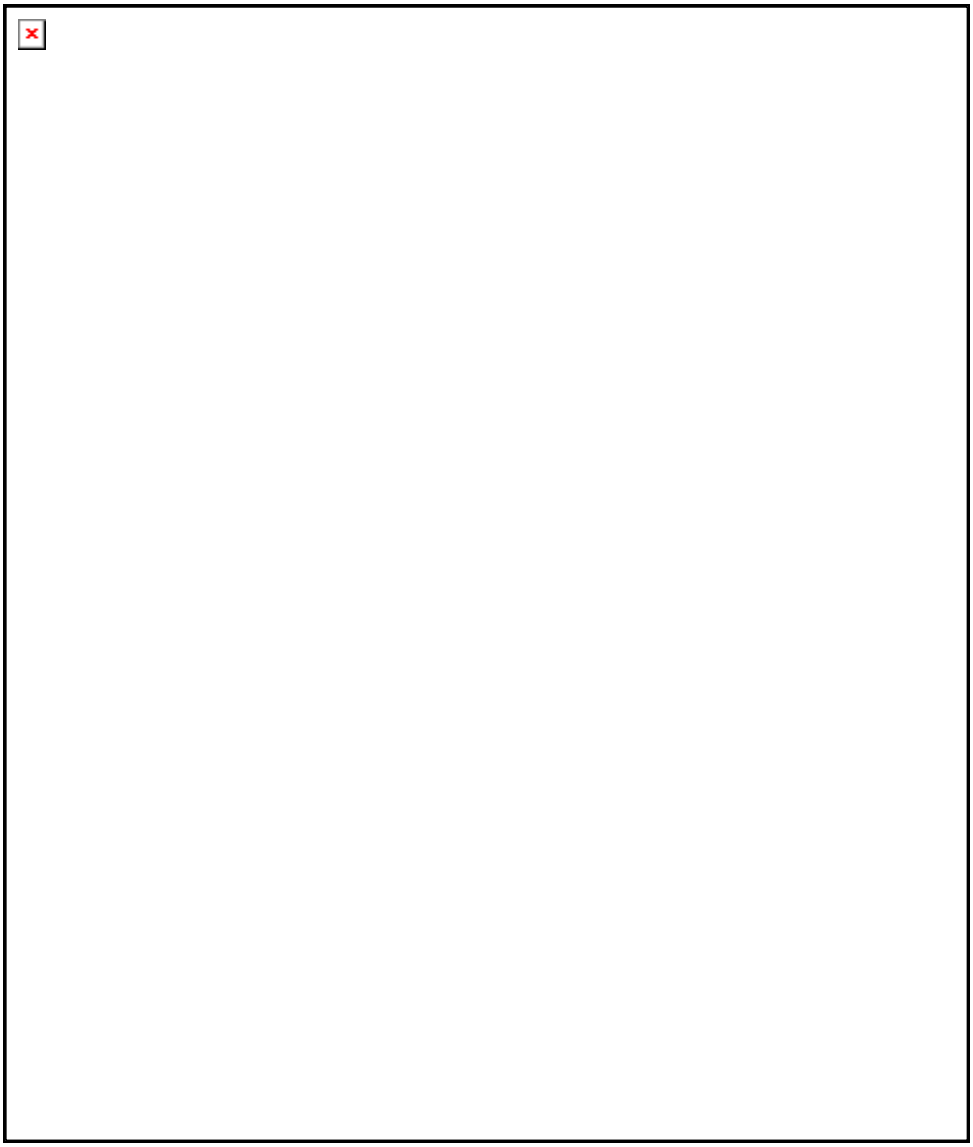
Dužina Jadrana mjerena između Maranske lagune (Italija) i ušća rijeke Butrintit (Albanija) iznosi približno 470 nautičkih milja. Najveća širina Jadrana iznosi približno 117 nautičkih milja, između Stobreča (Hrvatska) i Vasta (Italija)[148], dok prosječna širina Jadranskog mora iznosi 86 nautičkih milja. Otrantskim vratima, preko Jonskoga mora Jadran je povezan sa Sredozemnim morem, a u najužem dijelu ta su vrata široka približno 41 nautičku milju.

Najveći dio pomorskog prometa Jadranskim morem obuhvaća ponajprije promet prema velikim sjevernojadranskim i srednjojadranskim lukama Italije, prema luci Kopar te prema hrvatskim lukama smještenim na istočnoj obali Jadrana. Od ukupnog teretnog prometa gotovo 95% prometa tereta otpada na šest najvećih jadranskih luka po broju prometa i to Trst, Veneciju, Ravenu, Anconu, Kopar i Rijeku. Prema geografskom položaju navedenih luka vidljivo je da su se najveće luke Jadrana smjestile na njegovom sjevernom dijelu. Stoga je očito da većina tereta, tj. brodova s teretom u Jadranu u cijelosti koristi jadranske plovne putove, što rezultira povećanim prometnim opterećenjem.

Plovni putovi u Jadranskome moru generalno se mogu podijeliti, s obzirom na pravac prostiranja, na uzdužne i poprečne plovidbene putove. Uzdužni ili glavni plovidbeni put koristi se za povezivanje Jadranskih luka sa Sredozemnim morem i dalje sa svijetom, a približna udaljenost tako definiranog plovnog puta iznosi nešto manje od 400M. Generalno se može reći da je njegov smjer prostiranja jugoistok – sjeverozapad kod dolaska brodova iz Sredozemnoga mora te sjeverozapad – jugoistok kod plovidbe iz Jadrana prema Sredozemnome moru. Prilikom plovidbe brodovi plove uzdužnim

[148] Crta uspravna na liniju na kojoj je mjerena dužina (Maranska laguna-ušće rijeke Butrintit)

plovidbenim putom sve do trenutka prelaska na jedan od prilaznih plovnih putova prema pojedinim jadranskim lukama, na istočnoj hrvatskoj ili zapadnoj talijanskoj obali.



Slika 21: Središnji uzdužni i poprečni plovni putovi u Jadranskome moru

Izvor: Izradio autor, na osnovi navigacijske karte Hrvatskog hidrografskog instituta

U većini slučajeva prilazni plovni putovi prema jadranskim lukama poklapaju se s poprečnim plovidbenim putovima na Jadranu, koji se koriste prilikom povezivanja luka na zapadnoj i istočnoj obali Jadranskoga mora. Generalno gledajući ti se plovni putovi približno poklapaju s protezanjem paralela, dok njihove dužine iznose od 90 do 100 nautičkih milja. Njihova karakteristika je da se od 20 do 40% plovnoga puta izvodi u međuotočnim vodama republike hrvatske, pri čemu brodovi plove ograničenim

morskim područjem, dok se ostatak plovidbe izvodi otvorenim tj. neograničenim plovnim područjem.

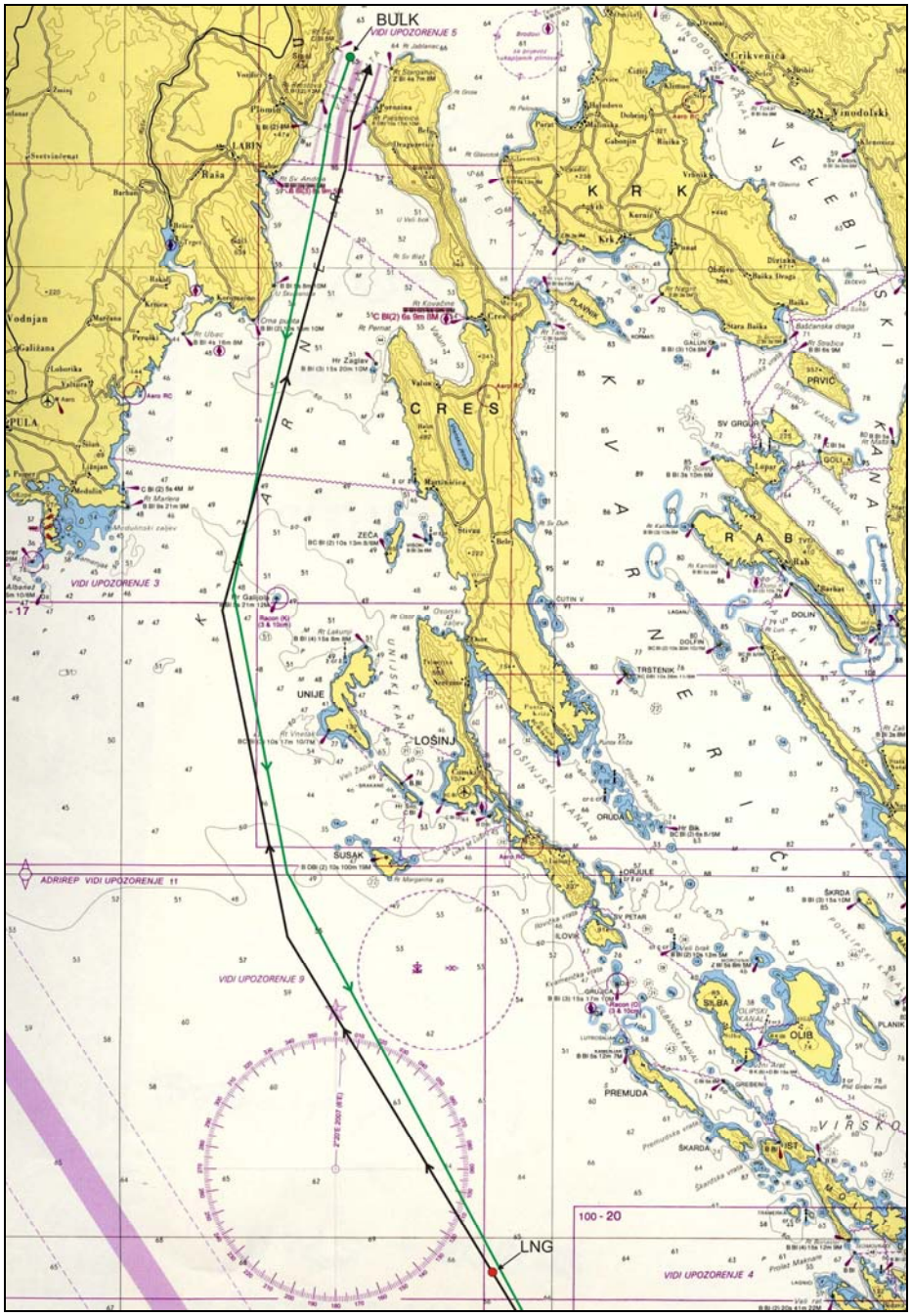
Kod razmatranja mogućnosti primjene modela ranog otkrivanja opasnosti na području Jadranskog mora, njegova primjena će biti prikazana na području dijela sjevernog Jadrana, tj. području prilaska luci Rijeka, kako je i prikazano na prethodnoj slici.

5.2 Rano otkrivanje interakcije broda s okolinom na prilaznom plovnom putu luke Rijeka

U prikazanom scenariju mogućnosti korištenja modela ranog otkrivanja opasnosti u područjima obalnih sustava nadzora, na dijelu prilaznog plovnog puta prema luci Rijeka, koristit će se dva broda i to:

- LNG brod, osnovnih karakteristika:
  - duljina preko svega – 274,3 m
  - širina broda – 43,3 m
  - srednji gaz broda – 10,9 m
  - deplasman broda – 89.634 t
  - brzina broda kod režima stroja „svom snagom naprijed“ – 21,3 čv
- brod za prijevoz rasutih tereta, osnovnih karakteristika:
  - duljina preko svega – 290,0 m
  - širina broda – 46,0 m
  - srednji gaz broda – 18,1 m
  - deplasman broda – 202.000 t
  - brzina broda kod režima stroja „svom snagom naprijed“ – 14,6 čv

Za navedene brodove u prethodnim su poglavljima prikazani modeli definiranja brzine broda u odnosu na vrijednosti te smjer vanjskih meteorološko-oceanoloških prilika. U navedenom scenariju LNG brod izvodi plovidbu iz područja Otrantskih vrata prema luci Rijeka, dok brod za prijevoz rasutog tereta plovi iz luke Rijeka prema izlasku iz Jadranskog mora.



Slika 22: Segmenti plana putovanja LNG broda, broda za prijevoz rasutih tereta, te granice plovnog područja

Izvor: Izradio autor, na osnovi navigacijske karte Hrvatskog hidrografskog instituta

Točke okreta (*Wp*) za svako pojedino putovanje definirane su u vrijednostima geografske širine i duljine (φ, λ), kao i u vrijednostima X i Y koordinata potrebnih za kasniju uporabu u navedenom modelu. Vrijednosti kursa su definirane za pojedine

segmente plana putovanja između zadanih točaka, kao i vrijednosti promjene plana kod prelaska iz jednog segmenta u drugi. Promatrani segmenti plovnoga puta obaju brodova prikazani su i na sljedećoj slici (sl. br. 23., str. 109.).

Tablica 13 Promatrani segmenti plana putovanja LNG broda i broda za prijevoz rasutih tereta

LNG						
Wp	**φ (N)**	**λ (E)**	**X**	**Y**	**K (°)**	**Δ*K* (°)**
n	43°02,9'	015°19,8'	5526502.2938	4767123.1979		
n+1	44°28,0'	014°11,4'	5435192.4162	4924926.9657	331	19
n+2	44°43,2'	014°07,0'	5429663.9766	4953129.6955	350	26
n+3	45°04,9'	014°14,8'	5440334.0245	4993204.9005	016	6
n+4	45°07,6'	014°15,4'	5441167.1427	4998196.9958	010	13
n+5	45°10,1'	014°16,9'	5443174.5300	5002808.2863	023	
Bulk Carrier						
Wp	**φ (N)**	**λ (E)**	**X**	**Y**	**K (°)**	**Δ*K* (°)**
m	45°10,4'	014°15,8'	5441738.8036	5003376.7799		
m+1	45°07,8'	014°14,4'	5439859.8561	4998579.5322	201	10
m+2	45°05,1'	014°13,7'	5438894.5778	4993588.8481	191	2
m+3	44°44,3'	014°07,7'	5430609.8579	4955156.3783	193	23
m+4	45°29,9'	014°11,7'	5436730.4917	5039536.2500	170	17
m+5	43°01,8'	015°16,3'	5521893.4103	4765070.6285	153	

Izvor: autor

Definirane granice (istočna i zapadna) plovnog puta, u dijelu prilaska luci Rijeka, tj. najmanje udaljenosti od stalnih prepreka na promatranom plovnom putu prikazane su na sljedećoj slici (plavom bojom). Granice plovnog puta definirane su u odnosu na veličine razmatranih brodova definiranih u tablici koeficijenata, specifičnosti opstrukcija na plovnome putu, a uzimajući u obzir pretežiti smjer kretanja plovila zona odvojene plovidbe Vela vrata, središnji plovni put na području Jadranskog mora. Granice plovnog puta u promatranom području definirane su točkama prikazanim u sljedećoj tablici.

Tablica 14 Granice plovnog puta na dijelu prilaska luci Rijeka

Zapadna strana prilaznog plovnog puta prema luci Rijeka					
Ime	**Udaljenost (M)**	**φ (N)**	**λ (E)**	**X**	**Y**
SW točka separacije Vela vrata	0	45°05,1'	014°13,1'	5438107.5407	4993596.4172
U. Škvaranska (B Bl 5s 8m 10M)	1	44°58,8'	014°11,6'	5436023.5439	4981950.6689
Plićina E od otočića Fenera	1	44°46,8'	014°00,5'	5421164.9456	4959894.0873
Plićina Albanež	1	44°43,3'	013°55,2'	5414089.7612	4953502.9153
Istočna strana prilaznog plovnog puta prema luci Rijeka					
Ime	**Udaljenost (M)**	**φ (N)**	**λ (E)**	**X**	**Y**
SE točka separacije Vela vrata	0	45°04,8'	014°15,4'	5441119.4030	4993012.4452
Rt Pernat	2	44°57,7'	014°16,2'	5442050.1640	4979856.5204
Hrid Galijola	1	44°44,0'	014°09,0'	5432319.5797	4954582.7534
Rt Art	3	44°36,8'	014°09,8'	5433238.2879	4941241.0806

Izvor: autor

Uzimajući u obzir karakteristike promatranih brodova, stanje vremenskih prilika, kao i činjenicu da se zamišljeni scenarij događa u noćnim uvjetima definirani su koeficijenti za svaki promatrani brod, kako je to prikazano u sljedećoj tablici.

Tablica 15 Prikaz vrijednosti koeficijenata za LNG (crvena) te brod za prijevoz rasutih tereta (plava)

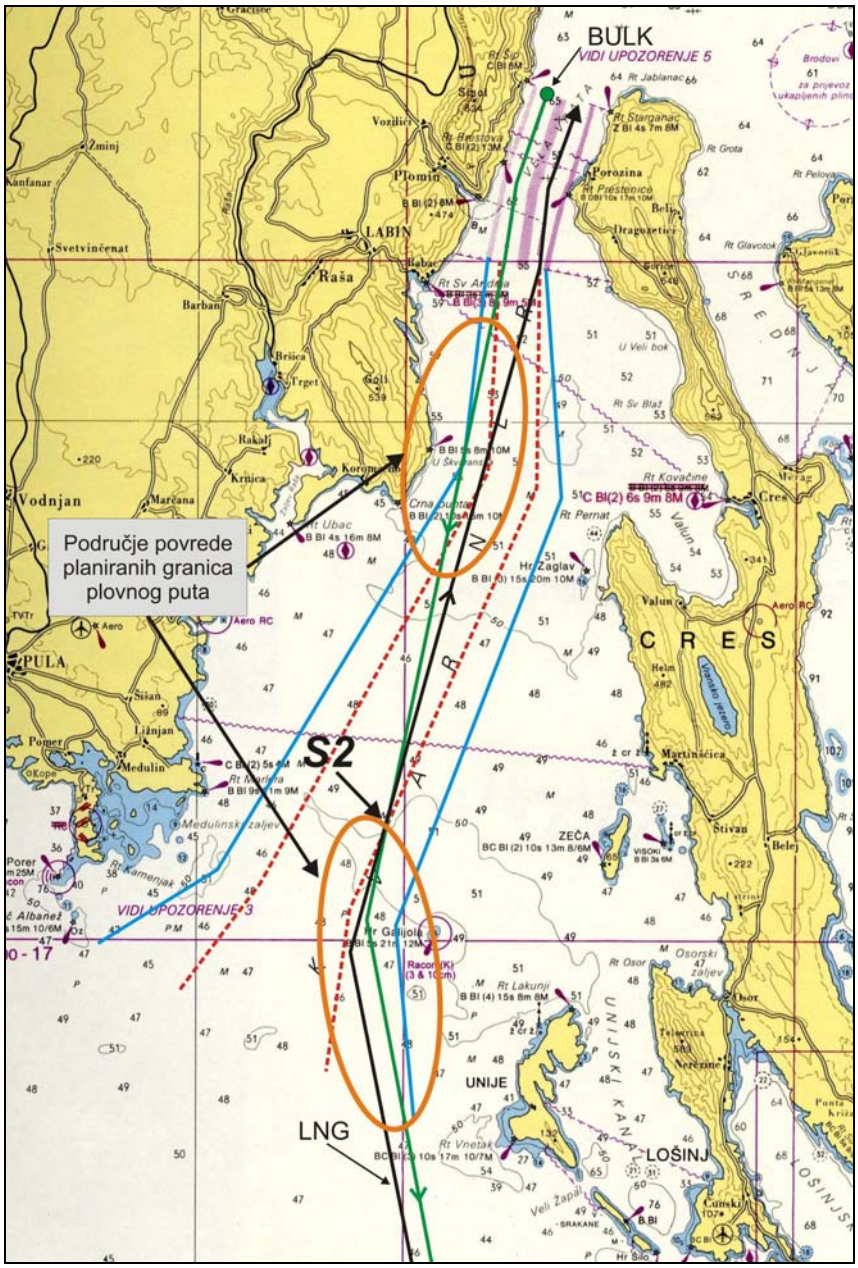
L		***B***		***T***		***D***		***vb***		**ΔK**		***VP***		***SPB***	
(m)	k_L	***(m)***	k_B	***(m)***	k_T	***(t)***	k_D	***(čv)***	k_{VB}	***(°)***	$k_{\Delta K}$	***sm***	K_{VP}		k_{SPB}
0-20	0	0-5	0	0-2	0	0-100	0	0-2	0	0-5	0		0		0
20-50	1	5-10	1	2-4	1	100-500	1	2-5	1	5-10	1		1		1
50-80	2	10-15	2	4-6	2	500-2000	2	5-8	2	10-15	2		2		2
80-100	3	15-20	3	6-8	3	2000-5000	3	8-11	3	15-20	3		3		3
100-150	4	20-25	4	8-10	4	5000-10000	4	11-14	4	20-25	4		4		4
150-200	5	25-30	5	10-12	5	10000-25000	5	14-17	5	25-30	5		5		5
200-250	6	30-35	6	12-14	6	25000-60000	6	17-20	6	30-35	6		6		6
250-300	7	35-40	7	14-16	7	60000-100000	7	20-23	7	35-40	7		7		7
300-350	8	40-45	8	16-18	8	100000-200000	8	23-26	8	40-45	8		8		8
350-400	9	45-50	9	18-20	9	200000-300000	9	26-29	9	45-50	9		9		9
400-	10	50-	10	20-	10	300000-	10	29-	10	50-	10		10		10

Izvor: autor

Prema izrazu:

$$\sum k = k_L + k_B + k_T + k_D + k_{vb} + k_{\Delta K} + k_{VP} + k_{SPB,}$$

suma koeficijenata za LNG brod iznosi $\sum k_{LNG} = 44$, dok za brod za prijevoz rasutih tereta ona iznosi $\sum k_{BC} = 45$.



Slika 23: Segmenti plana putovanja LNG broda, broda za prijevoz rasutih tereta, te granice plovnog područja

Izvor: Izradio autor, na osnovi navigacijske karte Hrvatskog hidrografskog instituta

Koristeći izraz:

$$R_p = Z - \left(\sum \mathrm{k} \div 80\right) \times Z$$

definirane su vrijednosti R_p za svaki pojedini brod u svakom pojedinom segmentu promatranog dijela plovnog puta, dok su samo neke vrijednosti prikazane u sljedećoj tablici. Kako su vrijednosti $\sum k$ za oba promatrana broda gotovo identične ($\sum k_{LNG} = 44$; $\sum k_{BC} = 45$), na prethodnoj slici dobivene vrijednosti R_p prikazane su jednoznačno crvenom isprekidanom crtom.

Tablica 16 Vrijednosti *2Z* na odabranim spojnicama plovnog puta te vrijednosti *2Rp* za LNG brod i brod za prijevoz rasutih tereta

Spojnica	*2Z*	*2Rp*	
		LNG	Bulk carrier
Unije - Porer	12,3 M	5,535 M	5,381 M
Galijola – plić 11,9 m	6,3 M	2,835 M	2,765 M
Pernat – u. Škvaranska	3,4 M	1,530 M	1,488 M
Separacija SE - SW	1,6 M	0,720 M	0,700 M

Izvor: autor

Uspoređivanjem planova putovanja s dobivenim vrijednostima R_p utvrđena su neslaganja istih te je slijedom toga predloženo izmicanje točaka okreta na nove pozicije koje zadovoljavaju utvrđene vrijednosti za promatrane brodove, čime je i završila provjera planova putovanja.

5.3 Rano otkrivanje interakcije brodova na prilaznom plovnom putu luke Rijeka

Rabeći izraze za produkte vektora prema izrazu (4, str. 78.), provjeravajući sve segmente plana putovanja jednog od odabranih brodova sa svim ostalim segmentima drugog broda, utvrđeno je postojanje sjecišta kod promatrana dva plana putovanja. Utvrđeno je postojanje dva sjecišta planova putovanja i to na području segmenata:

- *S1* = LNG (n → n+1), Bulk Carrier (m+4 → m+5);
- *S2* = LNG (n+2 → n+3), Bulk Carrier (m+2 → m+3).

Nakon utvrđivanja postojanja sjecišta planova putovanja promatranih brodova korištenjem izraza (8, i 9, str. 79.) definiraju se koordinate sjecišta, koje su prikazane u sljedećoj tablici.

Tablica 17 Koordinate sjecišta planiranih putovanja

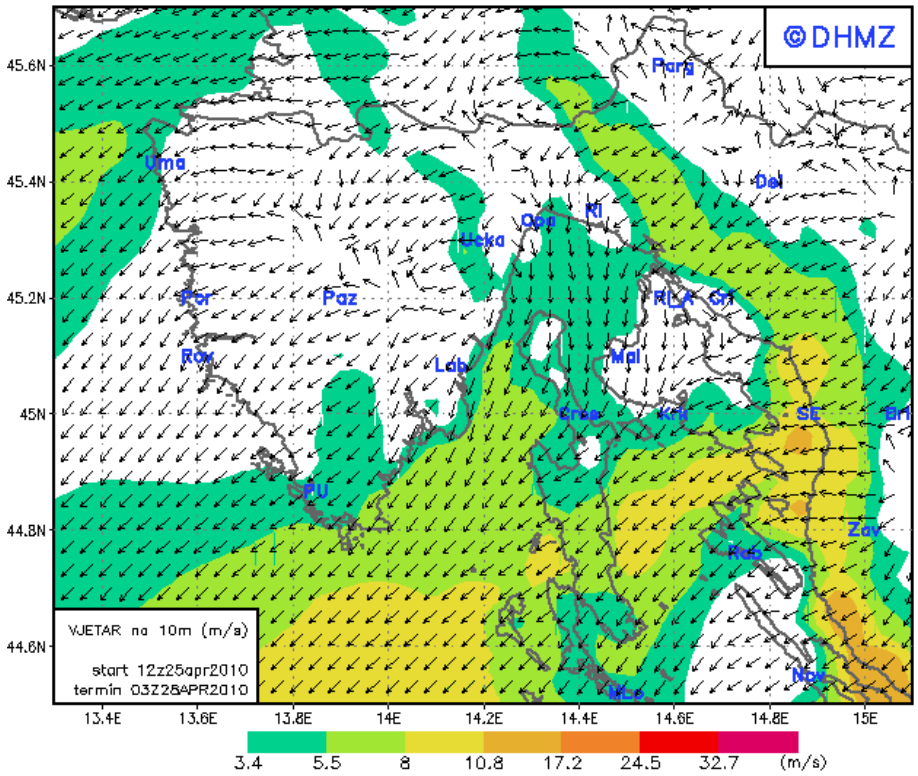
Sjecište	X	Y	φ (N)	λ (E)
S1	5461049.2902	4880287.7696	44°04,0'	014°31,1'
S2	5432274.9743	4962915.9729	44°48,5'	014°08,9'

Izvor: autor

Dobivanjem granica pojedinih meteoroloških područja na promatranom segmentu plovnog puta, bilo korištenjem meteorološko-oceanoloških senzora ili prognoze vremenskih prilika, omogućava se otkrivanje sjecišta svakog planiranog putovanja s meteorološko-oceanološkim područjima korištenjem izraza (4, str. 78.). Pretpostavimo da su meteorološko-oceanološke prilike u promatranom slučaju definirane sljedećom slikom te iznose:

- *M1* = tamno zelena boja:
  - vjetar – 5,5 m/s (≈ 10 čv),
  - valovi – 0,5 m,
  - morska struja – 0,4 čv,
  - smjer djelovanja – 10°;
- *M2* = svjetlo zelena
  - vjetar –8,0 m/s (≈ 17 čv),
  - valovi – 0,8 m,
  - morska struja – 0,7 čv,
  - smjer djelovanja – 40°;
- *M3* = žuta boja:
  - vjetar – 10,8 m/s (≈ 21 čv),
  - valovi – 1,2 m,
  - morska struja – 0,9 čv,
  - smjer djelovanja – 40°;

Sada se pomoću izraza (12, str. 80.) može definirati svaki segment plana putovanja između trenutaka *P* i to za svaki od promatranih brodova zasebno, u promatranom segmentu plovnog puta.



Slika 24: Prizemna karta vjetra i tlaka dobivena modelom ALADIN na području Istre i Kvarnera za 25. 04. 2010.

Izvor: DHMZ, http://meteo.hr

Pretpostavimo da se brod za prijevoz rasutih tereta koji isplovljava iz luke Rijeka u određenom trenutku nalazio u plovidbi područjem odvojene plovidbe Vela vrata na poziciji (φ = 45°10,0'N; λ = 014°15,5' E), a LNG brod u plovidbi prema luci Rijeka na poziciji (φ = 44°10,5'N; λ = 014°26,3' E), te su međusobno udaljeni 60 nautičkih milja. Isto tako definirajmo da LNG brod ima domenu definiranu kružnicom radijusa R_{LNG} = *1,2 M*, dok brod za prijevoz rasutih tereta ima domenu definiranu kružnicom R_{BC} = *1,0 M*.

Korištenjem prije prikazanog modela simuliranja učinaka djelovanja vanjskih meteorološko-oceanografskih utjecaja na brzinu promatranih brodova, dobivene su vrijednosti brzine brodova u svakom pojedinom segmentu plana putovanja. Iste su prikazane u sljedećoj tablici, te su korištene u izrazima (27 i 28, str. 84.), za potrebe definiranja vrijednosti diskriminante. Naime, navedeni postupak provjere povrede domene broda (LNG brod - R_{LNG} = *1,2 M*) provodi se za sve segmente planova putovanja koji se potpuno ili djelomično događaju u istom intervalu vremena.

Tablica 18 Brzine brodova u pojedinim meteorološko-oceanološkim područjima

Meteorološko-oceanološko područje	Brzina (čv)	
	LNG	Bulk Carrier
M1	20,96	14,87
M2	20,43	15,21
M3	19,74	14,46

Izvor: Autor (izrađeno programom Matlab R2009b)

Uvrštavanjem svih navedenih vrijednosti u izraze (27 i 28, str. 84.), koji predstavljaju rješenja kvadratne jednadžbe (20, str. 82.), otkriva se postojanje povrede domene LNG broda, tumačenjem tri slučaja koja ovise o vrijednosti diskriminante, kako je prikazano u prijašnjim poglavljima.

Provjerom promatranog slučaja utvrđena je povreda domene LNG broda i to u segmentu plana putovanja između točki (n+2 → n+3), te je otkrivena jedan sat i četrdeset i sedam minuta unaprijed. Kako se povreda domene LNG broda od strane broda za prijevoz rasutih tereta događa u području hridi Galijola, a sve radi gotovo nasuprotnog kretanja brodova javlja se mogućnost da LNG brod radi pridržavanja pravila za izbjegavanje sudara na moru (pravilo 14.[149]) dođe u područje opasnih blizina hridi Galijola.

Ovako rano otkrivanje povrede domene ostavlja operatoru dovoljno vremena za interakciju u sustav te pravovremeno otklanjanje potencijalno opasne situacije.

[149] Pravilo 14 - Kad se dva broda na mehanički pogon približavaju jedan drugome iz nasuprotnih ili skoro nasuprotnih kursova tako da prijeti opasnost od sudara, svaki od njih mora promijeniti kurs udesno, tako da jedan drugome prođu s lijeve strane

6 ZAKLJUČAK

Ovom doktorskom disertacijom sustavno su sagledane mogućnosti postojećih sustava nadzora i upravljanja pomorskim prometom te je predložen drukčiji pristup, baziran ne više na nadzoru područja, već na nadzoru svakog broda i njegovog plana putovanja posebno u području nadzora.

Naime, moguće je utvrditi sustav koji će na temelju sveobuhvatno prihvaćenih i obrađenih podataka pojedinog broda, a sagledavajući plovno područje u cjelini, te predviđanjem podataka o plovidbi brodova u vremenu, imati mogućnost sa zadovoljavajućom točnosti detektirati moguće opasne situacije značajno unaprijed čime će se unaprijediti nadzor i upravljanje pomorskim prometom.

Ovakvim se pristupom nikako ne dovodi u pitanje kvaliteta dosadašnjih sustava nadzora i upravljanja već se predlaže unapređivaje sustava nadzora ugrađivanjem dodatnog modela ranog otkrivanja opasnosti u području nadzora. Današnji sustavi jednostavno ne dozvoljavaju pregledavanje i nadzor većih morskih područja, posebice područja s velikom gustoćom pomorskog prometa zbog «zauzetosti» operatora u nadziranju svekolikih parametara. U današnje vrijeme raznoliko struktuiranog pomorskog prometa, te trenda povećanja gustoće brodova na pojedinim područjima javlja se potreba za drukčijim pristupom koji će, dodatno olakšati rad operatora obalnih sustava.

U doktorskoj disertaciji je predložen model ranog otkrivanja opasnosti kao doprinos obalnim sustavima nadzora i upravljanja pomorskim prometom podijeljen u dva osnovna segmenta:

- rano otkrivanje opasnosti s obzirom na interakciju broda s okolinom,
- rano otkrivanje opasnosti kod međusobne interakcije brodova u nadziranom dijelu plovnog puta.

Kod ranog otkrivanja opasnosti s obzirom na interakciju broda s okolinom osim otkrivanja grubih pogrešaka u planiranju putovanja značajna je mogućnost otkrivanja potencijalno opasnih situacija kojih zapovjednici nisu mogli biti svjesni prilikom planiranja. Automatskom provjerom svakog planiranog putovanja prije ulaska u područje nadzora, uzimajući u obzir specifičnosti broda, hidrometeorološke prilike te

područja plovidbe, omogućava se definiranje vrijednosti plovnog puta raspoloživog za odvijanje planiranog putovanja. Aktivno i sustavno praćenje plana putovanja od strane uređaja obalnih sustava nadzora, a bazirano na prethodno odobrenom planu putovanja, uvelike olakšava posao operatora. Naime, gotovo trenutnim otkrivanjem potencijalnih opasnosti operatorima se ostavlja dovoljno vremena za interakciju u sustav plovidbe te sprečavanje potencijalnih nezgoda.

Izloženi novi pristup zahtjeva promjene u smislu obveznosti brodova da svoje planove putovanja predočuju obalnim sustavima, a pravne posljedice nisu rješavane u sklopu ove doktorske disertacije.

Mogućnost ranog otkrivanja opasnosti kod međusobne interakcije brodova u nadziranom području tj. otkrivanje sudarnih situacija definirano je modelom koji se tamelji na određivanju položaja brodova kao i predviđanju položaja u budućnosti po principu 2D (geografske koordinate broda) + D (vrijeme). Definirajući domenu broda kružnicom određenog radijusa, te rješavajući izraze navedene u doktorskoj disertaciji dobivena su tri moguća rješenja interakcije među brodovima i to:

1. ako je diskriminanta kvadratne jednadžbe $D > 0$, tada jednadžba ima dva različita realna rješenja t_1 i t_2, koja prikazuju vrijeme ulaska i vrijeme izlaska broda manje domene iz domene drugog broda,
2. ako je diskriminanta kvadratne jednadžbe $D = 0$, tada jednadžba ima jedno dvostruko rješenje $t_1 = t_2$, što nam opisuje granični slučaj, kada brod manjeg radijusa domene dodiruje domenu drugog broda,
3. ako je diskriminanta kvadratne jednadžbe $D < 0$, tada jednadžba nema realnih rješenja što znači da neće doći do povrede domene između promatranih brodova, u promatranim segmentima planiranih putovanja.

Korištenjem navigacijskog simulatora Transas 4000, napravljene su simulacije utjecaja vanjskih hidrometeoroloških prilika na brzinu broda za točno definirane scenarije. Temeljem provedenih simulacija za dva konkretna broda (LNG i brod za prijevoz rasutih tereta) izrađen je model predviđanja brzine broda, baziran na neuronskim mrežama za navedene brodove, čiji podaci su korišteni kod otkrivanja međusobne interakcije među brodovima.

U ukviru doktorske disertacije prikazane su i mogućnosti primjene modela ranog otkrivanja opasnosti na području Jadranskog mora, gdje je za definirani scenarij prikazana primjena modela na području sjevernog Jadrana, tj. području prilaska luci Rijeka. Na primjeru je nedvosmisleno prikazano da predloženim modelom postoji mogućnost otkrivanja potencijalno opasnih situacija među brodovima udaljenim unutar 60 nautičkih milja, što vremenski znači gotovo dva do tri sata prije nastajanja opasnosti.

Bez obzira na vrijednost prikazanih rezultata potrebna su daljnja istraživanja obrađene teme. Prvenstveno postoji potreba za razvijanje općeg modela predviđanja brzine broda u odnosu na djelovanje hidrometeoroloških prilika, čime bi se i model ranog otkrivanja opasnosti mogo primijeniti kod svih brodova. Također u cilju povećanja sigurnosti, u skoroj budućnosti, poboljšanje će biti omogućeno prelaskom s ravne na sfernu trigonometriju što će omogućavati predviđanja opasnih situacija na područjima većim od 60 nautičkih milja. Prije uvođenja ovog modela morat će biti definirani i svi sigurnosni zahtjevi glede izmjene informacija između broda i obale, gdje ovakvi sustavi (ECDIS) postaju ranjivi na mogućnosti hakerskog upada i njegove povrede.

LITERATURA

Knjige

1. Bauk, S., Inteligentni informacioni sistemi u pomorstvu, Beograd, Zadružbina Andrejević, 2006.
2. Bole, A.G.; Jones, K.D., Automatic radar plotting aid manual, London, Heinemann, 1981.
3. Bowditch, Nathaniel - The American Practical Navigator – an epitome of navigation, Bicentennial edition, National imagery and mapping agency, Washington, 2002.
4. Gelo, Branko, Opća i prometna meteorologija, knjiga 1,2, Zagreb, Školska knjiga, 1994.
5. Kop, G.: General principles of VTS and the imo guidelines, The Nautical Institute On Pilotage and Shiphandling, 1990. str. 205-208
6. Merrill I. Skolnik, Radar handbook, Singapore, McGraw-Hill Publishing company, 1991.
7. Miller, T., The Human Factor, A report on manning, UK P&i Club, www.ukpandi.com
8. Peljar I, Jadransko more, Istočna obala, Split, Hrvatski hidrografski institut; 1999.
9. Peljar za male brodove – drugi dio, Split, Hrvatski hidrografski institut, 2002.
10. Peljar za male brodove – prvi dio, Split, Hrvatski hidrografski institut, 2002.
11. Pomorska enciklopedija, Zagreb, Jugoslavenski leksikografski zavod «Miroslav Krleža», 1990.
12. Pomorski leksikon, Zagreb, Jugoslavenski leksikografski zavod «Miroslav Krleža», 1990.
13. Prpić-Oršić, J., Čorić, V., Pomorstvenost plovnih objekata, Rijeka, Zigo, 2006.
14. Rudan, I., Prijedlog ustroja sustava nadzora i upravljanja plovidbom Jadranskim morem i prilaznim plovnim putovima do Hrvatskih luka, magistarski rad, Rijeka, Pomorski fakultet, 2005.
15. Terestrička i elektronska navigacija, Split, Republički hidrografski institut – Split, 1986.
16. The electronic chart – functions, potential and limitations of new marine navigation system, The Netherlands, Lemmer, 2002.
17. Zec, Damir, Planiranje pomorske plovidbe, Rijeka, Pomorski fakultet, 1997.
18. Zečević, T.- Crnković, J., Matematički modeli i metode simulacije, Rijeka, Fakultet za pomorstvo i saobraćaj, 1987.

Članci, studije, elaborati i priručnici:

19. Akten, N. Analysis of shipping casualties in the Bosphorus. The Journal of Navigation, 57, 2004., 3, str. 345–356.
20. American Bureau of Shipping (ABS), (1996), ISM; ISO, SWOT and Human Element Seminar Workbook“, Huston, ABS
21. Anderson, J. A. An Introduction to Neural Networks, Cambridge, MIT Press, (1995).
22. B. Schager, When Technology Leads Us Astray: A Broadned View of Human Error, The Journal of Navigation, 61., (2008.), 1, str. 63-70.
23. Back, T., Evolutionary Algorithms in Theory and Practice: Evolution Strategies, Evolutionary Programming, Genetic Algorithms, Oxford University Press, (1996).
24. Bakarić, V., Šijak, T., Turk, A., (2002), Suvremena realizacija brodskih sustava nadzora i upravljanja, Zbornik radova 15. međunarodnog znanstvenostručnog skupa Teorija i praksa brodogradnje, 467-480.
25. Bauk, S., Kova, N., Modeling Ship's Route by the Adaption of Hopfield – Tank TSP Neural Algorithm, Journal of Maritime Research, (2004), str. 51-66.
26. Beaubouef, T. Breckenridge, J., Real-world issues and applications for real-time geographic information systems (RT-GIS), The Journal of Navigation, 53, (2000), 1, str. 124–131.
27. Belcher, P., A sociological interpretation of the COLREGS. Journal Of Navigation, 55, (2002), str. 213–224.
28. Bijelić, T., Utjecaj ergonomskih čimbenika na upravljanje brodom, Naše more, 51 (2004), 5-6, str. 172-177.
29. Bijlsima, S. J., Computation of Optimal Ship Routes with a Specified Passage Time, European Journal of Navigation, Volume 4, (2006), Number 4, str. 41-45.
30. Bijlsma, S.J., Minimal Time Route Computation for Ships with Pre-Specified Voyage Fuel Consumption, The Journal of Navigation, 61, (2008), 4, str. 723-733.
31. Bonissone, P. P. A Fuzzy Sets Based Linguistic Approach: theory and applications approximate reasoning indecision analysis. Amsterdam:North Holland, (1982), str. 329–339.
32. Borenstein, J., Real-time Obstacle Avoidance for Fast Mobile Robots, Systems, Man and Cybernetics, IEEE, Vol.19. (1989), str. 1179-1187.
33. Breedveld, D., Waypoint Navigation for Rivercraft?, The Journal of Navigation, 52, (1999), 1, str. 136-138.
34. Brewer S., Collaboration to address human element issues in maritime safety, www.dnw.com
35. Broker, P., Future Air Traffic Management: Quantitative En Route Safety Assesment, The Journal of Navigation, 55, (2002), 2, str. 197-211.
36. Broker, P., Airbone Collision Avoidance Systems and Air Traffic Management Safety, The Journal of Navigation, 58, (2005), str. 1-16.

37. Broker, P., Are The Good Air Traffic Management Indicators For Very Safe Systems, The Journal of Navigation, 60, (2007), 1, str. 45-67.
38. Brooker, P., SESAR: R&D and Protect Portfolios for Airline Business Needs, The Journal of Navigation, 62, (2009.), 2, str. 203–237.
39. Browning, A. W., A Mathematical-Model To Simulate Small Boat Behavior. Simulation, 56, (1991), str. 329–336.
40. Bruno K, Lutzhof, M., Shore-Based Pilotage: Pilot or Autopilot? Piloting as a Control Problem, The Journal of Navigation 62, (2009), 3, str. 427–439.
41. Burns, R. S., Blackwell, G. & Calvert, S., An automatic guidance, navigation and collision avoidance system for ships at sea. IEE Colloquium on Control in Marine Industry, (1988), 3/1-3/3.
42. Cahill, R. A., Collision and their causes, London, (1983), Fairplay.
43. Chang, K.Y., Jan, G.E., A Method for Searching Optimal Routes with Collision Avoidance on Raster Charts, The Journal of Navigation 56, (2003), 3, str. 371–384.
44. Chen, S. J. and Hwang C. L., Fuzzy Multiple Attribute Decision Making. Berlin, (1992), Springer-Verlag.
45. Chin, H. C. and Debnath, A. K., Statisical analysis of conflict involvements in port water navigation. Proceedings of the MARTECH 2008, Singapore Maritime Academy, (2008), Singapore.
46. Chin, H. C. and Debnath, A. K., Modeling perceived collision risk in port water navigation. Safety Science, 47(10), (2009), str. 1410–1416.
47. Chin, H. C. and Quek, S. T., Measurement of traffic conflicts. Safety Science, 26(3), (1997), str. 169–185.
48. Chin, H. C., Quek, S. T. and Cheu, R. L., Traffic conflicts in expressway merging. Journal of Transportation Engineering, 117(6), (1991), str. 633–643.
49. Coldwell, T. G. Marine Traffic Behaviour in Restricted Waters. The Journal of Navigation, 36, (1983), 3, str. 430–444.
50. Colley, B. A., A marine traffic flow and collision avoidance computer simulation. The Journal of Navigation, 37, (1984), 2, str. 232–250.
51. D.Last, Time For A Sea Change?, Navigation News, September/Octobet 2009.
52. Darbra, R.-M. and Casal, J. Historical analysis of accidents in seaports. Safety Science, 42, (2004), 2, str. 85–98.
53. Davis, P. V., Dove, M. J., Stockel, C. T., A Computer Simulation of Marine Traffic Using Domains and Arenas. The Journal of Navigation, 33, (1980), 2, str. 215–222.
54. Debnath, A. K. and Chin, H. C., Hierarchical modeling of perceived collision risks in port fairways. Transportation Research Record, 21, (2009), str. 68–75.
55. Debnath, A.K., Chin, H.C., Navigational Traffic Conflict Technique: A Proactive Approach to Quantitative Measurment of Collision Risk in Port Waters, The Journal of Navigation 63, (2010), 1, 137–152.

56. Dejonckheere, L., MRCC & VTS functionalities Today & Tomorrow – White Paper, Government of Flanders, Agency for Maritime service and Coast
57. System of intelligent support of a ship navigator for collision avoidance, Journal Of Computer And Systems Sciences International, 42, (2003), str. 256–263.
58. Ebada, A., Makasoud, M.A., Prediction of turning manoeuvre using Artificial Neural Networks (ANN), www. *academics.ewi.tudelft.nl*
59. Intelligent ship traffic monitoring of oil spill preventon: Risk based decision support building on AIS, (2006), www.sciencedirect.com
60. Erve, P., Bonnor, N., Can the Shipping-Aviation Analogy be used as an Argument to decrease the need for Maritime Pilotage?, The Journal of Navigation, 59, (2006), 2, str. 359-363.
61. Filipowicz W., Vessel Traffic Cintrol Problems, The Journal of Navigation 57. (2004.), 1, str. 15-24.
62. Fujii, Y. and Tanaka, K.. Traffic Capacity. The Journal of Navigation, 24, (1971), 4, str. 543–552.
63. G.P.Smeaton, F.P.Coenen, Developing an Intelligent Marine Navigation System, Computing and Control Engineering Journal, 1(2), (1990).
64. Giuliano, G. Shipboard Automatic Identification System Displays. Transportation Research Board, Washington D. C., Chap.3,4, (2003).
65. Goodwin, E. M. A Statistical Study of Ship Domain. The Journal of Navigation, 28, (1975), 3, str. 328–344.
66. Goossens, L. H. J., Glansdorp, C. C., Operational benefits and risk reduction of marine accidents. The Journal of Navigation, 51, (1998), 3, str. 368–381.
67. Methods to assign the safe maneuver and trajectory avoiding collision at sea. Proc. 1st Int. Conf. Marine Technol., (1995), str. 495–502.
68. Hadley M., Issues in Remote Pilotage, The Journal of Navigation, 52, (1999), 1, str. 1-10.
69. Hadley M., Harre I., Vessel Traffic Management and Information Services (VTMIS); 2nd Biennial Congress of the International Harbour Master Association, (2000), Dubai, UAE
70. Hadnett, E., A Bridge Too Far?, The Journal of Navigation, 61, (2008), 2, str. 283-289.
71. Harati-Mokhtari A., Automatic Identification System (AIS): Dana Reability and Human Error Implications, The Journal of Navigation 60, (2007.), 3, str. 373-389.
72. Harris, C. J., Hong, X. &Wilson, P. A., An intelligent guidance and control system for ship obstacle avoidance. Proceedings Of The Institution Of Mechanical Engineers Part I- Journal Of Systems And Control Engineering, (1999), str. 213, 311–320.

73. The AIS-Assisted Collision Avoidance, The Journal of Navigation, 62, (2009), 4, str. 657-671.
74. Huges T., Whwn is a VTS not a VTS, The Journal of Navigation 62, (2009), 3, str. 439–442.
75. Hwang, C.N., The Integrated Design of Fuzzy Collision-Avoidance and H – Autopilots on Ships, The Journal of Navigation, 55, (2002), 1, str. 117-136.
76. Hwang, C.N., Yang, J.M., Chiang, C.Y., The design of fuzzy collision-avoidance expert system implemented by H-autopilot, Journal of Marine Science and Technology, Vol.9, (2001), 1, str. 25-37.
77. International Maritime Human Element Bulletin – Alert, Issue No.21 september 2009.
78. Ito, M., Zhang, F. & Yoshida, N., Collision avoidance control of ship with genetic algorithm. Proceedings of the IEEE International Conference on Control Applications, 2, (1999), str. 1791–1796.
79. Iversen, A., The human element, (2001), www.dnv.com
80. James, M. K., Modelling the Decision Process in Computer Simulation of Ship Navigation. The Journal of Navigation, 39, (1986), 1, str. 32–48.
81. James, M. K., The Timing Of Collision-Avoidance Maneuvers – Descriptive Mathematical-Models. Journal Of Navigation, 47, (1994), 2, str. 259–272.
82. Jwo, D.H., Weng, T.P., An Adaptive sensor Fusion Method with Applications i Integrated Navigation, The Journal of Navigation, 61, (2008), 4, str. 705-721.
83. Jwo, D.J., Lai S.Y., Navigation Integration Using the Fuzzy Strong Tracing Unscented Kalman Filter, The Journal of Navigation, 62, (2009.), 2, str. 303-322.
84. Kacprzyk, J. Multistage Fuzzy Control. A Model-based Approach to Fuzzy Control and Decision Making. John Wiley and sons., (1997), Chap.2.
85. A Fuzzy Logic Method for Collision Avoidance in Vessel Traffic Service, The Journal of Navigation, 60, (2007), 1, str. 17-31.
86. Kemp, J. Collision regulations – Discussion. Journal Of Navigation, 55, (2002), 1, str. 145–146.
87. Khanna, T. Foundations of neural networks, New York, (1990), Addison-Wesley.
88. Komadina P., Vessel traffic management system – sustav upravljanja pomorskim prometom na hrvatskoj obali, Zb. Rad. Pomor. Fak., 7, (1993), 1, str. 109-121.
89. Komadina P., Kos S., Mohović R., Upotreba sustava «ECDIS» kod nekih odabranih korisnika u pomorskoj navigaciji, Naše more – 46, (1999), (1-2), Dubrovnik, str. 45-48.
90. Komadina P., Markovčić Kostelac M., Kiperaš Ž., Primjena međunarodnih standarda sigurnosti na moru i zaštite morskog okoliša u Republici Hrvatskoj, Pomorski zbornik 40, (2002),Rijeka, str. 23-34.

91. Komadina P., Zec D., Strategic development of maritime traffic organization on the Adriatic sea, Naše more – 44, (1997), (3-4), Dubrovnik, str. 115-120.
92. Komadina P., Zec D., Bićanić Z., O načelima usmjeravanja pomorske plovidbe, Naše more 42, (1995), (5-6), Dubrovnik,
93. Komadina, P., Zec, D., Bićanić, Z. Prijedlog sustava usmjerene i odvojene plovidbe na jadranu, Pomorski zbornik 34, (1996), Rijeka, str. 233-259
94. P. Komadina, I. Rudan, V. Frančić: A proposal for structuring monitoring and control systems of navigation in the traffic lane next to the port of Split, Promet, Vol. 18., 2006., 67-72
95. P. Komadina, I. Rudan, V. Frančić: A proposal for Vessel Trafic Systems in the Traffic Lane Leading to the Port of Rijeka, International Symposium Information on Ships – ISIS 2006, Hamburg 21-22 September 2006.
96. P. Komadina, I. Rudan, V. Frančić, Prijedlog ustroja sustava nadzora i upravljanja plovidbom na plovnom putu do luke Zadar, Pomorstvo, God 19. Rijeka, 2005.
97. Koopmans M., CA 29 Management Committee in Lisbon, 1998; www.waterman-ts.net/Results/ Literature/Papers/papers.html
98. Kop, G., General Principles of VTS and the IMO Guidelines, The Nautical Institute On Pilotage and Shiphandling, (1990), str. 205-208
99. Kopacz, Z., Morgas, W., Urbanski, J., The Changes in Maritime Navigation and Competences of Navigators, The Journal of Navigation, 57, (2004), 1, str. 73-83.
100. Kovač, N., Bauk, S., The ANFIS based route preference estimation in sea navigation, Journal of Maritime Research, Vol.III., (2006), No.3, str. 69-86.
101. Lamb, W. G. P. and Hunt, J. M. Multiple Crossing Encounters. The Journal of Navigation, 48, (1995), str. 105–113.
102. Lamb, W. P. G. The Calculation of Marine Collision Risks. The Journal of Navigation, 38, (1985), str. 365–374.
103. Last D., Pike, D., Time For A Sea Change?, Navigation News, September/october 2009., 8-10.
104. Lee, J. D., Sanquist, T. F., Maritime Automation. Automation and human performance: Theory and applications, (1996), 365–384.
105. Lee, S., Kwon, K. and John, J., A Fuzzy Logic for Autonomous Navigation of Marine Vehicle Satisfying COLREG Guidelines. International Journal of Control, Automation, and Systems, 2(2), (2004), str.171–181.
106. Lee, Y. I. & Kim, Y. G., A collision avoidance system for autonomous ship using fuzzy relational products and COLREGs. Intelligent Data Engineering And Automated Learning Ideal 2004, Proceedings. Berlin, (2004), Springer-Verlag Berlin.

107. Li, L.-N., Yang, S.-H., Cao B.-G. and Li, Z.-F. A Summary of Studies on the Automation of Ship Collision Avoidance Intelligence (in Chinese). Journal of Jimei University, China, 11(2), (2006), str. 188–192.
108. Lisowski, J. & Smierzchalski, R., Computer simulation of safe path maneuver and trajectory avoiding collision at sea. (1994), In Joint Proceedings, Gdynia Maritime Academy Housechule Bremerhaven.
109. Liu, C.-P., G.-S. Liang, et al. Navigation safety analysis in Taiwanese ports. The Journal of Navigation, 59, (2006), str. 201–211.
110. Liu, D., Wu, Z. and Jia, C. Decision making model of dCPA, tCPA and object's movement parameter (in Chinese). Journal of Dalian Maritime University, China, 30(1), (2004), str. 22–25.
111. Direct perception interface for shipship collision avoidance, Proceedings of the IEEE 2006 International Conference on Systems, Man and Cybernetics, (2006). Taipei, Taiwan.
112. Lutzhoft, M.H., Dekker, W.A., On Your Watch: Automation on the Bridge, The Journal of Navigation, 55, (2002), str. 83-96.
113. MAIB - Marine Accident Investigation Branch, Bridge Watchkeeping Safety Study, Safety Study 1/2004, Southempton, UK, July 2004.
114. MAIB – Marine Accident Investigation Branch, Bridge Watchkeeping Safete Study, Safety Study 1/2004
115. Malczewski, J., GIS and Multicriteria Decision Analysis. Wiley, Chap.3. (1999).
116. Mendel, J., Uncertain Rule-Based Fuzzy Logic System: Introduction and New Directions. NJ: Prentice-Hall, (2001).
117. A traffic density analysis of proposed ferry service expansion in San Francisco Bay using a maritime simulation model. Reliability Engineering & System Safety, 81(2), (2003), str. 119–132.
118. Narekiewicz, M., Assessment oft he safety level of a ships'passing manoeuvre int he fairway, Polish Maritime Research, No. 1, (2006).
119. Nielsen, M., Petersen, J., Collision avoidance at sea – practice and problem, Proceedings of 20th European Annual Conference on Human Decision Making and Manual Control, (2002), str. 81-90.
120. Nortun, O., The human factor, (2004),www.dnv.com
121. Nortun, O., A role for class in „human element" issues?, (2008), www.dnv.com
122. Ou, Z., Zhu, J., AIS Database Powerwd by GIS Technology for Maritime Safety and Security, The Journal of Navigation, 61, (2008), 4, str. 655-667.
123. Patterson, D.W., Artificial Neural Networks: Theory and Applications, Singapore, Prentice Hall. (1996)
124. Pedersen, E. On the effect of plotting performance by the errors of pointing targets in the ARPA system. Journal Of Navigation, 52, (1999), 1, str. 119–125.

125. Pedersen, E., Inoue, K. and Tsugane, M. Simulator studies on a collision avoidance display that facilitates efficient and precise assessment of evasive manoeuvres in congested waterways. The Journal of Navigation, 56, (2003), 3, str. 411–427.
126. Pietrzykowski Z., Ship's Fuzzy Domain – a Criterion for Navigational Safety in Narrow Fairways, The Journal of Navigation, 61, (2008.), 3, str. 499-514.
127. Pietrzykowski, Z., Multi-stage ship control in a fuzzy environment, Enhanced Methods in Computer Security, Biometric and Artificial Intelligence Systems, (2005), Springer US, str. 285-299.
128. Pietrzykowski, Z., Uchacz, W., Implementation of navigator's knowledge ina n expert system for the evaluation of safety of ship navigating in a restricted area, Annual of Navigation 2, (2000), Maritime University of Szczecin
129. Pietrzykowski, Z., Uriasz, J., Ship domain in navigational situation assessment in an open sea area, Kluwer Academic Publishers
130. Porathe, T., Visualizing the Decision Space of a Ship's Maneuverability in Real-Time 3-D Nautical Chart, (2005), Nato/Otan, RTO-MP-IST-043.
131. Performance Evaluation of a Novel 4D Trajectory Prediction Model for Civil Aircraft, The Journal of Navigation, 61, (2008), 3, str. 393-420.
132. Strategic Conflict Detection and Resolution Using Aircraft Intent Information, The Journal of Navigation 63, (2010.), 1, str. 61-88
133. Psarafits, H.N., Cardis, P., Desypris, N., The human element as a factor in marine accidents, (2000), www.martrans.org
134. Rasmussen, J., Skills, Rules, And Knowledge – Signals, Signs, And Symbols, And Other Distinctions In Human-Performance Models. Ieee Transactions On Systems Man And Cybernetics, 13, (1983), str. 257–266.
135. Reid, J.D., Judson, B.H., Smith, V., Reducing risk – with the marine navigation safety system, (1998), www.geoinfosolutions.com
136. Richardsen, P.W., 25 percent of all ships represent 51 percent of all ship accident, (2004), www.dnv.com
137. Richardsen, P.W., Helping shipowners to achive excellent safety on bord, (2006), www.dnv.com
138. Cognitive demands of collision avoidance in simulated ship control. Human Factors, 45, (2003), str. 252–265.
139. Roosmalen, H., Comon information sharing – the future of port technology, www.porttechnology.org
140. Rothblum A.M., Human Error and Marine Safety, U.S. Coast Guard Research & Development Center, Vol. 3. (2001), str. 18-27.
141. Roudriguez, J.L., Formoso, J.A.F., Work-Related Accident in the Maritime Transport Sector, The Journal of Navigation, 60, (2007.), 2, str. 303-313.

142. Ruit, G.J., Schuylenburg, M., Ottjes, J.A., Simulation of shipping traffic flow int he Maasvlakte port area of Rottedam, (1995), www.ocp.tudelft.nl
143. Salinas, C. F., Collision regulations discussions. Journal Of Navigation, 55, (2002), str. 501–505.
144. Salinas, C.F., Restricted visibility: In Search of Solution, The Journal of Navigation, 59, (2006), 2, str. 349-358.
145. Sato, Y. and Ishii, H. Study of a Collision-Avoidance System for Ships. Control Engineering Practice, 6, (1998), str. 1141–1149.
146. Schager, B., Accident due to Human Error increasing int he Maritime Industry, The Swedish Club letter 2, (2008), str. 12-13.
147. SESAR consortium, DLM – 0612-001-02-00a – September 2007.
148. Skenderović, J., Fuzzy-koncept izbjegavanja sudara na moru, Visoka pomorska škola, Rijeka, (2000), str. 131-134.
149. Skjong, R. & Mjelde, K. M. Optimal evasive manoeuvre for ship in an environment of fixed installations and other ships. Identification and Control, 3, (1982), str. 211–222.
150. Smeaton, G. P. and Coenen, F. P., Developing an Intelligent Marine Navigation System. Computing and Control Engineering Journal, 1(2), (1990), str. 95–103.
151. Smierzchalski, R. & Michalewicz, Z., Modeling of ship trajectory in collision situations by an evolutionary algorithm. Ieee Transactions On Evolutionary Computation, 4, (2000), str. 227–241.
152. Smierzchalski, R., Evolutionary trajectory planning of ships in navigation traffic areas, Marine Science and Technology, (1999), str. 1-6.
153. Soares, C. G. and Teixeira, A. P., Risk assessment in maritime transportation. (2001), Reliability
154. Statheros, T., Howeled, G., Maier, K.M., Autonomus Ship Collision Avoidance Navigation Concepts, Technologies and Techniques, The Journal of Navigation 61, (2008), 1, str. 129–142.
155. Stitt, I.P.A., AIS and Collision Avoidance – a Sense of Deja Vu, The Journal of Navigation, 57, (2004), 2, str. 168-180.
156. Susanne Schreeck, Klearchos Aliferis; Institute for ship Operation, Vessel Traffic management and Information Service NETwork VTMIS-NET A European Project; www.issus.fh-hamburg.de/iss_web/ projekte/vtmis-net
157. Sutulo, S., Moreira, L., Soares, C.G., Mathematical models for ship path prediction in manoeuvring simulation systems, Ocean Engineering 29, (2002), str. 1-19.
158. Szlapczynski, R., A New Method of Ship Routing on Raster Grids, with Turn Penalities and Collision Avoidance, The Journal of Navigation, 59, (2006), 3, str. 27-42.

159. Szlapczynski, R., A Unified Measure Of Collision Risk Derived From The Concept Of A Ship Domain, The Journal of Navigation, 59, (2006), 3, str. 477-490.
160. Szlapczynski, R., A New Method of Planning Collision Avidance Manoeuvers for Multi-Target Encounter Situation, The Journal of Navigation, 61, (2008.), 2, str. 307-323.
161. Szlapczynski, R., Smierzchalski, R., Supporting navigator's decisions by visualizing ship collision risk, Polish Maritime Research 59, (2009), 3, str. 83-88.
162. Tam, C.K., Bucknall, R., Greig, A., Review of Collision Avoidance and Planning Methods for Ships in Close Range, The Journal of Navigation 62, (2009), 3, str. 455–477.
163. The Nautical Institute, The International Maritime Human Element Bulletin, Issue 1, October, 2003.; www.he-alert.org
164. Tran, T., Harris, C.J., Wilson, P.A., Maritime Avoidance Navigation, Totally Integrated System, FUSION'99, (1999), San Diego, USA
165. Tsou, M.C., Kao, S.L., Su, C.M., Decision Support from Genetic Algorithms for Ship Collision Avoidance Route Planning and Alert, The Journal of Navigation 63, (2010), 1, str. 167–182.
166. Tzannatos, E., Human Element and Accident in Greek Shipping, The Journal of Navigation 63, (2010), 1, str. 61–89.
167. Uchacz, W., Pietrzykowski, Z. Vessel traffic optimization using a linear model with fuzzy coefficients, Artificial intelligence and security in computing, (2003), Kluwer Academic Publishers
168. Vonk, E., Jain, L. C. & Johnson, R. P., Automatic Generation of Neural Network Architecture Using Evolutionary Computation, (1997), World Scientific.
169. Wagenaar, W. A., Groeneweg, J., Accidents At Sea –Multiple Causes And Impossible Consequences. International Journal Of Man-Machine Studies, 27, (1987), str. 587–598.
170. Wang N., Meng X., Xu Q., Wang Z., A Unified Analitical Framework for Ship Domains, The Journal of Navigation 62, (2009.), 4, str. 643-655.
171. Wang. J., Zhang, S.M., Management of human error in shipping operations, (2000), Profesional Safety.
172. Wewerinke, P.H., Ent, W.I., Hove, D., Model of large scale man-machine system with an application to vessel traffic cotrol, CH2809-2/89, (1989), IEEE
173. Wewerinke, P.H., Hove, D., Hoogland, M., A model of the vessel traffic process, Systems, Man Cybernetics, Conference Proceedings, (1990), IEEE
174. Wilson, P. A., Harris, C. J. & Hong, X., A line of sight counteraction navigation algorithm for ship encounter collision avoidance. Journal Of Navigation, 56, (2003), 1, str. 111–121.

175. Witt N.A., Hooper J.B., Mcdermott A.P, The AIS-Asssisted Collision Avoidance, The Journal of Navigation, 62, (2009.), 4, str. 657-670.
176. Yang, Y., Zhou, C., Ren, J., Model reference adaptive robust fuzzy control for ship steering autopilot with uncertain nonlinear systems, Applied Soft Computing, 3, (2003), 4, str. 305-316.
177. Yavin, Y., Frangos, C., Miloh, T. & Zilman, G., Collision avoidance by a ship with a moving obstacle: Computation of feasible command strategies. Journal Of Optimization Theory And Applications, 93, (1997), str. 53–66.
178. Yavin, Y., Miloh, T. & Zilman, G., Parametric Study Of Ship Maneuverability In Laterally Restricted Waters – Stochastic-Control Approach. Journal Of Optimization Theory And Applications, 85, (1995), str. 59–74.
179. Zeng, X. M., Evolution of the safe path for ship navigation. Applied Artificial Intelligence, 17, (2003), str. 87–104.
180. Zhao, J., Tan, M., Price, W.G., Wilson, P.A., DCPA simulation model for automatic collision avoidance decision making systems using fuzzy sets, IEEE Oceans 94', Vol.2., (1994), str. 244-249.
181. Zhao, J., Wu Z. and Wang, F., Comments on Ship Domains, The Journal of Navigation 46, (1993), 3, str. 422–437.
182. Zhu, X., Xu, H. and Lin, J., Domain and Its Model Based on Neural Networks, The Journal of Navigation, 54, (2001), 1, str. 97–103.
183. Ž. Marušić, I. Alfirević, O. Pita, Methods for increasing of aircraft maintenance system reliability, Tehnički vjesnik 14, (2007), Zagreb.

Konvencije i propisi:

184. Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea, 1972 (COLREGs), www.imo.org
185. Directive 2002/59/EC of the European Parliament and of the Council of 27 June 2002 establishing a Community vessel traffic monitoring and information, http://eur-lex.europa.eu
186. European Commission, (2008), Legal Aspects of Maritime Monitoring &Surveillance Dana, Final Report, No. FISH/2006/09 – LOT2
187. IMO Rezolucija A.342(9), Recommendation on Performance Standards for Automatic Pilots, 1975
188. IMO Rezolucija A.424(11), Performance Standards for Gyro-Compasses, 1979
189. IMO Rezolucija A.578(14): Smjernice za sustav nadzora i upravljanja pomorskom plovidbom
190. IMO Rezolucija A.815(19), World-wide Radionavigation system, 1995
191. IMO Rezolucija A.819(19), Performance Standards for Shipborne Global Positioning System (GPS) Receiver Equipment, 1995;

192. IMO Rezolucija A.893(21), Guidelines for voyage planning, 1999
193. IMO Rezolucija Međunarodne pomorske organizacije A.857(20): Smjernice za sustav nadzora i upravljanja pomorskom plovidbom – Izmijenjena i dopunjena rezolucija A.578(14)
194. Maritime and Coustguard Agency, Revised carriage reqirement for Automatic Identificatio Systems (AIS), MSN 1795 (M)
195. Model Course 1.34 – Automatic Identification Systems, International Maritime Organization, London 2006.
196. Pomorski zakonik, N.N. br. 181., Zagreb 2004. sa izmjenama i dopunama N.N. 76/07, 146/08
197. Resolution A.850(20); Human element vision, principles and goals for the organization
198. Resolution A.917(22) Guidelines for the onboard operational use of shipborne automatic identification systems (AIS)
199. Resolution MSC.112(73)Adoption of the Revised Performance Standards for Shipborne Global**.** Positioning System **(**GPS**)** Receiver Equipment, 2000.
200. Rezolucija A.158(ES.IV) - «Recommendation on Port Advisory Services»
201. Rezolucija MSC.64(67), Annex 3, Amendments to Resolution A.342(9) on Performance Standards for Automatic Pilots, 1996
202. Rezolucija skupštine IMO-a A.751(18) – INTERIM STANDARDS FOR SHIP MANOEUVRABILITY, 1993
203. STCW - The International Convention on **S**tandards of **T**raining, **C**ertification and **W**atchkeeping for Seafarers **-** Međunarodne konvencije o standardima za izobrazbu, izdavanje svjedodžbi i držanje straže pomoraca, 1978.

Ostalo

204. Bundesstelle für Seeunfalluntersuchung, Federal Bureau of Maritime Casualty Investigation, Summary Investigation Report 617/08, Collision of the cargo ship FREYA with the Gelbsand front light structure in the Elbe approach; 16 December 2008.
205. Collision of the cargo ship FREYA with the Gelbsand front light structure int he Elbe approach on 16 December 2008. Investigation Report 617/08, www.bsu-bund.de
206. Department of Transport and Regional Services, Australian Transport Safety Bureau, Navigation (Marine Casualty) Regulations investigation into the grounding of the Greek registered ship *Doric Chariot* at Piper Reef, North Queensland on 29 July 2002. Report No 182, September 2003.

207. Federal Bureau of Maritime Casualty Investigation, Grounding of the LT CORTESIA on 2 January 2008 on the Varne Bank in the English Channel, Investigation report 01/08, 1.April 2009.
208. Government of Flanders, Agency for Maritime service and Coast Shipping Assistence Division, MRCC&VTS funcionalities Today&Tomorrow, White Paper, Belgium
209. ISL Shipping Statistics and Market Review, 53, (2009), 1/2: World Merchant Fleet; Issue 3, World Tanker Market
210. Meteorological and Hydrological Sensor for Dana Buoy and Automatic Weather Station, www.aadi.no
211. Summary of reported marine casuallties, near-accidents and accidents to person – Swedish merchant and fishing vessels 2006., Swedish Maritime Safety Inspectorate
212. Technical and Maintenance Manual, VET5070, VTS Extractor and Tracker, 2006 Kongsberg Norcontrol IT
213. http://home.t-online.de/home/VTMIS/index.htm
214. http://www.lrfairplay.com
215. http://www.maib.gov.uk
216. http://www.mar-it.de
217. www.dft.gov.uk
218. www.he-alert.org
219. www.imo.org
220. www.mmpi.hr
221. www.norcontrolit.com
222. www.transas.com
223. www.ukpandi.com

POPIS TABLICA

Tablica 1 Prikaz razlika između povrede pravila i pogreške 10
Tablica 2 Različite udaljenosti među brodovima kod subjektivnog odlučivanja o postojanju izbjegnute nezgode 16
Tablica 3 Podaci koje časnik palube treba uzeti u obzir prilikom izvođenja plovidbene straže, vezano uz plovidbu broda i komunikacije 25
Tablica 4 Usporedba prednosti i nedostataka radara i AIS uređaja 30
Tablica 5 Tablica koeficijenata vremenskih prilika definirana za različite veličine brodova 65
Tablica 6 Ljestvica stanja mora prema kodu Svjetske meteorološke organizacije 66
Tablica 7 Vrijednosti koeficijenata za definiranje udaljenosti planiranog putovanja od fiksnih opasnosti izrađenih na temelju ankete operatora u VTS centru lukčke uprave Rijeka 68
Tablica 8 Skala stanja mora za Jadran i njezin odnos prema WMO skali 88
Tablica 9 Prikaz smanjivanja brzine zbog okretanja broda 91
Tablica 10 Kut otklona kormila potreban radi zadržavanja kursa broda zbog djelovanja vjetra 94
Tablica 11 Rezultati treniranja neuronske mreže 96
Tablica 12 Rezultati testiranja modela predviđanja brzine broda za novih 130 proizvoljno odabrana scenarija 99
Tablica 13 Promatrani segmenti plana putovanja LNG broda i broda za prijevoz rasutih tereta 107
Tablica 14 Granice plovnog puta na dijelu prilaska luci Rijeka 108
Tablica 15 Prikaz vrijednosti koeficijenata za LNG (crvena) te brod za prijevoz rasutih tereta (plava) 108
Tablica 16 Vrijednosti *2Z* na odabranim spojnicama plovnog puta te vrijednosti *2Rp* za LNG brod i brod za prijevoz rasutih tereta 110
Tablica 17 Koordinate sjecišta planiranih putovanja 111
Tablica 18 Brzine brodova u pojedinim meteorološko-oceanološkim područjima 113

POPIS SLIKA

Slika 1: Svjesnost člana/članova straže o prisustvu drugih brodova prije sudara.....12
Slika 2: Vidljivost kod nastajanja nezgode.....12
Slika 3: Stanje mora u trenutku sudara.....13
Slika 4: Uzroci nastajanja nezgode.....13
Slika 5: Integrirani zapovjednički most.....27
Slika 6: VTS komponente.....37
Slika 7: AIS AtoN.....39
Slika 8: Potonuće broda „Tricolor“ u području Engleskog tjesnaca.....57
Slika 9 Konceptualni algoritam pregledavanja svakog plana putovanja prije ulaska u područje nadzora.....60
Slika 10: Prikaz vrijednosti Z i R_p kod plovnog područja s usmjerenom plovidbom.....69
Slika 11: Prikaz vrijednosti Z *i* R_p kod plovnog područja s dvosmjernom plovidbom.....71
Slika 12: Provjera provođenja plana putovanja.....76
Slika 13 Krivulje linearnih deformacija u poprečnoj Mercatorovoj projekciji kod a) nereduciranih i b) reduciranih koordinata.....86
Slika 14: Shematski prikaz rada autopilota prilikom zadržavanja broda na ruti.....92
Slika 15: Prikaz vrijednosti očitanja nakon izvršene simulacije.....93
Slika 16: Prikaz grafa s vrijednostima prema epohama.....97
Slika 17: Grafovi s prikazom vrijednosti regresije.....98
Slika 18: Graf rezultata regresije te *MSE* za novih 130 uzoraka.....99
Slika 19: Prizemna karta vjetra i tlaka dobivena modelom ALADIN za područje Jadranskog mora.....101
Slika 20: Prikaz prognoze valova za Jadran dobivene modelom ECMWF.....102
Slika 21: Središnji uzdužni i poprečni plovni putovi u Jadranskome moru.....104
Slika 22: Segmenti plana putovanja LNG broda, broda za prijevoz rasutih tereta, te granice plovnog područja.....106
Slika 23: Segmenti plana putovanja LNG broda, broda za prijevoz rasutih tereta, te granice plovnog područja.....109
Slika 24: Prizemna karta vjetra i tlaka dobivena modelom ALADIN na području Istre i Kvarnera za 25. 04. 2010.....112

POPIS SIMBOLA

$t_{M_{k-1}M_k}$	trenutak prelaska broda iz područja M_{k-1} u područje M_k
X_{nB_1}	X koordinata n-te točke okreta broda B_1
Y_{nB_1}	Y koordinata n-te točke okreta broda B_1
$\sum k$	suma koeficijenata
B	širina preko svega
B_n	n-ti brod
D	deplasman broda
D_1	koeficijent podjele brodova prema tipu
D_2	koeficijent raspoloživosti obalnih sustava za orijentaciju
D_3	koeficijent kvalitete podataka dobivenih sa broda
D_4	koeficijent definiran vremenom odvijanja putovanja (dan/noć)
$H_{1/3}$	značajna valna visina
$k_{\Delta K}$	koeficijent promjene kursa broda (°)
k_B	koeficijent širine broda (m)
k_D	koeficijent deplasmana broda (t)
k_L	koeficijent duljine broda (m)
k_{SPB}	koeficijent stanja plovnog puta i broda
k_T	koeficijent gaza broda (m)
k_{vb}	koeficijent brzine broda (čv)
k_{VP}	koeficijent vremenskih prilika
L	duljina broda
L_{BP}	duljina između okomica (eng. *Length between perpendiculars*)
L_{OA}	duljina preko svega (*eng.Length over all*)
M_n	n-to meteorološko oceanološko područje
P	pozicija gdje brod mijenja kurs (*Wp*) ili prelazi iz jednog u drugo meteorološko-oceanološko područje
R_A	radijus kružnice domene broda A
R_B	radijus kružnice domene broda B

R_p	vrijednost plovnog puta raspoloživog za odvijanje planiranog putovanja
S	točka sjecišta promatranih segmenata dva plana putovanja
T	gaz broda
W_{1Bn}	točka okreta br. 1 broda B_n
Wp	točka okreta (*eng. Waypoint*)
X	cjelokupna širina plovnog puta
XTE	Greška položaja (*eng.Cross-track Error*)
Y	definirana vrijednost najmanje udaljenosti plovnog puta od fiksnih prepreka
Z	vrijednosti širine plovnog puta za jednosmjernu plovidbu
λ	geografska duljina
φ	geografska širina