

SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET

Maro Car

**PRILOG UNAPRJEĐENJU PLANIRANJA I
VOĐENJA POMORSKE NAVIGACIJE U
OGRANIČENO PLOVNIM PODRUČJIMA**

DOKTORSKI RAD

Rijeka, 2025.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET

Maro Car

**PRILOG UNAPRJEĐENJU PLANIRANJA I
VOĐENJA POMORSKE NAVIGACIJE U
OGRANIČENO PLOVNIM PODRUČJIMA**

DOKTORSKI RAD

Mentor: izv. prof. dr. sc. David Brčić
Komentor: doc. dr. sc. Nermin Hasanspahić

Rijeka, 2025.

UNIVERSITY OF RIJEKA
FACULTY OF MARITIME STUDIES

Maro Car

**A CONTRIBUTION TO THE
IMPROVEMENT OF MARITIME
NAVIGATION PLANNING, EXECUTION
AND MONITORING IN RESTRICTED
NAVIGATION AREAS**

DOCTORAL THESIS

Rijeka, 2025.

Mentor: izv. prof. dr. sc. David Brčić

Komentor: doc. dr. sc. Nermin Hasanspahić

Doktorski rad obranjen je dana _____ u/na _____
_____, pred povjerenstvom u sastavu:

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____

SAŽETAK

Planiranje pomorskog putovanja i vođenje navigacije u ograničeno plovnim područjima složen je proces čija uspješnost ovisi o mnogim čimbenicima, uključujući interakciju časnika navigacijske straže s navigacijskim informacijskim sustavima. Informacijski sustav i prikaz elektroničkih karata danas se sve više ističe kao jedino primarno navigacijsko sredstvo na zapovjednim mostovima. Međutim, ljudska pogreška i dalje je glavni uzročnik pomorskih nezgoda, dok nepravilna uporaba navigacijske opreme može dodatno povećati rizike od neželjenih događaja. Cilj ovog doktorskog rada je unaprijediti sigurnost plovidbe u ograničeno plovnim područjima kroz optimiziranu primjenu navigacijskih informacijskih sustava. Istraživanje uključuje analizu prethodnih studija i dosadašnjih istraživanja te sveobuhvatan upitnik za časnike navigacijske straže i ostale dionike plovidbenog pothvata, kako bi se stekao uvid u stavove i iskustva vezana uz planiranje putovanja, vođenje navigacije, izobrazbu i rukovanje navigacijskim informacijskim sustavima te kako bi se identificirali, odnosno potvrdili utjecajni čimbenici na pojavnost postupaka i radnji koje za posljedicu mogu imati pomorske nezgode. Metode analize ljudske pouzdanosti primijenjene su na izvještajima o pomorskim nezgodama, čime su identificirani i klasificirani ključni, raznovrsni uzroci problema vezanih uz korištenje navigacijskih informacijskih sustava. Nadalje, analizirani su čimbenici koji utječu na pojavnost ljudskih pogrešaka u zadacima planiranja putovanja i vođenja navigacije u ograničeno plovnim područjima. Provedena procjena rizika navigacijskih zadataka pokazala je mogućnosti njihovog pravovremenog smanjenja. Na temelju rezultata istraživanja razvijeni su modeli planiranja putovanja i vođenja navigacije u ograničeno plovnim područjima, primjenjivi na brodovima i u nastavnim procesima. Testiranje modela provedeno je na nautičkom simulatoru, čime je potvrđena njihova učinkovitost i praktična primjenjivost. Predloženi modeli doprinose povećanju sigurnosti plovidbe i unaprjeđenju obrazovnih procesa u pomorstvu.

Ključne riječi: vođenje pomorske navigacije, ograničeno plovna područja, časnici navigacijske straže, navigacijski informacijski sustavi, informacijski sustav i prikaz elektroničkih karata, sučelje čovjek-stroj, procjena navigacijskih rizika, pomorska izobrazba i naobrazba, sigurnost plovidbe

ABSTRACT

Planning a maritime voyage and navigating in restricted waters is a complex process whose success depends on many factors, including the interaction between Officers Of the Watch (OOW) and navigation information systems. The Electronic Chart Display and Information Systems (ECDIS) increasingly becomes the primary navigation mean on the navigational bridge. However, human error remains the leading cause of maritime accidents, and improper use of navigation equipment can further increase the risks of undesirable events. The aim of this doctoral thesis is to improve the safety of navigation in restricted waters through the optimized application of navigation information systems. The research includes an analysis of previous studies and existing research, as well as a comprehensive survey for OOW's and other stakeholders involved in the maritime voyage venture, to gain insights into their attitudes and experiences related to voyage planning, navigation, training, and handling navigation information systems, and to identify or confirm the influential factors behind procedures and actions that could lead to maritime accidents. Human reliability analysis methods were applied to maritime accident reports, identifying and classifying key and diverse causes of problems related to the use of navigation information systems. Furthermore, factors affecting the occurrence of human errors in voyage planning, execution and monitoring tasks in restricted waters were analyzed. The conducted risk assessment of navigation tasks showed opportunities for their timely reduction. Based on the research results, models for voyage planning and execution and monitoring in restricted waters were developed, which are applicable to ships and training processes. The models were tested on a nautical simulator, confirming their effectiveness and practical applicability. The proposed models contribute to increased navigational safety and the improvement of maritime educational processes.

Keywords: maritime navigation, restricted navigation areas, officers of the watch, navigational information systems, electronic chart display and information system, human-machine interface, navigational risk assessment, restricted waterways, maritime education and training, safety of navigation

SADRŽAJ

SAŽETAK	ii
ABSTRACT	iii
SADRŽAJ	iv
1. UVOD	1
1.1. Problem i predmet istraživanja	1
1.2. Znanstvena hipoteza i pomoćne hipoteze	3
1.3. Svrha i ciljevi istraživanja	4
1.4. Metodologija rada	4
1.5. Pregled dosadašnjih istraživanja	5
1.6. Struktura doktorskog rada	10
2. PLANIRANJE I VOĐENJE POMORSKE NAVIGACIJE U OGRANIČENO PLOVNIM PODRUČJIMA KORIŠTENJEM NAVIGACIJSKIH INFORMACIJSKIH SUSTAVA	11
2.1. Navigacijski informacijski sustavi	11
2.1.1. Značajke navigacijske opreme	11
2.1.2. Značajke sučelja čovjek-stroj	13
2.1.3. Informacijski sustav i prikaz elektroničkih karata	14
2.1.3.1. Povijesni razvoj	14
2.1.3.2. Značajke sustava	15
2.1.3.3. Praćenje uzbuda	16
2.1.3.4. Elektroničke navigacijske karte	17
2.1.3.5. Zaslona i konfiguracija prikaza	19
2.1.3.6. Vezani međunarodni propisi i standardi kao zakonska okosnica istraživanja	21
2.1.3.7. Razine izobrazbe i naobrazbe pomoraca	22
2.1.4. Smjernice budućeg razvoja navigacijskih informacijskih sustava	23
2.1.5. Pomorske nezgode i zaustavljanja brodova uslijed inspekcijskih nadzora	28
2.1.6. Pregled dosadašnjih vlastitih istraživanja identifikacije i uklanjanja problema i rizika koji nastaju prilikom vođenja pomorske navigacije	31
2.2. Planiranje putovanja i vođenje navigacije ograničeno plovnim područjima	32
2.2.1. Dionici pomorskog plovidbenog pothvata vezani uz ECDIS sustav	33
2.2.2. Vrste prikaza osvijetljenja na zaslonu sustava i njihove moguće implikacije	34
2.2.2.1. Odnos kontrastnog i kolornog vida	36
2.2.2.2. Međudjelovanje kontrasta i kolornog vida	36
2.2.2.3. Mogući uzroci poremećaja raspoznavanja boja	37
2.2.2.4. Mogući uzroci poremećaja kontrastnog vida	37
2.2.2.5. Purkinjeov pomak	37
2.2.2.6. Vizualna percepcija i spektralna osjetljivost uslijed starenja	38

2.2.3. Problemi pri korištenju ECDIS sustava	40
2.2.4. Temeljni koraci pri planiranju putovanja i vođenju navigacije	43
2.2.4.1. Općenito	43
2.2.4.2. Konfiguracija prikaza i sigurnosne postavke.....	44
2.2.4.3. Vođenje navigacije uz ECDIS.....	47
2.2.5. Ograničeno plovna područja u kontekstu navigacijskih informacijskih sustava	51
2.2.6. Sigurnost plovidbe i navigacijski rizici	53
3. METODOLOŠKI OKVIR ISTRAŽIVANJA I TEORETSKA RAZRADA MODELA	55
3.1. Tijek istraživanja i metodološki koraci – uvodne napomene	55
3.2. Znanstvene metode	56
3.2.1. Opće metode.....	56
3.2.2. Anketno istraživanje	57
3.2.3. Metode analize i klasifikacija ljudskih faktora u pomorstvu i 4M preokrenuta piramida	58
3.2.4. Binarna logistička regresija.....	61
3.2.5. Metoda indeksa vjerojatnosti uspjeha i kombinacija Bayesovih mreža i metode indeksa vjerojatnosti uspjeha.....	62
3.3. Razvoj modela.....	67
3.4. Verifikacija modela i validacija vjerodostojnosti vježbi.....	67
4. ANALIZA ULAZNIH PODATAKA ZA IZRADU MODELA.....	70
4.1. Rezultati analize pomorskih nezgoda i zaustavljanja brodova s ECDIS sustavom kao uzročnikom	70
4.1.1. Pomorske nezgode	70
4.1.2. Zaustavljanja brodova.....	77
4.1.2.1. Zaustavljanja pod jurisdikcijom Australske pomorske sigurnosne agencije....	77
4.1.2.2. Zaustavljanja pod jurisdikcijom Tokijskog memoranduma o razumijevanju	78
4.1.2.3. Zaustavljanja pod jurisdikcijom Pariškog memoranduma o razumijevanju.	78
4.1.2.4. Razlozi zaustavljanja brodova vezani za ECDIS sustav i elektroničke karte...	79
4.2. Rezultati anketnog upitnika	81
4.2.1. Profil i kategorizacija ispitanika.....	81
4.2.2. Opći problemi vođenja navigacije pomoću ECDIS sustava	84
4.2.3. Prepoznati problemi pri korištenju ECDIS sustava.....	86
4.2.4. Ograničenja trenutnih nastavnih procesa.....	88
4.2.5. Boje i kontrasti na zaslonu sustava i utjecaj na vođenje navigacije.....	90
4.2.6. Plovidba ograničeno plovnim područjima: kormilarske naredbe, utjecaj valova, dubina i visina broda iznad mora	92
4.2.7. Podešavanje parametra sigurnosne konture.....	95
4.2.8. Završna razmatranja o rezultatima anketnog upitnika.....	95

4.3. Definiranje i analiza čimbenika koji utječu na sigurnost plovidbe ograničeno plovnim područjima korištenjem navigacijskih informacijskih sustava.....	96
4.3.1. Identifikacija radnji/navigacijskih postupaka pri planiranju i vođenju navigacije	97
4.3.2. Identifikacija potencijalnih čimbenika	98
4.3.3. Ponderiranje, kvantificiranje i ocjena čimbenika oblikovanja izvedbe	99
4.4. Procjena rizika navigacijskih pogrešaka koji nastaju prilikom plovidbe ograničeno plovnim područjima	101
4.4.1. Proračun indeksa vjerojatnosti uspješnosti	101
4.4.2. Proračun vjerojatnosti ljudske pogreške (SLIM metoda)	101
4.4.3. Analize osjetljivosti SLIM metode	105
4.4.3.1. Planiranje putovanja.....	105
4.4.3.2. Vođenje navigacije	106
4.4.4. Proračun vjerojatnosti ljudske pogreške (BN-SLIM metoda)	106
4.4.5. Analiza osjetljivosti i validacija rezultata BN-SLIM metode	111
4.4.5.1. Planiranje putovanja (BN-SLIM)	111
4.4.5.2. Vođenje navigacije (BN-SLIM)	115
4.4.6. Procjena navigacijskih rizika	117
4.4.6.1. Matrica rizika pri planiranju putovanja	117
4.4.6.2. Matrica rizika pri vođenju navigacije	118
5. MODEL PLANIRANJA I VOĐENJA NAVIGACIJE OGRANIČENO PLOVNIM PODRUČJIMA	119
5.1. Uvodne napomene	119
5.2. Razvoj modela.....	119
5.2.1. Model planiranja putovanja.....	120
5.2.2. Model vođenja navigacije	122
5.3. Procjena vjerodostojnosti vježbe kod validacije modela.....	123
5.4. Verifikacija modela.....	125
6. RAZMATRANJA.....	128
6.1. Spoznaje, prijedlozi i preporuke proizašle temeljem rezultata istraživanja	128
6.1.1. Značajke ograničeno plovnih područja u kontekstu korištenja navigacijskih informacijskih sustava	128
6.1.2. Procjena prihvatljivih rizika pri planiranju putovanja i vođenju navigacije	129
6.1.3. Ispitivanje vida pomoraca.....	129
6.1.4. Upotpunjeni proces izobrazbe i naobrazbe	130
6.2. Očekivani učinci na dosadašnja stajališta o problemu istraživanja	131
6.2.1. Pristup planiranju putovanja i vođenju navigacije korištenjem navigacijskih informacijskih sustava	132
6.2.2. Interakcija sadašnjih i budućih časnika navigacijske straže kao edukacijski alat	133
6.2.2.1. Petlja instruktor – časnik – student	133
6.2.2.2. Unaprjeđenje nastavnog procesa.....	134

6.2.3. Primjena rezultata istraživanja.....	134
6.3. Prednosti i ograničenja rezultata istraživanja i dobivenih modela	135
6.4. Smjernice za daljnja istraživanja	135
7. ZAKLJUČAK.....	138
LITERATURA.....	140
POPIS KRATICA	156
POPIS SLIKA.....	157
POPIS TABLICA.....	160
Prilog 1. Anketni upitnik.....	i
Prilog 2. Upitnik popunjen nakon izvođenja vježbe (iskusni pomorci)	iv
Prilog 3. Ponderiranje PSF-ova prema utjecaju na određeni zadatak – planiranje putovanja...v	
Prilog 4. Ponderiranje PSF-ova prema utjecaju na određeni zadatak – vođenje navigacije	v
Prilog 5. Izračun tablice uvjetne vjerojatnosti za planiranje putovanja	vi

1. UVOD

Vođenje pomorske navigacije je zahtjevan proces planiranja, a zatim izvršenja i praćenja kretanja broda po planiranom putu. U ograničeno plovnim područjima ovaj proces postaje još kompleksniji. Tijekom navigacije, pomorskom časniku na raspolaganju stoji odobrena navigacijska oprema većeg ili manjeg stupnja integracije. Kao jedan od najznačajnijih navigacijskih informacijskih sustava može se izdvojiti Informacijski sustav i prikaz elektroničkih karata (engl. *Electronic Chart Display and Information System* – ECDIS). Danas više ne predstavlja novinu u pomorskoj navigaciji, već nastupa i kao jedino primarno navigacijsko sredstvo. Ipak, potrebno je naglasiti da neodgovarajuća uporaba samog sustava od strane časnika navigacijske straže, ili određeni tehnički nedostaci mogu dovesti do ugroze plovidbe i pomorskih nezgoda, i posljedično, negativnih utjecaja na morski okoliš, materijalnih šteta i gubitka ljudskih života.

Ovaj doktorski rad usmjeren je na utjecaj korištenja suvremenih navigacijskih sustava na sigurnost plovidbe u kontekstu navigacijskih pomagala, uz neizostavnu dobru pomoračku praksu fizičkog poimanja stvarnosti. Čimbenici koji utječu na učinkovito i ispravno korištenje ovih sustava, odnosno oni koji nastupaju kao prepreke pri uspješnom izvršenju navigacijskih zadataka, smještaju područje istraživanja doktorskog rada u okvire vođenja pomorske navigacije i razvojne koncepte navigacijskih informacijskih sustava. Neadekvatno korištenje navigacijske opreme može rezultirati pomorskom nezgodom ili sličnim neželjenim događajem. S obzirom na dinamičnost i kompleksnost istraživanja, ovo područje zahtijeva dodatnu pažnju i istraživački rad, sa ciljem određivanja načina adekvatnog korištenja sučelja čovjek-stroj (engl. *Human Machine Interface* – HMI) kao točke interakcije časnika plovidbene straže (engl. *Officer Of the Watch* – OOW) sa sustavom.

1.1. Problem i predmet istraživanja

Razvoj elektroničkih karata započeo je prije više od četiri desetljeća. Osamdesetih godina prošlog stoljeća, Međunarodna hidrografska organizacija (engl. *International Hydrographic Organization* – IHO) osnovala je odbor za digitalnu razmjenu podataka, postavljajući temelje budućih sustava, odnosno elektroničkih navigacijskih karata (engl. *Electronic Navigational Chart* – ENC), čime je omogućen početak dugog procesa digitalizacije papirnatih navigacijskih karata [37]. Prema [9], uvođenje ECDIS sustava omogućilo je smanjenje opterećenja rada ostavljajući časnicima više vremena da se usredotoče na svoje zadatke, poboljšavajući vizualni prikaz i poimanje plovnog puta, i omogućavajući učinkovitije ažuriranje karata. Međutim, ono što se čini očitim jest da učinkovitost ECDIS sustava i njegovog korištenja, i posljedično sigurnost plovidbe, uvelike ovisi o sposobnostima pojedinog časnika. Drugim riječima, način na koji časnik navigacijske straže rukuje sustavom ključan je za uspjeh u izvršavanju navigacijskih zadataka i ostvarivanju uvjeta za sigurnu plovidbu. Prema [220], u kojem su analizirane pomorske nezgode povezane s korištenjem sustava, primjetno je da se one većinom

nisu dogodile zbog tehničkih problema, već zbog pogrešaka časnika. Najčešće i najznačajnije pogreške uključuju neupotrebu i ignoriranje alarma, neupotrebu funkcije automatske provjere navigacijske rute, neadekvatno mjerilo karte, neadekvatno podešavanje sigurnosnih parametara te nedovoljno znanje i obučenosť časnika. Ovo je potvrđeno i analizom nezgoda i zaustavljanja brodova u kojima je ECDIS sustav nastupao kao uzročnik [10, 70, 72, 162, 214]. Nadalje, prema smjernicama Međunarodne pomorske organizacije (engl. *International Maritime Organization* – IMO) [114], pretjerano oslanjanje (engl. *over-reliance*) časnika može dovesti do ljudske pogreške, s posljedičnom ugrozom plovidbe broda. Zbog toga je prilikom ECDIS izobrazbe i naobrazbe potrebno uključiti sve potencijalne poznate, ali i uočene probleme koji se mogu pojaviti prilikom rukovanja sustavom.

Još je u [26] potvrđeno kako se problemi povezani uz korištenje ECDIS sustava mogu podijeliti na probleme tehničke prirode i one koji proizlaze iz nedovoljnog znanja časnika. Nadalje, u [37] se spoznalo kako je, iako relativan, sam trend prihvatanja elektroničkih sustava u uzlaznoj putanji te da još uvijek postoje određeni problemi na koje časnici navigacijske straže skreću pozornost, kao što su podložnost sustava tehničkim problemima, neodgovarajuća pokrivenost ENC podacima, neujednačena kvaliteta prikazanih informacija, dostupnost, i ažuriranje podataka. Osim toga, prevladava mišljenje kako papirnate navigacijske karte pružaju bolju preglednost, i kako je potrebno usavršavati znanje o rukovanju sa sustavom.

Kako bi se izbjegla ili barem umanjila vjerojatnost nastupa ovih događaja, prioritet je unaprijediti pristup časnika sustavu kao izvoru informacija i sredstvu interakcije. Časnici trebaju pažljivo i temeljito koristiti alate unutar sustava te koristiti sve njegove mogućnosti. Prema [220], svi dionici pomorskog prometa (uz časnike kao krajnje korisnike) u potpunosti se trebaju uključiti u razvoj, korištenje i edukaciju u radu s ECDIS sustavom, uz činjenicu kako je potpuno razumijevanje i korištenje sustava najbolji alat za rješavanje navigacijskih izazova.

Pretpostavka je IMO organizacije kako upotreba ECDIS sustava doprinosi sigurnijoj navigaciji. Međutim, dosadašnja istraživanja [37, 159, 219, 220, 223] ukazuju na niz čimbenika i pokazatelja koji upućuju na suprotno, što je jedan od elemenata motivacije za ovim istraživanjem. Neki od uočenih problema su nedovoljno uzimanje u obzir međusobnih odnosa planiranja, izvršenja i praćenja kretanja broda po planiranom putu u korelaciji s ograničavajućim i latentnim čimbenicima na sigurnost plovidbe, poput adekvatnog odabira postavki zaslona, planiranja i vođenja navigacije prilikom plovidbe ispod nadvodnih konstrukcija, plovidba neadekvatnom brzinom, utjecaj valova na dubinu ispod kobilice te pogreške u kormilarenju, odnosno izdavanju i izvođenju kormilarskih zapovijedi. Prema navedenom, problem istraživanja predstavlja neadekvatno korištenje navigacijskih informacijskih sustava od strane časnika navigacijske straže i zapovjednika te interakcija časnika i sustava u funkciji sigurnosti plovidbe ograničeno plovnim područjima. Navedeni čimbenici predstavljaju objekte istraživanja ususret postavljenom problemu i predmetu istraživanja; planiranje putovanja i vođenje navigacije korištenjem ECDIS sustava prilikom

plovidbe ograničeno plovnim područjima. Istraživanjem su definirani rizici koji nastaju pogreškom časnika navigacijske straže prilikom plovidbe u postavljenim uvjetima, čimbenici (uključujući tehničke) koji značajno utječu na sigurnost plovidbe, te konačno njihova međusobna povezanost. Stoga, uz prethodno definirane, kao objekti istraživanja mogu se navesti časnici navigacijske straže, znanje časnika, sučelje sustava, podaci (karte), rukovanje, izvršenje navigacijskih zadataka, vizualne preferencije, kormilarske naredbe i izvršavanje istih, sigurnosni parametri koji definiraju sigurnosnu marginu broda u trodimenzionalnom prostoru, pretjerano oslanjanje na sustav, i situacijska svjesnost.

1.2. Znanstvena hipoteza i pomoćne hipoteze

Iz prethodno navedenog, postavlja se sljedeća hipoteza: *Identifikacijom i definiranjem utjecajnih ograničavajućih čimbenika, njihovim kvantificiranjem i kategorizacijom, metodološkom procjenom rizika, i konačno, izradom i primjenom odgovarajućeg modela, moguće je, sa sigurnosnog i funkcionalnog stanovišta, unaprijediti procese planiranja i vođenja navigacije u ograničeno plovnim područjima.*

Iz definirane hipoteze, proizlaze sljedeće pomoćne hipoteze:

- a) Postoje čimbenici koji negativno utječu na sigurnost vođenja navigacije ograničeno plovnim područjima korištenjem navigacijskih informacijskih sustava,
- b) Identifikacija utjecajnih čimbenika u funkciji procjene i upravljanja rizicima, i izradi odgovarajućeg modela planiranja i vođenja navigacije može se ostvariti empirijski, sustavnim istraživanjem, anketnim upitnicima i strukturnim intervjuima sa središnjim dionicima u vođenju pomorske navigacije,
- c) Navedeni čimbenici mogu se, ovisno o svojoj prirodi kvantificirati i kategorizirati, i nastupaju kao mjerljivi i nemjerljivi,
- d) Procjenom prepoznatih rizika identificiraju se stvarne prijetnje sigurnom vođenju navigacije, a njihovim se upravljanjem one mogu do određene mjere umanjiti,
- e) Varijable modela planiranja, izvršenja, praćenja i općenito, vođenja navigacije ograničeno plovnim područjima korištenjem navigacijskih informacijskih sustava nemaju jednak utjecaj na sigurnost plovidbe i moguće posljedice,
- f) Odabranim i prilagođenim metodama moguće je definirati model planiranja i vođenja navigacije u ograničeno plovnim područjima,
- g) Iako već više od šest godina nastupa kao obavezan, ECDIS kao navigacijski informacijski sustav nije, od strane krajnjih korisnika prihvaćen u cijelosti, što može polučiti suprotan učinak u njegovoj predviđenoj ulozi kao sredstvu koje doprinosi sigurnijoj navigaciji,
- h) Učinkovitost ljudskog vida opada starenjem, što se prvenstveno odražava u raspoznavanju nijansi boja prisutnih na određenim vrstama prikaza zaslona ECDIS sustava,

- i) Indirektna interakcija budućih i sadašnjih časnika navigacijske straže nastupa kao značajan element unaprjeđenja nastavnih procesa u pomorskoj izobrazbi i naobrazbi.

1.3. Svrha i ciljevi istraživanja

Svrha istraživanja je unaprjeđenje planiranja i vođenja pomorske navigacije u ograničeno plovnim područjima. Stoga su vrednovani postojeći, i određeni i pruženi prilagođeni načini adekvatnog korištenja navigacijskih informacijskih sustava. Navedena svrha podrazumijeva definiranje ograničeno plovnih područja, kao i utvrđivanje utjecaja (ne)adekvatnog korištenja navigacijske opreme na sigurnost plovidbe. Sa ciljem sigurnog planiranja i vođenja navigacije, identificirani su, definirani i procijenjeni rizici plovidbe u zadanim uvjetima. Za planiranje i praćenje kretanja broda po planiranom putu u obzir su uzeti svi utjecajni čimbenici koji definiraju rizike, i sam razvojni okvir, koji se odnosi i na unaprjeđenje nastavnih procesa naobrazbe i izobrazbe pomoraca (engl. *Maritime Education and Training* – MET) za svaki čin, odnosno ulogu časnika, odnosno studenata kao budući časnika, u izvršenju plovidbenog pothvata.

Glavni cilj istraživanja predstavlja razvoj modela planiranja i vođenja navigacije ograničeno plovnim područjima. Model uvažava optimalne postavke zaslona, planiranje i vođenje navigacije, pravilan izračun dubine ispod kobilice te izdavanje i izvođenje kormilarških zapovijedi. Nepravilna primjena svakog pojedinačnog, ili kombinacije navedenih elemenata doprinosi pogrešci, odnosno nastanku neželjenog događaja. Pomoćni ciljevi istraživanja bili su:

- S obzirom na temu i područje istraživanja, kao i na korištenje novih tehnologija pri vođenju pomorske navigacije, redefinirati i upotpuniti pojam ograničeno plovnih područja,
- Identificirati i kategorizirati utjecajne čimbenike na sigurnost plovidbe korištenjem ECDIS sustava kao primarnog navigacijskog sredstva,
- Utvrditi i kvantificirati utjecaj pojedinih varijabli modela planiranja i praćenja kretanja broda po planiranom putu u ograničeno plovnim područjima,
- Procijeniti rizike ljudske pogreške prilikom korištenja ECDIS sustava u plovidbi ograničeno plovnim područjima,
- Procjenom rizika odrediti vjerojatnosti neželjenog događaja i njegove posljedice na sigurno vođenje navigacije,
- Utvrditi postojanje ograničenja ljudskog vida prilikom raspoznavanja nijansi boja prisutnih na određenim vrstama prikaza zaslona ECDIS sustava, i identificirati uzročno-posljedičnu vezu ograničenja s mogućim neželjenim ishodima,
- Unaprijediti nastavne procese u pomorskoj izobrazbi i naobrazbi.

1.4. Metodologija rada

Prilikom pretraživanja i analize znanstvenih, stručnih i službenih izvora, a sa ciljem utvrđivanja problema koji se javljaju pri interakciji časnika navigacijske straže uslijed

planiranja putovanja i vođenja pomorske navigacije u ograničeno plovnim područjima korištenjem navigacijskih informacijskih sustava, korištene su metode analize i sinteze, indukcije i dedukcije, metoda deskripcije i metoda kompilacije. Metoda anketiranja dionika pomorskog plovidbenog pothvata uz odgovarajuću obradu odgovora korištena je za prikupljanje podataka i potvrđivanja prepoznatih problema pri planiranju putovanja i vođenja navigacije. Određivanje preliminarnih utjecajnih čimbenika na sigurnost plovidbe u definiranim uvjetima, temeljem *i)* analiza vezanih pomorskih nezgoda i *ii)* analiza vezanih zaustavljanja brodova od strane lučkih inspekcija, ostvareno je metodom analize i klasifikacije ljudskih faktora u pomorstvu (engl. *Human Factors Analysis and Classification System – Maritime – HFACS-MA*), metodom obrnute piramide (engl. *4M Overturned Pyramid – 4MOP*) i, konačno, binarnom logističkom regresijom. Za utvrđivanje utjecajnih čimbenika na sigurnost plovidbe ograničeno plovnim područjima uz određivanje vjerojatnosti ljudske pogreške korištena je metoda indeksa vjerojatnosti uspjeha (engl. *Success Likelihood Index Method – SLIM*) uz kvantificiranje i ocjenu čimbenika oblikovanja izvedbe (engl. *Performance Shape Factors – PSF*), pri čemu je za validaciju rezultata korišten dvostruki test analize varijanci (engl. *Analysis of Variance – ANOVA*). Identifikacija kritičnih navigacijskih zadataka i vjerojatnost ljudske pogreške prilikom izvođenja istih ostvarena je prilagođenom BN-SLIM metodom, gdje su podaci dobiveni SLIM metodom modelirani unutar Bayesove mreže (engl. *Bayesian Network – BN*) [16]. Temeljem navedenih metoda, napravljena je verifikacija (analizom osjetljivosti) i validacija (studijama slučaja) rezultata, uz proračun konačnog indeksa vjerojatnosti uspjeha. Za procjenu i definiranje rizika planiranja putovanja i vođenja navigacije ograničeno plovnim područjima te definiranje ključnih radnji pri planiranju putovanja i vođenju navigacije ograničeno plovnim područjima korištenjem navigacijskih informacijskih sustava napravljena je analiza ozbiljnosti posljedica kao temelj matrice rizika za planiranje putovanja, odnosno vođenja navigacije. Temeljem prethodno utvrđenih utjecajnih čimbenika, i posljedično prepoznatih i kvantificiranih rizika odnosno upravljanja istima, izrađeni su modeli (dijagrami toka) planiranja putovanja i vođenja navigacije u ograničeno plovnim područjima. Modeli su vrednovani simuliranjem namjenskih navigacijskih vježbi temeljem predloženih modela uz strukturirane intervjuve namijenjene stručnjacima u području, časnicima navigacijske straže, i studentima. Nakon validacije vjerodostojnosti vježbi, modeli su verificirani izvođenjem vježbi unutar scenarija sa i bez korištenja predloženih modela.

U ovom je potpoglavlju opisan okvirni tijek istraživanja uz, temeljem ishoda, korištene podatke, znanstvene metode i provedene postupke. Svi ovi elementi detaljno su opisani u zasebnom poglavlju, gdje je prikazan cjelokupni metodološki okvir doktorskog rada.

1.5. Pregled dosadašnjih istraživanja

U [219] je analizirano 80 izvješća o pomorskim nezgodama koje su se dogodile od 2008. do 2018. godine, sa ciljem utvrđivanja da li je ECDIS sustav nastupao kao značajan čimbenik u samoj nezgodi. Autori su koristili 4M model prevrnute piramide (engl. *4M Overturned*

Pyramid – MOP) te su utvrdili da su u 22 slučaja ECDIS sustav ili elektroničke navigacijske karte imali značajan utjecaj na nastanak nezgode. Kao značajne čimbenike koji su doprinijeli nezgodama rezultatima analize izdvojeni su nedovoljno znanje navigacijskih časnika, nedostaci u navigacijskim procedurama te neadekvatne sigurnosne postavke ECDIS sustava s posebnim naglaskom na postavkama alarma. Nadalje, u [14] autori su analizirali 25 slučajeva nasukanja povezanih s neadekvatnim korištenjem ECDIS sustava. Prema rezultatima, u 22 od ukupno 25 nasukanja situacijska svjesnost navigacijskih časnika dosegla je tek prvu razinu (percepcija) i dalje se nije razvijala. Jedan od uzročnika nasukanja bila je neadekvatna situacijska svjesnost povezana s alarmima ECDIS sustava. Prema autorima, automatizacija pomaže u obradi prikupljenih podataka sa ciljem olakšavanja donošenja odluka, ali se u isto vrijeme zbog nje navigacijski časnik često isključuje iz procesa donošenja odluka tijekom vođenja navigacije. U ovom stanju, operater razvija neadekvatnu situacijsku svjesnost, jer nije svjestan izvedbe automatizacije i značajki koje bi ona trebala kontrolirati. Biti izvan procesa donošenja odluka ne predstavlja veliki problem kada automatizacija radi dobro, ali kada zakaže, operater ne može identificirati problem na vrijeme što potencijalno dovodi do nezgode. Nadalje, analiza dobivenih podataka ukazuje na problem neadekvatne situacijske svjesnosti, što se najčešće odražava na način da navigacijski časnici ne koriste adekvatno sve sigurnosne funkcije sustava [14]. Povrh navedenoga, potvrđena je [67] ozbiljnost posljedica ljudske pogreške do koje dolazi prilikom peljarenja i radnji poput vođenja navigacije u ograničeno plovnim područjima. Prema autorima, razumijevanje i identifikacija postupaka prilikom takvih radnji je izuzetno bitna kako bi se napravio učinkoviti raspored navigacijskih uređaja i opreme na zapovjedničkom mostu te provela adekvatna izobrazba navigacijskih časnika. Rezultati istraživanja pokazali su da je tijekom radnji peljarenja i vođenja navigacije u ograničeno plovnim područjima povećana mogućnost nastanka ljudskih pogrešaka kojima je najčešći uzročnik nedostatak situacijske svjesnosti. Autori predlažu daljnja istraživanja sa ciljem kvantificiranja uzročno-posljedičnih odnosa između pogrešaka zbog nepoduzimanja adekvatnih radnji i nedostatka situacijske svjesnosti. U [196] opisuje se pouzdanost podataka, rukovanje alarmima i sigurnosnim postavkama te ograničenja ECDIS sustava. Informacijski sustav i prikaz elektroničkih karata trebao bi imati istu pouzdanost i dostupnost kao i službene papirne navigacijske karte. Adekvatnoj situacijskoj svjesnosti doprinosi, između ostalog, i razaznavanje i ispravno tumačenje svih objekata prikazanih na zaslonu sustava. U radu se navodi važnost pravilnog postavljanja sigurnosnih navigacijskih postavki ECDIS sustava. Autor zaključuje da se izračunate vrijednosti sigurnosne dubine i sigurnosne konture moraju razumjeti i pravilno unijeti kako bi se izbjegle opasne situacije i nezgode. Istraživanje je ograničeno na dnevni prikaz zaslona, dok za sumračni i noćni prikaz sigurna i opasna plovidbena područja nisu uzeta u obzir.

Složenost sučelja ECDIS sustava i preopterećenost navigacijskog časnika informacijama ergonomske su problemi, povezani s nastankom pomorskih nezgoda [225]. Prilikom planiranja

putovanja i vođenja navigacije zbog potencijalnog zasićenja zaslona ECDIS sustava grafičkim i tekstualnim informacijama dodatno se povećava opterećenje navigacijskog časnika. Osim toga, ako se plovidba ograničeno plovnim područjima odvija noću, situacija postaje dodatno zahtjevna, budući da određene skupine časnika simbole i oznake na noćnoj paleti boja teže razaznaju. Primjer je nasukanje broda „Muros“ na pličinu Varne u Engleskom kanalu. Jedan od uzročnika pogreške bio je korištenje noćne palete boja pri čemu je pličina Varne bila teže raspoznavljiva [162]. Mjerenjem osjetljivosti na kontrast, utvrđeno je kako osjetljivost na raspoznavanje nijansi boja opada s godinama starosti [64], a kao glavni razlog navode neurološke promjene koje postaju značajnije što osoba više stari. Nadalje, [75] utvrđuju kako se smanjenjem osvjetljenja vizualna učinkovitost oka kod starijih osoba znatno umanjuje. To se posebno odnosi na sposobnost raspoznavanja kontrasta kod određenih boja. Autori su uvidjeli kako se kod mlađih osoba navedeni fenomen smanjenja kontrasta ne događa tako značajnim intenzitetom. Autori u svom radu [137] ističu važnost pravilnog odabira i specifikacija boja kao temeljnog aspekta učinkovitog dizajna zaslona. Od navedenih potencijalnih problema s kojima se mogu susresti pomorci prilikom rukovanja sustavom mogu se izdvojiti osvjetljenje zaslona, prejako ili preslabo pozadinsko osvjetljenje i odabir pozadinskih boja na sučelju. Za nadzor plovidbe tijekom noći osvjetljenje zaslona trebalo bi biti što slabije da ne bi ometalo časnika prilikom izvršavanja navigacijskih zadataka. Da bi doskočili problemu autori su predložili izradu odgovarajućih sjenila za zaslone koja bi smanjivala osvjetljenje istih. Također su uvidjeli da se simboli i crte koji sadrže određenu boju bolje ističu na svijetloj podlozi nego na tamnijoj. Ako se manji, obojeni simbol nalazi na tamnijoj pozadini značajno će se umanjiti njegova vidljivost. Situacija se može dodatno pogoršati kod tamnijeg pozadinskog osvjetljenja, kao što je slučaj prilikom vođenja navigacije noću. [24] su jedni od prvih autora koji su se bavili problematikom noćnog pozadinskog prikaza na zaslonima elektroničkih kartografskih sustava. Oni navode da je optimalan kontrast boja potreban tijekom dana i noći. Također uviđaju i potencijalni problem zbog izvjesnog udjela nekorištenja noćnog prikaza rada i izbjegavanja tamne pozadine kartama te odabira dnevnog prikaza s bijelom pozadinom na zaslonu i smanjenim osvjetljenjem. Prema autorima, ovakav način korištenja sustava dovodi do neželjenih posljedica, s obzirom da neki od simbola mogu ostati nezamijećeni. Autori su proveli istraživanje na uzorku od 65 pomoraca gdje se više od trećine ispitanika (35 %) izjasnilo da će nastaviti s praksom smanjenog osvjetljenja i dnevnog prikaza zaslona prilikom vođenja navigacije noću. Kao razloge navode bolji kontrast na zaslonu, lakše uočavanje opasnosti za navigaciju i smanjeno osvjetljenje alatne trake s postavkama.

Nadalje, [190] u svom se radu bave tematikom tehnološkog razvoja brodarstva, gdje izdvajaju dva potencijalna problema; nedovoljnu izobrazbu i naobrazbu pomoraca, i ljudski faktor koji može dovesti do neželjenih događaja prilikom rukovanja sa suvremenim uređajima. Za primjer navode nasukanje broda gdje časnik plovidbene straže na karti nije prepoznao (zamijetio) opasnost za navigaciju (plčinu) zbog noćnog prikaza na zaslonu sustava. Autori

navode kako je postojala opcija aktivacije drukčijeg prikaza boja na zaslonu sustava te da bi njenom aktivacijom opasnost bila uočena. Također, ističu kako bi automatizirani procesi trebali biti što jednostavniji za rukovanje te da dizajn, konfiguracija i instalacija suvremenih navigacijskih sustava treba biti što više standardizirana. Osim toga, proizvođači opreme trebali bi što više konzultirati časnike navigacijske straže prilikom proizvodnje navigacijskih uređaja kako bi se uklonili problemi neprikladnog dizajna, instalacija i uporabe automatiziranih sustava.

Osim opisane problematike prikaza navigacijskih karata na zaslonima sustava, prethodno provedene ankete i rezultati istraživanja vezanih za navigacijske informacijske sustave prikazani su u [26, 102, 227, 228]. Autori ukazuju na potencijalne probleme vezane uz sustav na različitim razinama. Potencijalni problemi su između ostalog povezani s postavljanjem sustava, održavanjem, rukovanjem, navigacijom, poznavanjem sustava, izradom ENC karata te tradicionalnim i pojednostavljenim prikazom simbola na kartama. Prema [223], za pravilno korištenje ECDIS sustava potrebno je odgovarajuće znanje i iskustvo u njegovom korištenju. Nove tehnologije navigacijskim časnicima potencijalno pružaju lažan osjećaj sigurnosti zbog količine podataka i mogućnosti koje nude, dok kod drugih stvaraju osjećaj odbojnosti, budući da se teško prilagođavaju na rad sa sustavom. Jedan od uzroka pogrešaka su također razlike među sustavima različitih proizvođača, koje za posljedicu mogu imati otežano prihvatanje sustava, zbog različitosti ili jednostavnosti rukovanja. Autori zaključuju da je potrebno promijeniti pristup ECDIS izobrazbi i edukaciji o rukovanju. Razdoblje od pet dana izobrazbe nije dovoljno za svladavanje svih mogućnosti koje pruža ECDIS, pogotovo ako su polaznici časnici s bogatim navigacijskim iskustvom pri korištenju papirnatih navigacijskih karata.

Uz navedene probleme, autori [27, 48, 239] se bave problematikom vezanom za ECDIS izobrazbu i naobrazbu, pružajući potencijalna rješenja. Iako još uvijek ne postoje čvrsti dokazi da će sustav biti bolje prihvaćen od strane iskusnijih pomoraca [30] uočena je potreba da se obrazovanje vezano uz ECDIS prilagodi uz odgovarajući navigacijski čin [32]. Također, od iznimne je važnosti da je časnik uvijek svjestan ograničenja sustava i izvršava odgovarajuće provjere [31, 37, 196, 238].

Jedna od osnovnih, neophodnih informacija za obavljanje sigurnog vođenja navigacije su informacije o dubinama na kartama. Metode i zahtjevi za digitalno prikupljanje hidrografskih podataka definirani su IHO standardom IHO S-57 (2020.), a koji predstavlja temelj za izradu službenih elektroničkih navigacijskih karata (engl. *Transfer Standard for Digital Hydrographic Data*)[96]. Međutim, u tijeku je razvoj niza novih standarda pod zajedničkim nazivnikom S-100 (engl. *Universal Hydrographic Data Model*), koji postupno stupaju na snagu. E-navigacija pruža priliku za primjenu modernih digitalnih i drugih tehnologija kako bi se poboljšala sigurnost i učinkovitost pomorske navigacije. Pod širokim okriljem e-navigacije, okvir specifikacije proizvoda S-100 olakšava uspostavljanje standardne

pomorske strukture podataka koja omogućuje slobodnu razmjenu navigacijskih informacija između brodova, brodova i obale, te obale i brodova [154]. Novi standardi donose potpuno nov način primjene i interpretacije dostupnih podataka te pružaju časnicima sasvim nove mogućnosti interakcije sa sustavom. Očekuje se da će se standard novih elektroničkih navigacijskih karata (S-101) početi primjenjivati početkom 2025., dok bi standardi koji se tiču batimetrije (engl. *Bathymetry*, S-102), razine vode (engl. *Water Level Information for Surface Navigation*, S-104), površinskih struja (engl. *Surface Currents*, S-111) i dubine pod kobilicom (engl. *Under Keel Clearance Management*, S-129) trebali stupiti na snagu do 2025.

Nadalje, prikaz nadvodnih konstrukcija na zaslonima ECDIS sustava značajan je za sigurno izvođenje pomorskog plovidbenog pothvata. U svom istraživanju [34], autori se bave proučavanjem podataka značajnih za S-100. Ovdje su uključene elektroničke karte, batimetrijski podatci, pomorski promet i relevantne pomorske publikacije. Autori su predstavili web sučelje za vizualizaciju, koje pokazuje kako se različiti izvori podataka mogu uspješno integrirati sa ciljem podržavanja sigurnije pomorske navigacije i učinkovitog planiranja putovanja, s fokusom na ENC prikaz oblika nadvodnih konstrukcija.

Plovidba ograničeno plovnim područjima u većini se slučajeva odvija metodom ručnog kormilarjenja što može dovesti do ljudske pogreške (krivo izdana naredba kormilaru ili krivo izvršena zadana naredba). U svom radu, [79] autori su prikazali rekonstrukciju događaja koji su prethodili udaru broda za kružna putovanja Costa Concordia u stijene Isola del Giglio 13. siječnja 2012., kao i hitne protumjere koje je aktivirao automatizirani sustav broda nakon udara. Prema rezultatima istraživanja, pogreška kormilara bila je jedan od odlučujućih čimbenika u nezgodi koja je prouzročila pogibiju preko 30 osoba.

Unatoč naporima pomorskih vlasti da poboljšaju kompetencije pomoraca, ljudska pogreška ostaje jedan od glavnih uzroka pomorskih nezgoda, pri čemu nedostatak ili neadekvatnost situacijske svjesnosti ima veliku ulogu [202]. Prema [189], neodgovarajuće planiranje putovanja uzrokovano pogrešnim određivanjem sigurnosnih navigacijskih čimbenika dovodi do nemogućnosti prepoznavanja navigacijskih opasnosti. Ovi čimbenici, u kombinaciji s nedostatkom poznavanja rada i pretjeranim oslanjanjem na sustav te mogućnosti pogreške sustava za određivanje položaja stvaraju veliki rizik nastanka pomorske nezgode. Stoga je implementacija adekvatnih rutina planiranja putovanja zajedno s izobrazbom na simulatoru koja uključuje kvarove vezane opreme ključna za sigurnost plovidbe.

Dosadašnja istraživanja ukazuju na postojanje raznovrsnih problema i prilikom korištenja samog ECDIS sustava. Međutim, potencijalni uzročnici pomorskih nezgoda, poput odabira adekvatne palete boja zaslona sustava, prikaza nadvodnih konstrukcija, izdavanja i izvršavanja kormilarskih naredbi te pravilnog izračuna dubine ispod kobilice prilikom planiranja putovanja i vođenja pomorske navigacije u ograničeno plovnim područjima, nedovoljno su istraženi. Sa ciljem odgovarajućeg pristupa navedenoj problematici, od velike je

važnosti prikladan, vrednovan i utemeljen odabir znanstvenih metoda kvantifikacije i dokazivanja utjecaja navedenih elemenata na sigurnost navigacije, uz definiranje proizašlih rizika.

1.6. Struktura doktorskog rada

Doktorski rad sastoji se od sedam međusobno povezanih cjelina, uz pet priloga. U uvodnom poglavlju postavljeni su problem i predmet istraživanja, svrha i ciljevi, i postavljene su znanstvena te pomoćne hipoteze. Sažeto su predstavljene primijenjene znanstvene metode i dat je pregled prethodnih istraživanja.

Drugo poglavlje, pod naslovom *Planiranje i vođenje pomorske navigacije u ograničeno plovnom područjima korištenjem navigacijskih informacijskih sustava* opisuje znanstveni problem i predmet istraživanja. Ovdje su elaborirani navigacijski informacijski sustavi kroz prizmu sučelja čovjek-stroj, podaci, međunarodni propisi, izobrazba i naobrazba časnika, identifikacija i uklanjanje problema i rizika u navigaciji te planiranje putovanja i vođenje navigacije ograničeno plovnom područjima.

U trećem poglavlju, pod naslovom *Metodološki okvir istraživanja i teoretska razrada modela* opisan je tijek istraživanja po definiranim koracima. Ovdje su prikazani i opisani izvori podataka, korištene znanstvene metode, razvoj modela i njihova verifikacija te metodologija validacije vjerodostojnosti izvedenih vježbi.

Unutar četvrtog poglavlja, naslova *Rezultati i analiza* prikazani su i analizirani rezultati istraživanja. Obradeni su rezultati analiza pomorskih nezgoda i zaustavljanja brodova s ECDIS sustavom kao uzročnikom. Analizirani su rezultati anketnog upitnika. Identificirani su i analizirani čimbenici i postupci koji značajno utječu na sigurnost plovidbe ograničeno plovnom područjima korištenjem navigacijskih informacijskih sustava. Napravljena je procjena vjerojatnosti ljudske pogreške, uz validaciju rezultata. Izrađena je procjena rizika navigacijskih pogrešaka koji nastaju prilikom plovidbe u zadanim uvjetima. Temeljem ovih rezultata, pripremljen je temelj za izradu predloženih modela.

U petom poglavlju, pod naslovom *Model planiranja i vođenja navigacije ograničeno plovnom područjima* postavljeni su navedeni modeli. Prikazan je razvoj modela, validacija vjerodostojnosti vježbi izrađenih za provjeru modela i naposljetku, verifikacija oba modela.

Unutar šestog poglavlja, pod naslovom *Razmatranja* predstavljene su spoznaje, prijedlozi i preporuke proizašle na temelju rezultata istraživanja, očekivani učinci na dosadašnja stajališta o problemu istraživanja, prednosti i ograničenja rezultata te smjernice za potencijalni nastavak istraživanja unutar obrađene teme. Ovdje su prikazani znanstveni doprinosi proizašli iz istraživanja, kao i primjena rezultata istraživanja.

U zaključnom poglavlju objedinjeni su i sažeto izneseni rezultati cjelokupnog istraživanja doktorskog rada, uz proizašle zaključke, doprinose, i preporuke za daljnja istraživanja.

2. PLANIRANJE I VOĐENJE POMORSKE NAVIGACIJE U OGRANIČENO PLOVNIM PODRUČJIMA KORIŠTENJEM NAVIGACIJSKIH INFORMACIJSKIH SUSTAVA

2.1. Navigacijski informacijski sustavi

Brodsko navigacija ubrzano se razvijala tijekom stoljeća, prelazeći s osnova terestričke i astronomske navigacije na sofisticirane navigacijske informacijske sustave. Uvođenjem takvih sustava nedvojbeno je olakšan posao navigacijskih časnika i unaprijeđena sigurnost na moru. Ipak, svaki automatizirani navigacijski sustav ili uređaj uz prednosti ima i određene nedostatke. Da bi se unaprijedila sigurnost plovidbe, časnike je neophodno upoznati s nedostacima te ih adekvatno pripremiti za rukovanje navigacijsko opremom. Osim toga, potrebno je osigurati da sustavi pravilno rade, da su ažurirani i da postoje pisane procedure koje će olakšati sigurno korištenje.

2.1.1. Značajke navigacijske opreme

Današnjim razvojem brodske navigacije teži se ka integraciji, fuziji podataka i sinergiji. Primjer su Integrirani navigacijski sustavi (engl. *Integrated Navigation Systems* – INS), definirani standardima izvedbe [113] kako bi se postigla harmonizirana prezentacija svih navigacijskih informacija na jednom prikazu. Za razliku od zasebnih prikaza poput ECDIS zaslona ili radarske slike, INS sustavi usmjereni su na konfiguriranje prikaze operativnih situacija odabirom svih vezanih uređaja, kartografskih i ostalih podataka potrebnih za uspješno planiranje putovanja, i praćenje kretanja broda [153]. Svrha INS sustava je povećanje sigurnosti navigacije pružajući integrirane i poboljšane funkcije, informacije i njihove izvore za izbjegavanje geografskih, i pomorskih prometnih i okolišnih opasnosti. Ovom integracijom INS pruža dodanu vrijednost pri planiranju putovanja, kretanja broda te praćenju/kontroli napredovanja po planiranome putu [113, 115].

Kao elementi INS sustava, ili kao zasebne komponente (engl. *standalone*), navigacijski informacijski sustavi i uređaji nastupaju kao sredstva informiranja i podrške časnicima plovidbene straže te podrške donošenju odluka. Ovdje se, između ostalih, mogu ubrojiti Sustav za automatsku identifikaciju (engl. *Automatic Identification System* - AIS), radarski sustav, i Informacijski sustav i prikaz elektroničkih karata. Njihova primjena podrazumijeva temeljne ulazne podatke kretanja broda sustava za elektroničko određivanje položaja (engl. *Electronic Position Fixing System* – EPFS), žirokompasa, autopilota, dubinomjera i uređaja za mjerenje brzine i prevaljenog puta (engl. *Speed and Distance Measuring Equipment* - SDME).

Sustav za automatsku identifikaciju [117] omogućuje razmjenu relevantnih informacija između različitih pomorskih entiteta; brodova, kopna i navigacijskih pomagala [6]. Klasična razmjena navigacijskih informacija uključuje *i) statičke podatke* (identifikacijski broj pomorske mobilne postaje (engl. *Maritime Mobile Service Identity Number* - MMSI), pozivni znak i ime, IMO broj, dužina i širina broda, vrsta broda, pozicija antene), *ii) dinamičke podatke* (pozicija

broda, koordinirano univerzalno vrijeme (engl. *Universal Time Coordinated* - UTC), kurs kroz vodu, kurs preko dna, brzina preko dna, navigacijski status, brzina zakreta broda (engl. *Rate Of Turn* - ROT), iii) podatke o putovanju (gaz, vrsta tereta, odredišna luka i vrijeme dolaska (engl. *Estimated Time of Arrival* - ETA), plan putovanja) i iv) sigurnosne podatke (kratke poruke sigurnosnog sadržaja) [117].

Satelitski navigacijski prijamnici, najčešći oblik EPFS sustava, pružaju časniku plovidbene straže kontinuiranu uslugu pozicioniranja, navigacije i vremena (engl. *Positioning, Navigation and Timing* - PNT) [31, 199]. Satelitska navigacija temelji se na propagaciji i mjerenju vremena satelitskih navigacijskih signala od predajne do prijamne antene. Primjeri GNSS¹ sustava uključuju europski Galileo, američki GPS², ruski GLONASS³ i kineski BeiDou. Učinkovitost sustava procjenjuje se temeljem četiri kriterija: i) preciznosti – razlike između izmjerene i stvarne pozicije, brzine ili vremena; ii) integriteta – sposobnosti sustava da pruži prag pouzdanosti i uzbudu u slučaju anomalija; iii) kontinuiteta – sposobnosti sustava da funkcionira bez prekida; i iv) dostupnosti – postotka vremena u kojem usluge ispunjavaju navedene kriterije [69]. Najčešće korišteni globalni sustav i dalje je GPS, koji osim što pruža navedene kritične podatke, kod nekih uređaja nastupa i kao sastavni dio (npr. kod sustava AIS). Razvojem višefrekventnih prijamnika (jednog ili više GNSS sustava) i naprednih metoda satelitskog pozicioniranja, ove usluge postižu visoke razine točnosti i integriteta.

Unutar ECDIS sustava, GPS nastupa kao osnovni navigacijski (položajni) senzor. Osim toga, službene ENC karte proizvode se temeljem istog referentnog okvira (WGS84) [92, 125, 180]. U skladu s [125, 126], unutar ECDIS sustava mora postojati sekundarni izvor položaja. Uz GNSS sustave, kao alternativu je moguće koristiti Loran (engl. *Long Range Navigation*) hiperbolički sustav, odnosno moderniziranu verziju (engl. *enhanced Loran* – e-Loran), prvenstveno zbog sigurnosne zaštite [31].

Radarskim sustavom se temeljem elektromagnetskih impulsa otkrivaju i lociraju površinski objekti na moru [157]. Sustav automatskog radarskog plotiranja (engl. *Automatic Radar Plotting Aid* – ARPA), odnosno sustav praćenja objekata (engl. *Target Tracking* – TT) nastupaju kao nadogradnja početnoj radarskoj konfiguraciji, koje omogućuju automatsko praćenje objekata i proračun navigacijskih i sudarnih parametara [122, 124]. Uz azimut i udaljenost objekta, sustav daje podatke o kursu i brzini objekta, točke i vremena najbližeg mimoilaženja te pramčanog prolaska i odnosnog vremena. U funkciji povećanja sigurnosti plovidbe sustav se koristi u obalnoj plovidbi i prilazima lukama, jasnim označavanjem kopna i drugih fiksnih opasnosti; kao sredstvo za pružanje slike pomorskog prometa i poboljšane situacijske svjesnosti; za pomoć pri izbjegavanju sudara te kao sredstvo za otkrivanje manjih plutajućih i fiksnih opasnosti i navigacijskih pomagala [124].

¹ Globalni navigacijski satelitski sustav (engl. *Global Navigation Satellite System* – GNSS)

² Globalni sustav za određivanje položaja (engl. *Global Positioning System* – GPS)

³ rus. *Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema* – GLONASS

Žiro-kompas je uređaj kojim se utvrđuje kurs kroz vodu (engl. *heading* - HDG) u odnosu na geografski sjever [71]. Autopilot je uređaj koji unutar ograničenja manevarskih sposobnosti broda treba omogućiti da brod održava trenutni kurs s minimalnim intervencijama kormilarskog uređaja. Autopilot treba moći prihvatiti i izvesti razne otklone kormila pod različitim vremenskim uvjetima. Također, promjena s automatskog na ručno i s ručnog na automatsko kormilarenje treba biti uvijek dostupna opcija [119]. Dubinomjerom se određuje dubina broda ispod kobilice. Uređaj treba biti u mogućnosti mjeriti dubine od minimalno dva metra ispod predajnika do 400 metara i više. Također, uređaj treba imati opciju mjerenja ukupne dubine i dubine u plitkim vodama koje iznose 1/10 ukupne dubine [118].

Uređaj za mjerenje brzine i prevaljenog puta pruža podatke o prijedenoj udaljenosti i brzini kretanja kroz vodu (engl. *Speed Through Water* – STW), dok neke izvedbe omogućavaju mjerenje dubine preko dna (engl. *Speed Over Ground* – SOG). SDME može pružati i druge informacije, a prema standardu treba moći mjeriti minimalno najvišu brzinu broda u vodi gdje je dubina ispod kobilice minimalno tri metra. Brzina se kod digitalnih sučelja iskazuje najmanje pri 0,1 čvora, odnosno 0,5 čvorova kod analognih sučelja [123].

Kako je prethodno navedeno, opisana oprema može nastupati kao zasebna, ili čini dio kompleksnijih sustava unutar kojih se navigacijski podaci i ostale vezane informacije integriraju u jedno sučelje.

2.1.2. Značajke sučelja čovjek-stroj

U svojoj suštini, sučelje čovjek-stroj (engl. *Human-Machine Interface* – HMI) odnosi se na tehnologiju koja omogućuje interakciju čovjeka i stroja, pri čemu se pojam *stroj* može odnositi na niz naprava, uređaja ili sustava. Ovaj koncept pojavio se tek sredinom 20. stoljeća, temeljen na pisaćem stroju [36], što je dovelo do stvaranja prvih računalnih tipkovnica. Tadašnja računala koristila su samo tekst, bez grafičkog korisničkog sučelja. Grafičkom funkcionalnošću javila se potreba za računalnim mišem. Početkom 1980.-ih započinje razvoj niza novih HMI uređaja, uključujući grafičke tablete, tipkovnice i ostale i danas korištene uređaje. Korisnici se odmiču od tradicionalnijeg sučelja miša i tipkovnice i sve više ulaze u različite načine interakcije s elektroničkim uređajima, pa ta interakcija poprima različite oblike, poput grafičkih korisničkih sučelja, dodirnih zaslona, sustava za prepoznavanje glasa ili virtualne, odnosno proširene stvarnosti [36].

Glavne značajke sučelja čovjek-stroj, koje se mogu potpuno primijeniti na navigacijske informacijske sustave, uključuju interaktivnost, prikaz podataka u stvarnom vremenu, sustave uzbude, prilagodljivost, jednostavno upravljanje i nadzor, sigurnosne značajke, integraciju s drugim uređajima međusobnom standardiziranom komunikacijom [145] te grafički prikaz, odnosno sučelje [23]. Potonje, kao glavna točka interakcije pri interpretaciji podataka i donošenju odluka nastupa kao jedan od objekata istraživanja doktorskog rada.

Svrha sustava uzbude na zapovjedničkom mostu je uspostavljanje središnjeg sučelja za upravljanje upozorenjima i njihovim prikazom kao pojedinačnih ili skupnih. Koncept sustava

za potvrđivanja i utišavanja upozorenja osmišljen je kako bi se izbjegla nepotrebna ometanja suvišnim zvučnim i vizualnim uzбудama, što smanjuje kognitivno opterećenje časnika plovidbene straže [110].

Unatoč razvoju HMI sustava u pomorskoj navigaciji, ljudski faktor nastupa kao značajna uzročna komponenta pomorskih nezgoda [158]. Sučelje, kao točka interakcije čovjeka s elektroničkom navigacijskom opremom treba biti pouzdano, intuitivno, pregledno i učinkovito. Uređaj ECDIS, primjer sučelja čovjek stroj, danas nastupa kao osnovni navigacijski sustav na zapovjednim mostovima.

2.1.3. Informacijski sustav i prikaz elektroničkih karata

2.1.3.1. Povijesni razvoj

Uloga pomoraca se s vremenom stalno mijenja, posebice zbog tehnoloških napredaka i novih izazova. Od potonjih, možda je jedan od najznačajnijih uvođenje elektroničkih, vektorskih navigacijskih karata i sustava unutar kojih one djeluju. Koncept elektroničkih karata predstavljen je još 1952. godine, prijedlogom kombinacije radarske slike s digitaliziranim kartografskim podacima [60]. U to je vrijeme tehnologija predstavljala ozbiljan ograničavajući čimbenik koji je rezultirao uglavnom nagađanjem. Do kasnih 1970.-ih, računala i tehnološki razvoj omogućili su korištenje različitih elektroničkih sustava za točnije vođenje navigacije u ograničenim područjima. Do 1980.-ih, rudimentarni sustavi elektroničkih karata uvođeni su i korišteni pretežno na vojnim brodovima, uglavnom na brzim plovilima ratne mornarice SAD [88, 204]. Početkom 80.-ih godina prošlog stoljeća, nacionalni hidrografski uredi u Europi i Sjevernoj Americi počinju podržavati digitalnu tehnologiju (još uvijek u fazi nastajanja). U suradnji s Međunarodnom hidrografskom organizacijom (engl. *International Hydrographic Organization* – IHO) postavljaju se temelji za razvoj budućeg ECDIS sustava, što uključuje prve eksperimentalne pokuse i demonstraciju ispitnih postaja na moru, dionika hidrografskih organizacija, istraživača i privatnog sektora. Hidrografski uredi bili su zainteresirani prvenstveno za procjenu poteškoća povezanih s definiranjem, sastavljanjem i održavanjem baza podataka elektroničkih karata, središnjeg elementa svakog sustava. Elektroničke karte počinju se koristiti na brodovima za istraživanje nafte u Kanadi, dok više od 4000 japanskih ribarskih i 150 trgovačkih brodova posjeduje elektroničke karte različitih stupnjeva složenosti. Probna ispitivanja uključivala su ispitne platforme Kanadske hidrografske službe od 1985. do 1988. u luci Halifax, projekt *Sjeverno more* na norveškom istraživačkom brodu *Lance*, nakon čega je uslijedio projekt *Seatrans* na brodu *Nornews Express* 1989. i 1990., uz druge tehnološke demonstracije u svijetu [88]. U isto vrijeme započinje se s proučavanjem digitalnih podataka i njihovim prijenosom. U rujnu 1983. osnovan je IHO Pododbor dizajna budućih navigacijskih karata (engl. *Future Chart Design*), a već sljedeće godine Odbor za razmjenu digitalnih podataka, ključan u razvoju S-57 standarda. IHO Odbor za ECDIS (engl. *Committee on ECDIS* – COE) osnovan je tri godine kasnije te kao Odbor za hidrografske standarde i usluge (engl.

Hydrographic Standards and Services Committee – HSSC) postaje odgovoran za sve aspekte IHO tehničkih programa.

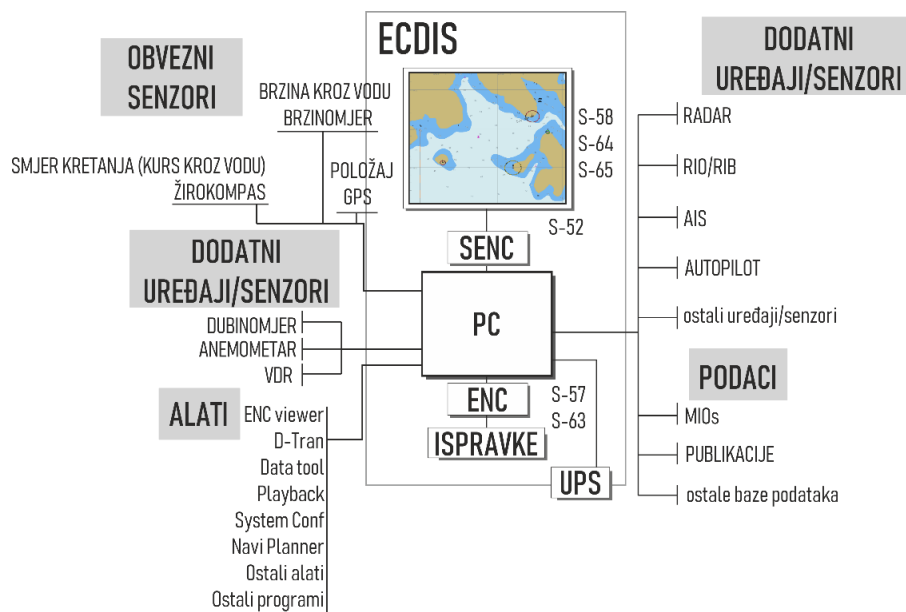
U istom razdoblju, Hidrografski odbor Sjevernog mora (engl. *North Sea Hydrographic Commission – NHSC*) započinje s definiranjem *elektroničkog sustava karata i prikaza* (engl. *Electronic Chart and Display System*), što kasnije postaje Informacijski sustav i prikaz elektroničkih karata (engl. *Electronic Chart Display and Information System – ECDIS.*), uz prvi priznati skup korisničkih zahtjeva za sustav. Ovime započinje razvoj budućeg standarda S-52, odnosno specifikacija sadržaja karte i aspekte prikaza ECDIS sustava. Angažman Međunarodne pomorske organizacije započinje 1985., s krajnjim ciljem uspostave standarda za korištenje elektroničkih navigacijskih karata na brodovima. IMO/IHO Harmonizacijska skupina za ECDIS izgradila je utvrđene zahtjeve korisnika kako bi na kraju stvorila IMO izvedbeni standard za ECDIS sustav, objavljen 1995. [121, 203, 204]. Time započinje proces digitalizacije papirnatih navigacijskih karata. Godine 2003. IHO usvaja standard S-63, kako bi se osigurao integritet ENC podataka i spriječila neovlaštena uporaba [204].

Izmjenama i dopunama Međunarodne konvencije o zaštiti života na moru [205] propisani su uvjeti za korištenje sustava na većini brodova na međunarodnim putovanjima koji podliježu Konvenciji. Obavezno posjedovanje ECDIS sustava (SOLAS pravilo V/19.2.10) postupno je stupalo na snagu između 1. srpnja 2012. i 1. srpnja 2018., nakon čega postaje obavezno za većinu SOLAS brodova.

Hidrografski ured Ujedinjenog Kraljevstva (engl. *United Kingdom Hydrographic Office – UKHO*), slijedeći korake Nacionalne agencije za istraživanje oceana i atmosfere (engl. *National Oceanic Atmospheric Administration – NOAA*), 2022. je najavio prestanak proizvodnje papirnatih karata od 2026., što je u međuvremenu odgođeno za 2030. Unatoč mogućim daljnjim odgodama, digitalizacija ne pokazuje znakove zaustavljanja [203].

2.1.3.2. Značajke sustava

Kao navigacijski informacijski sustav, ECDIS je primjer integracije relevantnih navigacijskih i vezanih podataka i elektroničkih navigacijskih karata, pri čemu je glavna značajka stalni prikaz položaja u stvarnom vremenu [26]. Uz položajni senzor, kojim je definirano kretanje broda preko dna, prema [125, 126] sustav je povezan s izvorima podataka o kursu i brzini kroz vodu. Podaci s dodatnih uređaja poput radarskog sustava, AIS primopredajnika, autopilota, dubinomjera, anemometra, VDR uređaja, Navtex prijamnika i ostale elektroničke opreme upotpunjuju dinamički prikaz na zaslonu sustava mimo kartografskih slojeva. Na Slici 1. prikazana je temeljna arhitektura ECDIS sustava.



Slika 1. ECDIS arhitektura na temelju primjera ©Transas NaviSailor 4000.

Izvor: [26, 30]

Uz navedeno, sustav može prikazivati informacije sadržane u digitalnim nautičkim publikacijama i podatke o navigacijskom okolišu. Takve informacije uključuju pokrivenost ledom, morske mijene, smjer i jačinu morskih struja, meteorološke i oceanografske podatke i morska staništa [152]. Unutar konfiguracije sustava nalazi se niz alata poput preglednika (engl. *ENC Viewer*), alata za planiranje putovanja, reprodukcije putovanja, alata za konverziju među referentnim sustavima, i slično. Kako bi se sustav mogao koristiti kao primarno navigacijsko sredstvo, on mora biti tipski odobren, koristiti najnovije elektroničke pomorske karte (engl. *Electronic Navigation Chart – ENC*) ažurirane po posljednjim dostupnim ispravcima, biti (programski) održavan u skladu s najnovijim primjenjivim standardima i inačicom proizvođača, te u sklopu navigacijske opreme zapovjednog mosta mora postojati odgovarajuće neovisno pričuveno sredstvo (engl. *independent back-up arrangement*) [196,205].

2.1.3.3. Praćenje uzbuda

Kontinuirani nadzor statusa senzora i opće funkcionalnosti omogućen je sustavom praćenja uzbuda (engl. *Alarm Monitoring System – AMS*), koji može nastupati kao dio Sustava uzbuda na mostu (engl. *Bridge Alert Management – BAM*). Uzbude⁴ i indikacije⁵ u vezi s prikazanim informacijama ili kvarom opreme (Tablica 1.) [126] su dinamičke, i podrazumijevaju znanje, sposobnost tumačenja i reagiranja od strane zapovjednika i navigacijskih časnika, odnosno razumijevanje uvjeta koji uzbude pokreću.

Tablica 1. Primjeri uzbuda ECDIS sustava.

⁴ Uzbuda – Zvučna i/ili vizualna najava stanja koje zahtijeva pozornost. Prioriteti uzbude su alarm, upozorenje i oprez.

⁵ Indikacija – Vizualna indikacija koja daje informacije o stanju sustava ili opreme.

Zahtjev sustava	Informacija
Alarm	Prolazak bliže od postavljene udaljenosti sigurnosne konture
Upozorenje/oprez/ indikacija	Prolazak bliže od postavljene udaljenosti za područja s posebnim uvjetima plovidbe
Alarm	Prekomjerno odstupanje od rute
Upozorenje/oprez/ indikacija	Prolazak bliže od postavljene udaljenosti za opasnosti u načinu rada nadziranja plovidbenog putovanja
Upozorenje	Kvar sustava pozicioniranja
Upozorenje	Prilaz kritičnoj točki
Upozorenje	Različiti geodetski sustav
Upozorenje/indikacija	Kvar ECDIS sustava
Indikacija	Zadana vrijednost sigurnosne konture
Indikacija	Promjena vrijednosti sigurnosne konture
Indikacija	Korištenje pretjeranog mjerila karte
Indikacija	Dostupnost karte većeg mjerila
Indikacija	Podatak nije prikazan zbog atributa SCAMIN
Indikacija	Različiti referentni sustav
Indikacija	Elektronička navigacijska karta nije dostupna
Indikacija	Prilagođeni zaslon
Indikacija	Planirana ruta prolazi bliže od postavljene udaljenosti sigurnosne konture
Indikacija	Planirana ruta prolazi bliže od postavljene udaljenosti za posebno područje
Indikacija	Nadzirana ruta prolazi bliže od postavljene udaljenosti sigurnosne konture
Indikacija	Nadzirana ruta prolazi bliže od postavljene udaljenosti posebnog područja/opasnosti
Indikacija	Kvar testa sustava

Izvor: [126].

Nastavno na Tablicu 1, sustav daje indikaciju ako [126] su podaci na zaslonu prikazani u većem mjerilu od onog kompilacijskog mjerila, ako je položaj vlastitog broda pokriven ENC kartom u većem mjerilu od onog prikazanog na zaslonu te ako informacija o poziciji vlastitog broda nije prikazana zbog primjene minimalnog mjerila (SCAMIN).

Prema izvedbenim standardima [121, 125, 126], primarna funkcija ECDIS sustava doprinos je sigurnoj plovidbi, ali se unutar njih izričito ne navodi kako se taj cilj postiže. Međutim, navode se dvije glavne kvalitete koje bi sustav trebao omogućiti, a koje implicitno pridonose navigacijskoj sigurnosti: pouzdanost i funkcionalnost u pogledu smanjenja radnog opterećenja časnika navigacijske straže, uključujući integraciju ECDIS sustava s ostalom navigacijskom i ne-navigacijskom opremom na zapovjednom mostu [114, 121, 205]. Ipak, potrebno je naglasiti da je ECDIS sustav jednako dobar kao i informacije koje prima; pogrešni unosi, gubitak signala spojenih senzora ili neprimijećeni alarmi mogu dovesti do opasnih situacija.

2.1.3.4. Elektroničke navigacijske karte

Službene karte sustava jesu rasterska (engl. *Raster Navigational Chart* – RNC) i vektorska, elektronička navigacijska karta (engl. *Electronic Navigation Chart* – ENC). Rasterske karte su digitalizirane papirnate navigacijske karte, i nemaju potrebnu potpunu funkcionalnost da bi se

koristile samostalno. Na primjer, prilikom upotrebe rasterskih navigacijskih karata u ograničeno plovnim područjima, njihova položajna točnost, odnosno granica razlučivosti čitanja karte može biti manja od položajne točnosti sustava za određivanje položaja broda (npr. diferencijske usluge GPS sustava), pa će takav položaj biti netočno prikazan [121]⁶. Prema [121, 125, 126], elektronička navigacijska karta (ENC) jest baza podataka standardizirana u pogledu sadržaja, strukture i formata, izdana za korištenje unutar ECDIS sustava te izrađena od strane ovlaštenog hidrografskog ureda pojedine države. ENC sadrži sve kartografske informacije neophodne za sigurno vođenje navigacije i može sadržavati dodatne, korisne informacije.

Sustav ne obrađuje sadržaj ENC karte izravno za prikaz. U formatu S-57, ENC karte su optimizirane za prikupljanje podataka o hidrografskim objektima, ali ova struktura nije primjerena za brzo generiranje rezultirajuće slike na zaslonu sustava. Da bi se dobile kompatibilne strukture koje olakšavaju brzi prijenos i prikaz podataka, ENC i ažuriranja pretvaraju se u sistemsku elektroničku navigacijsku kartu (engl. *System Electronic Navigation Chart* – SENC). Drugim riječima, SENC proizlazi iz ENC datoteke, i sustav njoj pristupa za generiranje zaslona i druge navigacijske funkcije. Kao takva, SENC predstavlja ekvivalent ažuriranoj papirnatoy karti [205]. Ona također može sadržavati informacije iz drugih izvora, ali takve rutine nisu standardizirane; dio su individualnog znanja i iskustva proizvođača sustava. Shodno tome, SENC format se razlikuje između sustava različitih proizvođača, za razliku od zajedničkog, uniformnog ENC formata [121, 166]. ENC karte se, s odgovarajućim detaljima proizvode ovisno o navigacijskoj primjeni. Tako, one mogu biti pregledne (1), generalne (2), obalne (3), prilazne (4), lučke (5) i pristanišne (6)⁷. (Tablica 2.) [62].

Tablica 2. Podjela ENC karata prema navigacijskoj primjeni.

Navigacijska primjena	Kod	Konstruktivsko mjerilo	Obuhvat ćelije	Broj ćelija
Pregledna	1	1:400 000	6° x 4°	1
Generalna	2	1:150 000	3° x 1°	4
Obalna	3	1:50 000	1° x 0,5°	22
Prilazna	4	1:25 000	0,5° x 0,25°	62
Lučka	5	1:8000 – 1:12 000	8' x 4'/12' x 6'	Po potrebi
Pristanišna	6	Po potrebi	---	---

Izvor: Autor, temeljem [62].

Dinamičkom promjenom mjerila, količina prikazanih detalja automatski se smanjuje, kako ne bi došlo do zasićenja zaslona suvišnim informacijama (funkcija SCAMIN; engl. *Scale Minimum*). Dodatni podaci o objektima nisu prikazani na početnom zaslonu, već se pozivaju namjenskom funkcijom (engl. *pick report*). Za razliku od rasterskih karata, ENC su *aktivne*;

⁶ Rasterske navigacijske karte nisu element ECDIS sustava kao primarnog navigacijskog sredstva, stoga neće biti dalje razmatrane.

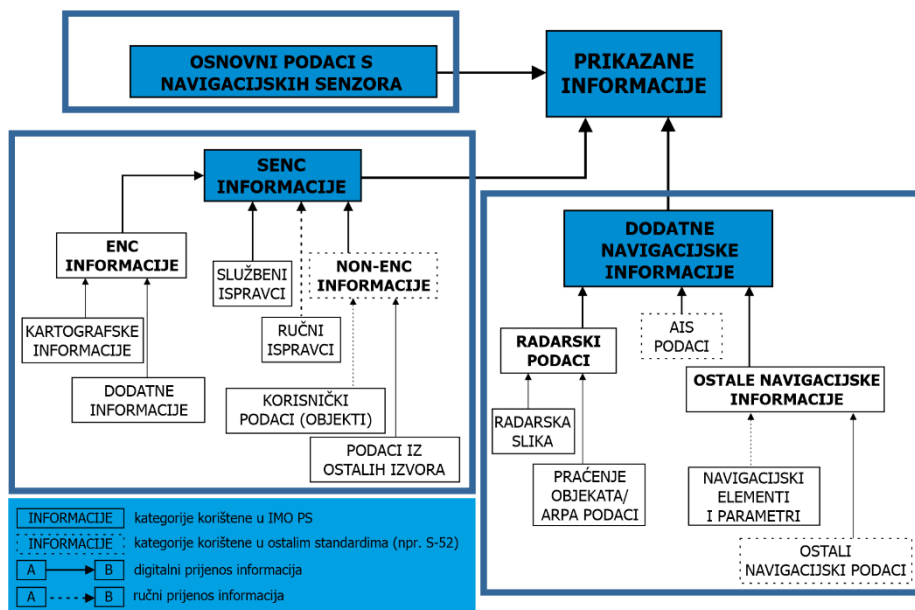
⁷ Oznaka navigacijske primjene pomoću rednih brojeva sadržana je u nazivu ENC karte.

omogućeno je definiranje sigurnosnih parametara koje tada ECDIS sustav prati i po potrebi upozorava časnika [167].

ENC karte su puno više od *obične* elektroničke verzije papirnate karte. Ovdje su podaci *slojeviti*, što korisniku omogućuje odabir određenih kategorija podataka. Selektivni prikaz i ispitivanje kartografskih objekata i njihovih atributa, odnosno prilagođavanje slike karte prikazane na zaslonu korisnicima omogućuje kontrolu nad željenom razinom detalja, kao i povezivanje s drugim sustavima. ENC se uređuju u zadanim mjerilima, i kao i papirne karte izrađene su temeljem skupa standarda za prezentaciju podataka [136].

2.1.3.5. Zaslون i konfiguracija prikaza

Uz obvezne navigacijske informacije, zaslon ECDIS sustava može se okvirno podijeliti u četiri kategorije: kartografski podaci, informacije o okolišu i druge vezane informacije, informacije o praćenju ciljeva primljene od radarske opreme i AIS sustava, i korisnički definirani slojevi, kao što su rute, izrađene ili prilagođene mape, dodatne informacije o putovanju, itd. Na Slici 2. prikazani su odnosi između dopuštenih razina informacija sa sveobuhvatnim, integriranim i konačnim rezultatom na zaslonu sustava.



Slika 2. Zaslon ECDIS sustava: odnosi između razina informacija.

Izvor: Autor prilagodio prema [100, 237].

Prilikom početnog učitavanja, sustav pruža razinu informacija definiranu standardnim prikazom (engl. *standard display*). Ovu razinu časnik mijenja u skladu s ograničenjima slojeva elektroničke karte (engl. *overlays*). Osnovni prikaz (engl. *base display*) minimalna je razina informacija koju sustav, odnosno karta pruža, i ne smatra se dovoljnom za sigurnu navigaciju. Cjelokupnim prikazom (engl. *all other information*) na zaslonu sustava prikazane su sve informacije koje odnosna karta pruža, dok prilagodljivi prikaz (engl. *custom display*) pruža mogućnost časniku da sam konfigurira količinu informacija i objekata na zaslonu između

razina standardnog i cjelokupnog prikaza [125, 126]. Nakon isključivanja ili nestanka struje te ponovnog uključivanja, sustav na zaslonu prikazuje posljednje odabrane postavke.

Službena ažuriranja ENC karata izvršavaju se u skladu s IHO standardima, i jednom pokrenuta automatski sinkroniziraju bazu podataka. Na koji god su način ažuriranja primljena, postupak ne smije ometati zaslon.

Prema [126], časnik navigacijske straže odabire sigurnosnu konturu dubine temeljem dostupnih informacija unutar sustava. Sigurnosna kontura vizualno je izdvojena u odnosu na ostale konture. U slučaju da nije postavljena, sigurnosna kontura tvornički poprima vrijednost od 30 metara. Ako željena ili tvornička vrijednost ne postoje na karti, ili ona postane nedostupna zbog promjene u izvornim podacima, sigurnosna kontura postaje sljedeća postojeća *dublja* kontura. Stoga, unutar ECDIS sustava postoje zapravo dvije sigurnosne konture – ulazna vrijednost od strane časnika, i postojeća u ENC bazi. Uz sigurnosnu konturu, unutar ECDIS sustava se definira sigurnosna dubina, koju (jednaku ili manju vrijednost dubine (engl. *spot soundings*) sustav također naglašava [126]. Unutar sustava moguć je odabir trajnog prikaza postavki sigurnosne konture i sigurnosne dubine.

Radarske i/ili AIS informacije prenose se na zaslon sustava temeljem odnosnih IHO i IEC standarda. Druge navigacijske informacije također se mogu dodavati, međutim ne smiju degradirati osnovne (kartografske) informacije, i od njih se moraju jasno razlikovati. Sve dodatne informacije uklanjaju se jednostavnom radnjom navigatora (engl. *Single Operator Action* - SOA), čime se zaslon prebacuje u standardni prikaz [126].

Sustav mora omogućavati prikaz u orijentaciji sjever (engl. *north-up*) te prikaz stvarnog kretanja boda (engl. *true motion*), iako su dozvoljene i ostale vrste prikaza. Kod prikaza stvarnog kretanja, resetiranje i generiranje prikaza karte susjednog područja odvija se automatski na udaljenosti vlastitog broda od ruba zaslona koju odredi časnik. Ako područje prikazano na ECDIS zaslonu uključuje dio za koje nije dostupna ENC karta u mjerilu prikladnom za navigaciju, područja koja predstavljaju te vode trebala bi sadržavati indikaciju, odnosno da je potrebno konzultirati papirnatu kartu ili prijeći na rasterski na način rada (engl. *Raster Chart Display Mode* – RCDS) [126].

Osim navedenog, prikazi se mogu kategorizirati i odabrati temeljem vrste okolnog svjetla, odnosno moraju postojati (barem) dnevni, noćni i prikaz sumraka. Tijekom dana, s puno ambijentalnog svjetla, zaslon je postavljen kao svijetao sa živim bojama koje se temelje na visokom kontrastu (bijela, plava, magenta). U sumrak ili zoru, bijela, odnosno crna boja mijenjaju se u sivu, te se na zaslonu počinju mijenjati boje karte. Noću je osvjetljenje boja područja potpuno smanjeno [86]. Problematika boja, odnosno dnevnog, noćnog i prikaza sumraka obrađena je u poglavlju 2.2.2.

2.1.3.6. Vezani međunarodni propisi i standardi kao zakonska okosnica istraživanja

Odgovarajuće standarde i specifikacije vezane za ECDIS sustav, podatke i opremu razvijaju Međunarodna pomorska organizacija, Međunarodna hidrografska organizacija, i Međunarodni elektrotehnički odbor (engl. *International Electrotechnical Committee* – IEC). Standardi ovih organizacija razlikuju se u dijelovima sustava koje propisuju; pa tako postoje izvedbeni zahtjevi (IMO – vezano uz sustav), standardi podataka (IHO – vezani za podatke) te operativni standardi, metode i zahtijevani rezultati ispitivanja (IEC – vezano uz sustav) [29].

Prema SOLAS pravilima V/18 i V/19 [126, 205] za pomorske karte, sustav je usklađen s relevantnim IMO izvedbenim standardima. ECDIS sustavi na brodovima moraju, ovisno o datumu opremanja, biti u skladu s jednim od sljedećih izvedbenih standarda:

- a) ako je instalirana nakon 1. siječnja 2029., treba odgovarati standardima izvedbe navedenima u prilogu rezolucije MSC.530(106);
- b) ako je instalirana nakon 1. siječnja 2026. ali prije 1. siječnja 2029., odgovara ili standardima izvedbe navedenima u prilogu rezolucije MSC.530(106) ili standardima izvedbe navedenima u prilogu rezolucije MSC.232(82);
- c) ako je instalirana nakon 1. siječnja 2009. ali prije 1. siječnja 2026., odgovara standardima izvedbe navedenima u prilogu rezolucije MSC.232(82);
- d) ako je instalirana nakon 1. siječnja 1996. ali prije 1. siječnja 2009., odgovara standardima izvedbe navedenima u prilogu rezolucije A.817(19), kako je izmijenjeno rezolucijama MSC.64(67) i MSC.86(70).

Od značajnijih dokumenata IMO organizacije može se izdvojiti okružnica *ECDIS – Smjernice za dobru praksu* [114], koja doprinosi općem razumijevanju svih aspekata sustava, zajedno s posljedicama procesa digitalizacije u pomorstvu. Ovaj se dokument ažurira kroz godine. U Tablici 3. prikazani su standardi Međunarodne hidrografske organizacije vezani za ECDIS sustav i ENC karte.

Tablica 3. Standardi na snazi u vrijeme pisanja doktorskog rada.

Standard	Engleski naziv	Hrvatski naziv
S-57	Transfer Standard for Digital Hydrographic Data	Standard prijenosa digitalnih hidrografskih podataka
S-52	Chart Content and Display Aspects of ECDIS	Sadržaj karte i osnove prikaza ECDIS sustava
S-52 - Annex A	ECDIS Presentation Library	Baza podataka prikaza objekata u ECDIS sustavu
S-64	Test Data Sets for ECDIS	Skup ispitnih podataka za ECDIS sustav
S-58	ENC Validation Checks	ENC postupci provjere ispravnosti
S-61	Product Specification for Raster Navigational Chart (RNC)	Proizvodne specifikacije za RNC
S-62	Data Producer Codes	Kodovi proizvođača podataka
S-63	Data Protection Scheme	Shema zaštite podataka

S-65	ENCs: Production, Maintenance and Distribution Guidance	ENC: Smjernice za proizvodnju, održavanje i distribuciju
S-11- Part A	Guidance for the Preparation and Maintenance of International (INT) Chart and ENC Schemes	Vodič za pripremu i održavanje INT i ENC shema

Izvor: Autor prema [101]

U samom početku razvoja sustava ukazala se potreba za međusobnom razmjenom podataka između hidrografskih ureda i proizvođača, odnosno za standardiziranim formatom hidrografskih podataka. Unutar IHO S-57 formata definirana je razmjena digitalnih hidrografskih podataka između nacionalnih hidrografskih ureda [105], dok je distribucija, uz ostalo, definirana standardom IHO S-65 [94]. Ova specifikacija definira konstrukciju ENC karata, osiguravajući sadržaj svih informacija potrebnih za sigurnu navigaciju. Kada se u tipski odobrenom ECDIS sustavu S-57 koristi zajedno s drugim podatkovnim standardima, osigurava se točnost, pouzdanost i ispravna interpretacija svih ENC podataka. Standard S-52 koriste proizvođači ECDIS sustava, unutar kojeg je određeno kako se podaci prikazuju na zaslonima kroz simbole, stilove linija, boje i druge vizualne znakove. To znači da se ono što navigacijski časnik vidi na zaslonu prikazuje na isti način u svim odobrenim modelima ECDIS sustava. Standardom S-58 utvrđuju se provjere valjanosti prije distribucije, kao npr. osiguravanje da nema nepravilnosti koje bi mogle uzrokovati neispravnosti i anomalije sustava poput netočne geometrije presijecanja, dubina ucrtanih na kopnu, ali i neispravne konverzije podataka u grafičke oblike [99]. Unutar standarda IHO S-63 definirana je enkripcija i autorizacija podataka, što korisnicima omogućuje zaštitu privatnosti, selektivan pristup i autentifikaciju (pružanje jamstva da podaci dolaze iz odobrenih izvora) [2].

2.1.3.7. Razine izobrazbe i naobrazbe pomoraca

Osim uobičajenih navigacijskih znanja, rukovanje ECDIS sustavom zahtijeva dodatne razine tehničkog znanja i operativnih vještina, što se stječe putem nekoliko razina obrazovanja. Kako je definirano u odgovarajućem IMO modelu naobrazbe/izobrazbe, časnik mora proći specijalističku izobrazbu (engl. *ECDIS Generic Training* – EGT) kojom ga se uvodi u temeljno, potrebno operativno (osnovno) i teoretsko znanje [111]. Preporuka je da ova naobrazba/izobrazba traje 40 sati. Osim EGT-a, dodatnu izbornu izobrazbu za specifičnu opremu (engl. *Equipment Specific Training* – EST) odobrava proizvođač. To je posebna vrstu obuke gdje navigator unaprjeđuje svoje znanje, razumijevanje i stručnost, zajedno s demonstracijom sposobnosti rada na određenom modelu sustava [38], i ovisno o proizvođaču/instituciji, traje od 8 do 16 sati. Tablica 4. predstavlja neke od svjetskih centara za ECDIS EGT izobrazbu. Unutar Tablice 5. prikazani su propisi pojedinih država zastave u pogledu prihvatljivih metoda izobrazbe.

Tablica 4. Neki od svjetskih centara za EGT obuku pomoraca.

Država	Grad	Ustanova	Ulazni uvjeti	Trajanje
--------	------	----------	---------------	----------

Velika Britanija	Whiteley	ECDIS Ltd.	Određeno/prema STCW	5 dana
Sjedinjene Američke Države	Seattle	Compass Courses	Određeno/prema STCW	5 dana
Novi Zeland	Auckland	Manukau Institute of Technology	Određeno/prema STCW	5 dana
Australija	Launceston	AMCsearch Training Center	Određeno/prema STCW	5 dana
Turska	Istanbul	Ocean Training Center	Nije određeno	40 sati
Nizozemska	Vlissingen	De Ruyter Training & Consultancy	Određeno/prema STCW	5 radnih dana
Brazil	Barra de Tijuca	Vision Marine	Određeno/prema STCW	5 dana
Ukrajina	Odessa	Odessa Maritime Training Center	Izobrazba na daljinu	5 radnih dana

Izvor: [38]

Zanimljivo je izdvojiti Indiju koja uopće ne zahtijeva od svojih časnika da prisustvuju EST izobrazbi već je ostavila na slobodu brodarskim kompanijama da odluče ako je za njihove časnike takva vrsta izobrazbe potrebna ili ne.

Tablica 5. Propisi države zastave koji se odnose na prihvatljive metode ECDIS EST izobrazbe.

Država zastave	Zahtjevi ECDIS EST izobrazbe
Bahami	Nadogradnja na EGT i izobrazba jednom od sljedećih metoda: i) od strane proizvođača ECDIS-a; ii) od strane odobrenog agenta proizvođača ECDIS-a; iii) od strane instruktora koji je pohađao program proizvođača; iv) korištenjem odobrenog računalno baziranog treninga proizvođača; v) korištenjem strukturiranog programa obuke dokumentiranog u <i>Pravilniku o upravljanju sigurnosti broda</i> .
Maršalovi otoci	OOW mora posjedovati EGT svjedodžbu kako bi mogao upravljati s tipski odobrenim ECDIS uređajem. Prije preuzimanja navigacijske straže, OOW mora završiti ECDIS EST u skladu s procedurama <i>Pravilnika o upravljanju sigurnosti broda</i> .
Gibraltar	OOW mora posjedovati EGT svjedodžbu kako bi mogao upravljati tipski odobrenim ECDIS uređajem. Preporučeni program izobrazbe za OOW kako bi stekli ECDIS EST je računalno bazirana obuka odobrena od strane proizvođača i provedena na brodu.
Indija	Nema zahtjeva za ECDIS EST. Prepušteno je brodarskim tvrtkama da odluče kako će provesti upoznavanje s opremom i kako će to dokumentirati.

Izvor: Autor, temeljem [38].

Trajanje EGT tečaja je ujednačeno, no uvjeti upisa za kandidate nisu jedinstveni. Slično je i kod EST obuke; propisi države zastave koji se odnose na trajanje ECDIS EST nisu uniformni [38].

2.1.4. Smjernice budućeg razvoja navigacijskih informacijskih sustava

Budućnost navigacijskih informacijskih sustava u velikoj je mjeri određena novim standardima u razvoju (tzv. S-10x produkti). Potrebno je istaknuti poboljšanja u obliku strukture i razmjene

podataka, mogućnosti korištenja drugih izvora geoprostornih podataka, korištenja podataka za proizvode osim ENC te kompatibilnost s drugim standardima [5].

Još u lipnju 2019. IMO organizacija izdala je cirkular naziva *Smjernice za standardizaciju dizajna korisničkog sučelja za navigacijsku opremu* (engl. *Guidelines for the Standardization of User Interface Design for Navigation Equipment*), poznat kao *S-Mode smjernice*, (engl. *S-Mode Guidelines*), s ciljem podržavanja daljnje standardizacije radarske opreme, navigacijskih uređaja i navigacijskih informacijskih sustava [112]. Iako su odobrene, [234] daje kritički pregled potencijalnog utjecaja smjernica na korisničke postavke opreme, i ističe nekoliko problema koje je potrebno razmotriti; interpretaciju zadanih postavki, raspon i mjerilo prikaza podataka, stabilizaciju prikaza, postavke funkcije sigurnosnog okvira (engl. *look-ahead*) i veliki broj novih ikona. Unatoč značajnim postignućima i napretku u razvoju sustava navigacije, [188] ističu važnost otkrivanja kibernetičkih napada i njihove prevencije kao prioriteta.

Standard S-100 razvija radna skupina IHO organizacije (engl. *IHO Transfer Standards Maintenance and Applications Development*). Njime su podržani digitalni proizvodi i usluge za Geografski informacijski sustav (engl. *Geographic Information System - GIS*) te za hidrografske i pomorske korisnike [95]. S-10x produkti izrađuju se temeljem suradnje nekoliko organizacija. Standardi od S-101 do S-199 su pod pokroviteljstvom IHO organizacije, dok su standardi od S-201 do S-299 pod pokroviteljstvom IALA (engl. *International Association of Light Authorities*) organizacije. Glavni cilj standarda koje pokriva IALA organizacija podijeljen je u četiri skupine: pružanje relevantnih informacija u vezi s e-navigacijom i IHO registrom geoprostornih informacija (engl. *IHO Geospatial Information Registry - GI*), implementiranje proizvoda u službeni registar, razvoj specifikacija proizvoda i izdavanje specifikacija predložaka proizvoda kao završnog koraka procesa [90]. U svom radu, [44] razvili su sustav za upravljanje S-10X proizvodima unutar GI registra. IEHG (engl. *Inland ENC Harmonization Group*) nadzire standarde S-401 i S-402, WMO/IOC JCOMM (engl. *Joint Technical Commission for Oceanography and Marine Meteorology*) standarde između S-411 - S-414 i IEC-TC80 (engl. *International Electro technical Commission - Technical Committee 80*, S-421 do S-430). Proizvodi pod pokroviteljstvom IOC (engl. *Intergovernmental Oceanographic Commission*, S-301 do S-399) i GMWG (engl. *NATO Geospatial Maritime Working Group*, S-501 do 525) još nisu predloženi. Unutar Tablice 6. prikazan je popis S-10x produkata [97].

Tablica 6. Značajke standarda S-10x produkata.

IHO	S-212 Port Call Message Format
S-101 to S-199	S-230 Application Specific Messages
S-101 Electronic Navigational Chart (ENC)	S-240 DGNSS Station Almanac
S-102 Bathymetric Surface	S-245 eLoran ASF Data
S-103 Sub-surface Navigation	S-246 eLoran Station Almanac
S-104 Water Level Information for Surface Navigation	S-247 Differential eLoran Reference Station Almanac
S-111 Surface Currents	IOC S-301 to S-399
S-112 Open - (See Decision HSSC9/38)	

S-121 Maritime Limits and Boundaries	None proposed yet
S-122 Marine Protected Areas	IEHG S-401 to S-402
S-123 Marine Radio Services	
S-124 Navigational Warnings	S-401 IEHG Inland ENC
S-125 Marine Navigational Services	S-402 IEHG Bathymetric Inland ENC
S-126 Marine Physical Environment	WMO/IOC JCOMM S-411 to S-414
S-127 Marine Traffic Management	
S-128 Catalogue of Nautical Products	S-411 JCOMM Ice Information
S-129 Under Keel Clearance Management (UKCM)	S-412 JCOMM Weather Overlay
S-130 Polygonal Demarcations of Global Sea Areas	S-413 Weather and Wave Conditions
S-131 Marine Harbour Infrastructure	S-414 Weather and Wave Observations
S-164 IHO Test Data Sets for S-100 ECDIS	IEC-TC80 S-421 to S-430
IALA S-201 to S-299	
	S-421 Route Plan
S-201 Aids to Navigation Information	NATO (GMWG) S-501 to S-525
S-210 Inter-VTS Exchange Format	
S-211 Port Call Message Format	None proposed yet

Izvor: Autor prema [97].

Međunarodna pomorska organizacija uspostavlja i provodi strategije e-navigacije za pomorsku sigurnost i zaštitu morskog okoliša [151]. U kontekstu standardizacije proizvoda u skladu sa S-100 hidrografskim funkcijama, [93] sugerira fokus na sljedeće proizvode:

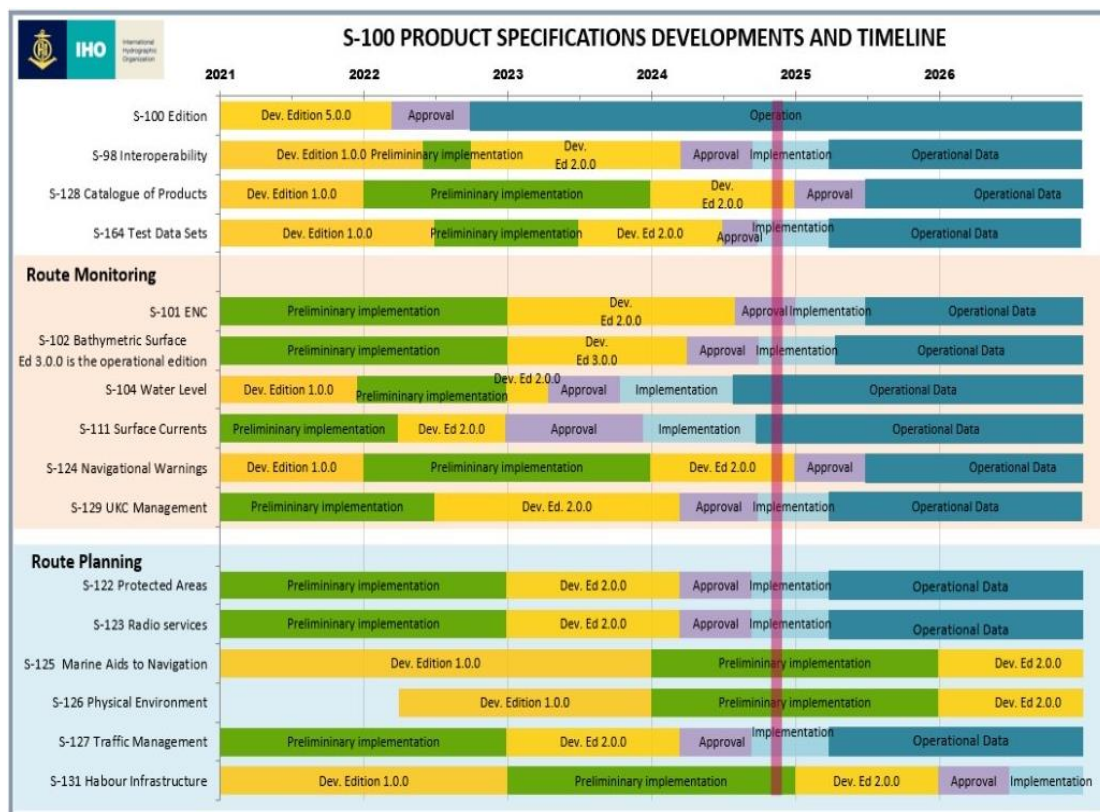
- S-101 Electronic Navigational Chart (ENC),
- S-102 Bathymetric Surface,
- S-104 Water Level Information for Surface Navigation,
- S-111 Surface Currents,
- S-122 Marine Protected Areas,
- S-123 Radio Services,
- S-124 Navigational warnings,
- S-129 Under Keel Clearance Management.

Razvoj i implementacija S-100 standarda uključivo odnosnih produkata prikazani su na Slici 3. Vremenski okvir implementacije podijeljen je u tri segmenta:

- razvoj, testiranje i završna faza prije puštanja proizvoda u opticaj,
- razdoblje provedbe,
- podatkovni proizvodi u praktičnoj primjeni.

Prije gotovo dva desetljeća IHO organizacija je donijela odluku da će izdanje 4.0 standarda S-57 (engl. *Edition 4.0 of S-57*) biti razvijeno te naposljetku i zamijenjeno sa S-100 [89]. Trenutno je za proizvod S-100 na snazi izdanje 4.0.0 [45], dok je novo izdanje standarda u završnim stupnjevima razvoja i bit će objavljeno do kraja 2025. godine. Svi ostali standardi su u postupcima razvoja, testiranja i finalizacije. Za većinu standarda predviđeno je razdoblje

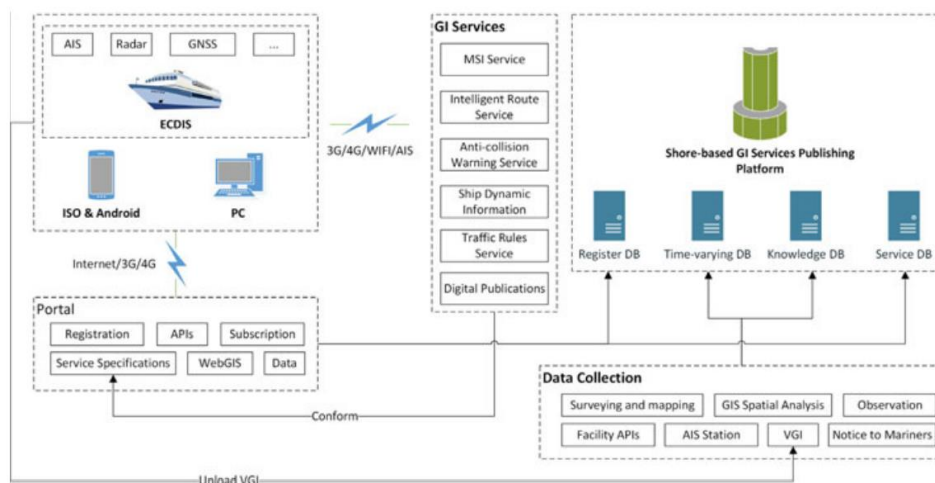
implementacije tijekom 2025. godine, dok se standard S-101 (ENC karte) planira implementirati u siječnju 2025., a standard S-124 (Navigacijska upozorenja) u siječnju 2026.



Slika 3. Vremenski tijek implementacije S-100 proizvoda u vrijeme pisanja doktorskog rada
Izvor: [93].

Standardom S-101 određeni su potrebni podaci, meta-podaci, i njihova struktura i sadržaj za sastavljanje S-101 baza podataka, odnosno novih karata, kojim bi se postupno zamijenio postojeći standard [97]. Standard S-102 koristi dodijeljenu batimetrijsku mrežu (engl. *Bathymetric Attributed Grid* - BAG) kao dodatni sloj. Cilj je stvoriti portfelj skupova podataka podijeljenih u kvadrante ($0,1^\circ \times 0,1^\circ$) s rezolucijom mreže od približno svakih 8 metara. Svaki pojedinačni skup sadrži podatke kojima se generira batimetrijska površina [148]. Kao jedan od mogućih aspekata e-navigacije, [134] predlažu model usluga geografskih informacijskih usluga (Slika 4.) koji bi pružao relevantne informacije u stvarnom vremenu.

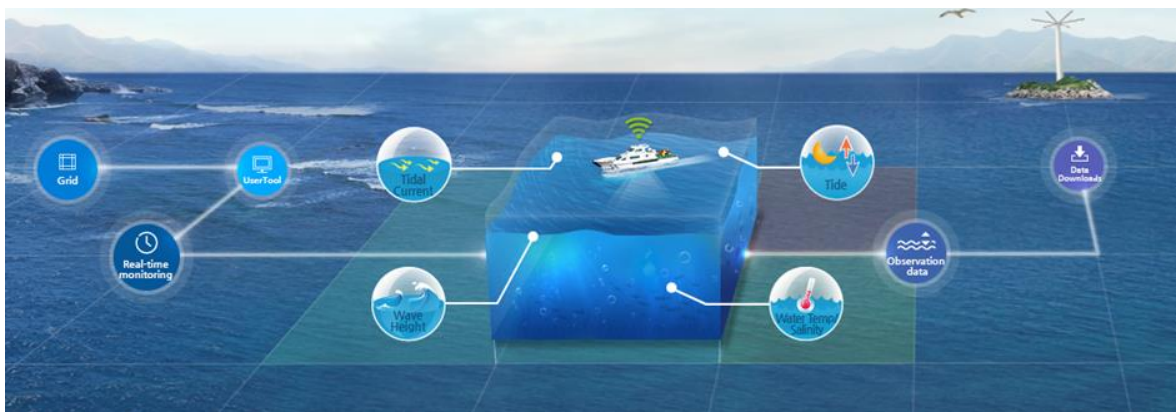
U ovom modelu, obalna GI platforma pruža brodskoj navigacijskoj opremi relevantne informacije i/ili usluge; informacije o pomorskoj sigurnosti, digitalne publikacije, usluge planiranja kretanja broda, sudarna upozorenja, pravila za izbjegavanje sudara na moru i informacije o dinamičkom stabilitetu broda. Razmjenu informacija omogućuje upravo standard S-100, koji čini temelj zajedničke strukture pomorskih podataka. Povrh toga, [43] predstavljaju studiju koja će omogućiti strojno čitljive standarde kako bi se navigacijska oprema na brodovima održavala (engl. *up to date*).



Slika 4. Operativni dizajn geografskih informacijskih usluga.

Izvor: [134].

Matrica dvodimenzionalnih oceanografskih podataka, odnosno mreža podataka [161], razvijena od strane Korejske hidrografske i oceanografske agencije (engl. *Korea Hydrographic and Oceanographic Agency* - KHOA), pruža uslugu podrške korisnicima u kontekstu oceanografskih izmjerenih i promatranih podataka u stvarnom vremenu [142]. Unutar usluge postoji mogućnost odabira i preuzimanja podataka za određeno područje. Slika 5. predstavlja vizualizaciju mrežnih oceanografskih podataka: visinu valova, morske struje, morske mijene, temperature mora i salinitet.



Slika 5. Oceanski podatci prikazani u obliku podatkovne mreže.

Izvor: [143].

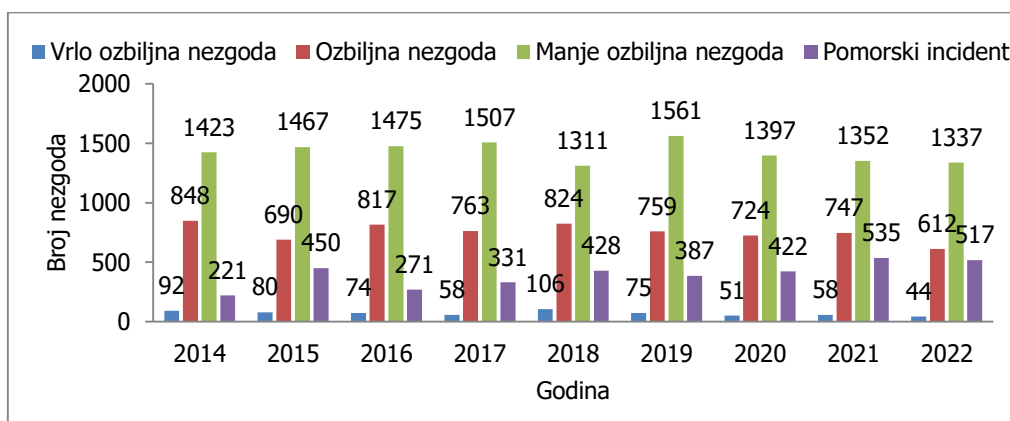
Sustav upravljanja pomorskim prometom (engl. *Sea Traffic Management* - STM) koncept je u razvoju sa ciljem razmjene informacija u stvarnom vremenu među dionicima pomorskog plovidbenog pothvata. Okvirna područja sustava usredotočena su na razmjenu informacija brod-brod, optimizaciju putovanja, praćenje kretanja broda po planiranome putu, i informacije o luci pristajanja. Cilj sustava je optimizacija pomorskih putovanja i smanjenje potrošnje goriva što se automatski odražava na ekološku održivost i smanjeno emitiranje štetnih plinova. Nadalje, nastojanje je ka smanjenju vjerojatnosti nastanka ljudske pogreške i poboljšanje

situacijske svjesnosti, kao i doprinos boljem donošenju odluka neophodnih za sigurnu i pouzdanu navigaciju.

2.1.5. Pomorske nezgode i zaustavljanja brodova uslijed inspekcijskih nadzora

Prema [175], pomorska nezgoda uključuje događaj koji posljedično može prouzročiti i) pogibiju, ozbiljnu ozljedu ili nestanak osobe s broda; ii) gubitak, pretpostavljeni gubitak broda ili njegovo napuštanje; iii) značajnu štetu na brodu; iv) nasukanje ili sudar broda; v) značajnu štetu objekata pomorske infrastrukture koja je uzrokovana ili je u svezi s radom broda i koja bi mogla ozbiljno ugroziti sigurnost broda, drugog broda ili osoba; i vi) onečišćenje okoliša izazvano oštećenjem broda uzrokovanim u svezi s radom broda ili brodova.

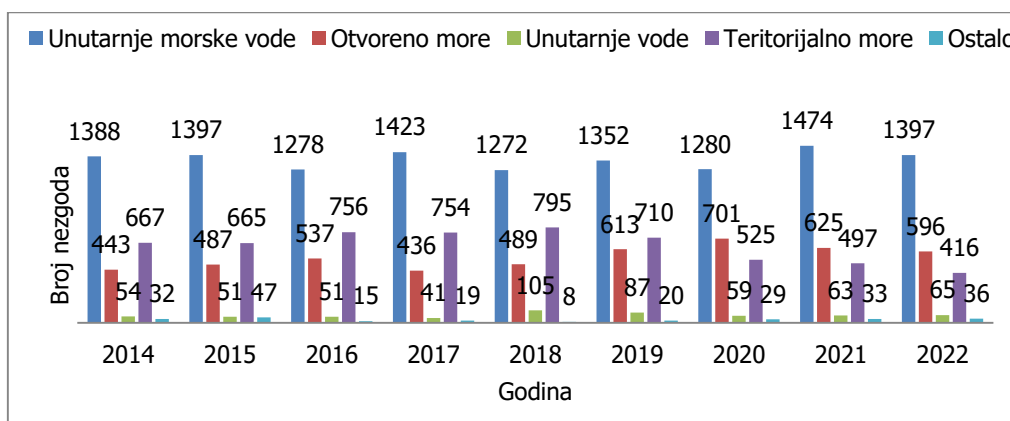
Pomorske nezgode dijele se na vrlo ozbiljne, ozbiljne, manje ozbiljne i pomorske incidente. Prema [68], broj zabilježenih pomorskih nezgoda je otprilike konstantan u periodu od 2014. do 2022. godine (Slika 6.). Najviše pomorskih nezgoda dogodilo se u unutarnjim morskim vodama, nakon čega slijede teritorijalno i otvoreno more. Broj nezgoda u unutarnjim morskim vodama je otprilike konstantan u periodu od 2014. do 2022. godine (Slika 7.).



Slika 6. Broj pomorskih nezgoda i incidenata prema ozbiljnosti u periodu 2014.-2022.

Izvor: Autor, prema [68].

To se može protumačiti kao nedovoljna učinkovitost mjera kojima se broj nezgoda pokušavaju smanjiti te da je potrebno dodatno analizirati sigurnost plovidbe u unutarnjim morskim vodama (posebice ograničeno plovnim područjima unutar njih).

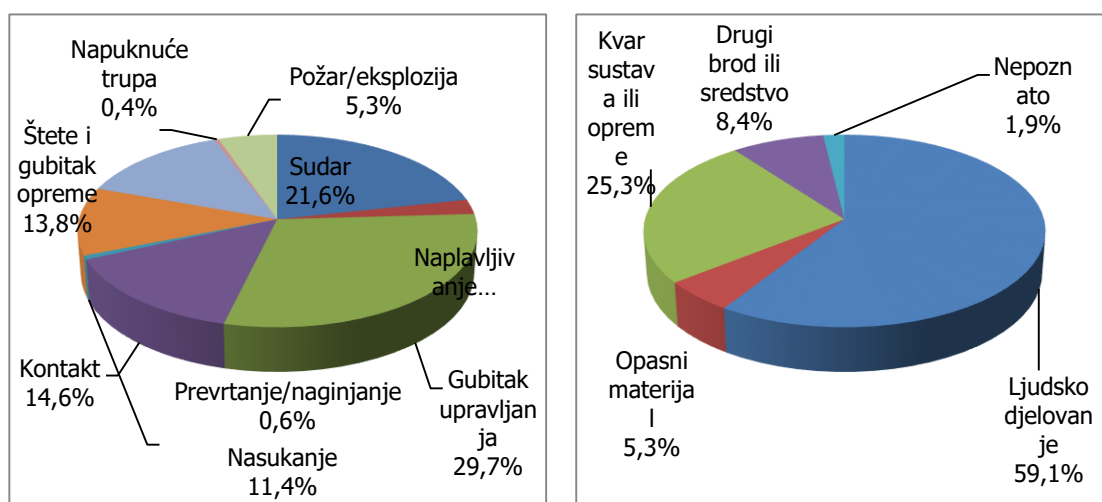


Slika 7. Broj pomorskih nezgoda i incidenata prema pomorskom području.

Izvor: Autor, prema [68].

Pomorske nezgode uključuju nasukanja, sudare, požare ili bilo koje druge neočekivane događaje koji rezultiraju štetom, ozljedama ili gubitkom života, i mogu imati različite uzroke. Najčešće vrste pomorskih nezgoda zabilježene u periodu od 2014. do 2022. i uzroci nastanka prikazani su na Slici 8.

Ljudsko djelovanje najčešći je utjecajni čimbenik pomorskih nezgoda. Brzi razvoj tehnologije snažno je utjecao na pomorski promet. Kako bi se smanjio rizik od nezgoda, pojednostavilo rukovanje navigacijskim sustavima i povećala učinkovitost u pomorskom prometu, uvedeni su automatizirani navigacijski i ostali informacijski sustavi [18].



Slika 8. Vrste pomorskih nezgoda (lijevo) i postotak utjecajnih čimbenika, 2014.-2022.

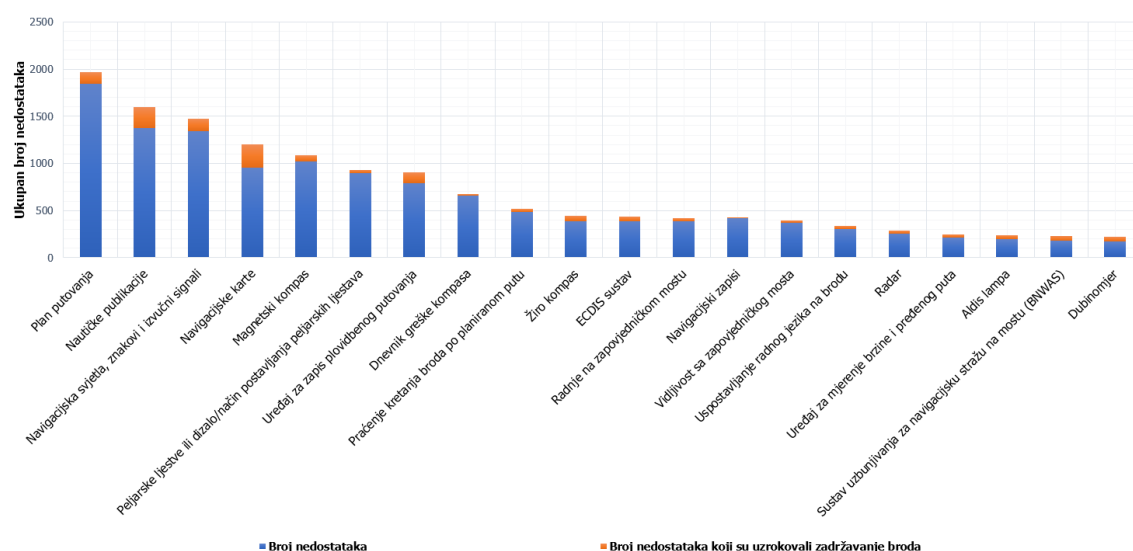
Izvor: Autor, prema [68].

Međutim, suprotno raširenom mišljenju da povećana razina automatizacije znači veću sigurnost, tehnologija može doprinijeti nezgodama uzrokovanim ljudskom pogreškom i time poništiti svrhu zbog koje je uvedena [160]. Percepcija tehnologije kao potpuno pouzdane (engl. *over-reliance*) može dovesti do podcjenjivanja rizika nezgoda i posljedično do promjene stava prema uobičajenim pomorskim praksama i postupcima, čime može doći do pojave ljudske pogreške [201]. Prema [219], od 80 analiziranih nezgoda nasukanja brodova, u njih 22 su uzročni čimbenici (ili neki od njih) bili povezani s ECDIS sustavom. Budući da se uloga ECDIS sustava uglavnom sastoji od planiranja i praćenja putovanja, glavna posljedica nezgoda u kojima je ECDIS sustav sudjelovao kao uzročnik jest nasukanje broda, te eventualno udar.

Sa ciljem unaprjeđenja sigurnosti plovidbe postoji nekoliko vrsta inspeksijskih nadzora poput inspeksijskog nadzora države zastave (engl. *Flag State Inspection*), inspeksijskog nadzora stranih brodova (engl. *Port State Control* – PSC) i inspekcija broda radi najma (engl. *ship vetting*), kojima se pokušava umanjiti broj pod-standardnih brodova (engl. *substandard ship*). Inspeksijskim nadzorom stranih brodova u nacionalnim lukama provjerava se jesu li

stanje broda i njegove opreme u skladu sa zahtjevima međunarodnih propisa. Osim toga, provjerava se je li posada i upravljanje brodom u skladu s tim instrumentima i osigurava se sigurnost na moru, sigurnosna zaštita i sprječava se onečišćenja okoliša. Međunarodna pomorska organizacija je usvojila rezoluciju [120] o regionalnoj suradnji o nadzoru brodova i ispuštanja (engl. *Regional co-operation in the control of ships and discharges*) kojom se promiče sklapanje regionalnih sporazuma. Časnik inspekcijskog nadzora stranih brodova (engl. *Port State Control Officer – PSCO*) trebao bi se ograničiti na provjeru valjanosti svjedodžbi i druge relevantne dokumentacije, osim ako postoje valjani razlozi (engl. „*clear grounds*“) da stanje broda ili njegove opreme nedovoljno odgovaraju podacima iz svjedodžbi. Ako utvrdi da stanje broda ili njegove opreme nedovoljno odgovaraju podacima iz svjedodžbi ili da zapovjednik ili posada broda nisu upoznati s bitnim postupcima na brodu, potrebno je provesti detaljniji inspekcijski pregled. Pri provođenju inspekcije potrebno je pokušati izbjeći neopravdano zadržavanje ili kašnjenje broda [116].

Zadržavanje broda (engl. *ship detention*) je radnja koju poduzima država luke da bi se spriječilo isplavljanje pod-standardnog broda. Općenito, brod se smatra pod-standardnim ako su trup, strojevi, oprema ili operativna sigurnost i zaštita okoliša znatno ispod standarda koje zahtijevaju relevantne međunarodne konvencije ili ako sastav posade nije u skladu s Uvjerenjem o najmanjem broju članova posade (engl. *Minimum safe manning certificate*), između ostalog, zbog [11] nepostojanja glavne opreme ili sustava koje zahtijevaju međunarodne konvencije; neusklađenosti opreme ili sustava s relevantnim specifikacijama međunarodnih konvencija, značajnog oštećenja broda ili njegove opreme, nedovoljne operativne osposobljenosti ili nepoznavanja bitnih operativnih postupaka od strane posade, i manjka posade ili nedostatnosti svjedodžbi pomoraca.



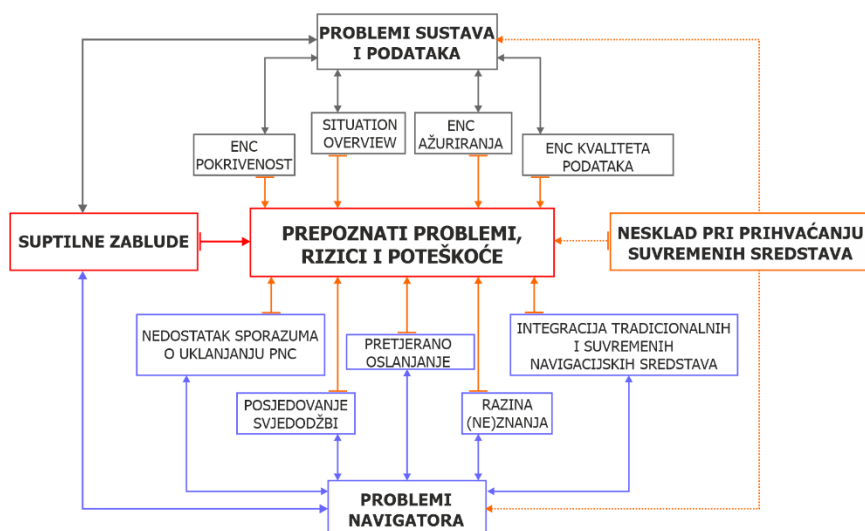
Slika 9. Nedostaci u području sigurnosti navigacije koji su zabilježeni prilikom inspekcijskog nadzora članica Pariškog memoranduma u periodu od siječnja 2021. do lipnja 2024.

Izvor: Autor, prema [186].

Na Slici 9. prikazano je 20 najčešćih nedostataka iz područja sigurnosti plovidbe, zabilježenih prilikom inspekcijskog nadzora članica Pariškog memoranduma. Plan putovanja najčešći je nedostatak zabilježen prilikom inspekcijskog nadzora, dok su nedostaci u vezi navigacijskih karata uzrokovali najviše zadržavanja brodova. Neadekvatno planiranje može uzrokovati nezgode poput nasukanja broda, a posljedično i ozljede, smrtne slučajeve, značajnu financijsku štetu i onečišćenje okoliša. Stoga, inspekcijski je nadzor stranih brodova nastupa kao vrlo važan alat za umanjivanje potencijalno opasnih nedostataka. Nedostaci navigacijskih informacijskih sustava i uređaja čine značajan udio u ukupnom broju nedostataka iz područja sigurnosti plovidbe. Na primjer, samo za ECDIS sustav je zabilježeno 439 nedostataka od kojih je 51 uzrokovalo zaustavljanje brodova.

2.1.6. Pregled dosadašnjih vlastitih istraživanja identifikacije i uklanjanja problema i rizika koji nastaju prilikom vođenja pomorske navigacije

Metode analize rizika za pomorski promet poprimaju sve veći interes posljednjih godina, čak do te mjere da su određene međunarodne organizacije dale preporuke o korištenju specifičnih alata za analizu i upravljanje rizicima [76]. U radu *Stavovi pomorskih časnika o papirnatim navigacijskim kartama prije i nakon uvođenja ECDIS sustava: Činjenice i potencijalne implikacije prema poboljšanju sigurnosti plovidbe* (engl. *The Navigator's Aspect of PNC before and after ECDIS Implementation: Facts and Potential Implications towards Navigation Safety Improvement*) obrađena je tema prihvatanja ECDIS sustava od strane krajnjih korisnika, uz identifikaciju i izdvajanje potencijalnih rizika prilikom rukovanja sustavom. Na Slici 10. prikazan je ENC model uzročno-posljedičnog lanca štetnih događaja, s prepoznatim rizicima kao ishodom modela, od kojih su neki prepoznati, a određeni su potvrđeni temeljem prethodnih istraživanja [26, 27, 30, 146, 238, 239].



Slika 10. ENC model uzročno-posljedičnog lanca štetnih događaja

Izvor: [37].

Na temelju ovih rezultata može se identificirati nekoliko potencijalnih problema, rizika i poteškoća (Slika 10.). Kategorizirani problemi po svojoj prirodi se mogu podijeliti u dvije glavne skupine: (i) problemi sa sustavom i podacima (sivi pravokutnici i narančaste strelice) i (ii) problemi navigatora (plavi pravokutnici i narančaste strelice). Oba mogu dovesti do potencijalno opasnih situacija (crveni pravokutnik), odnosno suptilnih zabluda, npr. pretjerano oslanjanje na sustav kao problem časnika, ili kvaliteta ENC podataka kao problem sustava i podataka, što dovodi do poteškoća ili rizika pri rukovanju i izvršavanju zadataka. Kombinacija (i) (sivo obojene strelice) i (ii) (plavo obojene strelice) nastupa kao najnepoželjniji scenarij, npr. časnik niske razine znanja koji se suočava s problemom sustava i podataka. Također, nesklad pri prihvaćanju suvremenih sredstava može dovesti do namjernog nekorištenja. Ovaj nepoželjni lanac pogrešaka može dovesti do potencijalnih navigacijskih opasnosti te predstavlja ozbiljnu prijetnju [37].

U radu *Presjek ECDIS izobrazbe i naobrazbe u svijetu s osvrtom na Republiku Hrvatsku: Odnosi između programa i percepcija korisnika* (engl. *Cross-Section of ECDIS Education and Training Worldwide and in the Republic of Croatia: Relations Between Programs and User Perceptions*) obrađena je tema ECDIS izobrazbe i naobrazbe u svijetu s osvrtom na sustav u Republici Hrvatskoj. Ustanovljeno je kako je EGT certifikacija dostigla 100 %, a EST 90 %. Trajanje EGT izobrazbe isto je u svim pomorskim obrazovnim centrima, no uvjeti za prijavu kandidata nisu jednaki za sve polaznike. Kako se propisi različitih država razlikuju, potrebno je uzeti u obzir da postoji značajan broj ispitanika koji bi željeli naučiti više tijekom specifične obuke za upoznavanje sa sustavom te da trajanje obuke nije dovoljno. Zaključak je kako postoji opravdana potreba za nastavkom sličnih analiza, uključujući sve zainteresirane dionike, zakonodavce i pomorce, dok se ne pronađe optimalno rješenje [38].

U radu *Sučelje čovjek-stroj: Interakcija časnika plovidbene straže s ECDIS sustavom* (engl. *Human Machine Interface: Interaction of OOWs with the ECDIS system*) istražene su pomorske nezgode u kojima je ECDIS sustav izravno ili neizravno utjecao na nezgode, odnosno zaustavljanja brodova od strane inspektora nadzora stranih brodova, vezana uz nedostatke ECDIS sustava ili nedovoljnog znanja časnika plovidbene straže o radu sa sustavom. Zaključeno je kako nedovoljna standardizacija terminologije/postavki sustava/prikaza zaslona i funkcija između različitih ECDIS proizvođača itekako utječe na sigurnost plovidbe [39]. Ova je studija detaljno proširena za potrebe doktorskog rada te je prikazana u odgovarajućem poglavlju.

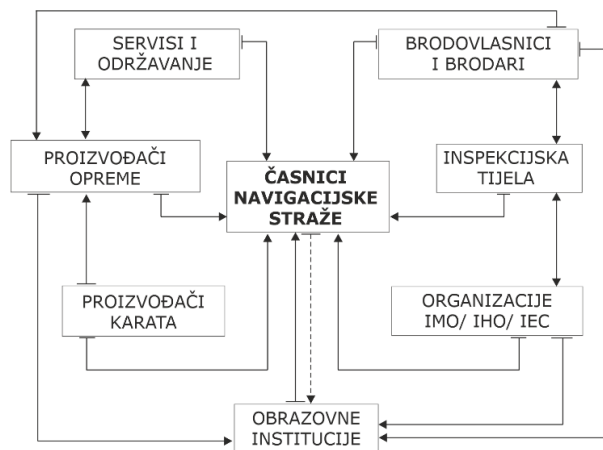
2.2. Planiranje putovanja i vođenje navigacije ograničeno plovnim područjima

Pomorska navigacija donosi sa sobom mnoštvo izazova, posebno kada se radi o planiranju putovanja i vođenju navigacije ograničeno plovnim područjima. Od iznimne je važnosti ispravno koristiti svu navigacijsku opremu i slijediti sve relevantne procedure i propise.

2.2.1. Dionici pomorskog plovidbenog pothvata vezani uz ECDIS sustav

Dionici se mogu podijeliti na one vezane uz izvedbene standarde, proizvođače opreme, proizvođače pomorskih karata, pružatelje usluga održavanja, brodovlasnike i korisnike usluga prijevoza, inspektore države, pružatelje usluga izobrazbe i naobrazbe te krajnje korisnike, odnosno časnike plovidbene straže (Slika 11.).

Uz prethodno opisane krovne međunarodne organizacije, kao dionici sustava nastupaju proizvođači opreme. Trenutačno postoji približno 40 proizvođača jednog ili više odobrenih modela ECDIS sustava na tržištu, s istim brojem dobavljača ECDIS softverskih sustava. Svaki od modela karakterizira različiti dizajn sučelja, grafička i programska rješenja [38].



Slika 11. Dionici ECDIS sustava.

Izvor: [27].

Prema [237], rezultatima istraživanja pripremljen je idealan sustav iz perspektive krajnjeg korisnika, što je spoj ECDIS Furuno i JRC modela. Ovi rezultati također predstavljaju razvoj novog koncepta kroz usporedbu modela različitih proizvođača.

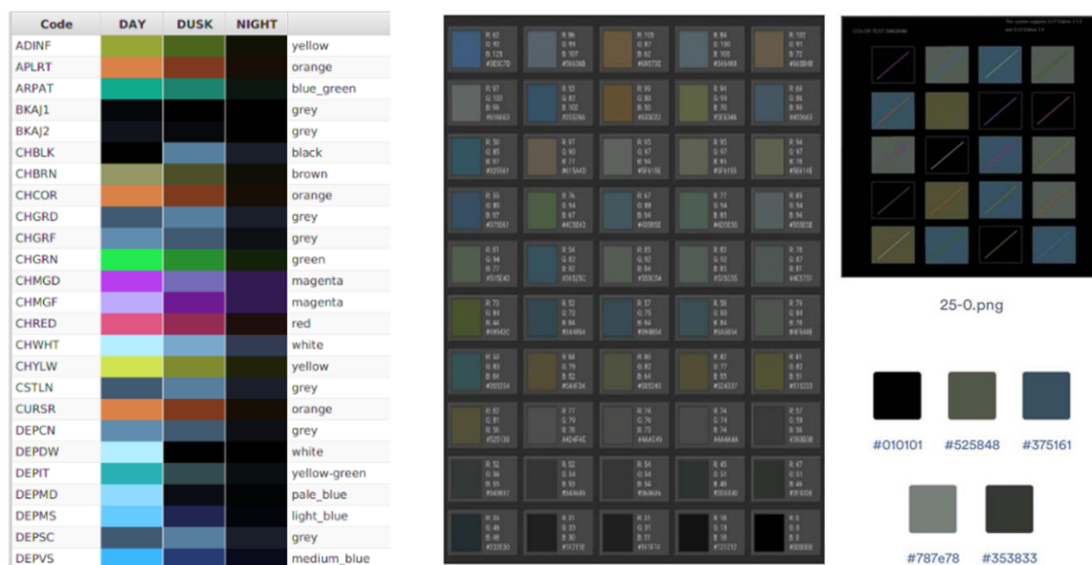
Proizvođače pomorskih karata čine ovlašteni nacionalni hidrografski uredi, zaduženi za hidrografske izmjere i ostale podatke potrebne za sigurnu plovidbu. Pružatelji usluga održavanja sustava važan su dionik budući da je za sigurnost plovidbe važno da je aplikacijski softver u potpunosti usklađen s izvedbenim standardima, i da je u mogućnosti prikazati sve relevantne informacije sadržane unutar baza podataka. Sustav koji nije nadograđen kako bi bio kompatibilan s najnovijom verzijom IHO ENC specifikacije proizvoda [103] ne može se smatrati službenim, jer možda neće moći pravilno prikazati najnovije značajke na karti. Također, odgovarajući alarmi i indikacije možda se neće aktivirati iako su ove značajke u kartama uključene. Slično tome, bilo koji ECDIS koji nije ažuriran kako bi bio u potpunosti usklađen s najnovijom verzijom standarda za zaštitu podataka možda neće uspjeti dešifrirati ili pravilno provjeriti autentičnost karata, što će uzrokovati neuspješno učitavanje ili instalaciju. Proizvođači moraju osigurati mehanizme odgovarajućih održavanja softvera, koja nastupaju kao važan, ponekad previđen element. Ona se moraju provoditi u skladu s

Međunarodnim kodeksom upravljanja sigurnošću (engl. *International Safety Management Code – ISM*) [114].

Brodovlasnici, korisnici usluga prijevoza i inspektori države također spadaju u vezane dionike. Kao što je već rečeno, brodovlasnici i korisnici usluga prijevoza trebaju biti upoznati s pravilnicima i preporukama na snazi koji se tiču posjedovanja, održavanja i korištenja sustava. Inspektori također moraju završiti odgovarajuću obuku, s naglaskom na provjere opreme, kao i kompetencija posade.

2.2.2. Vrste prikaza osvjetljenja na zaslonu sustava i njihove moguće implikacije

Prema [126], ECDIS pruža vrste prikaza za prilagođavanje različitim uvjetima osvjetljenja. Ovi prikazi uključuju prilagodbu palete boja kako bi se optimizirala vidljivost u svim situacijama osvjetljenja. Iako ne postoji standardizirana, propisana paleta boja za način rada u sumrak i zoru, unutar sustava se obično koriste specifične sheme boja osmišljene za poboljšanje čitljivosti i smanjenje naprezanja očiju tijekom prijelaznih razdoblja. Na zaslonu sustava moraju postojati minimalno dostupne tri palete boja. Kod dnevne palete (engl. *Day*) koristi se bijela pozadina koja pri jakoj sunčevoj svjetlosti daje najbolji mogući kontrast. Paleta sumraka (engl. *Dusk*) temelji se na korištenju tamne pozadine. Noćna paleta (engl. *Night*) namijenjena je za noćnu upotrebu, kada svjetlo zaslona mora biti strogo ograničeno kako bi se izbjeglo pogoršanje vidljivosti, i kao i paleta sumraka, koristi se s tamnom pozadinom (Slika 12.).



Slika 12. Analiza paleta osnovnih boja ECDIS sustava (lijevo) i paleta noćnog prikaza (desno).

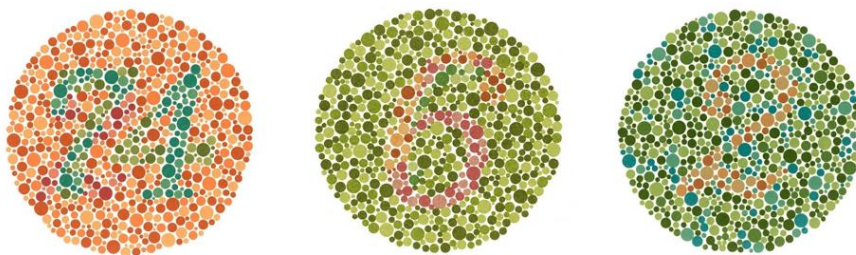
Izvor: [51]

Budući da se crte i simboli na navigacijskim kartama moraju jasno vidjeti u odnosu na nijanse pozadine, palete su konstruirane na način da su najprije odabrane nijanse područja pozadine, a zatim su odabrane boje za linije i simbole koji su u kontrastu s njihovom pozadinom. Da bi se prilagodile vrlo velikoj promjeni osvjetljenja navigacijskog mosta između dnevnog svjetla i tamne noći, boje se prebacuju sa svijetle pozadine s tamnim detaljima u prednjem planu – za

koju je utvrđeno da daje najbolji kontrast na dnevnom svjetlu – na tamnu pozadinu sa svijetlim detaljima u prednjem planu noću [104].

Za načine rada u sumrak i svitanje, obično se za navigacijske objekte (plutače, svjetionici i slični simboli) koriste tople boje poput narančaste, žute i crvene jer poboljšavaju kontrast u odnosu na tamniju ili svjetliju pozadinu, olakšavajući prepoznavanje kritičnih informacija na zaslonu. Specifične boje i njihove nijanse mogu se blago razlikovati između različitih proizvođača i modela sustava. Međutim, ovi izbori boja općenito se donose temeljem načela ljudskog faktora i potrebe za jasnim, lako prepoznatljivim informacijama na prikazu karte u uvjetima slabog osvjetljenja [111].

Standardni liječnički pregledi za ispitivanja vida u Hrvatskoj u određenim zanimanjima i primjeri koje se mogu susresti u praksi često se ne podudaraju, kao što je slučaj i ovdje. Testiranjem kolornog vida jamči se sposobnost časnika za sigurno obavljanje kritičnih zadataka (npr. interpretacija navigacijskih karata, razlikovanje signalnih svjetala i prepoznavanje sigurnosne opreme različitih boja). Najčešće korišteni test za kolorni vid za pomorce je Ishiharin kolorni test (engl. *Ishihara Color Vision Test*) (Slika 13.).



Slika 13. Primjer Ishihara testa.

Izvor: [52]

Test se sastoji od niza ploča od kojih svaka sadrži uzorak obojenih točaka. Unutar uzorka postoji broj ili oblik koji osobe normalnog kolornog vida mogu vidjeti, dok će osobe s nedostatkom vidjeti drugačiji broj ili ga uopće neće vidjeti. U kontekstu potreba za pomorsku navigaciju u klasičnom vođenju navigacije, Ishihara test učinkovit je i pouzdan za prepoznavanje smanjenog kolornog vida, uključujući nedostatke unutar crveno-zelenog i plavo-žutog spektra [127]⁸. No, već usporedbom analize palete boja (Slika 13.) može se uvidjeti kako test nije dostatan za *noćni* prikaz na zaslonu ECDIS sustava. Važnost dobrog kontrastnog vida i pravilnog raspoznavanja boja za sigurnu plovidbu jasno pokazuje potrebu usklađivanja sučelja navigacijskih sustava s pregledima vida i mogućnostima pomoraca. U analizama korištenih boja u nekim načinima ambijentalnog osvjetljenja odnos kontrastnog vida i raspoznavanja boja dolazi u marginalno područje gdje puno varijabli izravno utječe na jasno

⁸ Ishihara test je izvorno osmišljen u svrhu otkrivanja kongenitalne crveno-zelene sljepoće za boje, a također je koristan pri dokazivanju stečenih defekata vida boja [176].

razabiranje detalja na kartama i prikazima. Razvidno tome, zbog sigurnosti pomorskog prometa bitno je voditi računa o mogućim poremećajima raspoznavanja boja i kontrasta, koje nije moguće detektirati prilikom redovnih liječničkih pregleda, a palete boja za *sumrak* i *noćni* prikaz prilagoditi većini nominalno „zdravih očiju“, umjesto da se navigacijske karte prilagođavaju savršenim stanjima oka.

2.2.1.1. Odnos kontrastnog i kolornog vida

Glavni patološki razlozi poremećaja raspoznavanja boja⁹ su degeneracija mrežnice, bolesti prednjeg segmenta oka te starenje očne leće i drugih refraktivnih elemenata oka uslijed neminovnog starenja organizma. Kod ovih poremećaja, najčešće su poteškoće prisutne kod boja poput žute, zelene, crvene ili plave [181]. Odnos između kontrastnog i kolornog vida ključan je za sigurne i učinkovite postupke u pomorskoj u navigaciji. Oba aspekta vizualne percepcije igraju značajnu ulogu u prepoznavanju navigacijskih pomagala, opasnosti i razlikovanju objekata na moru.

Kontrastni vid odnosi se na sposobnost opažanja razlika u svjetlini i sjeni između objekata, površina ili detalja unutar vidnog polja [182]. U pomorskoj navigaciji je važan jer je zaslužan za razlikovanje različite terestričke i ostale objekte i njihove značajke. Omogućuje jasno prepoznavanje oblika, uzoraka i važnih detalja kod promatranja stvarnog svijeta, kao i na kartama i ostalim prikazima ili zaslonima.

Raspoznavanje, odnosno percepcija različitih boja još je jedan kritičan aspekt vizualne percepcije. U navigaciji je posebno relevantan za identifikaciju specifičnih boja kodiranih navigacijskih svjetala, signala i simbola na kartama. Kolorni vid nadopunjuje kontrastni vid pružanjem dodatnih informacija o navigacijskim pomagalima i sustavima signalizacije, kao što je određivanje kursa temeljem prepoznavanja boja navigacijskih svjetala.

2.2.1.2. Međudjelovanje kontrasta i kolornog vida

Kombinacija kontrasta i kolornog vida *poboljšava vidljivost* naročito u uvjetima slabog osvjetljenja (*sumrak*, *svitanje* ili loše vremenske prilike). Na primjer, svjetla označena bojama na plutačama ili svjetionicima lakše su uočljiva u odnosu na okolnu pozadinu kada se u obzir uzmu i boja i kontrast. Suvišne informacije (*redundancija*) kroz kontrast i boju doprinose smanjenju pogrešaka u navigaciji. Pomorci mogu unakrsno provjeriti informacije dobivene iz različitih izvora (npr. boju svjetla i njegov relativni položaj) kako bi povećali sigurnost. Također, pomorci prolaze obuku za prepoznavanje i tumačenje signala označenih bojama, i

⁹ Primarni uzrok nedostatka boje je genetsko nasljeđe (prevalencija na muškoj djeci, nasljedno po majci). Često je povezan s kromosomom X, a budući da muškarci imaju samo jedan kromosom X (XY), oni češće pate od sljepoće za boje. Ako majka nosi genetsku mutaciju za nedostatak boje na jednom od svojih X kromosoma, postoji 50 % šanse da će je prenijeti na svoje sinove [179]. Mutacije gena odgovornih za kodiranje fotopigmenata u čunjićima mrežnice mogu dovesti do ovog poremećaja. Na primjer, mutacije u genima OPN1MW i OPN1LW povezane su s crveno-zelenim deficijencijom [59].

navigacijskih svjetala. Poznavanje karakteristika boja i kontrasta kod navigacijskih pomagala ključno je za brzo i točno donošenje odluka [20, 91, 111, 149].

2.2.1.3. *Mogući uzroci poremećaja raspoznavanja boja*

Kolorna sljepoća ili daltonizam je oštećenje vida koje utječe na sposobnost osobe da točno percipira određene boje. Ukoliko nije urođen, nastaje raznim fiziološkim promjenama. Stečeni nedostatak raspoznavanja boja razvija se tijekom vremena zbog oštećenja mrežnice ili očnog živca. Uzrokuju ga stanja poput dijabetesa, glaukoma i degeneracije makule (bolesti središnjeg dijela mrežnice odgovornog za oštar vid, tzv. *žuta pjega*). Određeni lijekovi (npr. klorokin) također mogu uzrokovati poremećaj nedostatka raspoznavanja boja, kao i ozljede oka, očnog živca ili glave [195]. Multipla skleroza i Parkinsonova bolest mogu utjecati na vidni sustav i dovesti do nedostatka percepcije boja [73]. Nedostatak kolornog vida povezan je sa starenjem i prvenstveno je posljedica promjena u očnoj leći i makuli oka [229].

2.2.1.4. *Mogući uzroci poremećaja kontrastnog vida*

Smanjeni kontrastni vid (kontrastna osjetljivost) može biti povezan s različitim očnim stanjima i oštećenjima. Čest uzrok je katarakta, gdje dolazi do zamućenja prirodne očne leće te posljedično do smanjene oštine vida i percepcije kontrasta [8]. Nadalje, pri senilnoj degeneraciji makule može doći do smanjene kontrastne osjetljivosti i poteškoća s uočavanjem finih detalja [156]. Glaukom je skupina očnih stanja karakteriziranih povišenim intraokularnim tlakom koji može oštetiti očni živac. S vremenom, glaukom može utjecati na kontrastnu osjetljivost i smanjiti sposobnost razlikovanja suptilnih razlika u nijansama sive boje [226]. Dijabetička retinopatija je komplikacija dijabetesa koja oštećuje krvne žile u mrežnici, dovodeći do smanjenog kontrasta i poteškoća pri uočavanju detalja [233].

Bolesti očnog živca su stanja kao što je optički neuritis ili optička atrofija te mogu rezultirati smanjenom kontrastnom osjetljivošću i kompromitiranom vidnom funkcijom [215]. *Retinitis Pigmentosa* je nasljedno stanje koje uzrokuje progresivnu degeneraciju fotoreceptorskih stanica mrežnice i može dovesti do noćnog sljepila i smanjene kontrastne osjetljivosti [81].

2.2.1.5. *Purkinjeov pomak*

Ovaj fenomen [231] utječe na percepciju boja u okolini slabog osvjetljenja. Predstavlja promjenu u spektralnoj osjetljivosti oka *pri prijelazu s dnevne svjetlosti na sumrak ili noćne uvjete*. Kao posljedica, boje izgledaju manje zasićene i mogu poprimiti plavkastu ili sivkastu nijansu. Oko koje stari također ima povećano raspršenje svjetla unutar medija oka, što dodatno smanjuje jasnoću vida, osobito u okruženjima slabog osvjetljenja. Purkinjeov pomak nije posebno vezan uz dob, ali može imati implikacije za osobe starije od 40 godina, kako zbog dobnih promjena, tako i suvremenog načina života. U kontekstu vrsti prikaza/osvjetljenja zaslona sustava, važno je naglasiti kako se Purkinjeov pomak događa u četiri stupnja, a svaki odgovara različitim uvjetima osvjetljenja [33, 207, 235]:

i) *Fotopski vid* (dnevno svjetlo) se javlja u dobro osvijetljenim uvjetima. Ovdje je oko najosjetljivije na boje u sredini spektra vidljive svjetlosti (između zelene i žute). U takvim situacijama, starije osobe obično ne doživljavaju značajne promjene u percepciji boja u usporedbi s mlađim osobama,

ii) *Mezopski vid* (sumrak) nastupa tijekom prijelaznih svjetlosnih uvjeta. Karakterizira ga pomak u osjetljivosti prema plavim i zelenim nijansama. Kod starijih osoba boje mogu izgledati manje živopisne, no ova promjena nije isključiva i mogu je doživjeti ljudi različite dobi,

iii) Do *Skotopskog vida* (svjetlo niskog intenziteta) dolazi pri vrlo slabom svjetlu ili noću. Oko postaje vrlo osjetljivo na plavu i ljubičastu svjetlost, dok je percepcija boja znatno smanjena. Ovdje, Purkinjeov je pomak uočljiviji kod starijih osoba zbog promjena u očnoj leći i smanjene osjetljivosti (štapićastih) fotoreceptorskih stanica odgovornih za vid pri slabom osvjetljenju [183]. Boje se percipiraju kao manje zasićene i često se pojavljuju kao nijanse sive ili plavo-sive,

iv) Kod *apsolutnog skotopnog praga* (blizu tame, ili gotovo potpune tame) oko se gotovo isključivo oslanja na štapićaste fotoreceptore, dok percepcije boja gotovo nema¹⁰.

Osim opisanog fenomena, nekoliko fizioloških promjena povezanih sa starenjem može utjecati na sposobnost pojedinca da jasno vidi pri svjetlu slabijeg intenziteta, osobito u skotopskom i mezopskom rasponu osvjetljenja.

2.2.1.6. Vizualna percepcija i spektralna osjetljivost uslijed starenja

Normalnim fiziološkim procesom starenja, pojedinci preko 40 godina doživljavaju razne promjene u svojoj osjetilnoj percepciji, što uključuje i promjene u sposobnostima noćnog vida. Sposobnost gledanja u uvjetima slabog osvjetljenja prolazi kroz nekoliko transformacija, stoga se percepcija boja noću kod starijih pojedinaca također može razlikovati od njihovih mlađih kolega. Noćni vid prvenstveno ovisi o funkcioniranju fotoreceptorskih stanica. S godinama, obično u kasnim 30-ima ili ranim 40-ima ovi fotoreceptori teže degeneraciji. Jedna od ključnih promjena u noćnom vidu prilikom starenja je smanjenje osjetljivosti na svjetlo niskog intenziteta – starijim je osobama potrebno više svjetla kako bi jasno opažali predmete u uvjetima slabog osvjetljenja. Posljedično, zadaci poput noćne navigacije ili čitanja pri slabom svjetlu postaju teži.

Proces kojim se oko prilagođava na tamu s godinama postaje sporiji, kada je potrebno više vremena da se postigne maksimalna osjetljivost u slabo osvijetljenim okruženjima, naročito tijekom prijelaza (npr. iz jako osvijetljene prostorije u zamračenu [132]). Sljedeći problem predstavlja povećana osjetljivost na odsjaj direktnih svjetala (kao kod noćne navigacije). Ovakve su pojave kritične ako časnika iznenada obasja direktno svjetlo i također,

¹⁰ Kod ovog stupnja, boje se percipiraju kao različite nijanse sive.

moгу se pripisati promjenama vidnog sustava povezanim sa starenjem (povećano raspršenje svjetlosti i stvaranje katarakte) [232].

Spektralna osjetljivost odnosi se degradaciju sposobnosti ljudskog oka da otkrije i percipira različite valne duljine svjetlosti. Boje kraćih valnih duljina, poput plave i ljubičaste, mogu izgledati manje živopisne i teže ih je razlikovati, posebno u uvjetima slabog osvjetljenja. Ovo je ključni aspekt razumijevanja promjena vida povezanih s godinama i može imati značajne implikacije na percepciju boja i prilagodbu različitim uvjetima osvjetljenja. Ključni elementi koje treba razmotriti u vezi sa spektralnom osjetljivošću kod starenja uključuju [191, 207]:

i) *Promjenu osjetljivosti*, odnosno primjetnih promjena u spektralnoj osjetljivosti, osobito u kratkovalnom dijelu spektra (tzv. 'umor plavog svjetla'). Starije odrasle osobe obično su manje osjetljive na svjetlo kratke valne duljine, što može utjecati na njihovu sposobnost točne percepcije plavog spektra i na ukupnu diskriminaciju boja¹¹;

ii) *Smanjenu osjetljivost na prigušeno svjetlo*, ili svjetlo niskog intenziteta, osobito u plavim i zelenim područjima spektra. Ova smanjena osjetljivost na kraće valne duljine može smanjiti ukupnu vizualnu percepciju u uvjetima slabog osvjetljenja, kao što su sumrak i/ili noć;

iii) *Zamućenje leće*: jedan značajan doprinos promjenama spektralne osjetljivosti s godinama je promjena boje očne leće zbog nuklearnog zamućenja. Leća mijenja boju prema jantarsko žutoj, do ekstremne amber-brunescentne boje, zbog nakupljanja proteina i kromofora [191, 207]. Takvo zamućenje može selektivno filtrirati svjetlo kratke valne duljine, dodatno smanjujući osjetljivost na plavu i ljubičastu boju (smeđa boja je prirodni filter plavog dijela spektra) te procjenu nijansi.

Diskriminacija (razlikovanje) boja pri slabom osvjetljenju, koju uzrokuje smanjenje osjetljivosti na kraće valne duljine, može utjecati na sposobnost prepoznavanja predmeta ili interpretaciju informacija sa zaslona elektroničkih uređaja. Starosne promjene vida imaju važne kliničke implikacije, a naročito dolaze do izražaja pri vođenju navigacije noću i u sumrak [229].

Usprkos opisanim pojavama, ljudski vidni sustav zadržava određene mehanizme prilagodbe koji pojedincima omogućuju prilagodbu različitim uvjetima osvjetljenja. Širenje zjenica i neuralna prilagodba kompenziraju smanjenu spektralnu osjetljivost i poboljšavaju ukupni vizualni dojam u različitim okruženjima. Istraživanja i razumijevanje promjena spektralne osjetljivosti kod starenja vida doprinose odabiru odgovarajućih korektivnih leća i medicinskih filtera, preporukama za rasvjetu i strategijama rehabilitacije vida za starije osobe te ublažavanju njihovog utjecaja [57].

¹¹ Diskriminacija boja je fizička sposobnost razlikovanja različitih boja, dok je percepcija (raspoznavanje) psihološki proces interpretacije boje u određenom kontekstu. Npr., gledajući crvenu boju pri različitim osvjetljenjima percepcija te boje može varirati, dok će sposobnost diskriminacije crvene od drugih boja i dalje ostati stabilna.

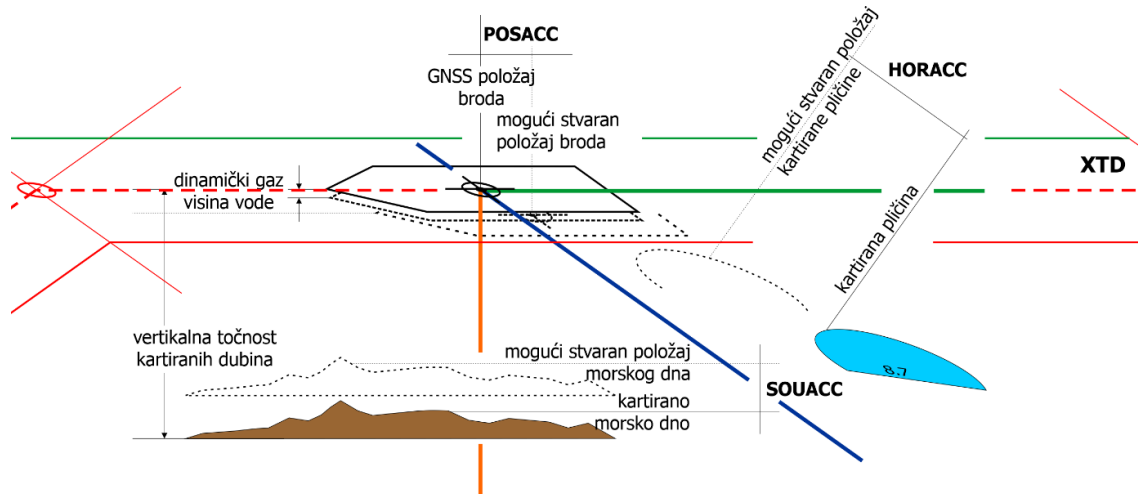
Starenje može značajno utjecati na vid u sumrak i tijekom noći zbog čimbenika kao što su smanjena gustoća štapićastih fotoreceptora, sporija prilagodba na tamu, povećano raspršenje svjetlosti, smanjena sposobnost dilatacije i frekvencije zjenice te promjene u optičkim svojstvima oka. Ovi učinci pridonose poteškoćama gledanja pri slabom osvjetljenju, što je posebno važno za aktivnosti kao što su noćna plovidba ili vođenje navigacije u okruženjima niskog svjetlosnog intenziteta, do mjere nemogućnosti raspoznavanja ili razlikovanja informacija ili objekata, uključujući informacije na zaslonima navigacijskih informacijskih sustava, što će biti predstavljeno i potvrđeno kasnije, u odnosnim poglavljima.

2.2.3. Problemi pri korištenju ECDIS sustava

Pojednostavljenjem pomorske navigacije razvojem tehnologije, došlo je do erozije razumijevanja pomoraca o osnovama pomorstva i navigacije. Iako je (danas) položaj broda u svakom trenutku dostupan, provjera bi se trebala izvršavati i dalje, naročito prilikom navigacije ograničeno plovnim područjima. Navigacijski informacijski i satelitski navigacijski sustavi, u kombinaciji s kulturom *gledanja u ekran*, uzrokuju pretjerano oslanjanje na navigacijsku opremu. Primjer posljedice navedenog je pomorska nezgoda udara broda za kružna putovanja „Radiance of the Seas“ u pristanište *Sitka Sound*, posljedične štete od 2,1 milijun američkih dolara [106]. Američki Nacionalni odbor za sigurnost prometa (engl. *National Transportation Safety Board* – NTSB) u svom je izvješću (9. svibnja 2022.) kao utjecajne čimbenike identificirao prekomjerno oslanjanje na sustav, pogrešnu komunikaciju i neažuriranu elektroničku navigacijsku kartu; korištena karta nije prikazivala produženo pristanište niti dodane privezne stupove. Tim zapovjednog mosta na raspolaganju je imao druge navigacijske tehnologije, uključujući radare i kamere. Međutim, uz svu dostupnu opremu, posada se oslanjala isključivo na ECDIS sustav [106].

Osim neažuriranih karata, javlja se i problem pouzdanosti ENC karata. Pouzdanost podataka elektroničke karte ovisi o kvaliteti batimetrijskih podataka, odnosno hidrografskim izmjerama, koje su u mnogim slučajevima zastarjele, čak i s početka prošlog stoljeća. To se uglavnom odnosi na određena oceanska područja, gdje se može očekivati niska točnost [146]. Točnost i kvaliteta podataka na ENC kartama prikazuje se pomoću sustava kategorija područja pouzdanosti (engl. *Category of Zone of Confidence* – CATZOC). Svrha CATZOC sustava slična je izvorima hidrografskih izmjera (engl. *source data diagram*) na papirnatim kartama te omogućava donošenje odluka o stupnju oslanjanja na kartu pri planiranju putovanja ili vođenju navigacije. CATZOC sustav omogućuje geodetskim službama kodiranje hidrografskih podataka unutar šest kategorija; A1, A2, B, C, D ili U, prikazanim odnosnim simbolima. Unutar sustava, CATZOC razine se razlikuju po obliku simbola i broju zvjezdica. CATZOC je obvezni atribut formata S-57, i potpuno razumijevanje ovog koncepta je neophodno [212]. Na Slici 14. prikazana je dekompozicija CATZOC sustava na osnovne pod-atribute, koji predstavljaju komponente određivanja odgovarajuće sigurnosne margine oko planiranog puta broda temeljem značajki karte u sve tri dimenzije, položaja broda, dinamičkog gaza i visine vode.

CATZOC vrijednost izravno odražava točnost dubine za određivanje sigurnosne dubine ili UKC (vertikalna vrijednost) i točnost položaja (vodoravna vrijednost) za određivanje bočne udaljenosti od kursa (XTD). Ova dva parametra predstavljaju značajnije sigurnosne postavke ECDIS sustava [147].



Slika 14. Dekompozicija CATZOC atributa.

Izvor: [28].

U praksi, časnici navigacijske straže često previđaju kako CATZOC odražava i točnost položaja – na primjer pličine ili opasne podrtine vodoravno, što je od posebnog značaja prilikom planiranja putovanja i vođenja navigacije ograničeno plovnim područjima.

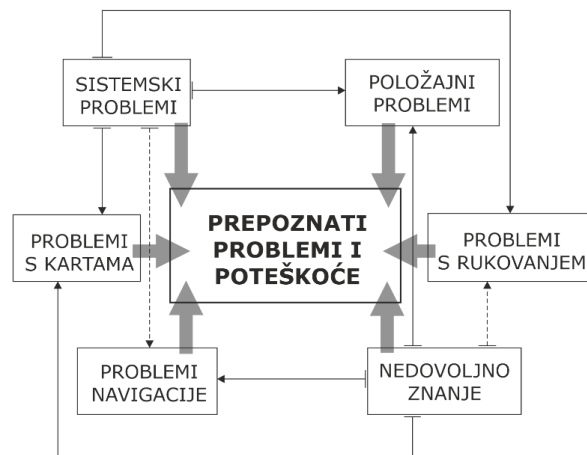
Poznavanje ograničenja senzora sustava i njihova kontrola preduvjeti su za sigurno korištenje. Osnovna značajka ECDIS sustava je kontinuiran i automatski prikazan položaj vlastitog broda na službenoj podlozi. Jedan od prvih zabilježenih i analiziranih slučajeva nezgode zbog pretjeranog oslanjanja na položaj je nasukanje putničkog broda „Royal Majesty“ 1995. [178] Kao glavni uzrok nezgode prepoznat je netočan prikaz položaja broda, uzrokovan otpojenim antenskim kabelom sustava GPS; automatizirani zaslon prikazivao je zbrojenu poziciju (engl. *Dead Reckoning* – DR) broda. Časnici navigacijske straže nisu bili svjesni stvarnog položaja broda, zapravo udaljenog 17 NM od pretpostavljenog. Također, nisu koristili nikakvu neovisnu metodu za provjeru položaja [178]. Ova je nezgoda bila poticaj za usvajanje izvedbenih standarda za integrirane navigacijske sustave [113].

Korištenje ECDIS sustava prilikom vođenja navigacije uvelike ovisi o GNSS sustavu koji se koristi kao primarni izvor položaja za većinu brodova današnje trgovačke mornarice. Korištenje sekundarnih izvora pozicioniranja kao zalihosti (engl. *redundancy*) pitanje je sigurnosti plovidbe. Unatoč mogućim alternativama, sekundarni izvor položaja unutar sustava uglavnom je drugi GNSS prijamnik [31], pri čemu dva ili više prijamnika sustava globalnog pozicioniranja ne garantiraju najbolju točnost položaja.

Zbog svoje osjetljivosti, satelitski navigacijski signali su, osim prirodnih uzroka, podložni nenamjernim i namjernim smetnjama, što može rezultirati uskraćenjem usluga na velikim

geografskim područjima [78]. Namjerno ometanje uključuje ometanje i lažiranje satelitskih navigacijskih signala [224]. Osim sekundarnih izvora pozicioniranja, odgovarajuća protumjera za pretjerano oslanjanje na GNSS korištenje je tradicionalnog određivanja položaja i ručnog iscrtavanja na zaslonu sustava [146]. Na taj je način moguće provjeriti izvor položaja broda na ECDIS sustavu, posebice u ograničeno plovnom područjima. Tijekom posljednja dva desetljeća, korištenje GNSS sustava proširilo se na gotovo svaki aspekt života. Pomorska zajednica oslanja se na neposrednost ovog brzog i obično preciznog navigacijskog alata, što može biti opasno i dovesti do nezgoda [170]. Stara izreka za pomorce glasi „nikada se ne oslanjaj na jedan izvor pozicioniranja“. U prošlosti je to uključivalo ne pouzdavati se u poziciju određenu uz pomoć udaljenosti i azimuta samo jednog objekta, i nikad se ne pouzdavati u poziciju određenu pomoću dvije stajnice. Danas bi to moglo značiti da se časnik ne smije pouzdati u poziciju određenu samo uz pomoć GNSS sustava [211].

Integracija ECDIS sustava s radarom omogućava presliku radarske slike povrh ENC karte (engl. *Radar Information Overlay* - RIO). Ova se mogućnost u praksi smatra pouzdanim načinom provjere kartografskih i ostalih navigacijskih podataka, čime je moguće identificirati moguće i zabilježene neusklađenosti u trenutnom položaju broda [155].



Slika 15. Identificirani ECDIS problemi i njihova međusobna povezanost.

Izvor: [26].

Kao jedan od integriranih elemenata, AIS sustav ima također nekoliko značajnih nedostataka. Mnoga plovila nisu opremljena sustavom. Nadalje, prema procjeni zapovjednika sustav se može isključiti [117]. Osim mogućih prekida prijama ili razmjene AIS informacija [168], primljeni izvještaji mogu biti nenamjerno netočni ili namjerno lažirani [117, 168]. Pretjerano oslanjanje na AIS sustav kao jedinu navigacijsku pomoć iznimno je opasno te časnik mora svjesno pratiti zaslone opreme, a prvenstveno vizualno motriti okoliš.

Uočeni problemi i poteškoće prilikom korištenja ECDIS sustava prikazani su na Slici 15. Podijeljeni su u dvije glavne skupine, na probleme sustava i one vezane uz nedovoljno znanje. Problemi sustava mogu prouzročiti probleme i poteškoće vezane uz probleme s rukovanjem sustavom, položajne probleme, probleme s kartama općenito probleme navigacije. Nedovoljno

znanje o sustavu može prouzročiti probleme i poteškoće vezane uz probleme s kartama, položajne probleme, probleme navigacije i probleme s rukovanjem sa sustavom.

2.2.4. Temeljni koraci pri planiranju putovanja i vođenju navigacije

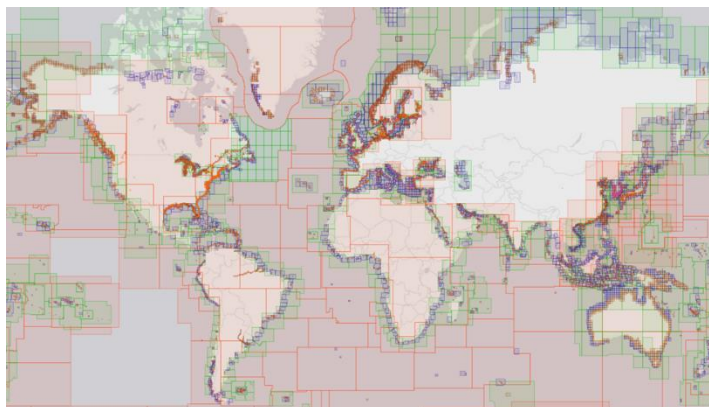
2.2.4.1. Općenito

Planiranje pomorskog putovanja se sastoji od četiri temeljna koraka: procjene, planiranja, validacije i vođenja navigacije. Kod prve faze, procjene (engl. *appraisal*), zapovjednik broda sa svojim timom definira namjeravani način plovidbe između dvije luke. U toj se fazi prikupljaju sve potrebne relevantne informacije o navedenom putovanju. U drugoj fazi, planiranju (engl. *planning*), navigacijski časnik pod nadzorom zapovjednika broda priprema detaljan plan putovanja broda. U trećoj fazi se pripremljeni plan putovanja validira (engl. *validation*) dok se u četvrtoj, posljednjoj fazi odvija praćenje kretanja broda po planiranome putu (engl. *execution and monitoring*) [163].

Prvi korak kod procjene planiranja pomorskog putovanja je utvrditi da se na brodu nalaze sve potrebne pomorske karte i nautičke publikacije. Putovanje je moguće isplanirati na tradicionalan (PNC) ili suvremen (ECDIS/ENC) način. Pomorske karte je potrebno naručiti ako se radi o PNC, ili instalirati ako se radi o ENC kartama. Postoji i opcija PAYS (engl. *Pay As You Sail*), gdje brodar temeljem ugovora s pružateljem usluge dobiva sve karte, no plaća samo korištene prilikom planiranja putovanja i praćenja kretanja broda. Prilikom kupnje, konzultira se katalog karata u pisanom ili digitalnom obliku odnosno može mu se pristupiti mrežno (Slika 16.) [193]. ENC karte koriste se ovisno o navigacijskoj primjeni, i prethodno moraju biti ažurirane prema posljednjim ispravkama, uključivo privremene i preliminarne ispravke (engl. *Temporary and Preliminary Notices*) prikazane u *Admiralty Information Overlay* (AIO) sloju. Prvi korak kod planiranja pomorskog putovanja je priprema karata, odnosno učitavanje ENC karata, nakon čega se konfigurira prikaz i provjeravaju postavke. Tijekom izrade putovanja potrebno je, između ostalog, odrediti siguran i minimalan UKC, temeljem kojeg se definira vrijednost parametra sigurnosne konture.

Izrađeno putovanje validira se provjerom časnika i onog sustava kojim se, temeljem prethodno unesenih vrijednosti svih sigurnosnih i ostalih parametara utvrđuju eventualne potencijalne nepravilnosti i opasnosti za navigaciju. Završni korak procesa planiranja je sastanak tima zapovjedničkog mosta (engl. *Bridge team meeting*) i odobrenje plana putovanja od strane zapovjednika.

Praćenje kretanja broda po planiranome putu započinje nakon isplovljenja broda iz luke te se nastavlja svakom primopredajom straže. Tom prilikom časnik mora razumjeti sve aktualne i planirane postupke i podatke o putovanju. On mora biti siguran da kartografski prikaz sadrži sve informacije koje su mu potrebne za sigurnu navigaciju. Praćenje kretanja broda po isplaniranome putu može se obaviti na PNC, na ECDIS uređaju ili na oboje istovremeno.



Slika 16. Katalog ENC karata.

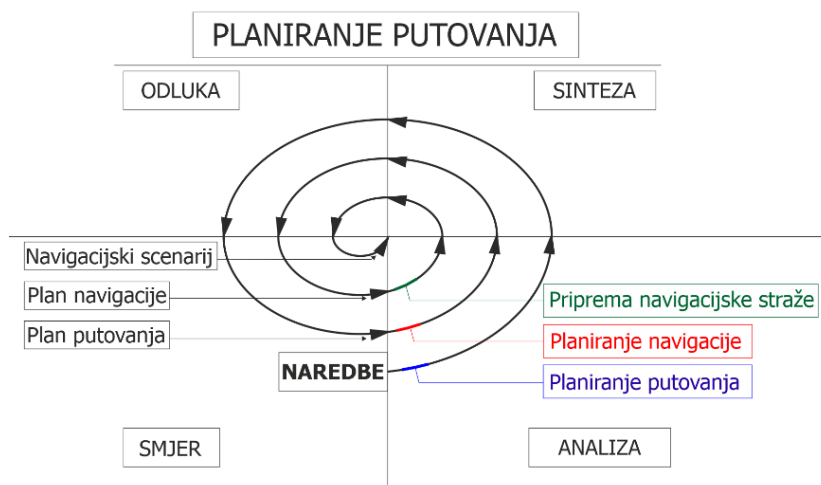
Izvor: [193].

Većina ECDIS sustava podržava podatke o navigacijskom okolišu. Poznavanje simbologije najznačajniji je čimbenik pri uspješnoj identifikaciji potencijalnih opasnosti za navigaciju koje eventualno okružuju isplanirano putovanje. Tijekom praćenja kretanja broda po planiranome putu časnik nadzire položaj broda, napredovanje i procijenjeno vrijeme dolaska (engl. *Estimated Time of Arrival* – ETA), radarsku sliku i AIS objekte, uz neizbježno vizualno osmatranje okoliša [63].

Za razliku od PNC, časnik može prilagoditi način prikaza pomorske karte na zaslonu, kao i način na koji sustav alarmima obavještava korisnike o potencijalnim opasnostima [189]. Nadalje, sustav kontinuirano prikazuje poziciju broda, nudi relativno lako rukovanje, automatizaciju navigacijskih zadataka, i bolju situacijsku svjesnost. Također, ENC karte su automatski dostupne uz pomoć opcije PAYS, potrebno je manje vremena za planiranje putovanja i lakše je primijeniti ispravke pomorskih navigacijskih karata.

2.2.4.2 Konfiguracija prikaza i sigurnosne postavke

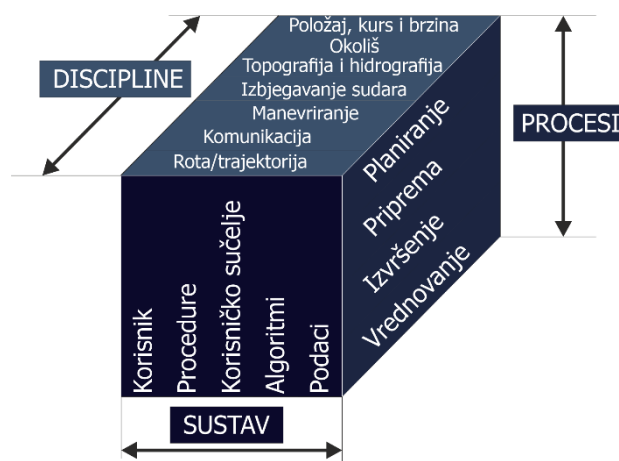
Planiranje putovanja može se promatrati kao iterativni ciklički proces sa standardnom logičkom strukturom i jasno definiranim produktom za svaki ciklus, koji služi kao smjernica za sljedeći. Prvi ciklus – *planiranje putovanja* – bavi se odabirom najbolje rute; rezultat je plan putovanja, i okvirni opis rute, izvedive unutar ograničenja navedenih u naredbama za plovidbu. Drugi ciklus – *planiranje navigacije* – bavi se pitanjem načina plovidbe odabranom rutom; precizno prikazanom rutom koju treba slijediti, povezanu sigurnosnim marginama, tolerancijama odstupanja, ukupnim vremenskim rasporedom i navigacijskim postupcima za različite faze putovanja. Ovaj plan svakom časniku pruža smjernice kako bi izvršio pripremu i *planiranje navigacijske straže*, što konačno rezultira detaljnim navigacijskim scenarijem tijekom straže [25, 197]. Spiralni model planiranja putovanja prikazan je na Slici 17.



Slika 17. Proces planiranja putovanja.

Izvor: [25, 197].

Svaki ciklus se sastoji od uzastopnih faza analize, sinteze, odlučivanja i smjernica za novi ciklus [197]. Iz perspektive navigacijskih disciplina (Slika 18.), proces planiranja obuhvaća položaj, kretanje broda definirano kursom i brzinom, navigacijski okoliš i njegove značajke, topografiju i hidrografiju, izbjegavanje sudara, manevriranje, komunikacije, i konačno, rutu, odnosno trajektoriju kretanja. Iz perspektive procesa, navigacija se sastoji od uzastopnih faza planiranja, pripreme, nadzora, izvršenja i vrednovanja kretanja broda po planiranom putu. Konačno, iz perspektive sustava razlikuju se elementi korisnika, procedure, korisničko sučelje, algoritmi i podaci.



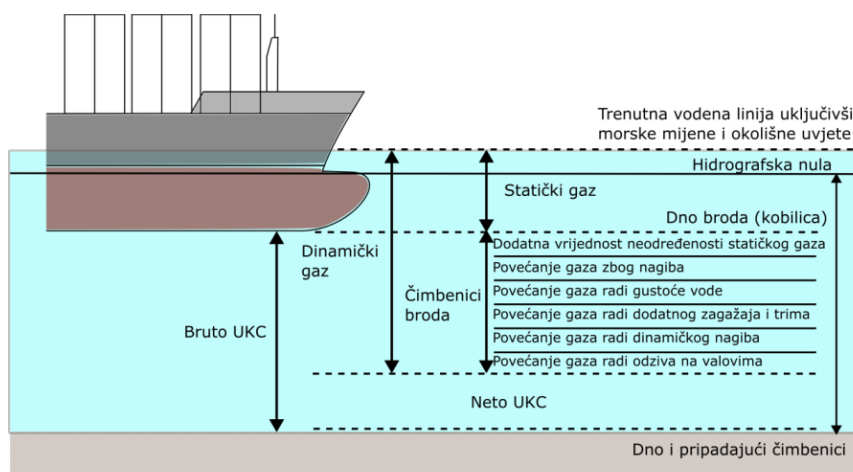
Slika 18. Navigacijska domena pri planiranju putovanja i vođenju navigacije

Izvor: [25, 197].

Unutar modela navigacijske domene (Slika 18.) razlikuje se nekoliko kategorija integracije. Integracija različitih navigacijskih disciplina predstavlja sinergiju. Kod integracije faza navigacijskog procesa rezultati svake faze prenose se na sljedeće. Integracija sustava odnosi se na dodjelu zadataka sustavu ili korisniku temeljem metodologije ljudskih čimbenika, pri čemu se u segmentu podataka ona odnosi na modele, standarde i kvalitetu podataka [25, 197].

U konfiguraciju prikaza i zaslona sustava ubrajaju se postavke karata, sigurnosni parametri, kartografski prikaz i postavke rute. Dodatne informacije uključuju područja koja zahtijevaju dodatnu pažnju (npr. područja nižih CATZOC kategorija). U sljedećem se koraku unose eventualne ručne ispravke i korisnički slojevi, nakon čega slijedi optimizacija putovanja. Pod konfiguraciju također spadaju senzori, sigurnosni parametri, orijentacija prikaza, i uzbude.

Od sigurnosnih parametara od značajnijih su dubina ispod kobilice, odnosno sigurnosna kontura kojom se razdvajaju sigurna od nesigurnih područja plovidbe za određeni brod (Slika 19.). Prilikom definiranja sigurnosne konture potrebno je uzeti u obzir visinu vode i utjecaj na dubinu. Sigurnosna dubina (engl. *Safety Depth*) minimalna je dubina preko koje brod može sigurno ploviti bez opasnosti od nasukanja. Kontura plitke vode (engl. *Shallow Contour*) označava granicu nedovoljne dubine vode. Kontura duboke vode (engl. *Deep Contour*) označava sigurne vode, i u praksi se obično uzima kao vrijednost ekvivalentna dvostrukom gazu broda.



Slika 19. Dubina ispod kobilice.

Izvor: [198]

Dubina ispod kobilice se dijeli na bruto i neto UKC. Bruto UKC je udaljenost između najuronjenije točke na dnu broda i morskog dna dok je neto UKC bruto UKC umanjen za dinamičke čimbenike prikazane na Slici 19. Određivanje sigurnosne dubine i sigurnosne konture unutar sustava još uvijek nije globalno unificirano. U nastavku je prikazan prijedlog određivanja parametara vezanih za sigurnosnu dubinu, pri čemu je korištena teorijska metoda za izračun sigurne UKC vrijednosti [238]:

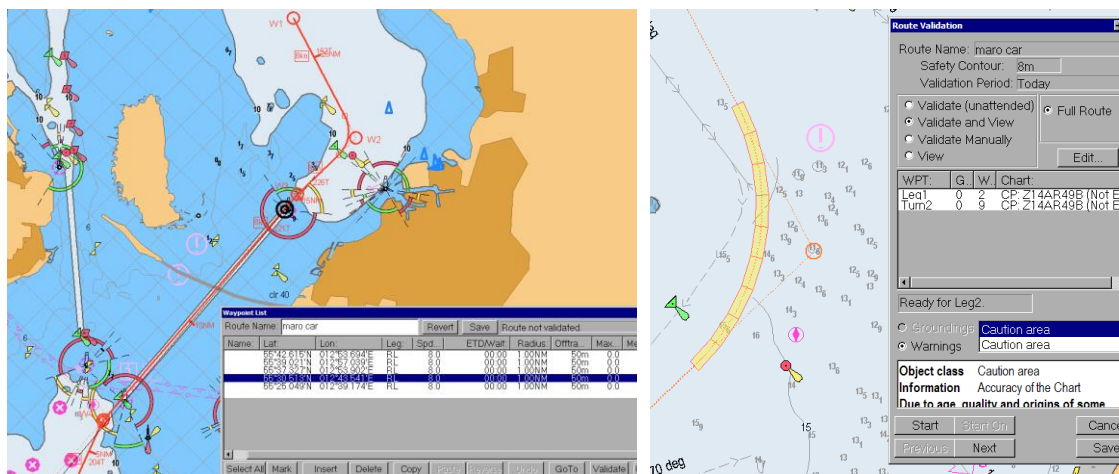
$$SD = T_{\max} + R_{UKC} + R_{\text{squat}} + R_d - H_{\text{tide}} \quad (1)$$

$$SC = SD + CATZOC \quad (2)$$

Pritom, je SD sigurnosna dubina [m]; SC je sigurnosna kontura [m]; $T_{\max}$ je brodski gaz [m]; R_{squat} je utvrđeni dodatni zagažaj [m]; R_{UKC} je statička dubina pod kobilicom [m]; R_d je

dinamička rezerva prouzročena valovima, valjanjem i posrtanjem broda [m]; H_{tide} je promjena između trenutne i referentne razine vode uslijed utjecaja morskih mijena [m]; CATZOC je kategorija zone pouzdanosti [m] [196].

Nakon što su ispravno unesene sve vrijednosti postavki, započinje se s kreiranjem rute i ucrtavanjem točki promjena kursa (engl. *Way Points* – WP), što se može izvršiti grafički ili unosom podataka. Osim WP definira se i radijus zakreta broda te granične vrijednosti bočnog odstupanja (engl. *Cross Track Distance* – XTD) (Slika 20.).



Slika 20. Kreiranje (lijevo) i provjera (desno) rute unutar ECIS sustava.

Izvor: [192]

Kako je već navedeno, ruta se provjerava vizuelno i uz pomoć alata ECDIS uređaja. Funkcijom provjere, a na temelju ranije unesenih graničnih uvjeta, uvidjet će se je li putovanje isplanirano pravilno i da li postoje opasnosti i/ili prepreke. Ukoliko sustav prepozna opasnosti za sigurnu navigaciju izdat će upozorenja. Po provjeri izrađene rute pristupa se ispisu detaljnog plana putovanja. Nakon ispisa zapovjednik konačno provjerava ukupno putovanje te ga temeljem pozitivnog ishoda provjere odobrava.

2.2.4.3. Vođenje navigacije uz ECDIS

Vođenje pomorske navigacije započinje isplovljenjem broda iz luke te se nastavlja, odnosno održava primopredajom navigacijske straže. Tom prilikom časnici plovidbene straže konzultiraju i potpisuju kontrolnu listu (Tablica 7.) koja obuhvaća sve bitne čimbenike za preuzimanje straže.

Tablica 7. Primjer kontrolne liste za primopredaju navigacijske straže.

Zapovjednikove pisane zapovijedi za sljedeća četiri sata pregledane.
Provjereno postojanje promjena u planu putovanja potvrđenih od časnika plovidbene straže kojem završava smjena.
Prisutnost/plovidba brodova u okruženju broda.
Brodsko pozicija, kurs, brzina i gaz.

Prevladavajuće i predviđene morske mijene, morske struje, vrijeme, vidljivost i utjecaj na kurs i brzinu.
Razina brodske sigurnosne zaštite i druge informacije vezane za sigurnosnu zaštitu.
Zahtjevi za obaveznim brodskim izvještajima u sljedeća četiri sata.
Časnik koji mijenja postojećeg časnika se prilagodio noćnim uvjetima vida.
Postojanje ograničavajućih uvjeta vezanih uz brodski pogon.
Uporabno stanje navigacijske i sigurnosne opreme.
Pogreška žiro i magnetskog kompasa utvrđena.
Situacije i rizici koji se mogu pojaviti tijekom navigacijske straže.
Mogući utjecaji bočnog i uzdužnog nagiba, gustoće vode i dodatnog zagažaja na UKC.
Točnost dubinomjera provjerena u obalnoj navigaciji ako je dubina manja od 200 metara.
Odvijanje radova na palubi ili stroju u tijeku.
Izvedba radarskog uređaja provjerena i ispitana (zadovoljavajući status).
Aдекватne postavke ECDIS sustava, karte ažurirane, eventualne pogreške utvrđene, eventualni rizici za navigaciju utvrđeni.
ECDIS sigurnosni okvir, sigurnosna kontura, XTE postavljen i ispravno prikazan.
Vrijeme kada je zapovjednik preuzeo zapovijedanje brodom zabilježeno u brodskom dnevniku.
Vrijeme prebacivanja na ručno kormilarenje zabilježeno u brodskom dnevniku.

Izvor: Autor, modificirano temeljem [217].

Tablica 8. predstavlja čimbenike koji mogu utjecati na sigurnu uporabu ECDIS sustava tijekom procesa planiranja putovanja i vođenja navigacije, podijeljene prema tijeku pojedinog procesa, odnosno prema značajkama ljudskog faktora i sučelja čovjek-stroj, navigacijskih postupaka i praktičnog korištenja sustava te sklopovlja, programa i podataka.

Tablica 8. Čimbenici koji mogu utjecati na sigurnu uporabu ECDIS sustava.

Proces	Ljudski faktori i sučelje čovjek-stroj	Navigacijski postupci i korištenje sustava	Sklopovlje, programska podrška i podaci
Procjena	Nepoznavanje ECDIS sustava i ENC simbologije Propust provjere i simbola na karti Pretjerano oslanjanje na ECDIS Korištenje karata neadekvatnog mjerila ENC podatci i nautičke publikacije nisu pravilno analizirane	Nejasni zakoni za posjedovanje ECDIS uređaja Nedostupnost ENC karata krupnijeg mjerila Neispravno ažurirane ENC karte Neispravan izračun UKC vrijednosti Netočno definirana sigurnosna dubina Upotreba neslužbenih pomorskih karata Nejasno definirane minimalne udaljenosti od opasnosti	Neprecizno ucrtani objekti Neporavnati rubovi karata Nepodudarnost geoprostornih podataka Pogrešno programirane značajke graničnih područja Nemogućnost prikaza ažuriranih podataka
Planiranje	Planirani kurs prolazi vrlo blizu ili preko plićina	Putovanje nije isplanirano od veza do veza	Ograničenja programske podrške za postavljanje značajki kao što su

	Nepoznavanje i nemogućnost razlikovanja ECDIS uzbuda Različitost standarda ECDIS izobrazbe i naobrazbe Smanjivanje vrijednosti sigurnosnih postavki	Neispravne postavke sigurnosne dubine i sigurnosne konture Nedopuštene zone plovidbe (zbog plicina i drugih opasnosti) nisu definirane prema sigurnosnim postavkama ili nisu uključena u sustav uzbuda Sigurnosne postavke i uzbude nisu postavljeni XTD širi od raspoložive širine plovnog područja Čimbenici okruženja nisu uzeti u obzir prilikom izračuna točke započinjanja otklona kormila	položaji točke započinjanja otklona kormila i ručno ucrtavanje područja zabranjenih za plovidbu Informacije o kursu nisu jasno prikazane uzduž svih dijelova rute Postavljena vrijednost sigurnosne konture nije dostupna
Validacija	Zanemarene uzbude provjere rute Nepoznavanje funkcije provjere rute	Svaki dio rute nije vizualno provjeren Ručna provjera rute nije napravljena Funkcija provjere rute nije upotrijebljena Zapovjednik i časnici nisu provjerili rutu Provjera rute napravljena na ENC karti sitnijeg mjerila Zapovjednik nije provjerio i odobrio rutu nakon izmjene	Aktiviran prevelik broj uzbuda tijekom provjere rute Funkcija provjere rute komplicirana za upotrebu
Vođenje navigacije	Ometanje na zapovjedničkom mostu Učitavanje krive rute u ECDIS Umor i manjak koncentracije Odstupanje od zadanog XTD nije primijećeno Zvuk uzbuda onemogućen Uzbude sustava zanemarene Potvrđivanje uzbuda bez provjeravanja	Sigurnosne postavke nisu postavljene prije putovanja Kompilacijsko mjerilo se ne koristi Ne koristi se prikaz kojim se omogućuje sigurna navigacija Ne radi se provjera položaja broda Neadekvatne postavke funkcije pogleda unaprijed	Informacije o kursu nisu jasno vidljive uzduž svih dijelova rute Neadekvatne mjere kibernetičke sigurnosti Vizualna percepcija podataka zbog prikaza zaslona Problemi s rezervnim napajanjem sustava

	Neadekvatno postavljena funkcija pogleda unaprijed Nepoznavanja rada sa sustavom Neodgovarajući prikaz zaslona Nepoznavanje planova i postupaka za izvanredne situacije	Položaj broda se ne provjerava tijekom peljarenja AIS kao primarni sustav za izbjegavanje sudara na moru prilikom određivanja CPA Nepostojanje planova i postupaka za izvanredne situacije	
--	--	--	--

Izvor: Autor, modificirano temeljem [206].

Časnik plovidbene straže prati napredovanje i kretanje broda po planiranom putu i predviđeno vrijeme dolaska u luku odredišta, pritom nadzirući okoliš i navigacijske podatke, uključujući podatke o ruti (Slika 21.). Navigacijski tim na zapovjedničkom mostu mora biti svjestan postavki uzbuda te se na ENC kartama označavaju mjesta gdje se one moraju izmijeniti. Postavke uzbuda moraju se provoditi pažljivo kako bi se izbjegli nepotrebni alarmi i neželjeno ometanje časnika navigacijske straže.



Slika 21. Podatci o ruti i sigurnosni okvir.

Izvor: [192].

Kompanija bi trebala pružiti smjernice za postavke uzbuda i indikacija za planiranje putovanja i vođenje navigacije, kako otvorenim morem tako i i ograničeno plovnim područjima, prema svojim sigurnosnim zahtjevima i za svaki specifični gaz broda [141]. Iz perspektive časnika, upravljanje uzbudama vrlo je kritično, jer se može razlikovati od proizvođača do proizvođača. Neki od njih čak dopuštaju onemogućavanje obveznih uzbuda. Osim toga, razina kontrole nad uzbudama može varirati od vrlo detaljne do minimalne. Parametri specifični za planiranje putovanja pripremaju se tijekom faze procjene i moraju biti odobreni. Prilikom korištenja ECDIS sustava, časnik mora osigurati da su odgovarajuće uzbude i/ili indikacije dostupne i aktivne. Nepridržavanje može dovesti do gubitka značajnih navigacijskih informacija i ugroze sigurnosti plovidbe [196].

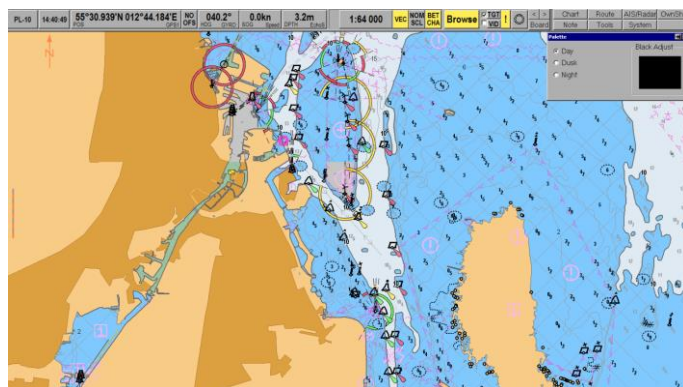
2.2.5. Ograničeno plovna područja u kontekstu navigacijskih informacijskih sustava

Ograničeno plovna područja uključuju područja s relativno malim dubinama i/ili ograničene širine u kojima je planiranje putovanja i vođenje navigacije bez korištenja navigacijskih informacijskih sustava izazovnije i sklonije nezgodama. Ipak, iako se takvi sustavi danas redovito koriste, pomorske nezgode poput nasukanja se i dalje događaju. Stoga je potrebno identificirati moguće probleme i čimbenike koji mogu utjecati na sigurnost navigacije takvim područjima (posebice prilikom interakcije časnika sa sustavom) te holističkim pristupom procijeniti postojeće rizike i donijeti mjere kojima bi se povećala sigurnost planiranja i vođenja navigacije. S tim ciljem potrebno je analizirati planiranje i vođenje navigacije u ograničeno plovnom područjima.

Situacijska svjesnost vrlo je važan čimbenik sigurnosti plovidbe, posebice u ovakvim područjima; potencijalno se javlja mnogo uzbuđa kojima časnik mora pristupiti po prioritetima te svakoj pružiti dužnu pozornost, što stvara dodatno opterećenje, stres i potencijalni rizik od ljudske pogreške.

Prema [171], ograničeno plovnom područjima smatraju se ona „područja gdje su opasnosti za navigaciju blizu broda, a osoba koja upravlja brodom često mora provjeravati plovi li brod po planiranom putu te poduzimati popravne radnje ako su one potrebne“. Prema [15], to su „područja ograničene dubine i neograničene širine te plovna područja ograničene dubine i širine“. Prema dosadašnjoj literaturi korišten je termin *ograničena plovna područja*, pri čemu su ova ograničenja definirana isključivo fizičkim značajkama plovnog puta. U ovom se radu predlaže preimenovanje termina u *ograničeno plovna područja*. Naime, to su područja koja imaju ograničenu plovnost odnosno koja su *ograničeno plovna*, pa se zato riječ „ograničeno“ mora razumjeti u značenju *načina na koji je područje plovno*, a ne u značenju *kakvog plovnog područja*. Osim toga, u ovom doktorskom radu analiziraju se navigacijska i percepcijska ograničenja, uz fizička. U tom kontekstu, ova područja nastupaju kao navigacijski zahtjevna.

Nastavno na navedeno, *ograničeno plovna područja* (OPP) mogu se definirati kao područja unutar kojih se planiranje putovanja i vođenje navigacije izvršava isključivo pomoću navigacijskih informacijskih sustava, a koja karakteriziraju bliske opasnosti za navigaciju i ograničene dubine. Prikazana na zaslonima sustava, uključuju pregršt objekata koji zbog svoje količine povećavaju opterećenje časnika (Slika 22.).



Slika 22. Primjer dnevnog prikaza ograničeno plovnih područja.

Izvor: [192].

Ako u takvim područjima postoji veći intenzitet pomorskog prometa (što je obično i slučaj) situacija postaje kritičnija. Tijekom plovidbe noću, situacija postaje dodatno zahtjevnija, budući da se simboli i oznake na različitim vrstama paleta ponuđenih boja teže razaznaju. Ovdje može doći do slabijeg tumačenja (ili uopće uočavanja) simbola na karti uslijed smanjenog intenziteta osvjetljenja i slabijeg kontrasta među simbolima, i podloge same karte u noćnom ili prikazu sumraka (Slika 23.). Plovna područja poprimaju atribut 'ograničenih' i u određenim slučajevima kada je i) navigacijski časnik stariji od 40 godina [236], i/ili ii) kada se nemogućnost raspoznavanja boja, a posljedično i razaznavanja kartografskih objekata uoči kod ostalih dobnih skupina časnika temeljem navedenih razloga.

Osim otežanog razaznavanja i tumačenja simbola, jedan od rizika koji se javlja prilikom planiranja putovanja i vođenja navigacije ograničeno plovnim područjima je pravilno određivanje parametra sigurnosne dubine. Budući da ovaj rizik nije, barem u ovom obliku, postojao kod papirnatih navigacijskih karata, definicija ograničeno plovnih područja u kontekstu navigacijskih informacijskih sustava može se upotpuniti rizicima neadekvatnog korištenja istih, za razliku od ostalih područja u kojima taj rizik u tolikoj mjeri nije izražen.



Slika 23. Prikaz sumraka (lijevo) i noćni prikaz (desno) ograničeno plovnih područja

Izvor: [192].

Važno je naglasiti kako se sučelje čovjek-stroj javlja kao relevantan element sigurnosti plovidbe. Tada se ova područja mogu identificirati kao ona u kojima je pravilno postavljen i adekvatno korišten ECDIS jedan od preduvjeta sigurne plovidbe.

organizacije gubici imovine ili opreme, a za okoliš onečišćenja). Rizik je vjerojatnost ozljede za osobu i veličine posljedica na zdravlje ako je izložena opasnosti. Rizik se također može odnositi na situacije gubitka imovine ili opreme za organizacije ili štetnim utjecajima na okoliš, ako su izloženi opasnosti [35]. Prema [108], opasnost je "nešto što može uzrokovati štetu, gubitak ili ozljedu", čija realizacija rezultira nezgodom. IMO definira rizik kao "kombinaciju učestalosti i ozbiljnosti posljedica". U sigurnosnom inženjeringu (engl. *safety engineering*) rizik se definira kao stupanj neizvjesnosti neželjenog događaja za ljudski život ili gospodarsku aktivnost, odnosno kao veličina učinaka takvog događaja. Drugim riječima, rizik se sastoji od dvije komponente: učestalosti pojavljivanja nekog događaja (učestalost) i ozbiljnosti (posljedice) rezultata. Stoga, rizik (R) se može definirati kao funkcija posljedica (c) rezultata nastanka neželjenog događaja i učestalosti (p) njegovog pojavljivanja [208]:

$$R = f(c, p) \quad (3)$$

Prema Međunarodnom kodeksu upravljanja sigurnošću (engl. *International Safety Management Code* - ISM) [128], ciljevi upravljanja sigurnošću kompanije trebaju uspostaviti zaštitne mjere protiv svih identificiranih rizika. Međutim, to ne određuje nikakav poseban pristup teoriji upravljanja rizikom, već je na kompaniji da odabere odgovarajuće metode u skladu sa svojom organizacijskom strukturom, brodovima i vrsti posla. Prema [129], procjena rizika je cjeloviti proces koji uključuje identifikaciju, analizu i procjenu rizika. Unutar [130], upravljanje rizikom (uključujući procjenu pomorskog rizika) definirano je kao "proces u kojem se donose odluke o prihvaćanju poznatog ili procijenjenog rizika i/ili provedbi radnji za smanjenje posljedica ili vjerojatnosti pojave." U osnovi se proces procjene rizika bavi promatranjem radnji, utvrđivanjem potencijalno krivog razvoja događaja, i odlučivanjem što treba učiniti kako bi se navedeno spriječilo. Područja na koja se ova definicija odnosi jesu i) identifikacija opasnosti; ii) procjena rizika; iii) primjena kontrola za smanjenje rizika; i iv) praćenje učinkovitosti kontrola.

Identifikacija opasnosti, i zatim adekvatna procjena rizika od ključne su važnosti za sigurnost plovidbe [76]. Da bi se rizik neke radnje uspješno procijenio, opasnosti je potrebno prvo identificirati [4]. Pritom su najznačajniji elementi vjerojatnost nastanka nekog događaja i ozbiljnost posljedica [46]. Jedna od najčešćih, kvalitativnih metoda za procjenu rizika je matrica rizika (engl. *risk matrix*), koja se provodi prema općim kriterijima razine rizika. Rizik se procjenjuje kao i) mali (prihvatljiv i podnošljiv); ii) srednji (treba ga umanjiti da bi bio podnošljiv); ili iii) veliki (koji je neprihvatljiv).

Sigurnost plovidbe definira se kao stanje sustava brod-čovjek-okoliš u kojem niti jedan njegov element, zbog određenih razloga i/ili uzroka ne ugrožava bilo koji drugi. Opasnost može uzrokovati pomorsku nezgodu koja se definira kao neželjeni događaj koji donosi štetu i gubitke (materijalne i ljudske) [12]. Sigurnost plovidbe sastavni je element sigurnosti na moru koja, osim plovidbenih opasnosti, uzima u obzir i opasnosti izvan navigacijske domene, odnosno uključuje sve radnje u vezi vođenja navigacije od točke A do točke B bez nezgoda [12].

3. METODOLOŠKI OKVIR ISTRAŽIVANJA I TEORETSKA RAZRADA MODELA

U ovom je poglavlju prikazan i opisan tijek istraživanja od početnih koraka, analize dostupne literature, obrade prikupljenih i generiranih podataka, definiranja utjecajnih čimbenika, do konačne izrade, validacije i verifikacije izrađenih modela.

3.1. Tijek istraživanja i metodološki koraci – uvodne napomene

Tijek provedenog istraživanja prikazan je na Slici 25. Naznačeni su osnovni metodološki koraci, pripadajuće metode, postupci i ishodi, odnosno rezultati proizašli temeljem svakog koraka. Kasnije su opisani postupci prikupljanja i obrade podataka, uz detaljan opis primijenjenih metoda.

METODOLOŠKI KORACI	METODE I POSTUPCI	ISHODI
ANALIZA pregled i analiza postojeće literature i dosadašnjih istraživanja	dosadašnja znanstvena postignuća stručna literatura službeni dokumenti, propisi i standardi presjek naobrazbe i izobrazbe sinteza pregleda dosadašnjih istraživanja	definiranje znanstvenog problema i predmeta istraživanja identifikacija problema i objekata istraživanja po kategorijama priprema metodološkog dizajna istraživanja
IZRADA priprema, izrada i validacija anketnog upitnika	pilot anketa metoda uzorkovanja validacija upitnika potvrda stavova/problema pri NIS, planiranju putovanja i vođenju navigacije OPP	profil i iskustvo ispitanika ograničeno plovna područja NIS i podaci kao točke interakcije sučelje čovjek-stroj konfiguracija prikaza i problematika boja navigacija korištenjem ECDIS sustava plovidba OPP
OBRADA distribucija anketnog upitnika, prikupljanje i obrada rezultata	HFACS-MA metoda 4MOP metoda binarna logistička regresija	izmjere dubine i vezani sigurnosni parametri smjernice budućeg razvoja ograničenja nastavnih procesa uzročni čimbenici analiziranih nezgoda uzročni čimbenici zaustavljanja brodova rukovanje sustavom problematika vida pomoraca preliminarno određivanje utjecajnih čimbenika
MODELIRANJE analiza pomorskih nezgoda koje uključuju korištenje ECDIS/ECS sustava	deskriptivna statistika	identifikacija kritičnih navigacijskih zadataka identifikacija i definiranje utjecajnih čimbenika vjerojatnost ljudske pogreške prilikom izvođenja kritičnih navigacijskih zadataka
OBRADA analiza zaustavljanja brodova povezanih s ECDIS sustavom	SLIM metoda kvantificiranje i ocjena PSF čimbenika ANOVA test za validaciju procjene Bayesove mreže verifikacija – analiza osjetljivosti validacija – studija slučaja proračun SLI indeksa	procjena i definiranje rizika planiranja putovanja i vođenja navigacije OPP definiranje ključnih radnji pri planiranju putovanja i vođenju navigacije
OBRADA I MODELIRANJE utvrđivanje utjecajnih čimbenika na sigurnost plovidbe ograničeno plovnim područjima	analiza ozbiljnosti posljedica matrica rizika za planiranje putovanja matrica rizika za vođenje navigacije	upravljanje prepoznatim rizicima
MODELIRANJE procjena rizika navigacijskih pogrešaka u definiranom okruženju	dijagrami toka temeljem dobivenih rezultata u funkciji utvrđenih utjecajnih čimbenika	uspješnost izvođenja vježbe sa i bez korištenja predloženih modela potvrda uspješnosti interakcija dionika petlja instruktor-časnika-učenik unaprjeđenje nastavnih procesa prijedlozi temeljem istraživanja, znanstveni doprinosi i primjena rezultata istraživanja
IZRADA izrada modela planiranja putovanja i vođenja navigacije u ograničeno plovnim područjima	izrada simulatorske vježbe temeljem predloženih modela planiranja putovanja i vođenja navigacije korištenjem NIS u OPP validacija vjerodostojnosti simulacijskih vježbi strukturirani intervjui verifikacija modela	validacija i verifikacija modela
SIMULACIJA I VREDNOVANJE validacija i verifikacija modela		

NIS - navigacijski informacijski sustavi; OPP - ograničeno plovna područja; PSF - čimbenici oblikovanja izvedbe; SLI - indeks vjerojatnosti uspješnosti

Slika 25. Metodološki okvir provedenog istraživanja: koraci, metode i postupci, i ishodi.

Izvor: Autor.

Obradi problematike doktorskog rada prethodilo je preliminarno istraživanje dostupnih znanstvenih, stručnih i zakonodavnih izvora i analize dosadašnjih postignuća, uključujući spoznaje temeljem vlastitih istraživanja. Anketnim upitnikom i ispitivanjem relevantnih dionika identificirana su mišljenja i stavovi o navigacijskim informacijskim sustavima, rukovanju, podacima, značajkama procesa planiranja i vođenja navigacije u ograničeno plovnim područjima, i čimbenicima koji utječu na sigurnost plovidbe.

Definiranje profila dionika te ispitivanje poznavanja rada sa sustavom i odnosnim zadacima predstavljalo je popratne objekte istraživanja. Ispitivanje je uključivalo i razmatranja o novim navigacijskim tehnologijama koje otvaraju prostor za moguća unaprjeđenja sustava i rukovanja tim sustavima. Potonje podrazumijeva ispravno, neometano i sigurno vođenje pomorske navigacije, dok unaprjeđenje podrazumijeva razvoj, uz mogućnost implementacije rezultata. Na ovaj je način između ostalog utvrđena učestalost susretanja s identificiranim problemima prilikom korištenja ECDIS sustava.

Jedan od početnih koraka istraživanja podrazumijevao je analize i obrade pomorskih nezgoda i zaustavljanja brodova od strane inspekcija gdje je ECDIS sustav imao nepovoljan utjecaj te je doprinio nezgodi ili zaustavljanju.

Sa ciljem identifikacije i kategorizacije utjecajnih čimbenika na sigurnost plovidbe ograničeno plovnim područjima i kvantifikacijom njihovog utjecaja, angažirani su stručnjaci iz područja (iskusni zapovjednici). U istraživanju su sudjelovali putem strukturiranih intervjua u analizi postupaka unutar procesa planiranja putovanja i vođenja navigacije. Primjenom metoda indeksa vjerojatnosti uspjeha te kombinacije Bayesovih mreža i metode indeksa vjerojatnosti uspjeha, definirane su ključne radnje pri planiranju putovanja i vođenju navigacije, odnosno pripadajuća kategorizacija utjecajnih čimbenika, kao jedan od pomoćnih čimbenika. Navedenim su metodama također, uz utemeljenu matricu rizika za radnje planiranja putovanja i vođenja navigacije procijenjeni rizici ljudske pogreške prilikom korištenja navigacijskih informacijskih sustava u plovidbi ograničeno plovnim područjima.

U skladu i nastavno na definirane čimbenike, radnje, postupke i rizike izrađeni su modeli planiranja putovanja i vođenja navigacije u ograničeno plovnim područjima korištenjem navigacijskih informacijskih sustava. Modeli su verificirani temeljem provedene, prethodno validirane simulatorske vježbe plovidbe ograničeno plovnim područjima. U simuliranom okolišu sudjelovali su iskusni pomorci (profil ispitanika anketnog upitnika i profil stručnjaka pri definiranju osnovnih radnji) te studenti nautičkog smjera, kao jedna od definiranih ciljnih skupina ispitanika.

3.2. Znanstvene metode

3.2.1. Opće metode

Prilikom pregleda znanstvenih, stručnih i službenih izvora, korištene su metode analize i sinteze, indukcije i dedukcije, metoda klasifikacije, metoda deskripcije i metoda kompilacije.

Na ovaj su način identificirani preliminarni utjecajni čimbenici na pojavnost rizika od pomorskih nezgoda prilikom vođenja navigacije ograničeno plovnim područjima te su uočeni istraživački jazevi u pojedinim segmentima. U obradi odgovora anketnog upitnika primijenjeni su postupci metoda analize i sinteze, indukcije i dedukcije te deskripcije. Metoda kompilacije, metode analize i sinteze, metoda klasifikacije i statističke metode korištene su uz metodu analize i klasifikacija ljudskih faktora u pomorstvu i metodu 4M preokrenute piramide prilikom identifikacije čimbenika koji utječu na pojavnost nezgoda vezanih uz ECDIS sustav i nedostatke i zaustavljanja brodova. Rezultati dobiveni primjenom metoda indeksa vjerojatnosti uspjeha, kombinacije Bayesovih mreža i metode indeksa vjerojatnosti uspjeha i anketnog upitnika sintetizirani su te je izrađen model planiranja putovanja i vođenja navigacije ograničeno plovnim područjima.

3.2.2. Anketno istraživanje

Podaci temeljem anketnog upitnika su za potrebe ovog istraživanja bili neophodni kako bi se potvrdili prepoznati problemi, ali i kako bi se uočili novi, neidentificirani utjecajni čimbenici na sigurnost navigacije u definiranim uvjetima. Anketni upitnik ne predstavlja samo postavljanje pitanja i traženje odgovora, već je, prije svega, namijenjen postavljanju točno definiranih pitanja određeno profilu ispitanika, na unaprijed isplaniran, svrhovit način. Upitnik je pripremljen temeljem prethodnih istraživanja i osobnog iskustva te neformalnih razgovora s aktivnim časnicima navigacijske straže i studentima nautike. Namijenjen je dionicima pomorsko plovidbenog pothvata, odnosno ciljanoj, iskustvenoj skupini, upoznatoj s prednostima i mogućim nedostacima sustava. Upitniku su pristupili časnici navigacijske straže, zapovjednici i ostali vezani dionici (proizvođači opreme, inspektori sigurnosti plovidbe, itd.).

Tijekom pripreme anketnog upitnika, s ciljem jamčenja valjanosti i mjerljivosti, izrađena je pilot anketa, distribuirana iskusnim časnicima koji su dali svoje komentare i mišljenja na temelju kojih je anketni upitnik validiran i u određenoj mjeri modificiran. Stručnost ispitanika korištena je kao alat za provjeru valjanosti anketnih pitanja.

Pitanja se po tipu mogu podijeliti u tri osnovne grupe: pitanja otvorenog tipa, pitanja zatvorenog tipa i kombinirana. Anketni upitnik sastoji se od nekoliko međusobno povezanih dijelova (šest cjelina s ukupno 51 pitanjem – Prilog 1.); *i*) Uvodna (demografska) pitanja definiranja profila i grupa ispitanika; *ii*) Navigacijski informacijski sustavi i podaci kao točke interakcije, niz od 19 pitanja zatvorenog tipa, *iii*) Navigacija pomoću ECDIS sustava, niz od pet pitanja zatvorenog tipa s naglaskom na vizualne preferencije i konfiguraciju prikaza, *iv*) Plovidba u ograničeno plovnim područjima, s naglaskom na izvršenje komunikacije zatvorene petlje te kartografske podatke visina i dubina, *v*) Sigurnosni parametri dubine pri ograničeno plovnim područjima, uz dodatne utjecajne čimbenike, i *vi*) Buduće smjernice razvoja pomorske navigacije u kontekstu navigacijskih informacijskih sustava, s naglaskom na ključne trendove u pomorskoj navigaciji.

Anketa je bila mrežno dostupna u razdoblju od 7. prosinca 2021. do 6. prosinca 2022., pri čemu je za distribuciju upitnika primijenjena metoda uzorkovanja virtualne snježne grude (engl. *Virtual Snowball Sampling*), iz razloga što su pomorci specifična skupina te ih je teško pronaći i anketirati na licu mjesta [13, 74, 144]. Osim navedenog, kontaktirano je nekoliko pomorskih agencija kako bi distribuirali anketni upitnik te je dodatno korištena društvena mreža LinkedIn. S ciljem izbjegavanja pristranosti, anketni upitnik je bio anonimn i povjerljiv. Autor nije nudio nikakve novčane poticaje jer bi to moglo rezultirati netočnim i ubrzanim ispunjanjem upitnika od strane pojedinaca. Za ispitanike koji nisu bili u mogućnosti ispuniti anketu mrežno, upitnik je tiskan u papirnatom obliku i dostavljan na brodove. Anketnom upitniku pristupilo je 203 ispitanika.

3.2.3. Metode analize i klasifikacija ljudskih faktora u pomorstvu i 4M preokrenuta piramida

Analizom pomorskih nezgoda [58, 70, 72, 162, 165, 177, 218] izdvojeni su izvještaji u kojima uzročnici nezgode uključuju korištenje ECDIS sustava. Budući da se smatra da je ljudski faktor uzročnik oko 80 % pomorskih nezgoda, a interakcija časnika plovidbene straže s ECDIS sustavom (sučelje čovjek-stroj) nastupa kao jedan od objekata istraživanja, izdvojene nezgode analizirane su uz pomoć metoda sustava analiza i klasifikacija ljudskih faktora u pomorstvu (engl. *Human Factors Analysis and Classification System – Maritime – HFACS-MA*) [3, 41, 42, 135, 194] i 4M preokrenute piramide (engl. *4M Overturned Pyramid – 4MOP*) [22, 172, 173, 174]. HFACS-MA nastupa kao adaptirana HFACS metoda, uz neke odgovarajuće i potrebne izmjene, poput uključivanja odgovarajućeg sadržaja IMO smjernica (za istraživanje ljudskih faktora u pomorskim nezgodama i incidentima) u prvu razinu (nesigurne radnje) i drugu razinu (preduvjeti) HFACS metode te je također uključena dodatna razina (vanjski čimbenici). Na razini nesigurnih radnji, uključuje aspekte Reasonovog GEMS¹²-a za razlikovanje pogrešaka (engl. *errors*) od kršenja pravila (engl. *violations*). Na razini preduvjeta pridržava se modela SHEL¹³ kao srži za razlikovanje vrsta uzročnih čimbenika. Nadalje, u obzir su uzeti a potom i kategorizirani čimbenici izvan djelokruga upravljanja [41, 42, 83]. Prikaz HFACS-MA metode dat je na Slici 26.

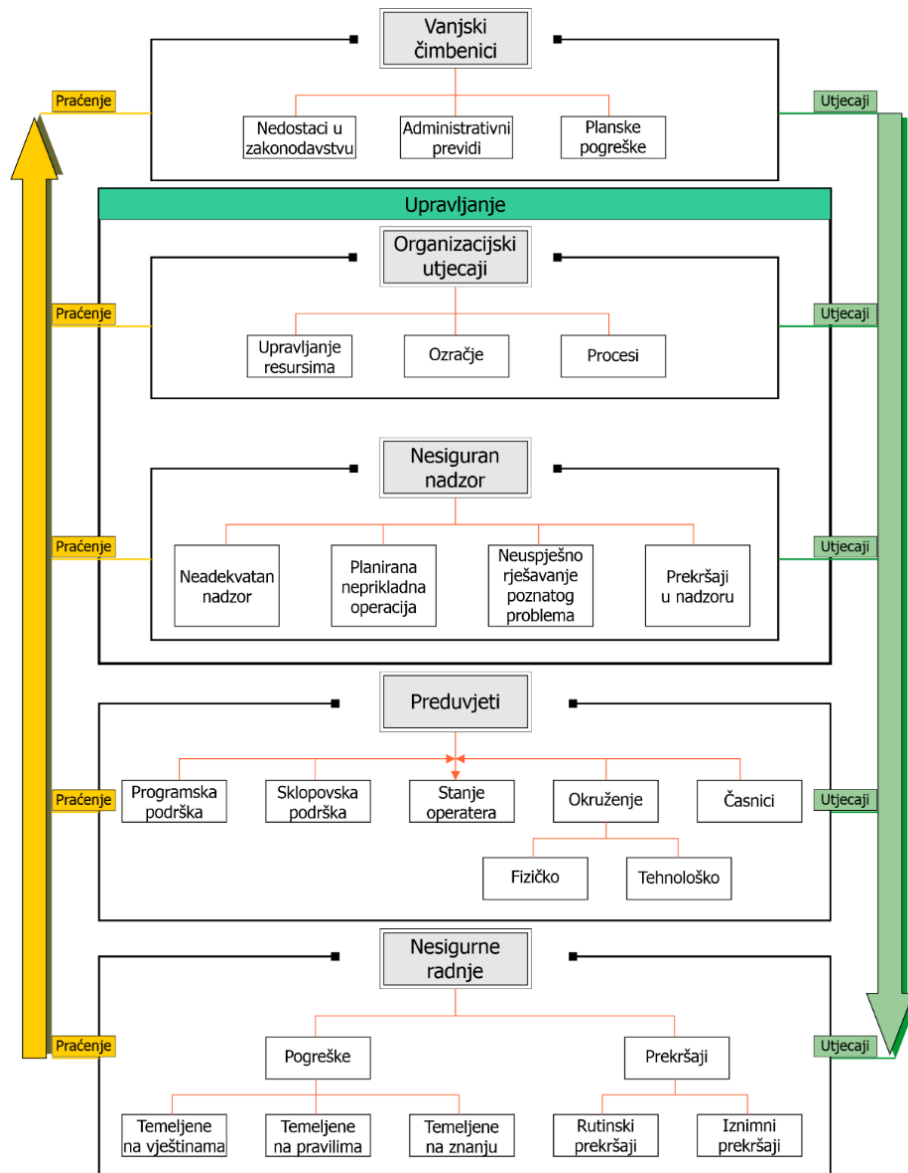
4MOP metoda sastoji se od četiri komponente [172]:

- Čovjek (engl. *Man*) – ljudski utjecajni čimbenici na izvršenje određenih radnji, postupaka i zadataka,
- Oprema (engl. *Machine*) – alati na raspolaganju uključujući tehnologiju koja pomaže časniku u izvršenju određenog zadataka,
- Okruženje (engl. *Media*) – okolišni čimbenici koji utječu na operatere i sustave, i

¹² GEMS – Generic Error Modelling System.

¹³ SHEL – Software, Hardware, Environment, Lifeware.

- Upravljanje (engl. *Management*) – upravljački čimbenici koji utječu na operatore i sustave.

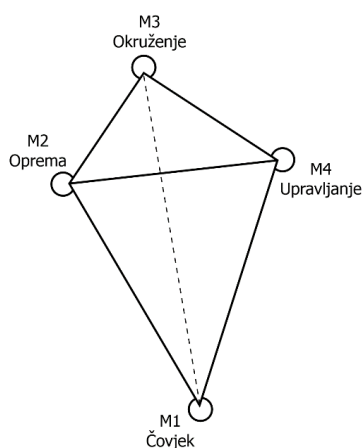


Slika 26. HFACS-MA metoda.

Izvor: Autor, prilagođeno temeljem [42].

Ove se četiri komponente raspoređuju na trostranu obrnutu piramidu te se određuju njihove interakcije (Slika 27.). Model se koristi za određivanje intenziteta na nezgode uzročnih čimbenika i njihovog međudodnosa korištenjem relevantnih podataka. Prvi korak obično se sastoji od definiranja broja svih uzročnih čimbenika, nakon čega se isti odvajaju na temelju definicije svakog kuta 4-MOP modela. Sljedeći korak je izračun postotaka ukupnog sudjelovanja čimbenika u nezgodi pod svakom od 4M grupa (čovjek, uređaji, okruženje i upravljanje).

Na taj se način može vidjeti koji je postotak uzročnih čimbenika dominantan u pojedinim slučajevima nezgoda. U posljednjem koraku analiziraju se odnosi među grupama (engl. *Line Relation Analysis* – LRA), uz ispitivanje nezgoda sa svim čimbenicima koje sadrže, sa ciljem otkrivanja veza među različitim uzročnim čimbenicima [219].



Slika 27. 4-MOP model.

Izvor: Izradio autor i prilagodio temeljem [172].

Integracijom uzročnih kategorija HFACS-MA u model 4-MOP omogućena je standardizirana klasifikacija utjecajnih čimbenika na pojavnost pomorskih nezgoda [84] (Tablica 9.).

Tablica 9. Općenita klasifikacija uzročnih čimbenika nezgoda.

4-MOP kategorija	HFACS-MA uzročni čimbenici	4-MOP oznaka
Čovjek	Stanje operatora Komunikacija (posada) Pogreške temeljene na vještini Pogreške temeljene na pravilu Pogreške temeljene na znanju Rutinski prekršaji Izuzetni prekršaji	M1-01 M1-02 M1-03 M1-04 M1-05 M1-06 M1-07
Oprema	Računalni program Sklopovlje	M2-01 M2-02
Okruženje	Greške u dizajnu Fizičko okruženje Tehnološko okruženje	M3-01 M3-02 M3-03

Upravljanje	Organizacijsko ozračje	M4-01
	Organizacijski procesi	M4-02
	Neadekvatan nadzor	M4-03
	Prekršaji nadzora	M4-04
	Neuspjeh u ispravljanju poznatog problema	M4-05
	Planirana neprikladna operacija	M4-06
	Upravljanje resursima	M4-07
	Nedostatci u zakonodavstvu	M4-08
	Administrativni propusti	M4-09

Izvor: [42, 84, 172].

Osim analiza izvještaja pomorskih nezgoda, nedostatke prilikom korištenja (interakcija čovjek-stroj) te same tehničke nedostatke navigacijskih informacijskih sustava bilo je moguće utvrditi analizom inspekcijских nadzora stranih brodova. S obzirom na dostupnost podataka, istražene su baze Australske pomorske sigurnosne agencije (engl. *Australian Maritime Safety Authority* – AMSA), inspekcijского nadzora stranih brodova pod Tokijskim memorandumom o razumijevanju (engl. *Tokyo Memorandum of Understanding* – Tokyo MoU) i inspekcijского nadzora stranih brodova pod Pariškim memorandumom o razumijevanju (engl. *Paris Memorandum of Understanding* – Paris MoU). Nakon analize, prikazani su nedostatci i zaustavljanja brodova vezana za neadekvatno korištenje i tehničke probleme sustava. S obzirom da su u službenim statistikama prikazani samo opći nedostatci, bilo je potrebno istražiti dodatne izvještaje u kojima bi se takvi nedostatci dodatno kategorizirali. Stoga su elaborirani izvještaji koncentriranih inspekcijских kampanja (engl. *Concentrated Inspection Campaign* – CIC) o sigurnosti plovidbe. Na taj su način nedostatci i posljedična zaustavljanja brodova kategorizirani te obrađeni i prikazani.

3.2.4. Binarna logistička regresija

Kako zbog relativno malog broja analiziranih nezgoda nije bilo praktično primijeniti linearnu regresijsku analizu za određivanje utjecaja pojedinih čimbenika na pojavnost nezgoda i postavljanje prediktivnog modela, korištena je binarna logistička regresija; inačica linearne regresije u kojoj je zavisna varijabla isključivo dihotomna (može poprimiti vrijednosti 0 ili 1). Binarne vrijednosti označavaju pojavu nekog događaja ili prisutnost nekog čimbenika te se ne pretpostavlja linearna zavisnost između zavisne i nezavisnih varijabli. U ovom slučaju, jedan od zadataka istraživanja bio je identificirati čimbenike koji mogu utjecati na pojavnost ljudske greške prilikom korištenja ECDIS sustava.

Binarna logistička regresija predstavlja statistički model kojim se procjenjuje vjerojatnost (p) nastupanja određenog događaja pretpostavljajući da na njega utječe jedna ili više nezavisnih varijabli. Prilika, ili vjerojatnost da će se neki određeni događaj dogoditi može se izraziti uz pomoć količnika vjerojatnosti da će se događaj dogoditi (p), odnosno da neće ($1-p$). Prema tome, logaritam prilike (engl. *log odds*) prikazuje se jednadžbom:

$$\log odds = \ln \frac{p}{1-p} \quad (4)$$

Model binarne logističke regresije može se prikazati sljedećom jednačbom:

$$p = \frac{1}{(1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x})} \quad (5)$$

Pomorskim nezgodama s ECDIS sustavom kao primarnim navigacijskim sredstvom dodijeljen je ponder 1, dok je u suprotnom slučaju nezgodama dodijeljen ponder 0. Zavisna varijabla (y) bila je primarno navigacijsko sredstvo (ECDIS ili papirne karte) dok su nezavisne varijable (x) bile utjecajni čimbenici prema HFACS-MA i 4MOP metodi.

3.2.5. Metoda indeksa vjerojatnosti uspjeha i kombinacija Bayesovih mreža i metode indeksa vjerojatnosti uspjeha

Metoda indeksa vjerojatnosti uspjeha (engl. *Success Likelihood Index Method* – SLIM) koristi se prilikom analiza ljudske pouzdanosti (engl. *Human Reliability Analysis* – HRA) [65], i služi za procjenu vjerojatnosti nastanka ljudske pogreške tijekom radnji koje je potrebno napraviti da bi se izvršio određeni zadatak. SLIM je pristup analitičkog odlučivanja za HRA koji koristi stručnu prosudbu za kvantificiranje čimbenika oblikovanja izvedbe (engl. *Performance Shape Factors* – PSF); odnosno čimbenika koji se tiču pojedinaca, okruženja ili zadatka, a koji mogu pozitivno ili negativno utjecati na izvedbu određene radnje [187]. Ovi se, odabrani čimbenici nadalje koriste za dobivanje indeksa vjerojatnosti uspjeha (engl. *Success Likelihood Index* – SLI), kako bi se konačno procijenila vjerojatnost ljudske pogreške (engl. *Human Error Probability* – HEP). Na ovaj se način mogu odrediti postupci najvećeg rizika unutar pojedine radnje, što su u ovom slučaju i) planiranje putovanja i ii) vođenje broda po planiranom putu unutar ograničeno plovnog područja korištenjem informacijskih navigacijskih sustava. Temeljem ovakve procjene, poduzimaju se mjere za smanjenje vjerojatnosti pojave pogrešaka i dovodi do poboljšanja ukupnih razina sigurnosti.

S obzirom na kompleksnost zadanih radnji, pripremljeni su upitnici (strukturirani intervjui) u kojima su definirani ključni postupci. PSF čimbenike koje je potrebno uzeti u obzir procjenjuju i odabiru stručnjaci, i to su čimbenici koji se smatraju najznačajnijima u odnosu na predmetni kontekst. Bitno je napomenuti da se na kraju prihvaćaju samo najutjecajnije čimbenici na izvršenje postupka u definiranim uvjetima. Stručnjaci ponderiraju i ocjenjuju vrijednost pojedinog PSF čimbenika na svaki postupak (podradnju) zasebno (ocjene od 0 – nema utjecaja – do 100 – značajan utjecaj). Ocjene PSF u ovom koraku odražavaju njihov relativni učinak na uspješnost izvršenja ukupne radnje. Indeks vjerojatnosti uspješnog izvršenja postupka je produkt [65, 138]:

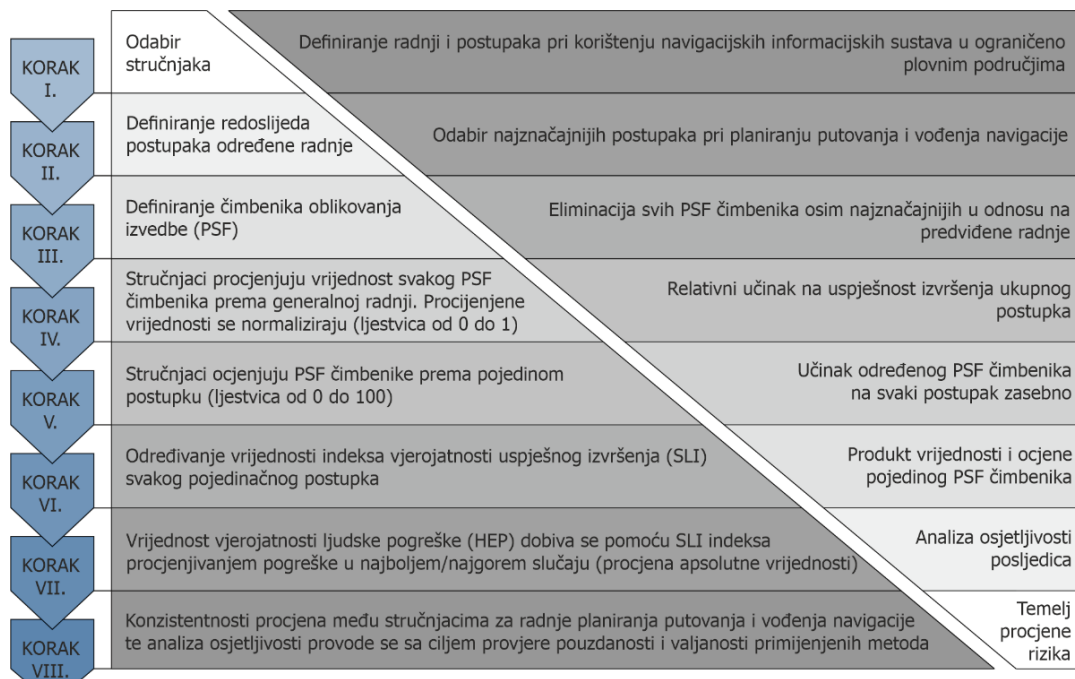
$$SLI = \left\{ \sum_{i=1}^n ponder_i \times ocjena_i \mid i = \#PSF \right\} \quad (6)$$

Budući da je jedan od ciljeva doktorskog rada procjena rizika pogreške časnika navigacijske straže u zadanim uvjetima, potrebno je procijeniti vjerojatnost nastanka ljudske pogreške [65, 66, 138, 139]:

$$\log PoS = aSLI + b \quad (7)$$

Kao dodatna provjera valjanosti metode procjenjivanja ljudske pogreške prilikom izvršavanja ključnih postupaka pri definiranim radnjama, izračunava se konzistentnost procjena među vrednovateljima (engl. *inter-judge consistency*). Njome se određuje u kolikoj se mjeri stručnjaci slažu u svojim procjenama, odnosno koliko su njihove procjene vjerojatnosti ljudske pogreške slične. Dodatno se radi i analiza osjetljivosti s ciljem provjere pouzdanosti i valjanosti primijenjene metode. U tu svrhu korištena je dvosmjerna analiza varijance (engl. *two way ANOVA*) za usporedbu srednjih vrijednosti dviju ili više skupina. ANOVA je metoda kojom se uspoređuju aritmetičke sredine više uzoraka te se na temelju F-testa donosi zaključak o (ne)postojanju značajnih razlika između sredina više populacija. Na taj se način analizira utjecaj jedne ili više kategorijalnih (nezavisnih) varijabli na jednu numeričku kontinuiranu (zavisnu) varijablu [7].

Tijek SLIM metode prikazan je na Slici 28. Jedan od nedostataka SLIM metode procjenjivanje je vjerojatnosti ljudske pogreške svakog postupka zasebno, pri čemu se zanemaruju ovisnosti između čimbenika prilikom izvođenja postupaka (na primjer, zbog zajedničkog PSF čimbenika), što može dovesti do netočne procjene ukupne vjerojatnosti ljudske pogreške.

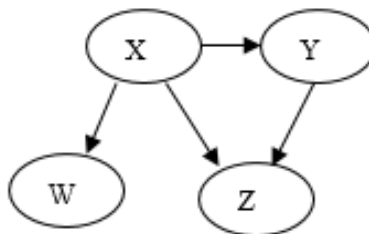


Slika 28. Tijek korištene SLIM metode.

Izvor: Autor, razrađeno temeljem [138, 140]

Drugim riječima, SLIM metoda može sadržavati veliku količinu nesigurnosti (engl. *uncertainty*) uključenu u procjenu pondera i ocjena PSF čimbenika. Da bi se ovaj nedostatak umanjio, moguće je koristiti kombinaciju metode Bayesovih mreža (engl. *Bayesian Network* – BN) i indeksa vjerojatnosti uspjeha (BN-SLIM metoda), gdje se podaci dobiveni uz pomoć SLIM metode modeliraju/procjenjuju unutar Bayesove mreže.

Bayesove mreže pripadaju porodici probabilističkih grafičkih modela te se također nazivaju mrežama vjerovanja (engl. *belief networks*) ili kauzalnim mrežama. Njima se može poboljšati izvedba i točnost metoda procjenjivanja ljudske pouzdanosti (engl. *Human Reliability Analysis* – HRA) [1, 19] i općenito, poboljšati uspješnost konvencionalne SLIM metode. Vjerojatnosni okvir BN metode omogućuje smanjenje nesigurnosti uz pomoć *a priori* distribucija vjerojatnosti. Bayesove mreže sastoje se od kvalitativnog i kvantitativnog dijela. Kvalitativni dio usmjereni je aciklički graf (ne sadržava ciklus) sastavljen od čimbenika, ili čvorova¹⁴ (engl. *node*) i smjernica (engl. *arcs*) koje ih povezuju (Slika 29.). Čvorovi prikazuju varijable različitih stanja, dok smjernice predstavljaju uzročne veze (probabilističke ovisnosti) među njima. Budući da su čimbenici varijable, njihove vrijednosti se mogu mijenjati te se na taj način mijenja i unaprjeđuje sama izlazna vrijednost modela. Čimbenici modela mogu biti roditelji (engl. *parent node*) ili potomci, odnosno djeca (engl. *child node*) [87]. Tablice uvjetne vjerojatnosti (engl. *Conditional Probability Tables* – CPT) kvantitativni su dio metode, kojima se kvantificira uvjetna ovisnost čimbenika potomka s obzirom na sve moguće kombinacije stanja čimbenika njegovih roditelja [17].



Slika 29. Usmjereni aciklički graf.

Izvor: [87].

Neka od osnovnih pravila vjerojatnosti su [222]:

- Neki događaj će se sigurno dogoditi (maksimalna vrijednost vjerojatnosti); $p = 1$
- Neki događaj se sigurno neće dogoditi (minimalna vrijednost vjerojatnosti); $p = 0$
- Sve ostale moguće vjerojatnosti nalaze se u području između maksimalne ($p = 1$) i minimalne vrijednosti ($p = 0$).

$$0 \leq p(A) \leq 1 \quad (8)$$

¹⁴ U doktorskom radu koristi se riječ čimbenik za englesku riječ *node* prema [82]

- Vjerojatnost da će se između N jednako vjerojatnih i međusobno nezavisnih događaja dogoditi jedan određen je: $p = 1/N$ (vjerojatnost *a priori* – broj povoljnih događaja podijeljen s brojem mogućih događaja).
- Pravilo aditivnosti (vjerojatnost unije događaja) – vjerojatnost da će se dogoditi bilo koji od nekoliko međusobno nezavisnih događaja (A ili B) je zbroj vjerojatnosti svakog pojedinačnog događaja:

- Vjerojatnost unije međusobno isključivih događaja:

$$p(A \cup B) = p(A) + p(B) \quad (9)$$

- Vjerojatnost unije međusobno neisključivih događaja:

$$p(A \cup B) = p(A) + p(B) - p(A \cap B) \quad (10)$$

- Pravilo multiplikativnosti (vjerojatnost presjeka događaja; zajednička vjerojatnost) – vjerojatnost kako će se dogoditi dva ili više međusobno nezavisna događaja je umnožak vjerojatnosti tih događaja:

$$P(A \cap B) = p(A \cap B) = p(A) \times p(B) \quad (11)$$

- Prema vjerojatnosti komplementarnih (suprotnih) događaja, vrijedi sljedeće:

$$p(A') = 1 - p(A) \quad (12)$$

Prema jednadžbi (12), ako je vjerojatnost nekog događaja 0,10, onda je vjerojatnost kako se on neće dogoditi 0,90. Kvantitativni dio Bayesovih mreža nastupa kao moćan alat za rasuđivanje. U Bayesovom statističkom zaključivanju, vjerojatnost “a priori” je vjerojatnost da će se događaj dogoditi prije nego što se prikupe novi podaci. Vjerojatnost “a posteriori” je revidirana vjerojatnost da će se događaj dogoditi nakon uzimanja u obzir novih podataka. Vjerojatnost “a posteriori” izračunava se ažuriranjem vjerojatnosti “a priori” uz pomoć Bayesovog teorema. Pojednostavljeno, ako događaj A ovisi o događaju B, vjerojatnost da se događaj A dogodi, pod uvjetom da se događaj B dogodio jednaka je:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) \times P(A)}{P(B)} \quad (13)$$

Za razvoj BN SLIM metode, prvi je korak izgradnja strukture BN mreže te određivanje čimbenika i njihovih uvjetnih međuodnosa. Da bi se procijenio rizik planiranja putovanja i plovidbe ograničeno plovnom područjima bilo je potrebno identificirati radnje, PSF čimbenike, ponderirati ih i ocijeniti, izračunati SLI indeks, izračunati HEP vjerojatnost, napraviti analizu ozbiljnosti posljedica, i konačno, procijeniti rizike. Za procjenu rizika korištena je matrica rizika (Tablica 10.) [4], pri čemu crveni kvadratići prikazuju veliki rizik (neprihvatljiv), narančasti prikazuju srednju razinu rizika (treba ih umanjiti da bi bili podnošljivi), i konačno zeleni koji prikazuju najmanji, prihvatljiv i podnošljiv rizik (Tablica 10.) [4,61].

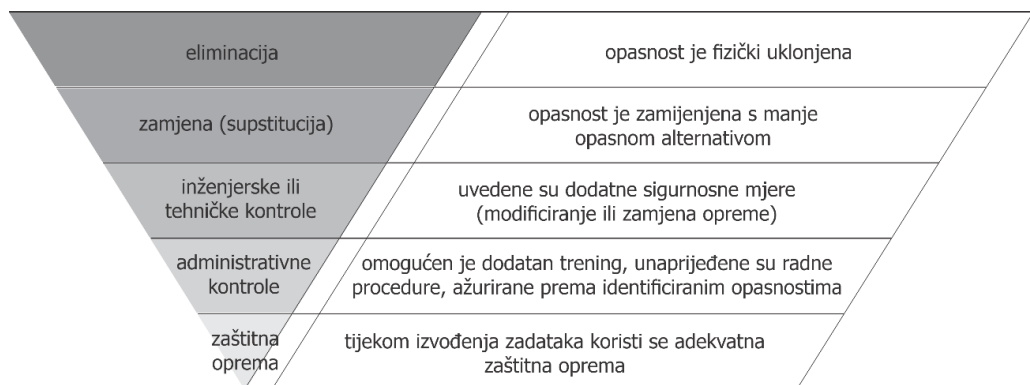
Tablica 10. Matrica rizika.

Kategorija	HEP	Ozbiljnost posljedica
------------	-----	-----------------------

		Kritična (1)	Visoka (2)	Srednja (3)	Mala (4)	Neznatna (5)
A	1,00E+00 do 1,00E-01	1A	2A	3A	4A	5A
B	1,00E-01 do 1,00E-02	1B	2B	3B	4B	5B
C	1,00E-02 do 1,00E-03	1C	2C	3C	4C	5C
D	1,00E-03 do 1,00E-04	1D	2D	3D	4D	5D

Izvor: Autor prema [4].

Ako se procijenjeni rizik smatra prihvatljivim nije potrebno uvesti dodatne radnje njegovog umanjjenja, već je dovoljno nakon završenog zadatka ispuniti obrazac pregleda procjene rizika (engl. *Risk Assessment Review*). Njime se utvrđuje pravilna procjena rizika, odnosno nepostojanje nepredviđenih okolnosti tijekom izvođenja radnje, koje bi svojom pojavom mogle povećati rizik. Ako je procijenjeni rizik srednje razine, potrebno ga je umanjiti te je njegovo prihvaćanje, odnosno nastavak izvođenja zadatka bez uvođenja dodatnih kontrola prihvatljivo samo u slučaju da su sve moguće kontrole (ako se gleda s ekonomskog i tehničkog aspekta) upotrijebljene i ništa se više ne može učiniti. Ipak, ako je moguće uvesti dodatne mjere (kontrole) umanjjenja rizika, to je potrebno učiniti kako bi rizik bio onoliko nizak koliko je razumno izvedivo (engl. *as low as reasonably practicable* – ALARP). Mjere kojima se umanjuju, odnosno kontroliraju rizici mogu se podijeliti u pet općeprihvaćenih razina, odnosno hijerarhija kontrola [80, 85] (Slika 30.). Najmanje je učinkovita kontrola korištenja *adekvatne zaštitne ili korektivne opreme*, dok je najučinkovitija eliminacija, odnosno *fizičko uklanjanje opasnosti*. S obzirom na predmetne radnje doktorskog rada, eliminacija se najčešće ne može primijeniti (eventualno u slučaju alternativnog plovnog puta do mjesta odredišta koji ne uključuje ograničeno plovna područja). Kontrola rizika *zamjenom* također se ne može primijeniti jer je putovanje unaprijed određeno. *Inženjerske ili tehničke kontrole* također najčešće nisu primjenjive, budući da bi za njihovu primjenu trebalo uvesti izmjene, na primjer navigacijskih informacijskih sustava koji se koriste, ili dodatno jaružati ili proširiti plovni put u ograničeno plovnom području.



Slika 30. Hijerarhije kontrola.

Izvor: Autor, prilagođeno temeljem [80, 85, 169].

Najučinkovitije i najekonomičnije mjere koje se mogu primijeniti u ovom slučaju su administrativne kontrole. Prilagođenim, dodatnom edukacijom navigacijskih časnika te uvođenjem dodatnih procedura izrađenih prema identificiranim opasnostima moguće je učinkovito umanjiti postojeće rizike. Ako se procijenjeni rizik smatra neprihvatljivim, potrebno je zaustaviti izvođenje zadatka dok se uz pomoć kontrola ne smanji u podnošljivu ili prihvatljivu razinu.

3.3. Razvoj modela

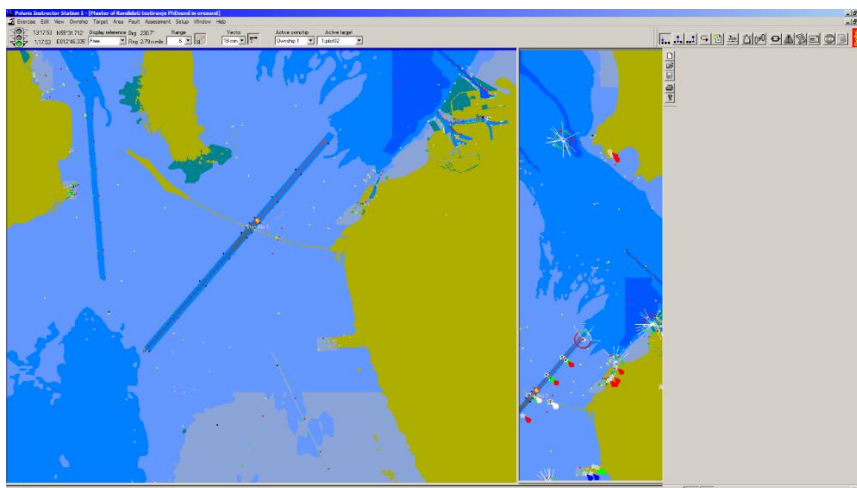
Analizom rezultata metoda indeksa vjerojatnosti uspjeha i metode kombinacije Bayesovih mreža i indeksa vjerojatnosti uspjeha definirane su ključne radnje pri planiranju putovanja i vođenju navigacije, kao i ključni čimbenici koji utječu na uspješnost njihovog izvođenja. Sintezom analiziranih navedenih i ostalih rezultata izrađeni su modeli (1) planiranja putovanja i (2) vođenja pomorske navigacije u zadanim uvjetima – u ograničeno plovnim područjima korištenjem informacijskih navigacijskih sustava. Budući da je uvidom u hijerarhiju kontrola podnošljivih rizika dokazano kako je takve rizike za potrebe ovog istraživanja najučinkovitije umanjiti administrativnim kontrolama, unaprijeđenje sigurnosti planiranja putovanja i vođenja navigacije ograničeno plovnim područjem moguće je ostvariti prilagođenom edukacijom temeljenom na korištenju predloženih modela. Modeli su prikazani dijagramima toka temeljem dobivenih rezultata u funkciji utvrđenih utjecajnih čimbenika i ostalih zaključnih elemenata te uključuju radnje kojima se mogu umanjiti rizici pogreške navigacijskog časnika.

3.4. Verifikacija modela i validacija vjerodostojnosti vježbi

Da bi se modeli provjerili, odnosno verificirali, korištena je metoda simuliranja te je uz pomoć rezultata istraživanja izrađena vježba na navigacijskom simulatoru za časnike navigacijske straže raznih profila te za studente pomorskog učilišta. Prije ovog koraka, vježba je validirana na simulatorima Pomorskog fakulteta u Dubrovniku i Pomorskog fakulteta u Rijeci sa ciljem potvrde vjerodostojnosti vježbe, čime se potvrdilo sljedeće:

- Da će se brod nasukati ako je dubina mora jednaka ili manja od gaza broda,
- Da će se gaz broda povećati zbog dinamičkog odziva na valovima (te posljedično nasukati),
- Da će doći do dodatnog zagažaja zbog brzine broda i male dubine ispod kobilice.

Na simulatoru Pomorskog fakulteta u Dubrovniku (*Polaris ship bridge simulator* s dinamičkim pozicioniranjem, *Kongsberg integrated simulator system*) za ograničeno plovno područje odabran je plovni kanal koji prolazi ispod međunarodnog mosta Øresund koji spaja obale Danske i Švedske. Za model broda odabran je *M/B Fantasy* deplasmana 33863,4 t, najveće brzine 22,3 čv, dužine 260,7 m, širine 31,5 m, pramčanog gaza 7,75 m, krmenog gaza 7,75 m i visine broda iznad mora 46,0 m.



Slika 31. Prikaz vježbe na navigacijskom simulatoru.

Izvor: [192].

Na simulatoru Pomorskog fakulteta u Rijeci¹⁵ odabrano je područje Baltimore William Preston Lane Jr. Memorial Bay Bridge, sličnih karakteristika, pri čemu je odabran kontejnerski brod deplasmana 86900,0 t, najveće brzine 23,7 čv, dužine 299,0 m, širine 37,1 m te gaza od 13,0 m¹⁶. Usporedbom rezultata simulacije, odnosno testnih plovidbi pri različitim brzinama i visinom valova od jednog metra zaključeno je da vježba odgovara stvarnim okolišnim uvjetima. Nakon ove potvrde, vježba je postavljena u ograničeno plovnom području Øresund u Baltičkom moru (Slika 31.).

Vježba se sastojala od noćne plovidbe jaružanim kanalom ispod mosta u prosječnom trajanju od 30 minuta. Nakon familijarizacije, kandidati su upoznati s prethodno izrađenim i postavljenim planom putovanja, koji su trebali pregledati i ustvrditi slažu li se s njime ili žele nešto izmijeniti. Uručeni su im vremenska prognoza za područje plovidbe i tablica dodatnog zagažaja (izrađena uz pomoć testnih plovidbi). Prilikom vježbe kandidatima je bio dodijeljen kormilar da bi im se olakšalo vođenje broda i omogućilo ručno kormilarenje.

Osim toga, vježbom se željela potvrditi hipoteza o opadanju učinkovitosti ljudskog vida starenjem, što se prvenstveno odražava u raspoznavanju nijansi boja prisutnih na vrstama prikaza zaslona ECDIS sustava. Istraživanje je uključivalo korelaciju među demografskim podacima ispitanika koji su sudjelovali u vježbi (godine starosti) i načinu korištenja zaslona (prikaza) sustava. S tim ciljem vježba je postavljena u noćne sate, te je promatrano koriste li ispitanici noćni ili sumrak prikaz ili dnevni prikaz te smanjeno osvijetljenje.

¹⁵ NTPro 5000, most FMB koji se sastoji od dva ARPA radar uređaja (Bridge Master E, Furuno, Nucleus), dva ECDIS-a (Transas Navisailor 4000), upravljačke stanice, kormilarskog uređaja, AIS-a, GPS-a i VDR-a. Vizualizacija je prikazana pomoću sedam izlaznih kanala u sektoru od 210°. Prikaz vizualizacije od 180° je na cilindričnoj projekciji pomoću 5 projektor (Projection Design). Krmeni pogled u sektoru od 2 x 15° prikazan je pomoću 2 televizora (LG 55").

¹⁶ za razliku od simulatora na Pomorskom fakultetu Sveučilišta u Dubrovniku, simulator Pomorskog fakulteta u Rijeci ne prikazuje visinu iznad mora već visinu oka.

Kandidati su podijeljeni u četiri kontrolne skupine. Prva skupina odnosi se na iskusne pomorce, dok se druga odnosi na studente treće godine prijediplomskog studija. Kod ove dvije skupine vježba se odvijala primjenom predloženog modela. Kod treće i četvrte skupine (iskusni pomorci i studenti) model nije primjenjen tijekom vježbe. Jedan od ciljeva vježbe bio je dokaz o povećanju sigurnosti plovidbe korištenjem predloženih modela, i posredno razvoj interakcije među časnicima i studentima. Tijekom vježbe bilo je moguće sakupiti 10 bodova. Najveći mogući broj bodova određen je uz pomoć upitnika ispunjenog nakon izvođenja vježbe (Prilog 2.). U vježbi je ponuđeno 34 čimbenika koji imaju značajan utjecaj na planiranje putovanja i vođenje navigacije. Važnost ponuđenih čimbenika vrednovana je vrijednostima od jedan do pet te su najvažniji izdvojeni. Zatim je šest iskusnih zapovjednika tijekom četiri sata rasprave saželo najviše ocijenjene čimbenike u deset kategorija. Prema stručnom mišljenju, procijenjen je način bodovanja uspješnosti izvođenja vježbe, odnosno planiranja putovanja i plovidbe korištenim područjem.

Cilj vježbe bio je procijeniti učinkovitost modela u zadanim uvjetima. Kandidati bi dobili po jedan bod ako bi tijekom noćne navigacije postavili noćni zaslon na ECDIS sustavu; provjerili tablicu brodskog čučnja; provjerili visinu broda iznad mora prije samog početka vježbe (zbog prolaza ispod mosta); uzeli u obzir valove iz vremenske prognoze prilikom izračuna UKC u navigaciji; prilikom planiranja putovanja i tijekom navigacije provjeravali dubinomjer, brzinomjer i poziciju uzimajući valove u obzir; ako su prilikom planiranja putovanja uzeli u obzir preporuku prolaska ispod mosta ucrtanu na ENC karti; ako su tijekom navigacije plovili ispod IALA oznake koja označava preporučeno mjesto prolaska ispod mosta; ako su navigaciju obavili metodom ručnog kormilarenja, i konačno, ako su uspješno izvršili vježbu, bez nasukanja.

Nakon poglavlja metodologije slijede rezultati svih definiranih koraka istraživanja i njihova analiza, odnosno izrada temelja za razvoj modela.

4. ANALIZA ULAZNIH PODATAKA ZA IZRADU MODELA

4.1. Rezultati analize pomorskih nezgoda i zaustavljanja brodova s ECDIS sustavom kao uzročnikom

Sigurnost plovidbe predstavlja prioritet u suvremenom pomorskom prometu, dok tehnologija igra sve značajniju ulogu u postizanju tog cilja. S obzirom na navedeno, navigacijski informacijski sustavi postali su neizostavna komponenta u svakodnevnoj plovidbi. Međutim, unatoč svim prednostima, analize pomorskih nezgoda i zaustavljanja brodova ukazuju na (i dalje prisutne) određene rizike povezane s upotrebom ovih sustava.

4.1.1. Pomorske nezgode

Tablica 11. predstavlja popis prikupljenih i izdvojenih pomorskih nezgoda gdje je ECDIS/ECS bio izravni ili neizravni uzročnik te je nezgoda nastala zbog ljudskog faktora, odnosno neadekvatnog rukovanja i korištenja. Prema [58,70,72,162,165,177,218], od 2008. do 2022. godine dogodile su se 32 nezgode gdje je brod bio opremljen s ECDIS ili ECS sustavom kao glavnim ili pomoćnim navigacijskim sustavom.

Tablica 11. Popis pomorskih nezgoda u kojima je ECDIS/ECS sustav bio glavni ili pomoćni navigacijski sustav. Bojama su označena značajna razdoblja vezano uz implementaciju sustava.

Redni broj nezgode	Datum događaja	Ime broda	Vrsta nezgode	Navigacijska oprema
1.	25. 10. 2021.	Chem Alya	Nasukanje	ECDIS
2.	07. 01. 2021.	Ocean Princess	Sudar	ECDIS
3.	28. 03. 2020.	Key Bora	Nasukanje	ECDIS
4.	23. 03. 2020.	Kaami	Nasukanje	ECDIS
5.	08. 05. 2019.	Seatruck Performance	Nasukanje	PNC
6.	19. 04. 2019.	APL Danube	Nasukanje	ECDIS
7.	21. 10. 2018.	Red Falcon	Nasukanje i sudar	PNC
8.	18. 07. 2018.	Priscilla	Nasukanje	ECDIS
9.	09. 07. 2018.	Pazifik	Nasukanje	ECDIS
10.	27. 03. 2018.	Celtica Hav	Nasukanje	PNC
11.	12. 07. 2017.	Kea Trader	Nasukanje	ECDIS
12.	28. 06. 2017.	Freya	Nasukanje	ECDIS
13.	13. 05. 2017.	Universal Durban	Nasukanje	ECDIS
14.	06. 04. 2017.	MV Umm Salal	Nasukanje	ECDIS
15.	09. 02. 2017.	L'Austral	Nasukanje	ECDIS
16.	03. 12. 2016.	Muros	Nasukanje	ECDIS
17.	22. 08. 2016.	CMA CGM Vasco de Gama	Nasukanje	ECDIS
18.	11. 05. 2015.	Hamburg	Nasukanje	PNC
19.	18. 02. 2015.	Lysblink Seaways	Nasukanje	PNC
20.	14. 07. 2014.	Commodore Clipper	Nasukanje	ECDIS
21.	11. 01. 2014.	Rickmers Dubai	Sudar	ECDIS

22.	18. 09. 2013.	Ovit	Nasukanje	ECDIS
23.	01. 08. 2013.	DART	Nasukanje	ECDIS
24.	12. 12. 2012.	Beaumont	Nasukanje	PNC
25.	09. 08. 2011.	CSL Thames	Nasukanje	ECDIS
26.	30. 04. 2010.	Beluga Revolution	Nasukanje	PNC
27.	10. 02. 2010.	Sichem Osprey	Nasukanje	PNC
28.	16. 09. 2009.	Maersk Kendal	Nasukanje	PNC
29.	29. 06. 2008.	Antari	Nasukanje	PNC
30.	12. 05. 2008.	CFL Performer	Nasukanje	ECDIS
31.	31. 01. 2008.	Pride of Canterbury	Nasukanje	PNC
32.	02. 01. 2008.	LT Cortesia	Nasukanje	PNC

Izvor: Autor prema [58,70,72,162,165,177,218].

Kod pomorskih nezgoda koje su pod navigacijskom opremom označene kraticom PNC (engl. *Paper Navigational Charts* – PNC), ECDIS ili ECS nastupao je kao sekundarni navigacijski sustav. Nezgode pod rednim brojevima 1.- 9. dogodile su se nakon završetka prijelaznog razdoblja uvođenja ECDIS sustava, nezgode od 10. - 24. dogodile su se za vrijeme prijelaznog razdoblja, dok su se nezgode pod rednim brojevima 25. - 32. dogodile prije prijelaznog razdoblja uvođenja sustava, no oni su već bili prisutni. Potom je svaka pojedinačna nezgoda klasificirana prema izdvojenim, uzročnim čimbenicima. Uzročni čimbenici analiziranih nezgoda prikazani su u Tablici 12.

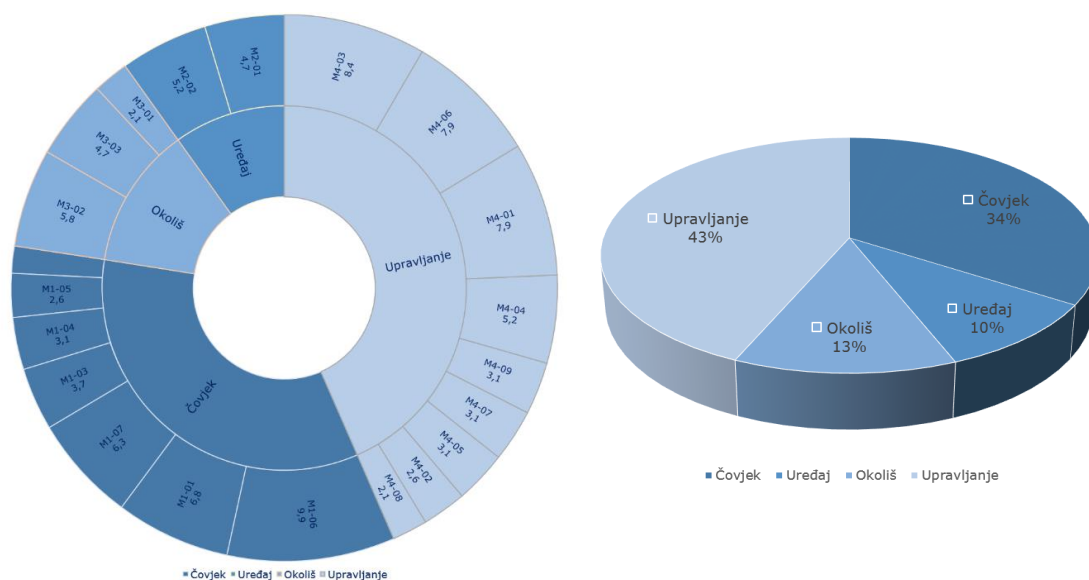
Tablica 12. Uzročni čimbenici analiziranih nezgoda.

4-MOP kategorija	HFACS-MA uzročni čimbenici	4-MOP oznaka	Broj nezgoda*	Udio nezgoda (%)**	Udio čimbenika (%)***
Čovjek (M1)	Stanje operatora	M1-01	13	40,6	6,8
	Komunikacija (posada)	M1-02	3	9,4	1,6
	Pogreške temeljene na vještini	M1-03	7	21,9	3,7
	Pogreške temeljene na pravilu	M1-04	6	18,8	3,1
	Pogreške temeljene na znanju	M1-05	5	15,6	2,6
	Rutinski prekršaji	M1-06	19	59,4	9,9
	Izuzetni prekršaji	M1-07	12	37,5	6,3
Ukupno M1					34,0
Oprema (M2)	Računalni program	M2-01	9	28,1	4,7
	Sklopovlje	M2-02	10	31,3	5,2
Ukupno M2					10,0
Okruženje (M2)	Greške u dizajnu	M3-01	4	12,5	2,1
	Fizičko okruženje	M3-02	11	34,4	5,8
	Tehnološko okruženje	M3-03	9	28,1	4,7
Ukupno M3					12,6
Upravljanje (M4)	Organizacijsko ozračje	M4-01	15	46,9	7,9
	Organizacijski procesi	M4-02	5	15,6	2,6

	Neadekvatan nadzor	M4-03	16	50	8,4
	Prekršaji nadzora	M4-04	10	31,3	5,2
	Neuspjeh u ispravljanju poznatog problema	M4-05	6	18,8	3,1
	Planirana neprikladna operacija	M4-06	15	46,9	7,9
	Upravljanje resursima	M4-07	6	18,8	3,1
	Nedostatci u zakonodavstvu	M4-08	4	12,5	2,1
	Administrativni propusti	M4-09	6	18,8	3,1
Ukupno M4					43,4
Ukupno	-----	-----	191	-----	100

* Broj nezgoda koje uključuju čimbenik; ** Udio nezgoda koje uključuju čimbenik u ukupnom broju nezgoda (%); *** Udio čimbenika u ukupnom broju

Na Slici 32. prikazan je udio pojedinog čimbenika po definiranim kategorijama u ukupnom broju nezgoda, uz udio pojedine kategorije.



Slika 32. Udio pojedinog čimbenika po kategorijama u ukupnom broju nezgoda (lijevo) i udio pojedine kategorije (desno).

Bitno je naglasiti da zbroj postotaka petog stupca u Tablici 12. ne može biti 100 % budući da je veliku većinu nezgoda uzrokovalo više čimbenika. Prema analizi, najčešći uzročnici nezgoda su rutinski prekršaji, neadekvatan nadzor, organizacijsko ozračje, planirana neprikladna operacija i stanje operatera. Kako je opisano u odnosnom metodološkom dijelu, uzročne linije povezuju jedan s drugim kutovima piramide u slučaju postojanja veza među čimbenicima. Napravljena je analiza odnosa između grupa kako bi se razumjelo koliko veze između određenih čimbenika utječu na nastanak nezgode. Svi uzročni čimbenici navedeni su u Tablici 13., čime je identificiran i pružen odnos među kutovima MOP modela.

Tablica 13. Veze između uzročnih čimbenika analiziranih nezgoda.

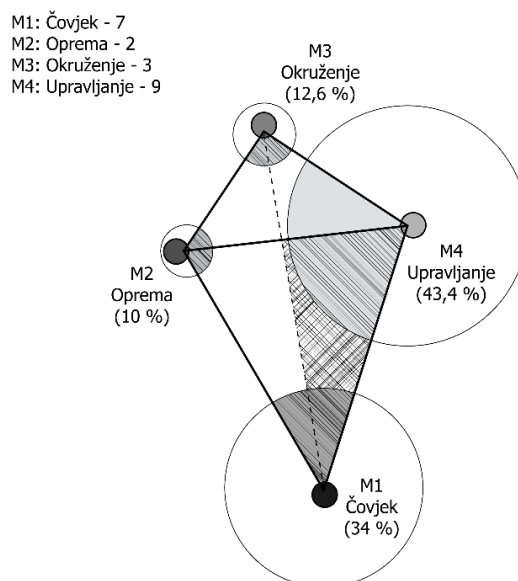
	M1							M2		M3			M4								
Br	1	2	3	4	5	6	7	1	2	1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	x		x			x	x	x					x	x	x	x		x	x		
2				x		x					x				x	x					
3						x				x											x
4	x					x						x							x		
5			x		x				x				x		x	x			x		
6	x					x										x					
7	x					x										x					
8			x		x				x	x											
9					x											x					x
10					x	x				x											
11	x					x							x						x		
12			x			x		x							x	x	x	x			
13				x			x				x	x			x			x		x	x
14	x	x				x							x	x	x						
15							x		x		x					x	x				
16						x					x		x	x		x					
17							x	x	x				x		x			x			
18	x							x					x		x		x	x			
19	x			x			x						x		x		x	x			
20						x			x		x		x				x				
21	x											x	x					x			x
22								x	x											x	x
23	x					x	x					x	x		x			x			
24			x		x		x			x	x	x							x		
25	x		x	x							x			x				x			
26						x			x		x		x		x					x	
27	x	x		x		x									x	x		x			
28						x	x	x			x	x			x			x			
29	x			x		x	x	x							x			x		x	x
30							x	x	x		x	x	x					x			
31						x	x		x			x	x		x			x			
32		x	x			x	x	x	x		x	x	x	x	x		x	x	x		

Izvor: Autor prema [219].

Razvidno je kako najveći utjecaj na nastanak obrađenih nezgoda ima veza između uzročnika *M4-Upravljanje* i *M1-Čovjek* i pripadajuću uzročni čimbenici (Tablica 14.). Na kut *M3-Okruženje* ostali kutovi nemaju utjecaj, a on utječe samo na kut *M1-Čovjek*. Na Slici 33. prikazan je 4MOP model analiziranih nezgoda s prikazom najznačajnijih uzročnih čimbenika po kategorijama, i njihovom povezanošću.

Tablica 14. Pet najčešćih uzročnih čimbenika prema analizi nezgoda.

4-MOP oznaka	HFACS-MA uzročni čimbenici	Broj čimbenika
M1-o6	Rutinski prekršaji	19
M4-o3	Neadekvatan nadzor	16
M4-o1	Organizacijsko ozračje	15
M4-o6	Planirana neprikladna operacija	15
M1-o1	Stanje operatera	13



Slika 33. 4MOP model analiziranih nezgoda s prikazom najznačajnijih uzročnih čimbenika po kategorijama.

Izvor: Autor

Rutinski prekršaji (M1-o6) kao uzročni čimbenici obično se javljaju prirodno i često se toleriraju od strane upravljačkih tijela. Pojavljuju se prilikom izvođenja određenog postupka jer ljudi redovito mijenjaju ili se ne pridržavaju strogo radnih procedura, često zbog toga što su loše osmišljene, neadekvatno definirane, ili prekompleksne [42]. Neki od rutinskih prekršaja koji su identificirani prilikom analize uključuju [162]:

- Pri preuzimanju straže, časnik nije provjerio planiranu rutu broda u odnosu na opasnosti za navigaciju koje bi se mogle pojaviti tijekom njegove straže,
- Iako su svjetla s kardinalnih plutača koje označavaju plčinu bila vidljiva osmatraču (engl. *lookout*), on ih nije prijavio časniku u skladu sa svojim dužnostima,
- Iako zahtijevano, na zapovjedničkom mostu je bilo uobičajeno da tijekom noćnih sati nema osmatrača, što je omogućilo da se prvi časnik neopaženo uspava,
- Uobičajeno isključivanje automatiziranih funkcija kako bi se smanjilo opterećenje časnika,

- Brod je bio opremljen Sustavom uzbunjivanja za navigacijsku stražu na mostu (engl. *Bridge Navigational Watch Alarm System – BNWAS*). Međutim, zapovjednik broda nije zahtijevao da se isti koristi prilikom plovidbe i rijetko su ga, ako ikada, koristili časnici.

Neadekvatan nadzor (M4-o3) uključuje čimbenike zbog kojih nadređeni časnik ili zapovjednik ne uspijevaju identificirati opasnost, prepoznati i kontrolirati rizik, pružiti upute, obuku i/ili nadzor, što dovodi do pogreške ili nesigurne situacije [42]. Neki od primjera neadekvatnog nadzora uključuju [162]:

- Zapovjednik nije provjerio i odobrio izmijenjenu rutu,
- Plan putovanja, pripremljen od strane neiskusnog i nenadziranog časnika prolazio je izravno preko pličine i nije bio siguran,
- Plan putovanja nije bio pravilno provjeren za navigacijske opasnosti koristeći funkciju provjere rute na ECDIS-u, niti provjeren od strane zapovjednika,
- Zapovjednik nije iskoristio svoje nadređeno ovlaštenje za sigurnost broda kako bi odgodio isplavljanje iz luke, dok njegovi časnici nisu bili adekvatno odmorni.

Čimbenik *organizacijsko ozračje* (M4-o1) određuje radna atmosfera unutar organizacije koja uključuje kulturu, procedure i strukturu [42]. Neki od primjera uključuju [162]:

- ECDIS na brodu nije korišten u skladu sa zakonodavnim propisima, ili pravilima proizvođača opreme,
- Upravljanje ljudskim potencijalima na mostu bilo je disfunkcionalno i zapovjednik nije pružio dovoljno vođenje kako bi se razvila i usadila kultura sigurnosti,
- Putovanje je planirano i nadzirano uz pomoć ECDIS sustava. Međutim, sigurnosne mjere za sprječavanje nasukanja su zanemarene, onemogućene ili ignorirane,
- Nije bilo neuobičajeno da se osmatračići otpuste s zapovjedničkog mosta tijekom noćnih sati prilikom plovidbe,
- Proceduralne smjernice Pravilnika o upravljanju sigurnosti (engl. *Safety Management System - SMS*) uključivale su opsežne upute o vođenju navigacije pomoću ECDIS sustava. Međutim, očito je da zapovjednik i časnici upute nisu provodili.

Planirana neprikladna operacija (M4-o6) uključuje čimbenike zbog kojih nadređeni časnik ili osoba zadužena za izvođenje određenog zadatka ne uspijeva adekvatno procijeniti opasnosti povezane s operacijom, dopuštajući nepotrebne rizike [42]. Neki od primjera uključuju [162]:

- Izmjena plana putovanja tijekom plovidbe nije u skladu s dužnostima drugog časnika palube, niti odobrena od strane zapovjednika,
- Zvučni alarmi sustava nisu radili i unatoč tome što je navigacijski tim bio svjestan kvara, on nije bio prijavljen,
- Plan putovanja nije bio ispravno provjeren, korištene su neprimjerene postavke sigurnosne konture i XTD te je mjerilo karte u upotrebi bilo neodgovarajuće,
- Integrirani navigacijski sustavi nisu korišteni učinkovito i prema uputama da bi se osiguralo stalno održavanje budne (predostrožne) i učinkovite navigacijske straže.

Stanje operatera (M1-01) uključuje stanja pojedinca ili grupe koja negativno utječu na izvršavanje zadataka; na primjer mentalno i fizičko stanje te mentalna, odnosno fizička ograničenja [42]. Neki od primjera uključuju [162]:

- Zapovjednik je pokazao iznenađujuću razinu smanjene situacijske svjesnosti kada je njegov brod plutao nošem morskom strujom u tjesnacu,
- Plan putovanja (izravno preko pličine) pripremio je neiskusni i pri tome još i nenadzirani časnik,
- Časnik je nadzirao poziciju broda isključivo na ECDIS sustavu prema planiranoj ruti. Kao rezultat, njegova situacijska svjesnost bila je umanjena,
- Časnici nisu bili sposobni sigurno voditi navigaciju koristeći ECDIS sustav,
- Nakon ECDIS obuke zapovjednik i časnici nisu stekli dovoljnu razinu znanja potrebnu za učinkovito upravljanje sustavom,
- Prvi časnik palube je zaspao prilikom navigacijske straže zbog nedostatka stimulacije i vjerojatnog umora.

Jedna od značajnih prednosti HFACS-MA metode je uključivanje vanjskih čimbenika među moguće uzročnike te je na taj način vezana i za ostale dionike pomorskog plovidbenog pothvata (npr. obalna straža Dover). Na taj način klasifikacijom je obuhvaćeno više potencijalno važnih uzročnika i omogućeno je naprednije analiziranje pomorskih nezgoda. U jednom od analiziranih izvještaja nezgoda, jedan od uzročnih čimbenika nezgode bio je neispravan sustav upozorenja kojim upravlja obalna straža Dover. Upozorenje putem VHF radiotelefonije nije odaslano brodu kojem je prijetila opasnost od nasukanja zbog ometenosti operatera. Također, isti nije bio kvalificiran za tu ulogu, niti nadziran. Osim toga, nije bilo specifične obuke za rukovanje sustavom upozorenja, kao ni formalnog postupka upozoravanja [162].

Zbog relativno velikog broja čimbenika u odnosu na broj analiziranih nezgoda nije bilo moguće napraviti binarnu logističku regresiju koja bi uključivala sve čimbenike odjednom, stoga je urađena pojedinačna analiza uzročnih čimbenika. Međutim, rezultati su pokazali da je samo *Sklopovlje* (M2-02) na granici standardne razine značajnosti ($p=0,053$) te se može uzeti u obzir kao značajan, i utvrditi povezanost između uzročnog čimbenika M2-02 s postavkom da je ECDIS primarni navigacijski sustav korišten prilikom nezgode (Tablica 15.)

Tablica 15. Rezultati binarne logističke regresije za čimbenik M2-02 sklopovlje (x).

Logistička regresija				
Zavisna varijabla	y	Broj promatranja		32
Model	Logit	Stupnjevi slobode rezidualnih vrijednosti		30
Metoda	MLE	Pseudo R ²		0,1261
	Koeficijent	Standardna pogreška	z	P> z
Intercept	-5,49E-17	0,426	-1,29E-16	1,000
x	2,1972	1,137	1,932	0,053

Zavisna varijabla (y) je elektronička (1) ili papirnata karta (0), ukupan broj promatranja (nezgoda) je 32. Korištena metoda procjene je MLE (engl. *Maximum Likelihood Estimation*). Pseudo R^2 je mjera slična R^2 koji se koristi u linearnom modeliranju. U ovom slučaju, pseudo R^2 sugerira da model objašnjava 12,61 % zavisne varijable. Iz prikazanih podataka, koeficijent 2,1972 za varijablu x znači da kada je *M2-02 sklopovlje* jedan od uzročnika nezgode, vjerojatnost da je ECDIS korišten kao primarni navigacijski uređaj u odnosu na papirne karte je veća. Prema tome, da bi se predvidjela vjerojatnost ishoda zavisne varijable *ECDIS primarni sustav* s obzirom na vrijednost nezavisne varijable *M2-02 sklopovlje*, koristi se jednadžba:

$$p = \frac{1}{(1 + e^{-(1 \times 10^{-5} + 2,1972)})} \quad (14)$$

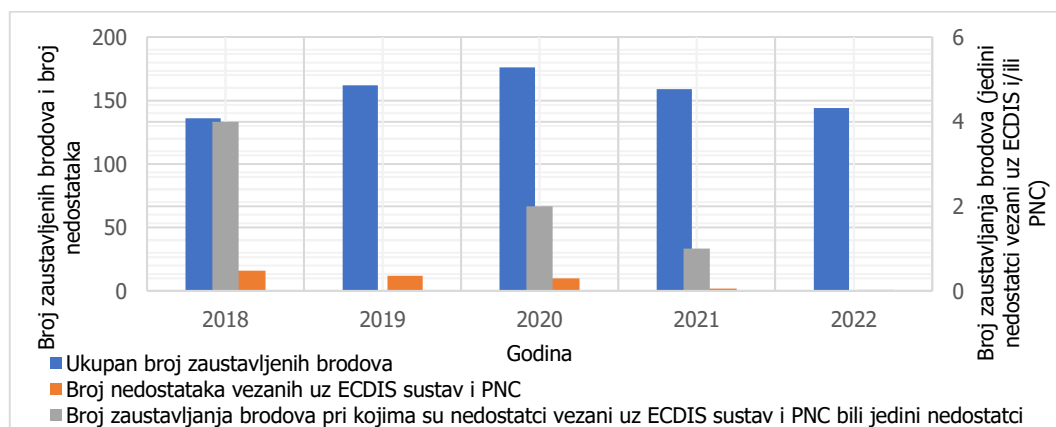
Logistički regresijski model sugerira da vjerojatnost ishoda *ECDIS primarno sredstvo* raste kako se vrijednost M2-02 povećava. Prema (14), kada je vrijednost prediktorske varijable M2-02 nula, izgledi za ishod da je ECDIS bio primarno sredstvo su također gotovo nepostojeći. Kada je vrijednost M2-02 jednaka 1, predviđena vjerojatnost ishoda *ECDIS primarno sredstvo* iznosi 90 %. Prema [42], prediktorna varijabla *Sklopovlje* (M2-02) predstavlja fizičke dijelove radnog mjesta. Oni uključuju opremu, zaslone uređaja, kontrole, i ostalu opremu. Prema tome, zaslon sustava, odnosno njegove postavke i konfiguracija značajno utječu na pojavnost ljudske pogreške, koja zauzvrat može uzrokovati nezgodu.

4.1.2. Zaustavljanja brodova

U ovom su dijelu prikazani rezultati analize dostupnih informacija Australske pomorske sigurnosne agencije te inspeksijskog nadzora stranih brodova pod Tokijskim, odnosno Pariškim memorandumom o razumijevanju.

4.1.2.1. Zaustavljanja pod jurisdikcijom Australske pomorske sigurnosne agencije

Australska pomorska sigurnosna agencija je, u razdoblju od 2018. do 2022. zaustavila ukupno 777 brodova [10].



Slika 34. Zaustavljanja brodova prilikom AMSA inspekcija.

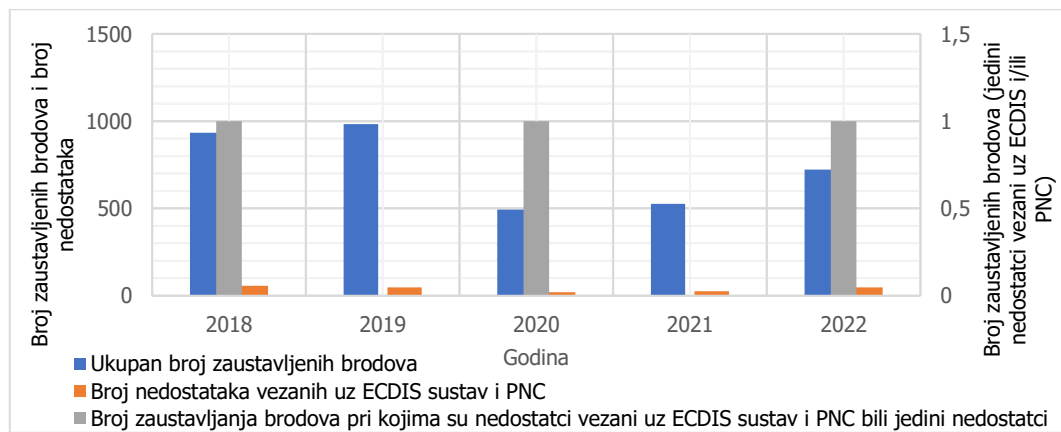
Izvor: Autor prema [10].

Na 41 brodu inspektori su uočili nedostatke vezane uz ECDIS i papirne navigacijske karte (PNC), dok su na sedam zaustavljanja brodova nedostatci vezani uz ECDIS sustav i PNC bili jedini nedostatci uočeni za vrijeme inspekcije (Slika 34.).

Iz slike je razvidno kako je prilikom ovih inspekcija broj uočenih nedostataka povezanih s ECDIS sustavom i PNC u opadanju, što je i logično, s obzirom na dovoljno vrijeme za familijarizaciju, odnosno za uvođenje učinkovitih procedura i procesa.

4.1.2.2. Zaustavljanja pod jurisdikcijom Tokijskog memoranduma o razumijevanju

Inspektori sigurnosti plovidbe inspekcijskog nadzora stranih brodova pod Tokijskim memorandumom o razumijevanju su od 2018. do 2022. godine (Slika 35.) zaustavili 3660 brodova. Među zabilježenim nedostacima, oni vezani uz ECDIS sustav i PNC prisutni su na 198 brodova podvrgnutih inspekciji. Zaustavljanja brodova pri kojima su nedostatci vezani uz ECDIS sustav i PNC bili jedini nedostatci dogodili su se na tri broda.



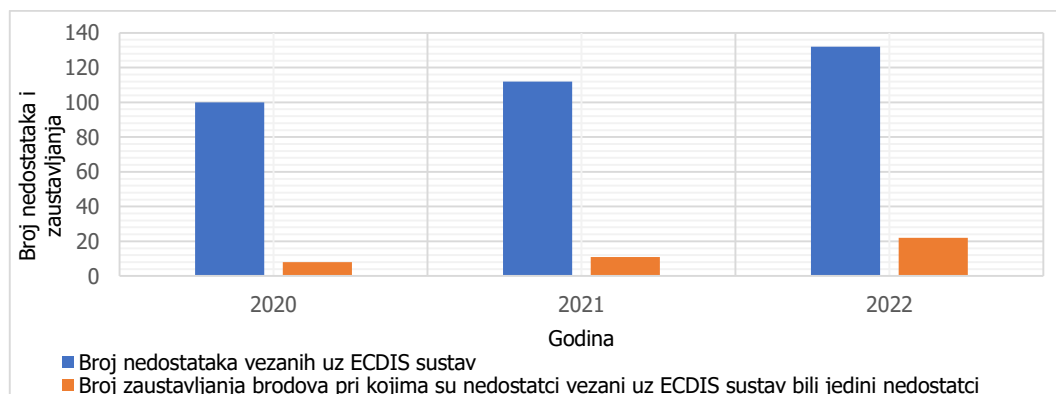
Slika 35. Zaustavljanja brodova inspekcijskog nadzora Tokijskog memoranduma o razumijevanju.
Izvor: Autor prema [214].

Ukupan broj zaustavljanja brodova pao je 2020. i 2021. godine (može se pretpostaviti da je uzrok tome pandemija COVID-19), međutim 2022. godine broj zaustavljanja je opet u porastu. Zanimljivo je i da je broj nedostataka vezanih uz ECDIS sustav i PNC bio u padu do 2020. godine, međutim od 2021. godine opet je u porastu, te su te godine na 48 brodova zabilježeni nedostatci u vezi ECDIS sustava i PNC, kao i 2019. godine. Međutim, broj zaustavljanja brodova pri kojima su ECDIS sustav ili PNC bili jedini nedostatci relativno je malen (ukupno tri broda u istraženom razdoblju).

4.1.2.3. Zaustavljanja pod jurisdikcijom Pariškog memoranduma o razumijevanju

Sa ciljem pronalaska ECDIS sustava kao uzročnika zadržavanja, kao filter pretrage navedena je SOLAS konvencija, poglavlje V, pod sekcijom sigurnost navigacije i opisom ECDIS sustava kao uzročnika nedostatka prilikom inspekcije. Slika 36. predstavlja ukupan broj zaustavljanja brodova za godine 2020., 2021. i 2022. Razvidno je kako su vezani nedostatci koji su prouzročili

zaustavljanje broda 2020. zabilježeni na 8 brodova dok su se 2022. skoro utrostručili, odnosno dvadeset i dva broda zaustavljena su iz navedenih razloga.



Slika 36. Zaustavljanja brodova pod jurisdikcijom Pariškog memoranduma o razumijevanju.

Izvor: Autor prema [185].

Daljnjom analizom identificirani su vezani razlozi zaustavljanja brodova pri sve tri baze, što je prikazano u sljedećem dijelu.

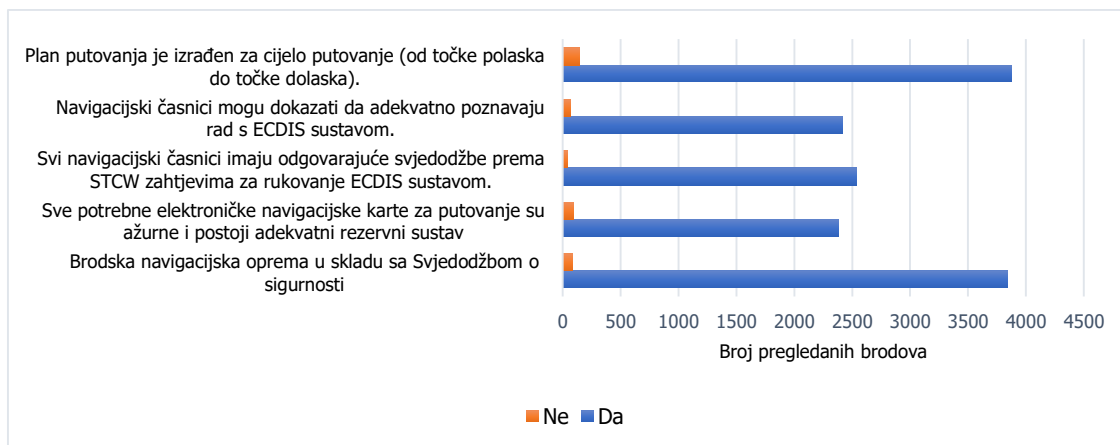
4.1.2.4. Razlozi zaustavljanja brodova vezani za ECDIS sustav i elektroničke karte

Prema AMSA inspekcijama najčešći nedostaci u vezi ECDIS sustava koji su otkriveni na brodovima uključuju sljedeće elemente [47]:

- Najnovija ENC verzija ne koristi se za pripremu plana putovanja,
- Za izradu plana putovanja se koristi karta neadekvatnog mjerila,
- ENC CD-ROM dostavlja vlasnik broda/agent *nakon* dolaska broda u luku,
- Znanje i rukovanje sustavom je neadekvatno i nedovoljno za sigurnu navigaciju,
- SMS upute o radu sa sustavom su nedostatne.

Inspektori su od posade tražili demonstraciju radnji potrebnih za sigurnost plovidbe. U slučaju neizvršenja zadanih radnji, a pritom uz posjedovanje EST svjedodžbe časnika, izvješteno je kako je brod zaustavljen uslijed *postojanja nedostatka vještine rukovanja važnom navigacijskom opremom* [47].

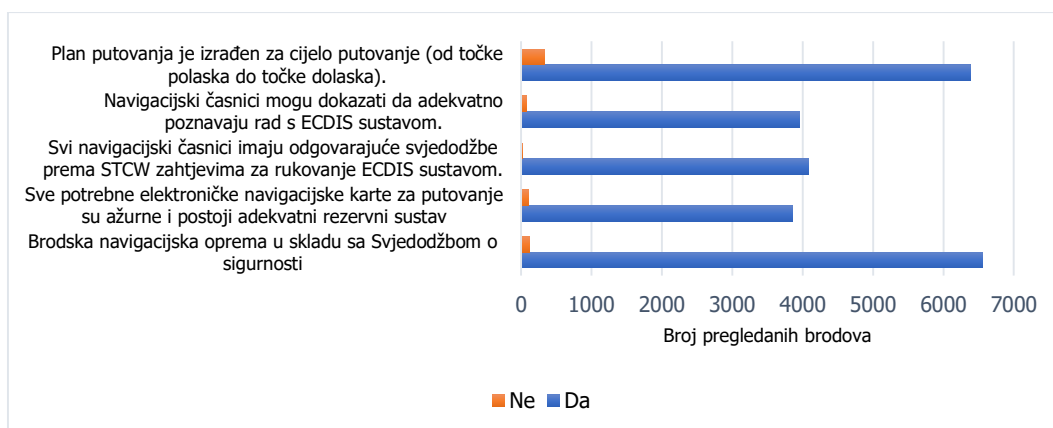
Pariški memorandum o razumijevanju o nadzoru države luke (PSC) je, zajedno s Tokijskim memorandumom o razumijevanju proveo koncentriranu inspekcijsku kampanju (engl. *Concentrated Inspection Campaign* – CIC) o sigurnosti plovidbe, uključujući ECDIS sustav, u razdoblju između 1. rujna i 30. studenog 2017. Tijekom nadzora, države članice usredotočile su se na usklađenost s definiranim područjima. Unutar Pariškog memoranduma obavljeno je 4027 usmjerenih nadzora sa CIC upitnikom. Ukupna stopa zadržavanja kampanje po brodu bila je 3,5 % (146 brodova je zaustavljeno). Od tog broja 47 (1,1 %) brodova je zaustavljeno kao rezultat usmjerene kampanje. Na Slici 37. prikazana su izdvojena pitanja iz CIC upitnika i rezultati inspekcije.



Slika 37. Izdvojena pitanja iz CIC upitnika vezana za ECDIS sustav (Pariški memorandum).

Izvor: Autor prema [184].

Ukupno 32,2 % zaustavljanja odnosilo se na neka od pitanja iz CIC upitnika. Najviše nedostataka zabilježeno je u području plana putovanja, dok je najmanje nedostataka zabilježeno u području EST i EGT svjedodžbi navigacijskih časnika.



Slika 38. Izdvojena pitanja iz CIC upitnika vezana za ECDIS sustav (Tokijski memorandum).

Izvor: Autor prema [213].

Tijekom nadzora unutar Tokijskog memoranduma obavljeno je ukupno 8150 inspekcijskih pregleda na 7548 pojedinačnih brodova, pri čemu je CIC upitnikom obavljeno ukupno 6720 inspekcijskih pregleda. Tijekom kampanje zaustavljeno je ukupno 157 (2,34 %) brodova, od kojih je 36 (22,9 %) zadržano zbog nekih od pitanja u CIC upitniku. Na Slici 38. prikazana su izdvojena pitanja iz CIC upitnika i rezultati inspekcije.

Prilikom analize podataka iz CIC upitnika Tokijskog memoranduma, najpovoljniji rezultati odnosili su se na dokaze udovoljavanju STCW zahtjeva časnika, s obzirom na EGT i EST edukaciju; samo 0,5 % slučajeva bilo je negativno. Najnepovoljniji rezultati zabilježeni su za pitanje je li plan putovanja izrađen za cijelo putovanje, gdje je zabilježeno 338 negativnih odgovora. Rezultati Pariškog i Tokijskog memoranduma podudaraju se, s najviše uočenih nedostataka u domeni plana putovanja, i posjedovanja, odnosno ažuriranja ENC karata za

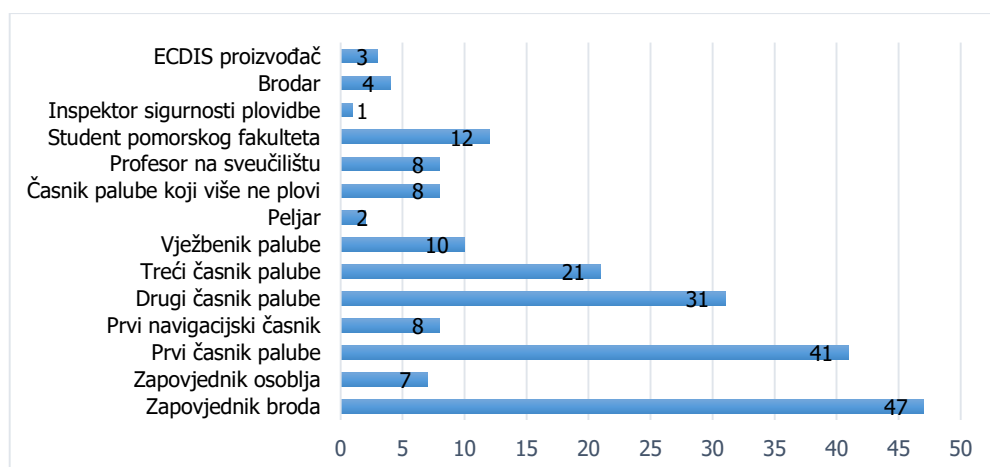
određeno putovanje. Ipak, neadekvatno i nedovoljno znanje časnika vezano za rad s ECDIS sustavom je jedan od značajnih čimbenika prepoznat tijekom AMSA inspekcija. Stoga, može se zaključiti kako su neadekvatno planiranje putovanja, nedovoljno znanje i rukovanje sustavom, i neposjedovanje ili posjedovanje neažurnih elektroničkih navigacijskih karata potrebnih za putovanje najčešći prepoznati nedostaci vezani za ECDIS sustav, odnosno najčešći uzročnici zaustavljanja brodova.

4.2. Rezultati anketnog upitnika

Unutar ovog su poglavlja prikazani rezultati odgovora na odabrana pitanja anketnog upitnika (Prilog 1.), grupirani prema cjelinama kako je objašnjeno u poglavlju 3.3.2. Nakon autorovih prikaza i razmotrenih rezultata, istaknuti su najznačajniji zaključci, proizašli iz obrade odgovora.

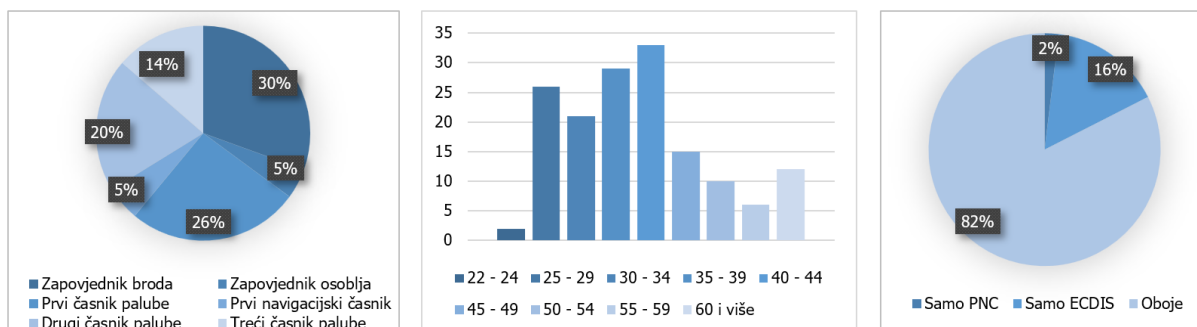
4.2.1. Profil i kategorizacija ispitanika

Anketnom upitniku pristupilo je 203 ispitanika. Na Slici 39. prikazan je broj ispitanika i udio pojedinog zanimanja. Za daljnju obradu u obzir su uzeti odgovori ispitanika s aktivnim navigacijskim zvanjima. Temeljem navedenog, uključujući podatke o zemlji stjecanja svjedodžbe o osposobljenosti, anketni upitnik je ispunilo 154 ispitanika iz 17 zemalja.



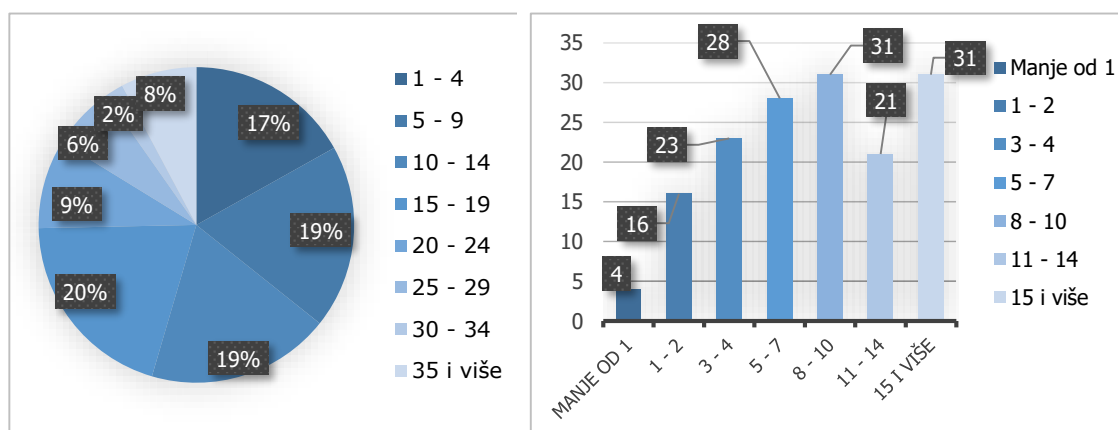
Slika 39. Zvanja ispitanika.

Pomorska zvanja ispitanika i njihove godine starosti prikazani su na Slici 40. Većina ispitanika u pomorskim zvanjima ima najveća pomorska ovlaštenja (61 % zapovjednika, zapovjednika osoblja i prvih časnika), dok su najzastupljenije godine starosti sudionika anketnog upitnika bile od 40 do 44 godine starosti. Posljednji dio prikaza odnosi se na iskustvo s radom na papirnatim kartama, ECDIS sustavom i ENC kartama, odnosno s oba sredstva.



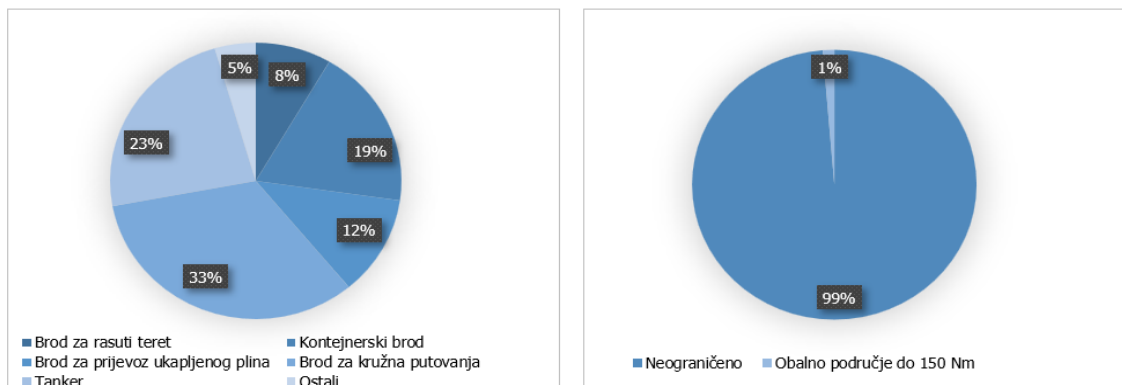
Slika 40. Pomorska zvanja ispitanika (lijevo), godine starosti (centar), i iskustvo s radom na papirnatim kartama i/ili ECDIS sustavom (desno).

Velika manjina (2 %) ima iskustvo rada samo s papirnatim kartama, 16 % ispitanika iskusilo je rad samo s ECDIS sustavom, dok većina ispitanika (82 %) ima iskustvo rada s oba navigacijska sredstva.



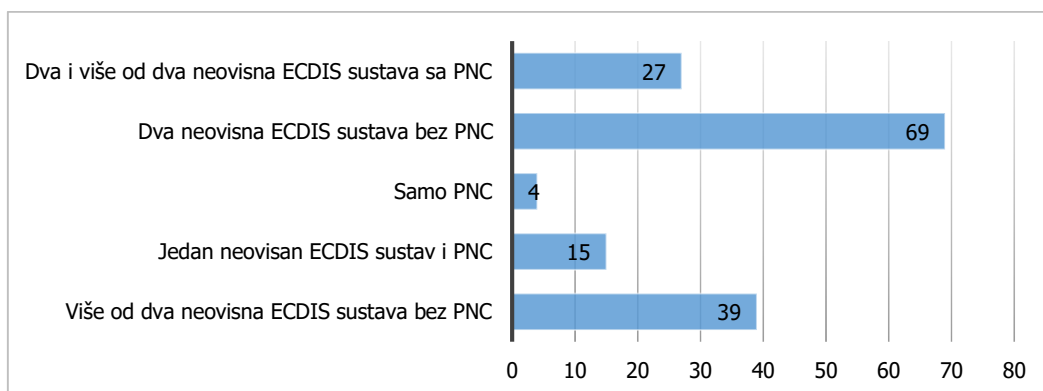
Slika 41. Godine iskustva ispitanika u pomorskim zvanjima (lijevo) i godine iskustva rada s ECDIS sustavom (desno).

Slika 41. prikazuje godine iskustva ispitanika u pomorskim zvanjima u usporedbi s godinama iskustva rada s ECDIS sustavom. Preko 64 % ispitanika ima više od 10 godina navigacijskog iskustva, što se smatra reprezentativnim uzorkom za potrebe anketnog upitnika i odgovore ispitanika. Kod čak 54 % ispitanika prisutno je iskustvo rada sa sustavom više od 8 godina (Slika 41.), čime je potvrđena mjerodavnost upitnika.



Slika 42. Tipovi brodova na kojima plove ispitanici (lijevo) i područja plovidbe.

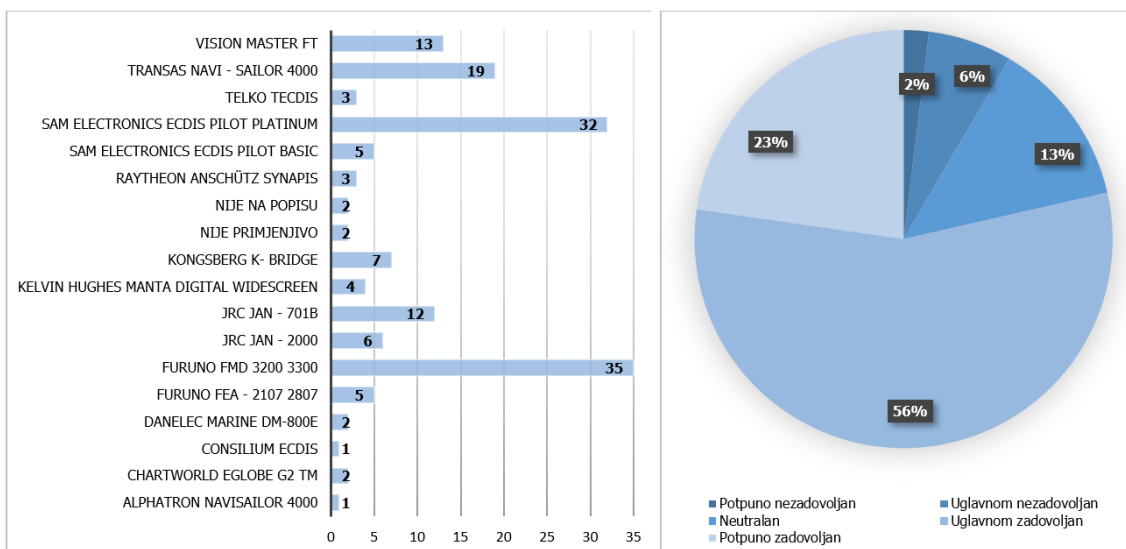
S obzirom na različitosti u vrstama brodova u pogledu navigacijske opreme, kao i različita iskustva s obzirom na područja plovidbe, ispitanici su grupirani temeljem tipova brodova i područja unutar kojih plove (Slika 42.). Samo 1 % ispitanika plovi u obalnom području do 150 nautičkih milja od obale, dok se na ostatak odnosi oceanska navigacija.



Slika 43. Status navigacijske opreme na brodu.

Slika 43. predstavlja status navigacijske opreme na brodovima na kojima su plovili, ili plove ispitanici. U najviše slučajeva (45 %) brod je bio opremljen s dva neovisna ECDIS sustava bez papirnatih karata, dok su najmanje zastupljeni slučajevi samo s papirnatim kartama (3 %).

Zastupljenost modela sustava prikazana je na Slici 44. Od 16 odabranih različitih modela, najzastupljeniji su Furuno FMD 3200 3300 i SAM Electronics ECDIS Pilot Platinum, nakon kojih slijede Transas Navi – Sailor 4000, Vision Master FT i JRC JAN – 701B.

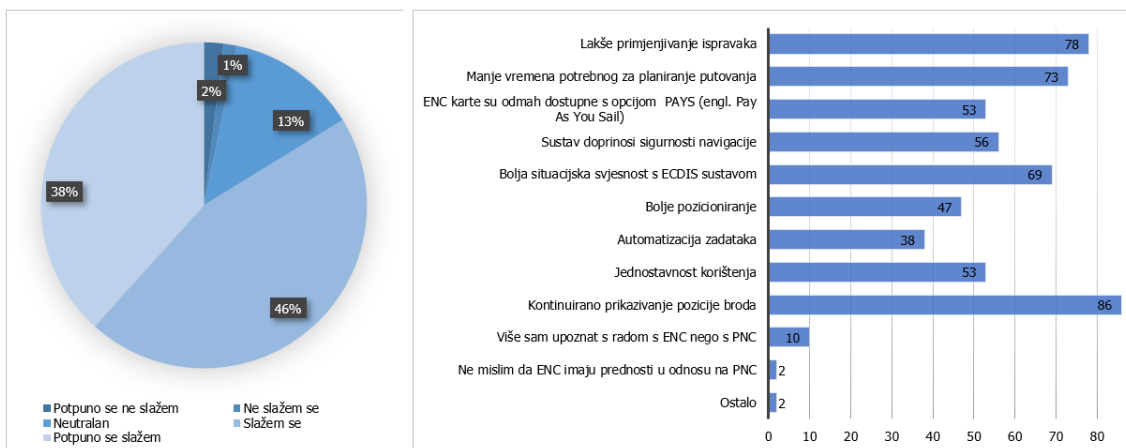


Slika 44. Zastupljenost ECDIS modela među ispitanicima (lijevo) i zadovoljstvo korištenim modelom.

Većina je ispitanika (79 %) uglavnom ili potpuno zadovoljna korištenim modelom. Neutralno je 13 % ispitanika, dok je 8 % ispitanika uglavnom ili potpuno nezadovoljno.

4.2.2. Opći problemi vođenja navigacije pomoću ECDIS sustava

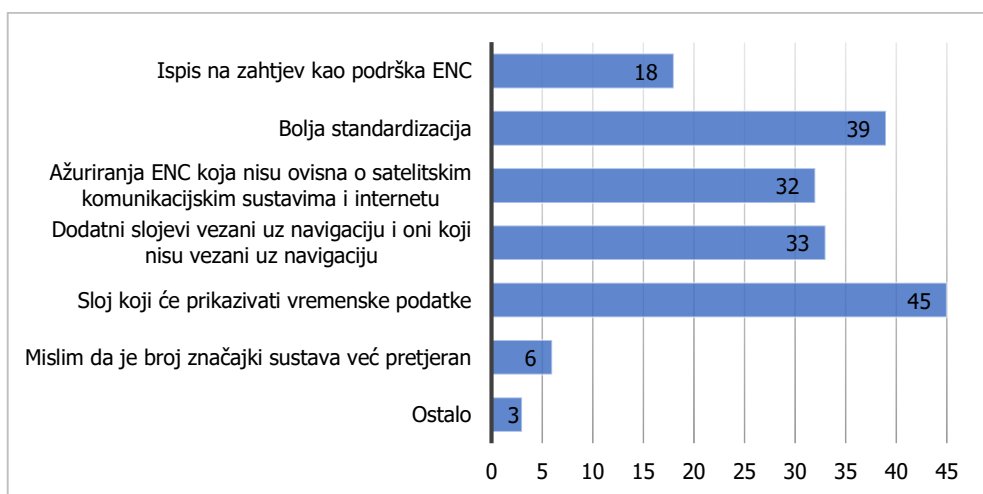
Slika 45. predstavlja mišljenja ispitanika da li je implementacija ECDIS sustava je doprinijela sigurnosti navigacije. Ukupna većina ispitanika (njih 84 %, pri čemu se 38 % potpuno slaže i 46 % se slaže) slaže se da je implementacija ECDIS sustava doprinijela sigurnosti navigacije. Kod navedenog pitanja, 13 % ispitanika je ostalo neutralno, dok se ukupno 3 % ispitanika ne slaže s navedenom tvrdnjom.



Slika 45. Stav o doprinosu sigurnosti navigacije uvođenjem ECDIS sustava (lijevo) i kategorizirane prednosti sustava u usporedbi s papirnatim navigacijskim kartama.

Ispitanici su naveli neke (jednu ili više) prednosti ECDIS sustava i elektroničkih navigacijskih karata u usporedbi s papirnatim koje su na Slici 45. prikazane u kategorijama. Kao izdvojene prednosti mogu se navesti kontinuirano prikazivanje pozicije broda (86 %), lakše

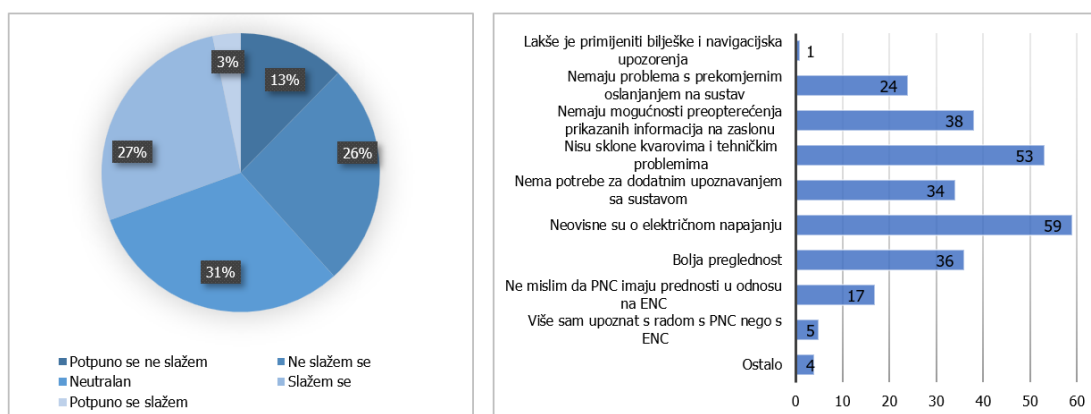
primjenjivanje ispravaka (78 %) i skraćeno vrijeme potrebno za planiranje putovanja, za koje se opredijelilo 73 % ispitanika.



Slika 46. Najkorisnije ENC značajke prema odgovorima ispitanika.

U kontekstu ENC karata, na Slici 46. prikazane su najpoželjnije značajke koje sustav s podacima pruža. Najviše ispitanika odabralo je značajku dodatnih okolišnih slojeva koji se odnose na vremenske podatke (45 %), ostale navigacijske i ne navigacijske slojeve (33 %) te značajku bolje standardizacije (39 %). Ukupno 32 % ispitanika podržava ažuriranja karata koja nisu ovisna o satelitskim komunikacijskim sustavima i internetu.

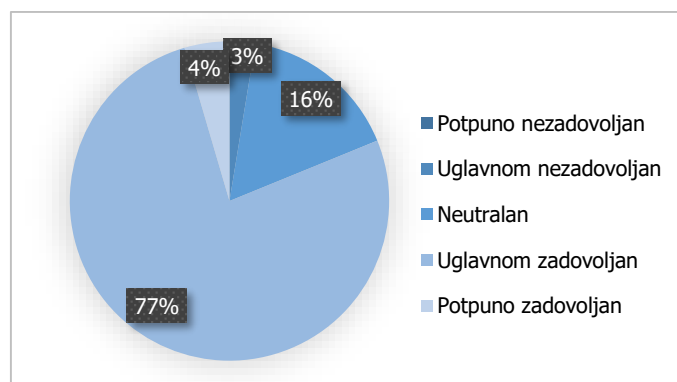
S druge strane, relativno je značajna neodređenost prisutna u odgovorima po pitanju papirnatih navigacijskih karata. Udio odgovora na konstataciju da postoje prednosti papirnatih karata nad elektroničkim, i kategorizacija istih prednosti prikazana je na Slici 47.



Slika 47. Stav o prednostima papirnatih u odnosu na elektroničke karte (lijevo) i najzastupljenije prednosti prema odgovorima ispitanika.

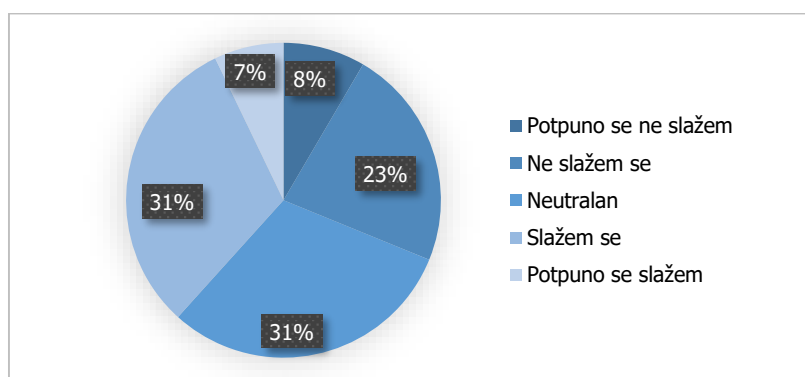
Prednosti papirnatih nad elektroničkim kartama potvrđuje 27 %, odnosno 3 % ispitanika (Slika 47.). Neutralno je 31 % ispitanika, dok se s ovom tvrdnjom ne slaže 26 %, odnosno 13 % ispitanika. Što se tiče prednosti papirnatih karata, najveći udio odgovora (59 %) odnosi se na činjenicu da su papirnate navigacijske karte autonomne i neovisne, a time i neosjetljive na

kvarove i tehničke probleme (53 %). Kao značajnu prednost, 38 % ispitanika navodi činjenicu kako ovdje ne postoji rizik od preopterećenja prikazanim informacijama. Također, 5 % ispitanika više je upoznato s radom s papirnatim nego elektroničkim kartama.



Slika 48. Zadovoljstvo s prikazanim informacijama na ENC kartama.

Niti jedan ispitanik nije potpuno nezadovoljan prikazanim informacijama na ENC kartama (Slika 48.). Uglavnom je nezadovoljno 3 % ispitanika, uz 16 % neutralnih. Većina ispitanika (77 %) je uglavnom zadovoljna s prikazanim informacijama dok je 4 % ispitanika potpuno zadovoljno. Da sredstva suvremene navigacije smanjuju situacijsku svjesnost i doprinose prevelikom oslanjanju na tehnologiju slaže se 7 %, odnosno 31 % ispitanika (Slika 49.).

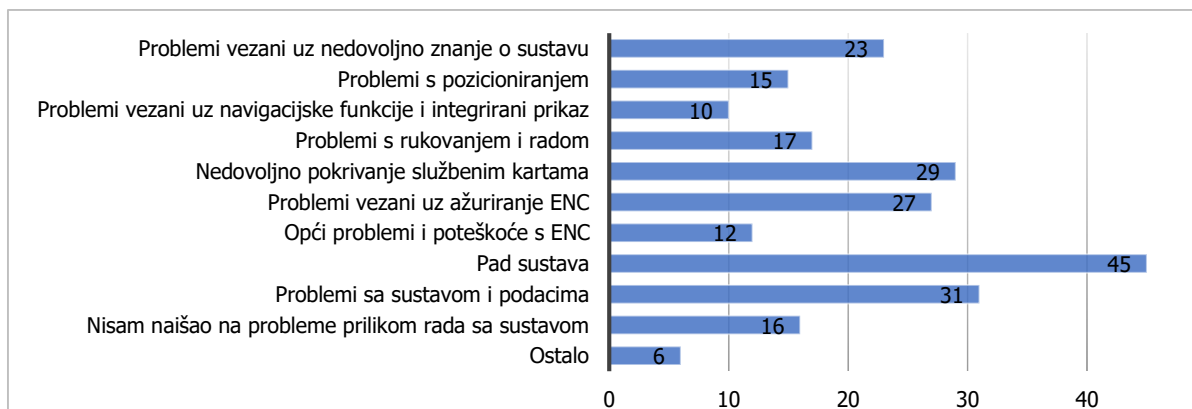


Slika 49. Stav o konstataciji da je suvremeni navigacijski sustavi smanjili situacijsku svjesnost i doprinijeli prevelikom oslanjanju.

Podjednak postotak ispitanika ostao je neutralan (31 %) dok se ukupno 8 %, odnosno 23 % ispitanika ne slaže s navedenom tvrdnjom (Slika 49.).

4.2.3. Prepoznati problemi pri korištenju ECDIS sustava

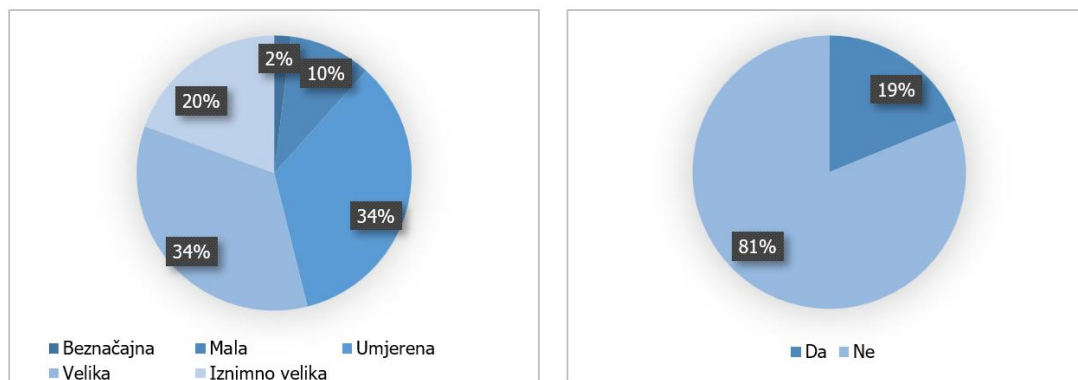
Kategorizacija i udio pojedinog problema s kojim se ispitanici susreću prilikom rada sa sustavom prikazana je na Slici 50.



Slika 50. Kategorizacija prepoznatih problema prilikom rada s ECDIS sustavom.

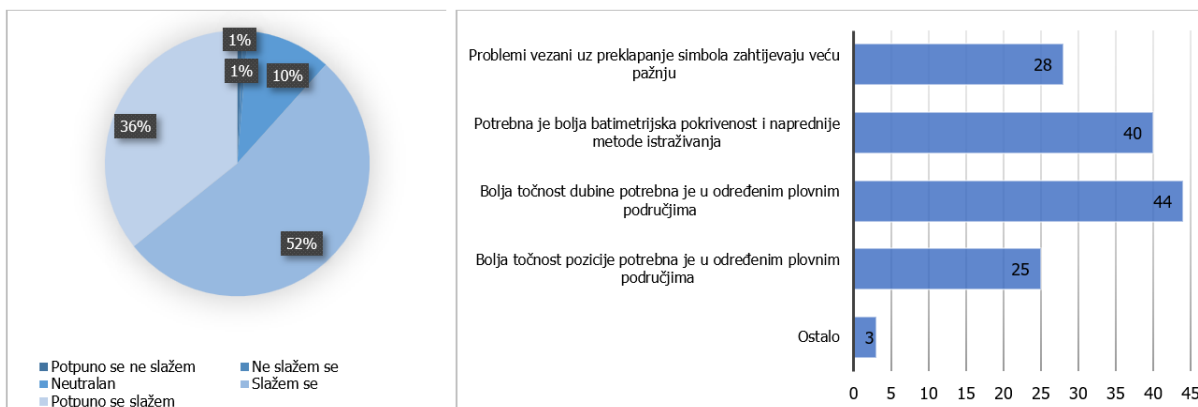
Najveći udio odgovora se odnosi na pad sustava (45 %). Slijede problemi sa sustavom i podacima (31 %), nedovoljna pokrivenost (29 %), problemi vezani uz ažuriranje karata (27 %) te nedovoljno znanje o sustavu (23 %). S problemima se nije susrelo 16 % ispitanika. Iako u općenito nisu naznačeni kao glavni problem, 55 % ispitanika susrelo se s poteškoćama pri ažuriranju karata.

Kibernetički napadi predstavljaju relativno novi utjecajni čimbenik na sigurnost navigacije, s obzirom na njima podložne navigacijske informacijske sustave. Na brodovima koji plove isključivo pomoću ECDIS sustava većina ispitanika smatra da je ugroza kibernetičke sigurnosti umjerena ili velika (po 34 %), 20 % ispitanika smatra da je ona iznimno velika, dok ukupno 12 % ispitanika smatra da je ona beznačajna ili mala. S druge strane, s kibernetičkom prijetnjom susrelo se 19 % ispitanika (Slika 51.).



Slika 51. Značaj ugroze kibernetičke sigurnosti na brodovima bez papirnatih karata (lijevo) i doživljene kibernetičke prijetnje među ispitanicima.

Jedan od značajnijih problema predstavlja nedovoljna ENC pokrivenost. Preko polovice ispitanika (52 %) susrelo se s ovim problemom, koji nastupa kao jedan od temeljnih čimbenika sigurne navigacije. Manjak standardizacije također je jedan od prepoznatih problema. Kao potrebu za standardizacijom postavki, funkcija, zaslona i korištene terminologije unutar sustava potvrđuje 52 %, odnosno 36 % ispitanika (Slika 52. lijevo).

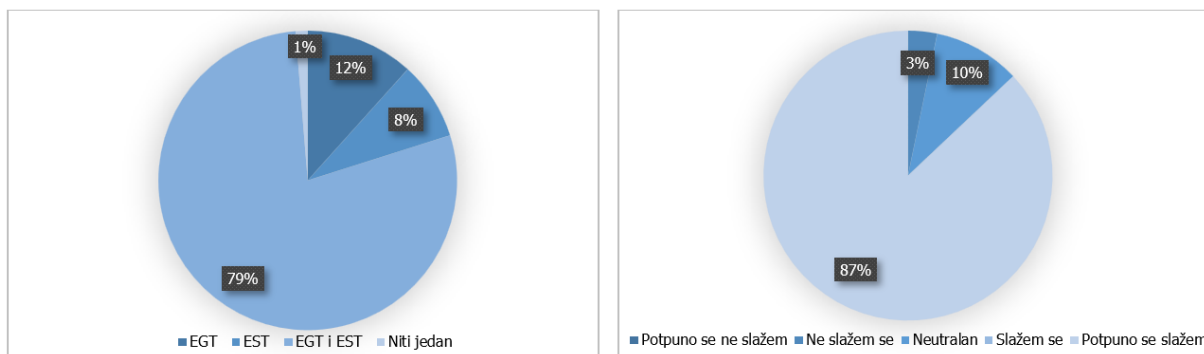


Slika 52. Potreba za standardizacijom (lijevo) i kategorizacija prijedloga poboljšanja sustava.

Moguća poboljšanja kvalitete informacija na elektroničkim navigacijskim kartama prikazana su na Slici 52. desno. Najveći udio odgovora (44 %) odnosi se na potrebu za većom točnošću dubina u određenim plovnim područjima, nakon čega slijedi kvalitetnija batimetrijska pokrivenost (40 %). Probleme vezane uz preklapanje simbola i povećani oprez navelo je 28 % ispitanika dok je 25 % ispitanika naglasilo potrebu za povećanom točnošću pozicije određenim plovnim područjima.

4.2.4. Ograničenja trenutnih nastavnih procesa

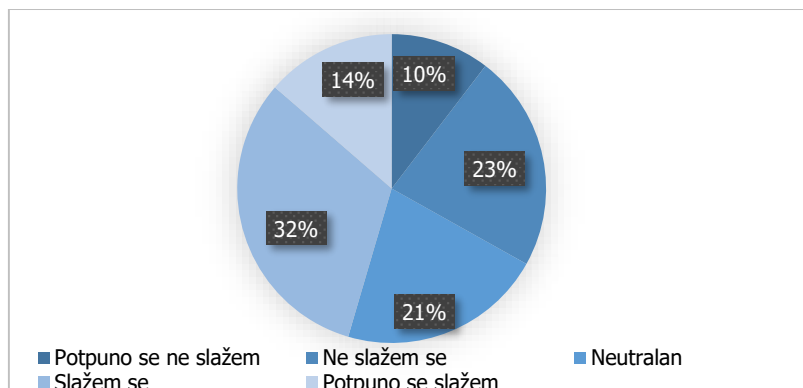
Važan, već prepoznati utjecajni čimbenik na adekvatno korištenje sustava jest odgovarajuća izobrazba i naobrazba, koja predstavlja jedan od elemenata istraživanja rada. Na Slici 53. prikazan je udio ispitanika prema pojedinoj vrsti obuke, odnosno vlastitoj percepciji rukovanja sa sustavom.



Slika 53. Svjedodžbe o ECDIS obuci (lijevo) i mišljenje ispitanika o vlastitom znanju.

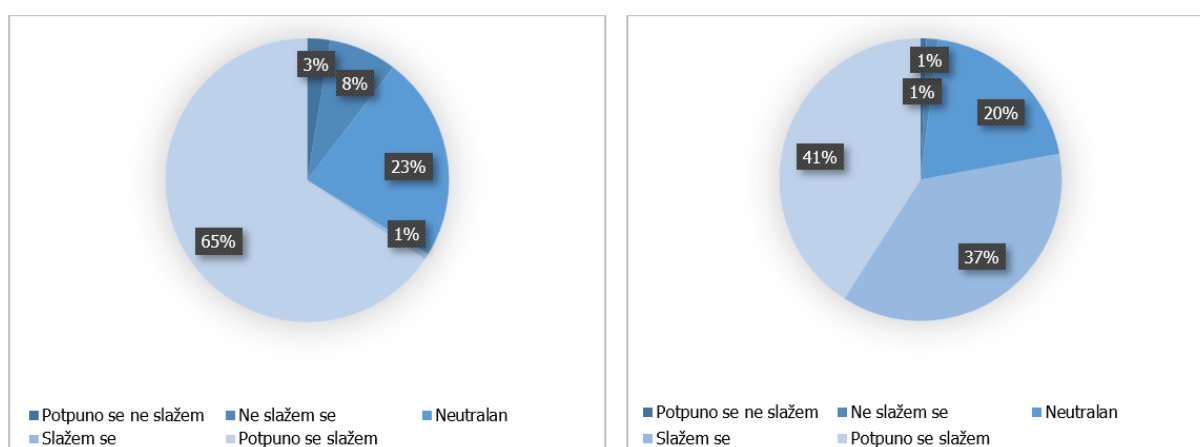
Od ukupnog broja ispitanika, 79 % posjeduje svjedodžbu opće ECDIS izobrazbe (EGT) i dodatne izobrazbe (EST). Samo EGT svjedodžbu posjeduje 12 % ispitanika, dok 8 % ispitanika posjeduje samo EST svjedodžbu. Od ukupnog broja ispitanika samo je 1 % onih koji ne posjeduju niti jednu svjedodžbu vezanu uz korištenje ECDIS sustava. Prilikom izjašnjavanja ispitanika o znanju kojeg posjeduju za rukovanje s ECDIS sustavom s lakoćom, 87 % se potpuno slaže, 10 % je neutralno, dok se 3 % u potpunosti ne slaže.

Mišljenje ispitanika o potrebi za prilagodbom ECDIS obuke u odnosu na pojedino navigacijsko zvanje prikazana je na Slici 54, gdje je vidljivo kako gotovo polovica (32 %, odnosno 14 %) ispitanika podržava ovu konstataciju. Neutralan stav je zauzelo 21 % ispitanika, dok se ostatak od 10%, odnosno 23 % ispitanika ne slaže s ovom izjavom.



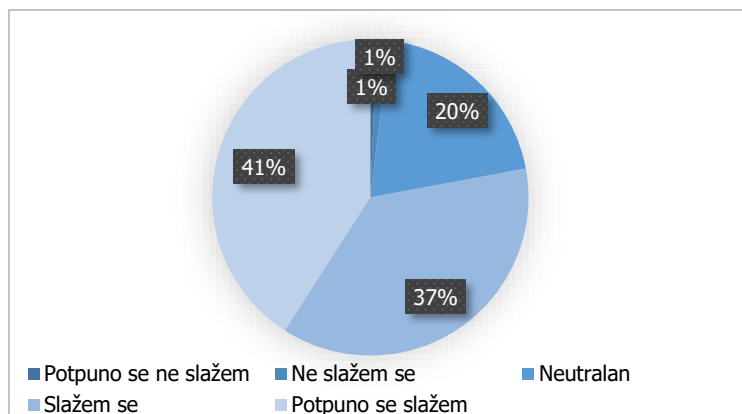
Slika 54. Slaganje ispitanika s konstatacijom da ECDIS obuka treba biti prilagođena časničkom rang.

Kada je riječ o pogodnostima dodatne obuke vezane uz sustav s obzirom na razvoj sustava, većina ispitanika (65 %) se slaže da bi dodatna obuka imala dobre učinke po njihovo znanje s obzirom na razvoj sustava. Neutralno je ostalo 23 % ispitanika dok 8 %, odnosno 3 % ispitanika ne smatra da je dodatna edukacija potrebna (Slika 55.).



Slika 55. Mišljenje ispitanika o potrebi za dodatnom edukacijom s obzirom na razvoj sustava (lijevo) te o potrebi za stalnim usavršavanjem.

Primjenu koncepta cjeloživotnog učenja podržava 78 % ispitanika (Slika 56.). S ovom tvrdnjom ne slaže se 2 % ispitanika, dok je njih 20 % zauzelo neutralan stav.

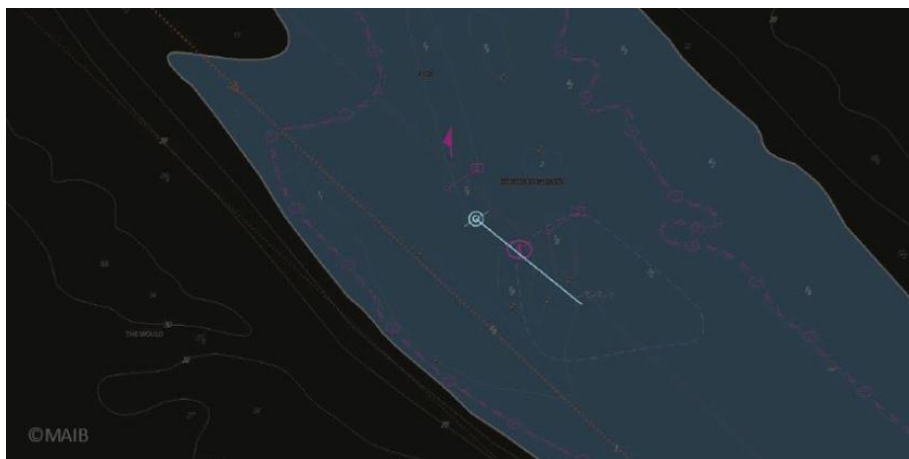


Slika 56. Mišljenje ispitanika o potrebi stalnog usavršavanja, odnosno cjeloživotnog učenja da bi se ostalo u trendu sa znanjem o trenutnim i nadolazećim tehnologijama.

Jedan od problema koji se javlja kod korištenja navigacijskih informacijskih sustava jest izobrazba za određeni sustav učenjem na daljinu, ograničene interakcije s predavačima. Ovaj način obuke pruža osnovne informacije o sustavima i rukovanju s istim, no u obzir ne uzima manje izražene elemente, kako je prikazano u sljedećim rezultatima.

4.2.5. Boje i kontrasti na zaslonu sustava i utjecaj na vođenje navigacije

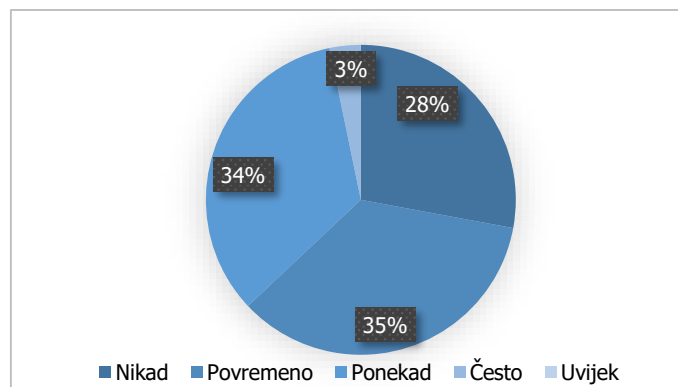
Prethodno je potvrđeno kako određena vrsta prikaza može doprinijeti nezgodi zbog pogreške vizualne identifikacije navigacijske opasnosti. Isječak situacije u kojoj je časnik pogrešno protumačio ENC simbole, odnosno previdio nesigurnu rutu tijekom vizualne provjere, prikazan je na Slici 57. Ovi su problemi povezani s pogrešnim tumačenjem ENC simbola zbog neusklađenosti boja, mjerila karte (povećanje/smanjenje), načina prikaza (dan/sumrak/noć), ili osvjetljenja.



Slika 57. Isječak prikaza ECDIS sučelja.

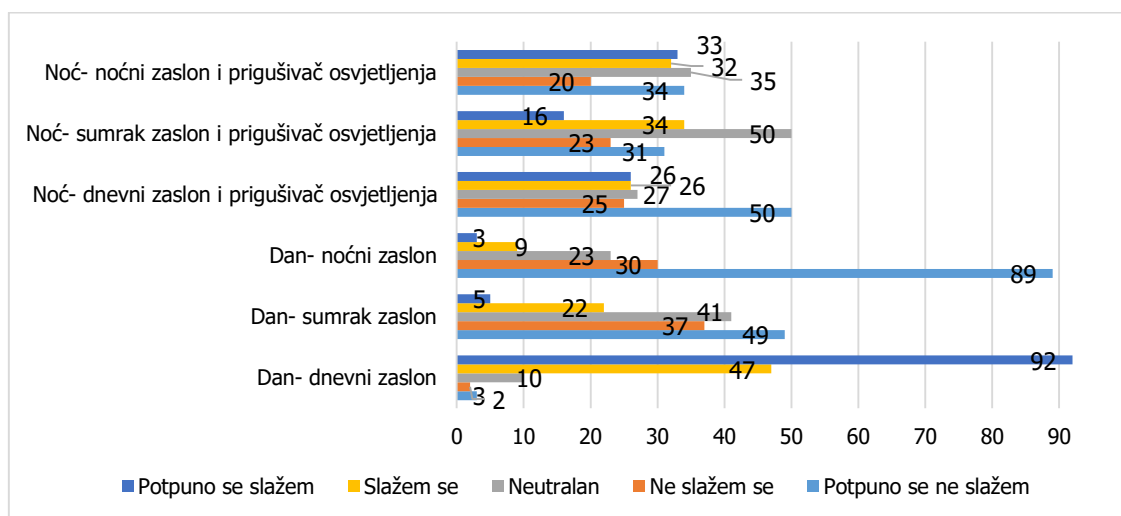
Izvor: [162].

Učestalost pogrešnog tumačenja simbola na ENC kartama prikazana je na Slici 58. Ova iskustva nije doživjelo 28 % ispitanika, 35 % ispitanika povremeno, njih 34 % ponekad krivo, dok je 3 % ispitanika često pogrešno tumačilo simbole na kartama.



Slika 58. Učestalost pogrešnog tumačenja ENC simbola.

Sljedeći odgovori odnose se na raspoznavanje kontrasta između boja tijekom različitih vrsti prikaza osvjetljenja i prigušivanja svjetla. Ispitanicima je postavljeno pitanje o načinu postavljanja ECDIS zaslona za vrijeme planiranja putovanja i praćenja kretanja broda po planiranome putu zasebno, i to tijekom ovih radnji danju ili noću¹⁷. Izbor prikaza zaslona tijekom procesa planiranja putovanja prikazan je na Slici 59. Većina ispitanika (91 %) se izjasnila da tijekom planiranja za trajanja dnevnog osvjetljenja koristi dnevni prikaz. Kod planiranja tijekom noći, za noćni prikaz opredijelilo se 42 % ispitanika. Za korištenje dnevnog prikaza uz prigušivanje svjetla (engl. *dimmer*) opredijelilo se 34 %, unatoč činjenici kako je za ovu radnju predviđen noćni prikaz.

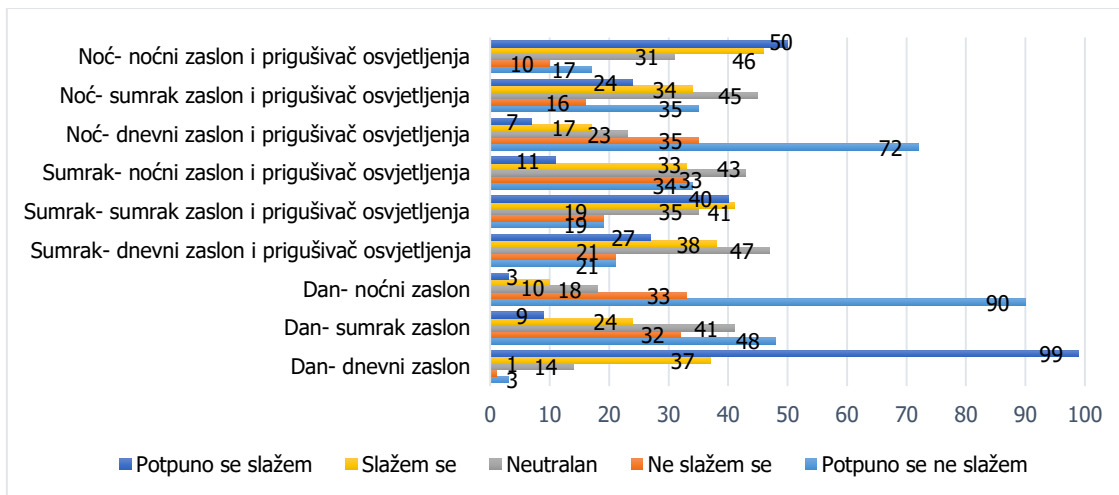


Slika 59. Planiranje putovanja, *dnevni*, *sumrak* ili *noćni* prikaz zaslona.

Izbor prikaza zaslona tijekom procesa praćenja kretanja broda po planiranom putu prikazan je na Slici 60. Ako se praćenje kretanja broda odvija tijekom dnevnog osvjetljenja, 88 % ispitanika odabire dnevni prikaz. Tijekom sumraka, ovaj prikaz uz prigušeno svjetlo odabire

¹⁷ Ispitanicima je postavljeno pitanje da li za vrijeme planiranja pomorskog putovanja tijekom dana koriste *dnevni*, *sumrak* ili *noćni* zaslon, odnosno da li za vrijeme planiranja tijekom noći koriste *dnevni*, *sumrak* ili *noćni* zaslon.

53 % ispitanika, dok 42 % ispitanika odabire dnevni uz prigušivanje, iako je za ovu radnju predviđen i prikaz sumraka. Tijekom praćenja kretanja broda noću, 62 % ispitanika odabire noćni zaslon i prigušivanje osvjetljenja, dok 15 % ispitanika odabire dnevni zaslon uz prigušivanje. Opet, za radnju praćenja kretanja broda noću predviđen je noćni prikaz.

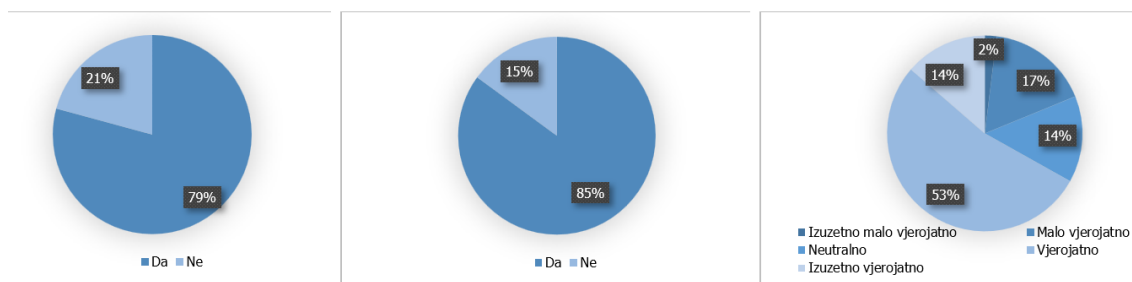


Slika 60. Praćenje kretanja broda po planiranome putu, *dnevni*, *sumrak* ili *noćni* prikaz zaslona.

Iz navedenih rezultata istraživanja da se zaključiti kako pomorci preferiraju drugačiji prikaz ECDIS zaslona od onog preporučenog za određeno doba dana, zbog bolje preglednosti i kontrasta među bojama prikazanim na zaslonu ECDIS uređaja.

4.2.6. Plovidba ograničeno plovnim područjima: kormilarske naredbe, utjecaj valova, dubina i visina broda iznad mora

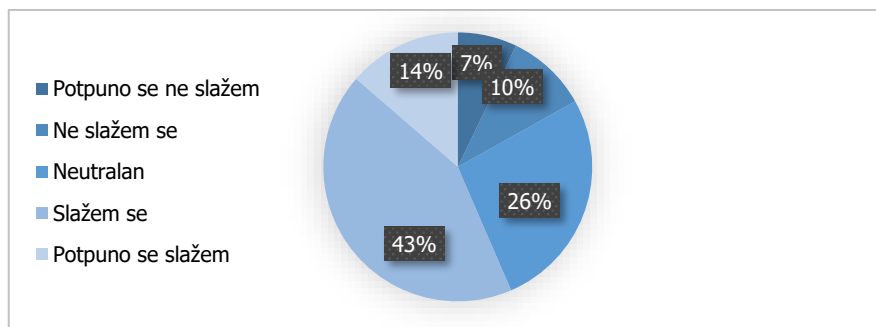
Plovidba ograničeno plovnim područjima izvršava se uz ručno kormilarenje verbalnim izdavanjem zapovjedi kormilaru od strane časnika, uz pomoć komunikacije zatvorene petlje. Slika 61. lijevo predstavlja iskustva kod krivo izdane naredbe kormilaru prilikom plovidbe u ograničeno plovnim područjima, što je iskusilo 79 % ispitanika.



Slika 61. Udio odgovora ispitanika na slučaj krivog izdavanja naredbe kormilaru (lijevo) ili od strane kormilara (centar) tijekom plovidbe u ograničeno plovnim područjem te stav o vjerojatnosti ugroze navigacije zbog krivo izdane ili krivo izvedene naredbe.

S druge strane, 85 % ispitanika doživjelo je krivo izvedenu naredbu od strane kormilara prilikom plovidbe u ograničeno plovnim područjima (Slika 61. centar). Krivo izdana ili krivo

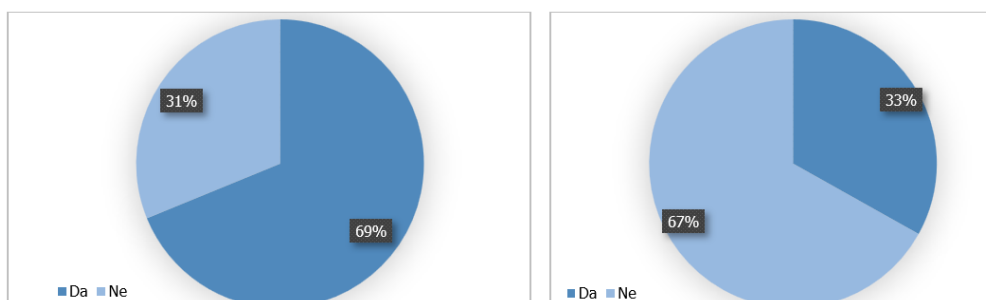
izvedene naredba može dovesti do ugroze navigacije, što potvrđuju odgovori ispitanika na Slici 61. desno. Više od polovice ispitanika (53 %) je odgovorilo da je postojala vjerojatnost ugroze sigurnosti navigacije zbog krivo izdane ili krivo izvedene naredbe, dok je za 14 % ispitanika ugroza sigurnosti navigacije bila izuzetno vjerojatna. Neutralno se izjasnilo 14 % ispitanika, dok je ugroza sigurnosti za 17 % ispitanika bila malo vjerojatna, a za 2 % izuzetno malo vjerojatna.



Slika 62. Stav ispitanika o konstataciji kako bi se sustavom upozorenja uslijed krivo izdane ili izvedene kormilarске naredbe unaprijedila sigurnost navigacije plovibom u ograničeno plovim područjima.

Nastavno na navedeno, u svrhu poboljšanja sigurnosti navigacije moguće je osmisлити sustav koji bi upozorio na krivo izdanu ili krivo izvedenu naredbu kormilaru, kojim bi se uklonile posljedice krivo izdanih ili izvedenih naredbi. Da bi ovakav sustav doprinio sigurnosti navigacije pod navedenim uvjetima složilo se 43 %, odnosno 14 % ispitanika (Slika 62.), dok je 26 % ispitanika zauzelo neutralan stav.

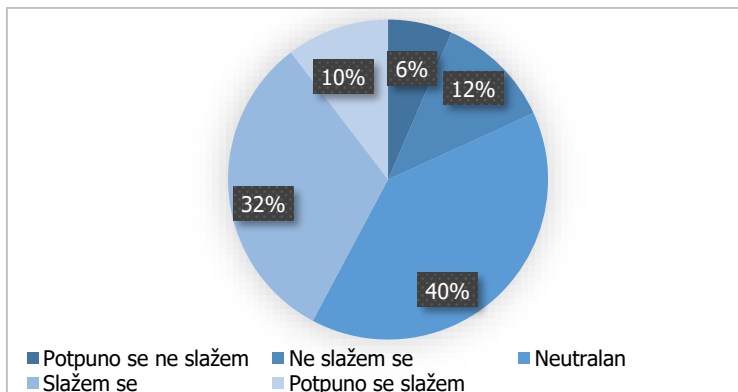
U kontekstu planiranja putovanja i vođenja navigacije ograničenim plovim područjima, element koji potencijalno značajno ugrožava sigurnost navigacije jesu valovi, koji mogu imati utjecaj na umanjenje označene dubine na karti. Ovaj element prilikom navigacije ograničeno plovim područjima u obzir ne uzima 31 % ispitanika (Slika 63.), s druge strane, 32 % ispitanika doživjelo je smanjenje UKC vrijednosti zbog utjecaja valova.



Slika 63. Uzimanje utjecaja valova na dubine na karti prilikom navigacije u ograničeno plovim područjima (lijevo), i iskustvo smanjenja UKC vrijednosti uslijed djelovanja valova.

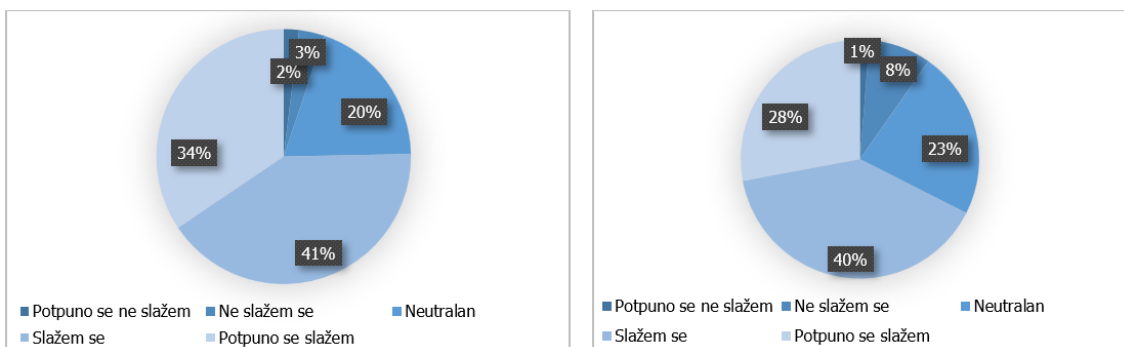
S prijedlogom razvoja sustava kojim bi se u obliku dodatnog sloja automatski ispravljale dubine na kartama za određenu visinu valova (Slika 64.), i njegov doprinos sigurnoj navigaciji u navedenim uvjetima, slaže se 32 %, odnosno 10 % ispitanika. Uz 40 % neutralnih stavova, s

ovom se konstatacijom ne slaže 12 %, odnosno 6 % ispitanika. Ovdje je bitno napomenuti da na primjer, val visine jednog metra i duljine 15 metara nema utjecaj na brodove koji su širi od 15 metara s obzirom na dizanje i spuštanje broda, u slučaju kada valovi dolaze točno u bok u odnosu na uzdužnicu broda. Situacija je čak još i bolja kada dolaze u smjeru uzdužnice. Prema tome, utjecaj valova na posrtanje broda ovisi o duljini vala, smjeru nailaska na uzdužnicu i dimenzijama broda.



Slika 64. Doprinos dodatnog sloja ECDIS sustava kojim bi se dubine na karti automatski ispravljale za određenu visinu valova.

Nastavno na navedene rezultate, plovidba ograničenim plovnim područjima podrazumijeva i plovidbu kanalima ispod nadvodnih konstrukcija (npr. mostova). U kombinaciji s utjecajem valova, može doći do ugroze i u slučaju smanjenja dubine ispod kobilice, ali i smanjenja prostora ispod konstrukcije, budući da se u trenutku kada se brod nalazi na brijegu vala smanjuje se vertikalna udaljenost od najviše točke do nadvodne konstrukcije.

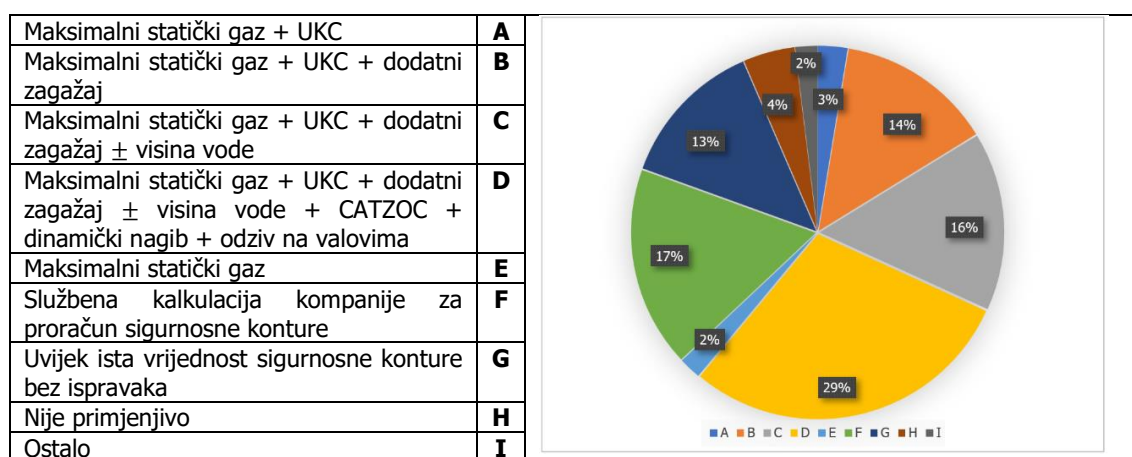


Slika 65. Potreba za detaljnijim prikazom visina između vodene površine i nadvodne konstrukcije (lijevo), odnosno za detaljnijim prikazom oznaka dubina ispod nadvodne konstrukcije.

Na Slici 65. prikazana su mišljenja o prijedlozima detaljnijih prikaza visina iznad vodene površine, odnosno detaljnijem prikazima oznaka dubina ispod nadvodnih konstrukcija. Većina ispitanika se složila (41 %) ili potpuno složila (34 %) s prijedlogom detaljnijeg označavanja ovih visina. Nadalje, većina ispitanika se složila (40 %) ili potpuno složila (28 %) s prijedlogom detaljnijeg prikazivanja dubina na mjestima nadvodne konstrukcije.

4.2.7. Podešavanje parametra sigurnosne konture

Sigurnosna kontura predstavlja jedan od najvažnijih parametara u postavkama ECDIS sustava. Prema osobnom iskustvu autora, neformalnim razgovorima sa časnicima navigacijske straže i temeljem dosadašnjih uključujući vlastita istraživanja, mnoge kompanije imaju propisane upute za izračun UKC vrijednosti, kao i za postavljanje sigurnosne konture. Temeljem odnosnog pitanja, 93 % ispitanika navelo je kako njihove kompanije imaju propisane procedure za postavke sigurnosne konture. Na Slici 66. prikazani su načini određivanja sigurnosne konture ispitanika.



Slika 66. Način određivanja sigurnosne konture temeljem odgovora ispitanika.

Temeljem gornjeg prikaza, vidljivo je kako ne postoji standardizirani način određivanja ove vrijednosti, i kako su zastupljene različite metode i podaci koje nisu sve nužno sigurne za vođenje navigacije. S obzirom na važnost ovog parametra, i činjenicu kako svi časnici na zapovjednom mostu imaju pristup mijenjanju postavki, pojavljuje se potencijalni rizik od pogrešnog ili neprikladnog postavljanja vrijednosti sigurnosne konture. Ukupno je 70 % ispitanika navelo kako bi samo određeni časnici navigacijske straže smjeli mijenjati ove postavke, dok 30 % ispitanika misli suprotno, što i jest slučaj u praksi.

4.2.8. Završna razmatranja o rezultatima anketnog upitnika

Obradom prikazanih odgovora, njihovom kategorizacijom i zapažanjima, sljedeće se spoznaje mogu izdvojiti, a koje su poslužile kao potvrda o reprezentativnosti, i dalje za ispitivanje i razradu objekata istraživanja te konačno, za izradu modela. Profilom ispitanika i njihovim brojem, kao i razdobljem unutar kojeg je upitnik bio aktivan, može se konstatirati kako je isti mjerodavan. Osim toga, gotovo polovica ispitanika plovi na brodovima bez papirnatih karata. Iako je trend prihvaćanja sustava pozitivan, i dalje postoji mjerljiv udio ispitanika oprečnih stavova. Neki od konkretnih razloga su prevelika količina informacija i kompleksnost sustava, što je na neki način već potvrđeno prethodnim istraživanjima [30, 37]. No, u kontekstu doktorskog rada, kartografska simbologija predstavlja zaseban element istraživanja. Probleme vezane uz preklapanje simbola navelo je 28 % ispitanika. Općenito, i bez obzira na razdoblje

anketnog upitnika, značajan udio ispitanika podržava tradicionalno vođenje navigacije. Ovdje je riječ o 82 % ispitanika koji imaju iskustvo rada s oba navigacijska sredstva.

Časnik navigacijske straže mora biti kompetentan i znati koristiti niz tehnika za pozicioniranje broda i općenito vođenje navigacije, uključujući, ali ne ograničavajući se na pojedinačne navigacijske metode. Određena prisutnost situacijske svjesnosti neminovna je za sigurne navigacijske postupke. Većina ispitanika smatra kako upravo suvremeni navigacijski informacijski sustavi, unatoč prednostima koje su donijeli, smanjuju situacijsku svjesnost i doprinose prevelikom oslanjanju na tehnološka postignuća. Pad sustava, problemi sa sustavom i podacima uključujući ažuriranje karata, nedovoljnu pokrivenost službenim kartama i nedovoljno znanje i dalje nastupaju kao važni, uočeni problemi, unatoč činjenici da je anketni upitnik ispunjavan gotovo četiri godine od završetka prijelaznog razdoblja implementacije.

S aspekta edukacije, jedan od problema nastupa izobrazba na daljinu, gdje ne postoji interakcija s predavačima te na taj način ne omogućava učinkovitost standardne izobrazbe. Upravo objekti istraživanja prikazani u daljnjem tekstu nastupaju kao trenutno nezastupljeni u postojećim izobrazbama, prvenstveno EST izobrazbi.

Stanovit udio ispitanika, zbog bolje preglednosti i kontrasta, preferira drukčiju konfiguraciju prikaza zaslona od preporučene, za određeno doba dana pri temeljnim zadacima planiranja putovanja i vođenja navigacije. Ovo nastupa kao znak za povećani oprez i dugoročni pristup rješavanju problematike simnologije na kartama. Raznolikost odgovora na temeljne zahtjeve sigurne navigacije korištenjem navigacijskih informacijskih sustava ukazuje na problem standardizacije, ali i na odgovore temeljem poimanja prikaza koji se nudi.

Kod plovidbe ograničeno plovnim područjima, doprinosi sigurnijoj navigaciji očituju se i u ponuđenim rješenjima vezanim za sustav uzbude pri ručnom kormilarenju, automatsko ispravljanje dubina na karti uslijed utjecaja valova te detaljnije prikaze dubina ali i visina iznad vodene površine u ograničeno plovnim područjima. Daljnjim razvojem novih standarda (dio 2.1.4.) implementacija ovih i sličnih rješenja je izvediva i opravdana.

4.3. Definiranje i analiza čimbenika koji utječu na sigurnost plovidbe ograničeno plovnim područjima korištenjem navigacijskih informacijskih sustava

Postupak SLIM metode (Slika 28.) uključivao je zapovjednike broda s minimalno deset godina iskustva, koji rade s ECDIS uređajem.

Tablica 16. Demografski podaci stručnjaka.

Stručnjaci	1	2	3	4	5	6
Čin	Zapovjednik					
Starost	44	42	46	64	44	38
Iskustvo (g)	19	12	22	30	12	20
Obrazovanje	dipl. ing.	dr. sc.	mag. ing. pom. prom.	ing. pom. prom.	ing. pom. prom.	ing. pom. prom.

Vrsta broda	LNG	Tankeri za ulje i kemikalije	Brodovi za prijevoz rasutih tereta	Brodovi za kružna putovanja	LNG	Tankeri za ulje i kemikalije
-------------	-----	------------------------------------	--	-----------------------------------	-----	------------------------------------

Njihovi demografski podaci prikazani su u Tablici 16.

Stručnjaci, odnosno zapovjednici s minimalno deset godina iskustva su identificirali čimbenike koje je potrebno uzeti u obzir tijekom obavljanja specifičnih postupaka tijekom planiranja putovanja i vođenja navigacije, odnosno koji mogu utjecati na uspješnost izvođenja pojedine radnje te ključne postupke koje je potrebno obaviti, a smatraju se značajnima prema njihovom ekspertnom mišljenju. Uz definiranje i objašnjenje postupaka, stručnjaci su ponderirali i ocijenili PSF za svaki postupak o kojima ovisi uspješnost planiranja putovanja i vođenja navigacije ograničeno plovnom područjem uz pomoć navigacijskih informacijskih sustava (prema metodologiji prikazanoj u dijelu 3.2.5.).

4.3.1. Identifikacija radnji/navigacijskih postupaka pri planiranju i vođenju navigacije

Problem istraživanja predstavlja neadekvatno korištenje navigacijskih informacijskih sustava od strane časnika i zapovjednika te utjecaj interakcije časnika i sustava na sigurnost plovidbe. Stručnjaci su pokušali predvidjeti sve vrste pogrešaka koje se mogu pojaviti prilikom njegovog izvođenja, razmatrajući situacije unutar kojih bi moglo doći do određenih propusta. Čimbenici koji mogu utjecati na pojavnost ljudske pogreške prilikom planiranja putovanja i vođenja navigacije ograničeno plovnom putovima korištenjem navigacijskih informacijskih sustava određeni su da bi se njihovim djelovanjem na postupke koji su izdvojeni kao važniji mogla procijeniti vjerojatnost nastanka ljudske pogreške, a posljedično i potencijalnih nezgoda, odnosno nasukanja ili udara. Vrednovana je uspješnost izvođenja dvije radnje; planiranja putovanja (prve dvije faze planiranja putovanja) i vođenja navigacije (posljednje dvije faze planiranja putovanja). Da bi se procijenio rizik, odnosno vjerojatnost nastanka pogreške časnika u zadanim uvjetima, zapovjednici su definirali ključne postupke za adekvatno planiranje putovanja i vođenje navigacije (Tablica 17.)

Tablica 17. Ključni postupci (T) prema ekspertnom mišljenju stručnjaka koji se izvršavaju prilikom planiranja putovanja (radnja 1) i vođenja navigacije (radnja 2).

Oznaka	Radnja - planiranje putovanja
T1	Adekvatno konfigurirane konture dubine na ECDIS sustavu (engl. <i>adequately configured depth contours on ECDIS</i>)
T2	Odgovarajući i ažurirani ENC u upotrebi prikazan u odgovarajućem mjerilu (engl. <i>appropriate and updated ENC in use displayed at adequate scale</i>)
T3	Odgovarajući prikaz zaslona (dan/sumrak/noć) (engl. <i>appropriate palette (day/dusk/night) presentation</i>)
T4	Očekivani uvjeti okoline uzeti u obzir (engl. <i>expected environmental conditions taken into account</i>)
T5	Odgovarajući proračun dubine ispod kobilice i najveće visine broda iznad mora (engl. <i>adequate UKC/air draft calculation</i>)
T6	Adekvatno postavljen i konfiguriran XTD (engl. <i>XTD adequately set and configured</i>)
T7	Planiranje sigurnosne brzine (engl. <i>safe speed planning</i>)

T8	Funkcija provjere rute ispravno upotrebljena (engl. <i>route-check function adequately used</i>)
Oznaka	Radnja - vođenje navigacije
T1	Aдекватно konfigurirane konture dubine na ECDIS sustavu (engl. <i>Adequately configured depth contours on ECDIS</i>) ¹⁸
T2	Odgovarajući i ažurirani ENC u upotrebi prikazan u odgovarajućem mjerilu (engl. <i>Appropriate and updated ENC in use displayed at adequate scale</i>)
T3	Odgovarajući prikaz zaslona (dan/sumrak/noć) (engl. <i>Appropriate palette (day/dusk/night) presentation</i>)
T4	Očekivani uvjeti okoline uzeti u obzir (engl. <i>Expected environmental conditions taken into account</i>)
T5	Brod plovi sigurnosnom brzinom (engl. <i>Safe speed in use</i>)
T6	Funkcija Look-ahead podešena i korištena (engl. <i>Look-ahead function adjusted and used</i>)
T7	Izdane pravilne zapovijedi za kormilarenje (engl. <i>Correct steering order given</i>)
T8	Pravilno izvedene zapovijedi za kormilarenje (engl. <i>Correctly executed steering order</i>)

4.3.2. Identifikacija potencijalnih čimbenika

Prema ekspertnom mišljenju, određena su po četiri ključna čimbenika koji značajno utječu na sigurnost plovidbe u zadanim uvjetima, za svaku radnju (Tablica 18. i 19.).

Tablica 18. Čimbenici koji značajno utječu na planiranje putovanja (engl. *Appraisal/Planning*)
ograničeno plovim područjima korištenjem navigacijskih informacijskih sustava.

Oznaka	Naziv čimbenika oblikovanja izvedbe
PSF1	Poznavanje sustava (engl. <i>system knowledge</i>)
PSF2	Iskustvo navigatora (engl. <i>navigator's experience/training</i>)
PSF3	Procedura planiranja putovanja (engl. <i>passage planning procedure</i>)
PSF4	Sučelje čovjek-sustav (engl. <i>human-system interface</i>)

Tablica 19. Čimbenici koji značajno utječu na vođenje navigacije (engl. *Execution/Monitoring*)
ograničeno plovim područjima korištenjem navigacijskih informacijskih sustava.

Oznaka	Naziv čimbenika oblikovanja izvedbe
PSF1	Poznavanje sustava (engl. <i>system knowledge</i>)
PSF2	Iskustvo navigatora (engl. <i>navigator's experience/training</i>)
PSF3	Svijest o situaciji (engl. <i>situational awareness</i>)
PSF4	Sučelje čovjek-sustav (engl. <i>human-system interface</i>)

Odabrani čimbenici predstavljaju čimbenike oblikovanja izvedbe (PSF) i potencijalno su značajnog učinka na sigurnost plovidbe, stoga zahtijevaju dužnu pažnju i pažljivo razmatranje svakog zasebno na izvođenje identificiranih postupaka prilikom definiranih radnji. Procjena vjerojatnosti nastanka pogreške časnika navigacijske u zadanim uvjetima prema procijenjenom učinku PSF čimbenika prikazana je u sljedećem potpoglavlju.

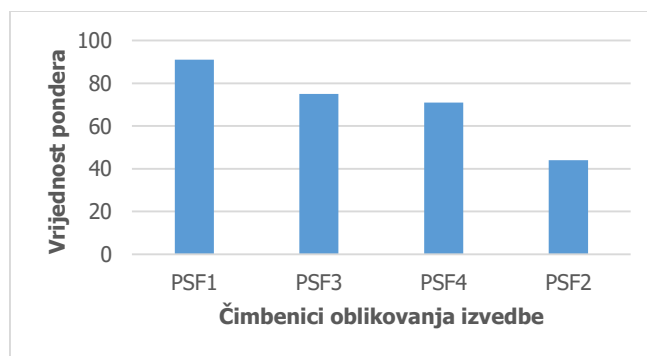
¹⁸ Za razliku od planiranja putovanja ova se radnja odnosi na mogućnost/vjerojatnost promjene tijekom putovanja.

4.3.3. Ponderiranje, kvantificiranje i ocjena čimbenika oblikovanja izvedbe

Ponderiranje i ocjena PSF za svaki pojedini postupak određeni su uzimanjem prosjeka. Iako stručna prosudba uključuje subjektivnost, smatra se da stručnjaci posjeduju dovoljno znanja za razmatrane radnje, i pružaju pouzdane informacije kako bi se nadomjestili nedostupni i ograničeni podaci za određeni scenarij [138]. Ponderiranje PSF za određeni scenarij daje početni uvid u kritičnost čimbenika izvedbe za uspjeh radnji u cjelini. U koraku ocjenjivanja, svaki se postupak unutar radnje eksplicitno procjenjuje kako bi se definirali koraci u kojima se mogu pojaviti ljudske pogreške. Stoga se rizici povezani s izvođenjem određenog postupka odnosno radnje sustavno smanjuju određivanjem ciljeva i poduzimanjem potrebnih mjera specifičnih za svaki pojedini postupak [138]. Kao što je prethodno spomenuto stručnjaci su ocijenili svaki od PSF (Tablice 18. i 19.) prema utjecaju na osnovne radnje planiranja putovanja i vođenja navigacije. Ponderirane vrijednosti poprimaju vrijednost od 0 do 100, i to uzimajući u obzir međusobne odnose čimbenika, odnosno koji je čimbenik važniji za izvedbu cjelokupne radnje bez pogreške. Srednje i normalizirane vrijednosti PSF pondera prikazane su u Tablicama 20. i 21., i Slikama 67. i 68.

Tablica 20. Srednje i normalizirane vrijednosti pondera PSF za planiranje putovanja.

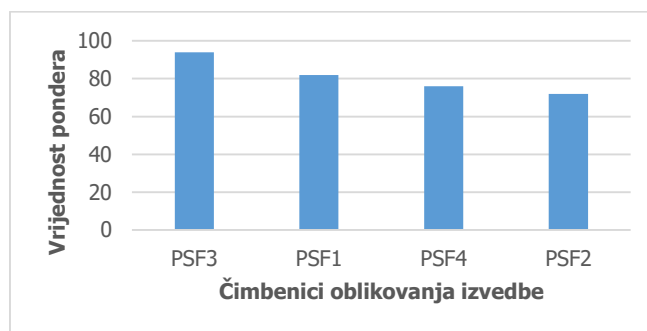
	Srednje vrijednosti ponderiranja	Normalizirani rezultati ponderiranja
PSF1	91	0,324
PSF2	44	0,157
PSF3	75	0,267
PFS4	71	0,252
Σ	281	1,000



Slika 67. Vrijednosti pondera PSF čimbenika za planiranje putovanja.

Tablica 21. Srednje i normalizirane vrijednosti pondera PSF za vođenje navigacije.

	Srednje vrijednosti ponderiranja	Normalizirani rezultati ponderiranja
PSF1	82	0,253
PSF2	72	0,222
PSF3	94	0,290
PFS4	76	0,235
Σ	324	1,000



Slika 68. Vrijednosti pondera PSF čimbenika za vođenje navigacije.

Nadalje, procijenjene su vrijednosti PSF čimbenika prema svakom postupku zasebno (Prilog 3. i 4.). Isto kao i kod ponderiranja, stručnjaci su dodjeljivali ocjene svakom čimbeniku od 0 do 100, ali prema zasebnom postupku koji se izvodi unutar planiranja putovanja ili vođenja broda. Srednje vrijednosti ocjena PSF čimbenika prikazane su u Tablicama 22. i 23.

Tablica 22. Srednje vrijednosti ocjena PSF čimbenika za planiranje putovanja.

Postupak	<i>PSF1</i>	<i>PSF2</i>	<i>PSF3</i>	<i>PSF4</i>
<i>T1</i>	95,83	80,83	87,50	74,17
<i>T2</i>	81,67	79,17	77,50	88,33
<i>T3</i>	68,33	72,50	59,17	98,33
<i>T4</i>	50,00	91,67	71,67	50,00
<i>T5</i>	52,50	96,67	90,83	50,00
<i>T6</i>	67,50	77,50	77,50	62,50
<i>T7</i>	50,00	90,00	81,67	50,00
<i>T8</i>	89,17	75,00	81,67	73,33

Tablica 23. Srednje vrijednosti ocjena PSF čimbenika za vođenje navigacije.

Postupak	<i>PSF1</i>	<i>PSF2</i>	<i>PSF3</i>	<i>PSF4</i>
<i>T1</i>	93,33	82,50	65,83	78,33
<i>T2</i>	80,83	76,67	72,50	83,33
<i>T3</i>	73,33	85,83	61,67	92,50
<i>T4</i>	54,17	93,33	75,83	50,00
<i>T5</i>	50,00	94,17	90,00	51,67
<i>T6</i>	91,67	70,83	75,83	77,50
<i>T7</i>	53,33	95,83	85,83	58,33
<i>T8</i>	53,33	96,67	85,83	68,33

4.4. Procjena rizika navigacijskih pogrešaka koji nastaju prilikom plovidbe ograničeno plovnim područjima

4.4.1. Proračun indeksa vjerojatnosti uspješnosti

Da bi se procijenila vjerojatnost pogreške časnika navigacijske straže u odnosu na određeni postupak unutar definiranih radnji, potrebno je odrediti indeks vjerojatnosti uspješnosti (SLI) prema jednadžbi (6). SLI vrijednosti svakog od postupaka prikazani su u Tablicama 24. i 25.

Tablica 24. SLI vrijednosti postupaka za radnju planiranje putovanja.

Postupak	<i>Produkt 1</i>	<i>Produkt 2</i>	<i>Produkt 3</i>	<i>Produkt 4</i>	<i>SLI</i>
<i>T1</i>	31,03	12,66	23,35	18,74	85,79
<i>T2</i>	26,45	12,40	20,69	22,32	81,85
<i>T3</i>	22,13	11,35	15,79	24,85	74,12
<i>T4</i>	16,19	14,35	19,13	12,63	62,31
<i>T5</i>	17,00	15,14	24,24	12,63	69,02
<i>T6</i>	21,86	12,14	20,69	15,79	70,47
<i>T7</i>	16,19	14,09	21,80	12,63	64,72
<i>T8</i>	28,88	11,74	21,80	18,53	80,95

Tablica 25. SLI vrijednosti postupaka za radnju vođenje navigacije.

Postupak	<i>Produkt 1</i>	<i>Produkt 2</i>	<i>Produkt 3</i>	<i>Produkt 4</i>	<i>SLI</i>
<i>T1</i>	23,62	18,33	19,10	18,37	79,43
<i>T2</i>	20,46	17,04	21,03	19,55	78,08
<i>T3</i>	18,56	19,07	17,89	21,70	77,22
<i>T4</i>	13,71	20,74	22,00	11,73	68,18
<i>T5</i>	12,65	20,93	26,11	12,12	71,81
<i>T6</i>	23,20	15,74	22,00	18,18	79,12
<i>T7</i>	13,50	21,30	24,90	13,68	73,38
<i>T8</i>	13,50	21,48	24,90	16,03	75,91

4.4.2. Proračun vjerojatnosti ljudske pogreške (SLIM metoda)

Procijenjenu vjerojatnost ljudske pogreške za pojedini postupak unutar radnje moguće je dobiti korištenjem vrijednosti SLI indeksa i konstanti a i b prema (7) [18, 65, 138]. Međutim, konstante je također potrebno procijeniti. U ovom se slučaju za dobivanje krajnjih točaka koristila metoda prosudbe apsolutne vjerojatnosti. Razlog za korištenje ovog postupka je što u mnogim situacijama, posebice scenarijima rijetkih događaja, kalibracija temeljena na procjeni korištenjem podataka o frekvenciji određenog događaja možda nije moguća, odnosno podaci nisu dostupni. Prema tome, metoda zahtijeva od stručnjaka procjenu apsolutne vjerojatnosti najboljih i najgorih slučajeva za procijenjeni scenarij. Za primjer, razmatra se situacija u kojoj su svi PSF čimbenici loši koliko god vjerodostojno mogu biti u planiranju putovanja i vođenja navigacije ograničeno plovnim područjem korištenjem navigacijskih informacijskih sustava, i obrnuto, u kojoj su svi dobri koliko mogu biti. Zatim, stručnjaci procjenjuju vjerojatnost ljudske

pogreške u najgorem i najboljem slučaju planiranja putovanja i vođenja broda; ova dva scenarija imaju dodijeljene vrijednosti 0 odnosno 100 te se na kraju koriste za određivanje krajnjih vrijednosti SLI indeksa. Ovi, krajnji uvjeti čine opću jednadžbu SLIM metode (7), kako bi se pronašle vrijednosti a i b . U tom kontekstu, od stručnjaka se traži da procijene vjerojatnost ljudske pogreške za dva scenarija, uzimajući u obzir najbolji i najgori mogući slučaj u planiranju putovanja i vođenju navigacije. Procijenjene HEP vrijednosti od strane stručnjaka za najbolje i najgore slučajeve obje radnje prikazane su u Tablicama 26. i 27.

Tablica 26. Procijenjena vjerojatnost ljudske pogreške i vrijednosti konstanti a i b , planiranje.

Procijenjena vjerojatnost ljudske pogreške u najboljem slučaju	Procijenjena vjerojatnost ljudske pogreške u najgorem slučaju	Vrijednost a	Vrijednost b
1,00E-03	1,00E-01	0,000453255	-0,04576

Tablica 27. Procijenjena vjerojatnost ljudske pogreške i vrijednosti konstanti a i b , navigacija

Procijenjena vjerojatnost ljudske pogreške u najboljem slučaju	Procijenjena vjerojatnost ljudske pogreške u najgorem slučaju	Vrijednost a	Vrijednost b
1,00E-03	1,00E-01	0,000453255	-0,04576

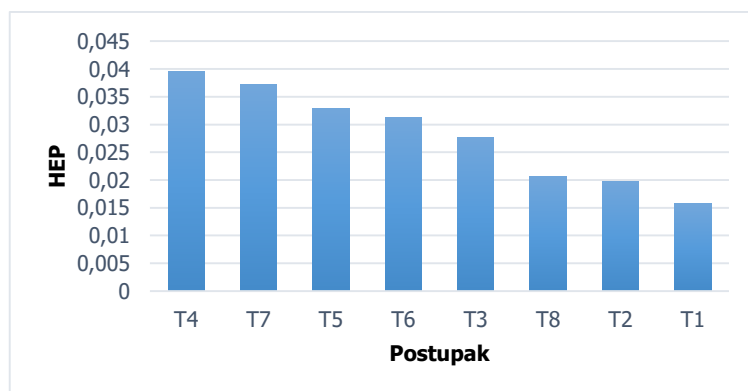
Procijenjene vrijednosti HEP pogreške su srednje vrijednosti procjena svih stručnjaka.

Vrijednost dobivena iz (7) predstavlja vjerojatnost uspjeha razmatranih postupaka, što omogućuje određivanje HEP za svaki postupak unutar radnje zasebno. Vrijednost vjerojatnosti uspjeha treba oduzeti od 1 nakon što se izračuna antilogaritam (12). Nepoznate HEP vrijednosti prilikom izvršavanja procijenjenih postupaka u Tablicama 28. i 29. dobivene su uvrštavanjem SLI vrijednosti u Tablicama 24. i 25. i vrijednosti a i b u Tablicama 26. i 27. u jednadžbu (7).

Tablica 28. Procijenjene HEP pogreške za pojedini postupak planiranja putovanja.

Postupak	Indeks vjerojatnosti uspješnosti	Logaritam vjerojatnosti uspješnosti	Vjerojatnost uspješnosti	Vjerojatnost ljudske pogreške	
T1	85,79	-0,006877119	0,984289565	0,0157	1,57E-02
T2	81,85	-0,00866218	0,980252186	0,0197	1,97E-02
T3	74,12	-0,012165094	0,97237751	0,0276	2,76E-02
T4	62,31	-0,017518934	0,960463945	0,0395	3,95E-02
T5	69,02	-0,014478415	0,967211796	0,0328	3,28E-02
T6	70,47	-0,013818427	0,968682767	0,0313	3,13E-02
T7	64,72	-0,016427466	0,962880817	0,0371	3,71E-02
T8	80,95	-0,009070809	0,979330299	0,0207	2,07E-02

Svi postupci, prema procijenjenoj vjerojatnosti nastanka ljudske pogreške od najveće prema najmanjoj prikazani su na Slici 69.



Slika 69. Procijenjena vjerojatnost ljudske pogreške prema ključnim postupcima prilikom planiranja putovanja.

Najveća vjerojatnost nastanka ljudske pogreške prilikom planiranja putovanja procijenjena je za postupak *Očekivani uvjeti okoline uzeti u obzir* (T4) – skoro 4 %, a slijede ga *Planiranje sigurnosne brzine* (T7) i *Odgovarajući proračun dubine ispod kobilice i najveće visine broda iznad mora* (T5). Prema procjenama stručnjaka, to su tri najrizičnija postupka koji se obavljaju tijekom radnje planiranja putovanja. Neki primjeri nedavnih pomorskih nezgoda uzrokovanih vremenskim uvjetima uključuju [200]:

- Brod za kružna putovanja „Viking Sky“ ostao je bez pogona u olujnom moru kod norveške obale 2019. Ukupno 460 putnika evakuirano je s broda koji je vukao oba sidra kroz olujno more,
- Snažna oluja je ribarski brod „Yong Yu Sing #18“ odnijela s kursa u Južnom kineskom moru 2020. Posada od 10 članova nikada nije pronađena,
- Ribarski brod „Scandies Rose“ prevrnuo se i potonuo zbog nakupljanja leda na jarbolima i konstrukciji broda u blizini obale Aljaske 2019. Pet je života izgubljeno,
- Ruska kočarica „Onega“ doživjela je sličnu sudbinu zbog nakupljanja leda u Barentsovom moru 2020., sa 17 izgubljenih života.

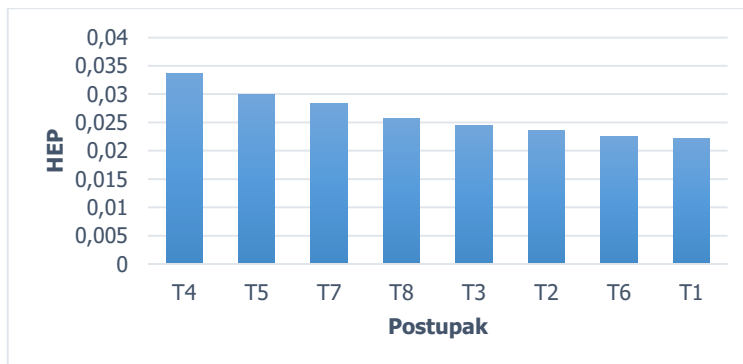
Navedeni primjeri nezgoda potvrđuju važnost postupka T4 i potvrđuju procjene stručnjaka. Zapovjednik broda odgovoran je za planiranje sigurne rute na temelju pouzdanih i aktualnih vremenskih prognoza i donošenja odluka. Važnost uzimanja očekivanih vremenskih uvjeta i ostalih okolišnih čimbenika prilikom planiranja putovanja u obzir od ključne je važnosti za sigurnost broda, posade, i za očuvanje okoliša. Aktualne vremenske prognoze prilikom planiranja putovanja, ali i tijekom plovidbe su neophodne.

Istom su metodom procijenjene vrijednosti pogreške časnika za pojedine postupke unutar radnje vođenja navigacije (Tablica 29., odnosno Slika 70.).

Tablica 29. Procijenjene HEP pogreške za pojedini postupak vođenja navigacije.

Postupak	Indeks vjerojatnosti uspješnosti	Logaritam vjerojatnosti uspješnosti	Vjerojatnost uspješnosti	Vjerojatnost ljudske pogreške	
T1	79,43	-0,009758403	0,977781007	0,0222	2,22E-02
T2	78,08	-0,010371603	0,976401408	0,0236	2,36E-02

T3	77,22	-0,010758642	0,975531637	0,0245	2,45E-02
T4	68,18	-0,014857522	0,966367862	0,0336	3,36E-02
T5	71,81	-0,013211441	0,970037578	0,0300	3,00E-02
T6	79,12	-0,009898297	0,977466098	0,0225	2,25E-02
T7	73,38	-0,012500316	0,971627245	0,0284	2,84E-02
T8	75,91	-0,011353189	0,974197052	0,0258	2,58E-02



Slika 70. Procijenjena vjerojatnost ljudske pogreške prema ključnim postupcima prilikom vođenja navigacije.

Najveća vjerojatnost nastanka HEP prilikom vođenja navigacije procijenjena je za postupak *Očekivani uvjeti okoline uzeti u obzir* (T4) – 3,3 %, a slijede ga *Brod plovi sigurnosnom brzinom* (T5) i *Izdane pravilne zapovijedi za kormilarenje* (T7) (Slika 70.). Postupak T4 može se smatrati najrizičnijim postupkom prilikom planiranja putovanja i vođenja navigacije ograničeno plovnim područjem. Iz prethodno navedenih primjera stvarnih nezgoda, od kojih su neke prouzročile gubitke ljudskih života može se zaključiti da je očekivanim uvjetima okoline potrebno posvetiti dužnu pažnju prilikom planiranja putovanja ili vođenja navigacije te stalno ažurirati podatke. Neprilagođena, odnosno neadekvatna sigurnosna brzina također može biti uzročnik nezgoda na moru te je stoga Pravilima o izbjegavanju sudara na moru (Pravilo 6.) propisano kako se „svaki brod mora stalno kretati sigurnosnom brzinom kako bi se mogla poduzeti pravilna i djelotvorna radnja radi izbjegavanja sudara, te da bi se brod mogao zaustaviti na odgovarajućoj udaljenosti prema prevladavajućim okolnostima i stanju“ [56]. Međutim, osim sudara, neprilagođena, odnosno nesigurnosna brzina može uzrokovati i nasukanje broda s obzirom na pojavu dodatnog zagažaja. U ograničeno plovnim područjima koja su često osim širine ograničena i dubinom, sigurnosna brzina jedan je od ključnih sigurnosnih čimbenika. Prema Povjerljivom programu izvještavanja o incidentima vezanim uz ljudske čimbenike (engl. *Confidential Human Factors Incident Reporting Programme* – CHIRP), karakteristike broda, njegova sposobnost manevriranja, radarski, AIS i podaci ECDIS sustava moraju se, u pogledu sigurnosne brzine, uzeti u obzir pri procjeni zahtjeva Pravila 6. [55].

4.4.3. Analize osjetljivosti SLIM metode

4.4.3.1. Planiranje putovanja

Izračun konzistentnosti procjena među vrednovateljima i analiza osjetljivosti SLIM metode napravljeni su pomoću dvosmjerne analize varijance (potpoglavlje 3.2.5.). Zavisna varijabla korištena u analizi bila je log(HEP), a korištene nezavisne varijable bile su *stručnjaci* i *postupci*. Prema rezultatima analize, pojedinačne vrijednosti log(HEP) značajno se razlikuju za postupke koji se izvršavaju ($p < 0,001$), ali se ne razlikuju značajno prema stručnjacima ($p = 0,186$), što je u skladu sa svrhom istraživanja (Tablica 30.). Prema dobivenim rezultatima, prikupljeni podaci su valjani i rezultati SLIM analize su pouzdani.

Tablica 30. Izračun konzistentnosti procjena među stručnjacima za planiranje putovanja.

Test učinaka između varijabli					
Zavisna varijabla: log(HEP)					
Izvor	Tip III suma kvadrata	Df	Prosjeck kvadrata	F	statistička značajnost p
Korigirani model	0,879 ^a	12	0,073	153,451	< 0,001
Konstanta odsječka	118,668	1	118,668	248732,669	< 0,001
<i>Stručnjaci</i>	0,004	5	0,001	1,598	0,186
<i>Postupci</i>	0,875	7	0,125	261,918	< 0,001
Pogreška	0,017	35	0,000	-	-
Total	119,564	48	-	-	-
Korigirana suma	0,895	47	-	-	-

a. $R^2 = 0,981$ (prilagođeni $R^2 = 0,975$)

Prema analizi osjetljivosti (engl. *sensitivity analysis*), vrijednosti PSF pondera (*weights*) postaju različite između PSF kategorija ($p < 0,05$), ali se ne razlikuju značajno između postupaka koji se izvršavaju ($p = 0,439$; $p > 0,05$) (Tablica 31.). Ovi rezultati su u skladu sa željenim očekivanjima istraživanja.

Tablica 31. Analiza osjetljivosti za radnju planiranja putovanja.

Test učinaka između varijabli					
Zavisna varijabla: PSF ponderi					
Izvor	Tip III suma kvadrata	Df	Prosjeck kvadrata	F	statistička značajnost p
Korigirani model	8926,563 ^a	10	892,656	94,840	< 0,001
Konstanta odsječka	157500,781	1	157500,781	16733,680	< 0,001
<i>PSF</i>	8858,594	3	2952,865	313,727	< 0,001
<i>Postupci</i>	67,969	7	9,710	1,032	0,439
Pogreška	197,656	21	9,412	-	-
Total	166625,000	32	-	-	-
Korigirana suma	9124,219	31	-	-	-

a. $R^2 = 0,978$ (prilagođeni $R^2 = 0,968$)

4.4.3.2. Vođenje navigacije

Tablice 32. i 33. prikazuju rezultate dvosmjerne ANOVA analize za radnju vođenja navigacije.

Tablica 32. Izračun konzistentnosti procjena među stručnjacima za vođenje navigacije.

Test učinaka između varijabli					
Zavisna varijabla: log(HEP)					
Izvor	Tip III suma kvadrata	Df	Prosjeck kvadrata	F	statistička značajnost p
Korigirani model	0,227 ^a	12	0,019	3,413	0,002
Konstanta odsječka	121,275	1	121,275	21892,277	< 0,001
<i>Stručnjaci</i>	0,048	5	0,010	1,722	0,155
<i>Postupci</i>	0,179	7	0,026	4,621	< 0,001
Pogreška	0,194	35	0,006	-	-
Total	121,696	48	-	-	-
Korigirana suma	0,421	47	-	-	-

a. $R^2 = 0,539$ (prilagođeni $R^2 = 0,381$)

Kao kod podataka za planiranje putovanja, pojedinačne vrijednosti log(HEP) značajno se razlikuju za postupke koji se izvršavaju ($p < 0,001$), ali se ne razlikuju značajno prema stručnjacima ($p = 0,155$), što je sukladno sa svrhom, odnosno dokazano je da se stručnjaci slažu u procjenama HEP pogreške. Analiza osjetljivosti za vođenje navigacije (Tablica 33.) pokazuje kako su vrijednosti PSF pondera različite između PSF kategorija ($p < 0,001$), no ne razlikuju se značajno među izvršavanim postupcima ($p = 0,459$; $p > 0,05$).

Tablica 33. Analiza osjetljivosti za radnju vođenja navigacije.

Test učinaka između varijabli					
Zavisna varijabla: PSF ponderi					
Izvor	Tip III suma kvadrata	Df	Prosjeck kvadrata	F	statistička značajnost p
Korigirani model	2393,750 ^a	10	239,375	28,221	< 0,001
Konstanta odsječka	209628,125	1	209628,125	24714,053	< 0,001
<i>PSF</i>	2334,375	3	778,125	91,737	< 0,001
<i>Postupci</i>	59,375	7	8,482	1,000	0,459
Pogreška	178,125	21	-	-	-
Total	212200,000	32	-	-	-
Korigirana suma	2571,875	31	-	-	-

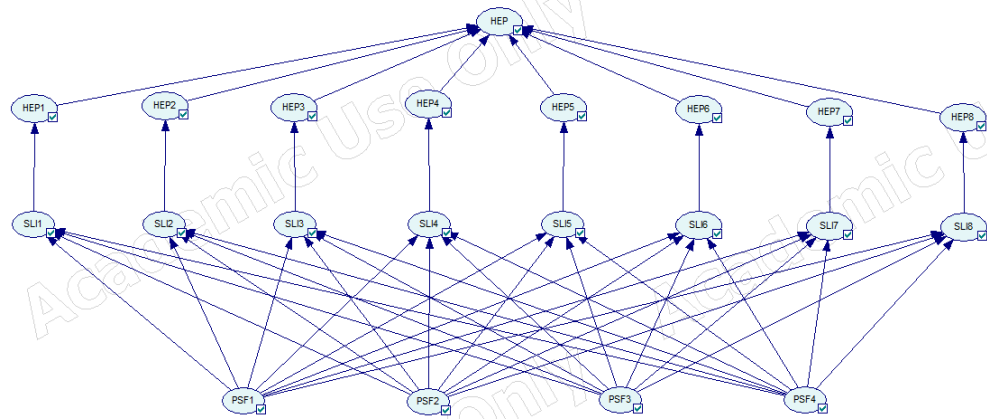
a. $R^2 = 0,931$ (prilagođeni $R^2 = 0,898$)

4.4.4. Proračun vjerojatnosti ljudske pogreške (BN-SLIM metoda)

Procjenama stručnjaka određene su HEP vrijednosti za najznačajnije postupke unutar naznačenih radnji. Ukupnu vjerojatnost za ljudsku pogrešku za obje radnje nije moguće odrediti isključivo SLIM metodom, već su procjene kombinirane s Bayesovim mrežama, odnosno korištenjem BN-SLIM metode [1]. U ovom slučaju (za radnju planiranje putovanja), čimbenici roditelji bili su *poznavanje sustava* (PSF1), *iskustvo navigatora* (PSF2), *procedura*

planiranja putovanja (PSF₃) i sučelje čovjek-sustav (PSF₄). Slijedeći korake izvorne SLIM metode, identificirani su PSF čimbenici koji utječu na izvršenje planiranja putovanja zajedno s njihovim odgovarajućim ocjenama i ponderima.

Prema izvornoj SLIM metodi, učinak različitih PSF čimbenika na vjerojatnost ljudske pogreške modeliran je kroz varijablu SLI indeksa (6). Stoga, dvije su funkcije potrebne za procjenu vrijednosti vjerojatnosti ljudske pogreške: (a) jedna za modeliranje odnosa između PSF čimbenika i SLI indeksa, i (b) druga za izračun HEP pogreške uz pomoću SLI indeksa.



Slika 71. Kvalitativni BN-SLIM model planiranja putovanja.

Dakle, potrebna je Bayesova mreža sa četiri PSF čimbenika (četiri čimbenika oblikovanja izvedbe), koji utječu na osam SLI čimbenika, a koji zauzvrat utječu na osam HEP čimbenika, i konačno, jednog krajnjeg čimbenika koji predstavlja ukupnu procijenjenu vjerojatnost ljudske pogreške izvođenja planiranja putovanja (Slika 71.).

Svaki PSF čimbenik unutar BN mreže bi imao nekoliko stanja koja bi predstavljala njegove ocjene. Budući da prema (6) svaki PSF izravno utječe na SLI vrijednosti, uzročne smjernice povlače se od PSF do SLI čimbenika. Broj stanja SLI čimbenika jednak je broju mogućih kombinacija ocjena (stanja) PSF čimbenika. Radi jednostavnosti, uzete su u obzir samo dvije ocjene: $R1=1$ i $R100=100$ kao stanja PSF čimbenika Bayesove mreže PSF_1 , PSF_2 , PSF_3 i PSF_4 . Prema tome, uzeta su stanja za najgori i najbolji mogući utjecaj PSF čimbenika na odabrane postupke (budući da prilikom procjene stručnjaci ocjenjuju utjecaj pojedinog čimbenika oblikovanja izvedbe vrijednostima od 0 do 100 prema čemu je 0 najgori mogući utjecaj, 50 znači da nema utjecaja, dok je 100 najbolji mogući utjecaj). Normalizirane vrijednosti ponderiranja iz Tablice 20. uzete su kako bi se odredile SLI vrijednosti, prema (6). Prema tome, 2^4 vjerojatnosti izračunava se za svaki SLI. U (15) su prikazane vrijednosti pondera i ocjena PSF čimbenika uz pomoć kojih je dobiveno 16 mogućih SLI vrijednosti:

$$SLI = 0,324 \times \{1, 100\} + 0,157 \times \{1, 100\} + 0,267 \times \{1, 100\} + 0,252 \times \{1, 100\} \quad (15)$$

Svaka SLI vrijednost može se predstaviti kao moguće stanje čimbenika SLI. Nadalje, prema (6), čimbenik SLI bi trebao biti jedini roditelj čimbenika HEP. Ovaj čvor ima dva stanja, tj. dolazi

do ljudske pogreške ($HEP = Failure$), odnosno nema ljudske greške ($HEP = Success$). Dopravljajući strukturu Bayesove mreže, SLI i HEP čimbenicima je potrebno dodijeliti tablice uvjetnih vjerojatnosti (engl. *Conditional Probability Tables* – CPT) kako bi se kvantificirali učinci PSF čimbenika, i odredile vrijednosti stanja SLI indeksa (SLI_1-SLI_8) (Tablica 34.).

Tablica 34. Uvjetne vjerojatnosti za čimbenik SLI_1 .

PSF ₁	R ₁								R ₁₀₀							
PSF ₂	R ₁				R ₁₀₀				R ₁				R ₁₀₀			
PSF ₃	R ₁		R ₁₀₀		R ₁		R ₁₀₀		R ₁		R ₁₀₀		R ₁		R ₁₀₀	
PSF ₄	R ₁	R ₁₀₀	R ₁	R ₁₀₀	R ₁	R ₁₀₀	R ₁	R ₁₀₀	R ₁	R ₁₀₀	R ₁	R ₁₀₀	R ₁	R ₁₀₀	R ₁	R ₁₀₀
S ₁	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S _{16,44}	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S _{26,05}	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S _{27,43}	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S _{33,08}	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S _{41,49}	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S _{42,88}	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S _{48,52}	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
S _{52,48}	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
S _{58,12}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
S _{59,51}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
S _{67,92}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
S _{73,57}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
S _{74,95}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
S _{84,56}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
S ₁₀₀	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Nakon ovih uvjetnih vjerojatnosti definirane su one za čimbenike HEP_1-HEP_8 pomoću (7), procjenom HEP pogreške u najboljem i u najgorem slučaju te proračunom pojedinih vrijednosti konstanti a i b za svaki pojedini HEP (postupak) (Tablica 35.).

Tablica 35. Procijenjene vjerojatnosti ljudske pogreške u najboljem i najgorem slučaju i vrijednosti konstanti a i b za planiranje navigacije.

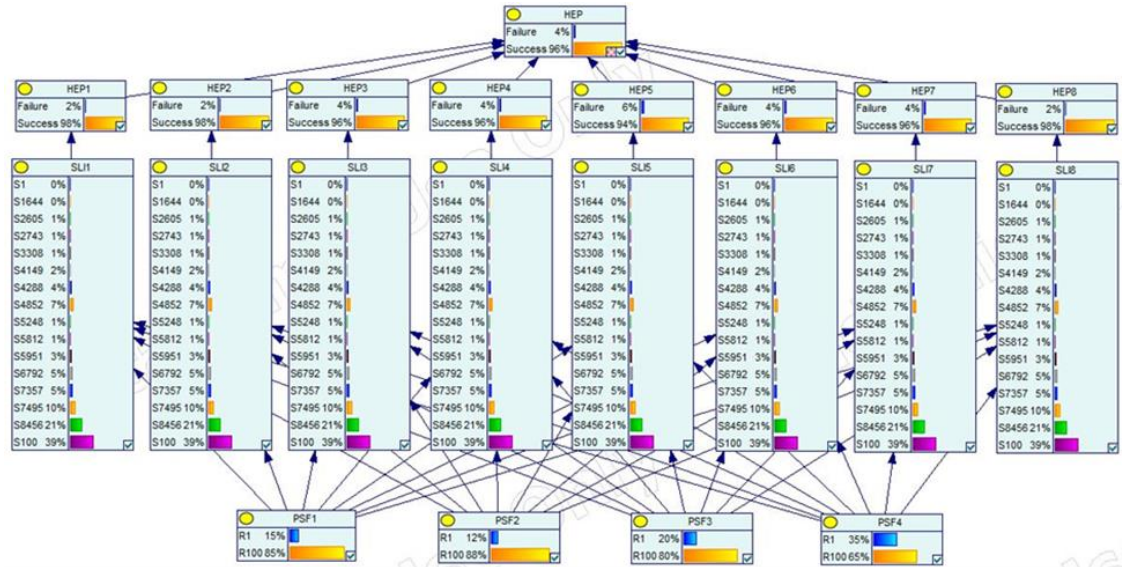
	Procijenjena HEP u najboljem slučaju	Procijenjena HEP u najgorem slučaju	Vrijednost konstante a	Vrijednost konstante b
HEP_1	1,00E-03	1,00E-01	0,00045323	-0,04576
HEP_2	1,00E-03	1,00E-01	0,00045323	-0,04576
HEP_3	2,00E-03	1,67E-01	0,000783135	-0,07918
HEP_4	2,00E-03	2,00E-01	0,000960406	-0,09691
HEP_5	2,22E-03	2,00E-01	0,000859146	-0,09691
HEP_6	2,00E-03	1,67E-01	0,000783135	-0,07918
HEP_7	2,00E-03	2,00E-01	0,000960406	-0,09691
HEP_8	1,00E-03	1,00E-01	0,00045323	-0,04576

Zatim su uz pomoć jednadžbe (7) izračunate vrijednosti svih stanja čimbenika HEP_1-HEP_8 (primjer izračuna za HEP_1 prikazan je u Prilogu 5.). U Tablici 36. prikazane su uvjetne vjerojatnosti za čimbenik HEP_1 unutar radnje planiranja putovanja.

Tablica 36. Uvjetne vjerojatnosti za čimbenik *HEP1*.

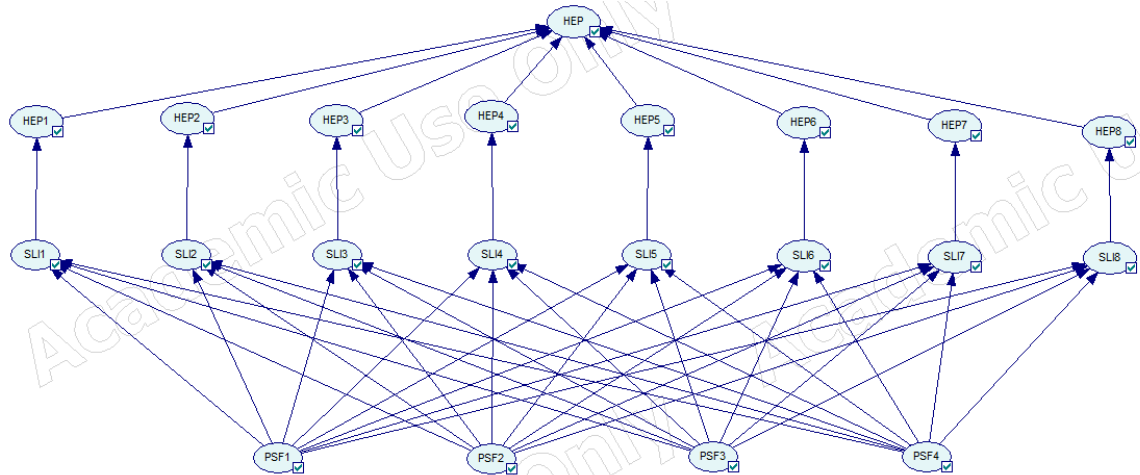
SLI1	S1	S16,4	S26,1	S27,4	S33,1	S41,5	S42,9	S48,5	S52,5	S58,1	S59,5	S67,9	S73,6	S74,9	S84,6	S100
Neuspjeh	0,09	0,08	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,001
Uspjeh	0,91	0,92	0,93	0,93	0,93	0,94	0,94	0,95	0,95	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97	0,98	0,999

Nakon kvantificiranja, dobiven je kvantitativni BN-SLIM model planiranja (Slika 72.).



Slika 72. Kvantitativni BN-SLIM model planiranja putovanja.

Pri izradi modela vođenja navigacije, praćen je isti proces kao kod planiranja putovanja. Izrađena je Bayesova mreža sa četiri PSF čimbenika koji utječu na osam SLI čimbenika, koji pak utječu na osam HEP čimbenika. Konačno, dobiva se krajnji čimbenik ukupne procjenjene vjerojatnosti ljudske pogreške vođenja navigacije (Slika 73.).



Slika 73. Kvalitativni BN-SLIM model vođenja navigacije.

Kao i kod prethodnog modela, normalizirane vrijednosti ponderiranja (Tablica 21.) korištene su kako bi se odredile SLI vrijednosti modela prema (6), pri čemu se 2^4 kombinacija vjerojatnosti proračunava za svaki SLI čimbenik. Vrijednosti pondera i ocjena PSF čimbenika

uz pomoć kojih je dobiveno 16 mogućih vrijednosti *SLI* čimbenika modela vođenja navigacije prikazane su kako slijedi:

$$SLI = 0,253 \times \{1, 100\} + 0,222 \times \{1, 100\} + 0,290 \times \{1, 100\} + 0,235 \times \{1, 100\} \quad (16)$$

Uz pomoć tablica uvjetne vjerojatnosti kvantificirane su vrijednosti svih osam *SLI* čimbenika modela. Primjer uvjetnih vjerojatnosti prikazan je u Tablici 37.

Tablica 37. Uvjetne vjerojatnosti za kvantificiranje čimbenika *SLI*.

PSF1	R1								R100							
PSF2	R1				R100				R1				R100			
PSF3	R1		R100		R1		R100		R1		R100		R1		R100	
PSF4	R1	R100	R1	R100	R1	R100	R1	R100	R1	R100	R1	R100	R1	R100	R1	R100
S1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S22,98	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S24,27	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S26,05	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S29,71	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S46,24	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S48,03	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S49,31	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
S50,29	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
S51,69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
S52,98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
S54,76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
S74,95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
S76,74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
S78,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
S100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Vrijednosti *HEP* čimbenika (*HEP1-HEP8*) kvantificirane su pomoću (7), pri čemu je bilo potrebno procijeniti vjerojatnost ljudske pogreške u najboljem i u najgorem slučaju, i temeljem dobivenih vrijednosti odrediti konstante *a* i *b* za svaki pojedini *HEP* čimbenik, odnosno postupak. U Tablici 38. prikazane su procijenjene *HEP* vrijednosti i izračunate konstante *a* i *b* za svaki *HEP* čimbenik, pri čemu su ove vrijednosti procijenjene za oba slučaja.

Tablica 38. Procijenjene vjerojatnosti ljudske pogreške u najboljem i najgorem slučaju i vrijednosti konstanti *a* i *b* za vođenje navigacije.

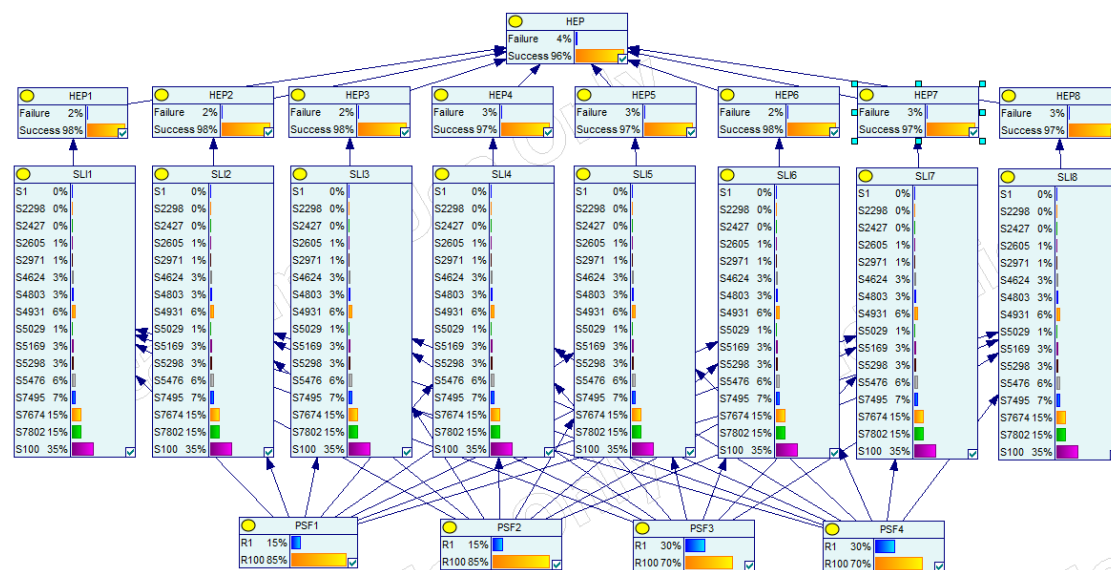
	Procijenjena <i>HEP</i> u najboljem slučaju	Procijenjena <i>HEP</i> u najgorem slučaju	Vrijednost konstante <i>a</i>	Vrijednost konstante <i>b</i>
<i>HEP1</i>	1,00E-03	1,00E-01	0,00045323	-0,04576
<i>HEP2</i>	1,00E-03	1,00E-01	0,00045323	-0,04576
<i>HEP3</i>	1,00E-03	1,00E-01	0,00045323	-0,04576
<i>HEP4</i>	1,11E-03	1,25E-01	0,00057509	-0,05799
<i>HEP5</i>	1,11E-03	1,25E-01	0,00057509	-0,05799
<i>HEP6</i>	1,00E-03	1,00E-01	0,00045323	-0,04576
<i>HEP7</i>	1,11E-03	1,25E-01	0,00057509	-0,05799
<i>HEP8</i>	1,11E-03	1,11E-01	0,00050669	-0,051152

Izračunate uvjetne vjerojatnosti za HEP2 prikazane su u Tablici 39.

Tablica 39. Uvjetne vjerojatnosti za čimbenik *HEP2*.

SLI2	S1	S23 ,0	S24 ,3	S26 ,1	S29 ,7	S46 ,2	S48 ,0	S49 ,3	S50 ,3	S51 ,7	S53 ,0	S54 ,8	S75 ,0	S76 ,7	S78 ,0	S10 0
Neuspjeh	0,1	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,02	0,02	0,001
Uspjeh	0,9	0,92	0,92	0,93	0,93	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,97	0,98	0,98	0,999

Na Slici 74. prikazan je BN-SLIM model vođenja navigacije, dobiven nakon što su kvantificirane vrijednosti svih čimbenika kvalitativnog modela.



Slika 74. Kvantitativni BN-SLIM model vođenja navigacije.

4.4.5. Analiza osjetljivosti i validacija rezultata BN-SLIM metode

4.4.5.1. Planiranje putovanja (BN-SLIM)

Bayesove mreže verificiraju se analizom osjetljivosti, prilikom čega se provjerava utjecaj malih promjena čimbenika mreže na ciljni čimbenik (engl. *target node*). Ovdje je to ukupna vjerojatnost ljudske pogreške za planiranje putovanja (čimbenik *HEP*) [40]. Visoko osjetljivi čimbenici imaju značajan utjecaj na ciljni čimbenik. Nakon odabira ciljnog čimbenika, algoritam određuje koji čimbenici unutar konstruirane Bayesove mreže imaju najveću osjetljivost (i značajno utječu na ciljni čimbenik). Sukladno tome, mala promjena u vjerojatnosti vrlo osjetljivog čimbenika može dovesti do značajne promjene u posteriornim vjerojatnostima ciljnog čimbenika. Međutim, ako je osjetljivost nekog određenog čimbenika mala, tada čak i značajne promjene u vjerojatnostima tog čimbenika čine beznačajne razlike u posteriornim vjerojatnostima ciljnog čimbenika [16].

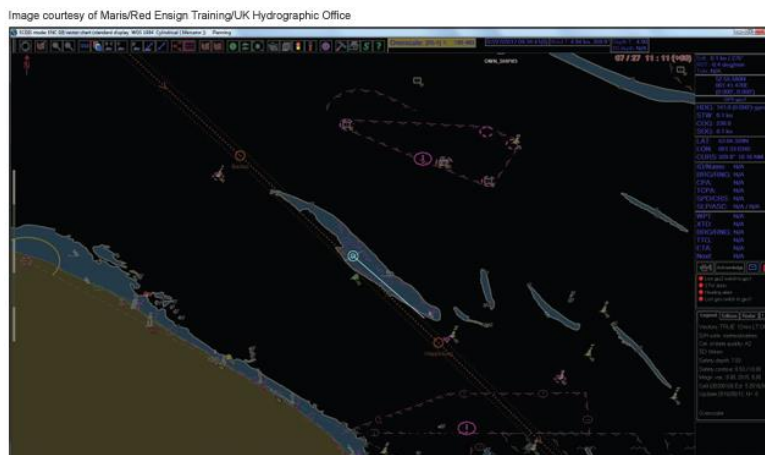
Čimbenici su obojeni u nijanse crvene boje (Slika 75.). Što je intenzitet boje veći, značajniji je njegov utjecaj na ciljni čimbenik; *PSF1* (poznavanje sustava), *HEP1*, *HEP5* i *HEP8*

Nadalje, modele napravljene u Bayesovim mrežama moguće je validirati na način da se upotrijebe stvarni podaci i provjeri vjerojatnost izlaznog čimbenika, odnosno varijable. Za validaciju modela planiranja putovanja upotrebljeni su prethodni rezultati analiza pomorskih nezgoda koji su uključivali neadekvatno korištenje sustava, odnosno pogrešku časnika izazvanu tehnologijom (engl. *technology-induced human error*).

Prvi primjer je nasukanje broda „Muros“, za čiju su nezgodu utvrđeni sljedeći uzročnici [162]:

- Planirana ruta koja je prolazila preko pličine Haisborough Sand bila je nesigurna i s obzirom na gaz broda i raspoloživu dubinu vode, nasukavanje je bilo neizbježno,
- Ruta preko pličine je planirana i nadzirana pomoću ECDIS sustava. Međutim, sustav i proceduralne zaštitne mjere namijenjene sprječavanju nasukanja bile su previđene, onemogućene ili jednostavno zanemarene,
- Vizualnom provjerom izmijenjene rute koju je napravila druga časnica nije se utvrdilo da ruta preko pličine nije sigurna, ili da nije u skladu sa sustavom označavanja plovnog puta (položaju plutača) u tom području (Slika 77.),
- Ruta nije planirana niti provjerena na navigacijskoj karti odgovarajućeg mjerila,
- Izmjena plana putovanja nije bila u skladu s dužnostima držanja straže druge časnice (druga časnica je radila izmjene rute tijekom držanja navigacijske straže u noći, prilikom čega je na mostu samo bio osmatrač (engl. *lookout*),
- Zapovjednik nije provjerio niti odobrio izmijenjenu rutu,
- Na praćenje položaja broda druge časnice vjerojatno je utjecalo doba dana (straža od 00 do 04), smanjujući njezinu učinkovitost i uzrokovati eventualan san,
- Zbog onemogućenosti zvučnog alarma, časnik nije dobio upozorenje o neposrednoj opasnosti,
- Razina prikazanih informacija na zaslonu sustava nije bila dostatna,
- ECDIS nije korišten prema pravilima i uputama proizvođača opreme.

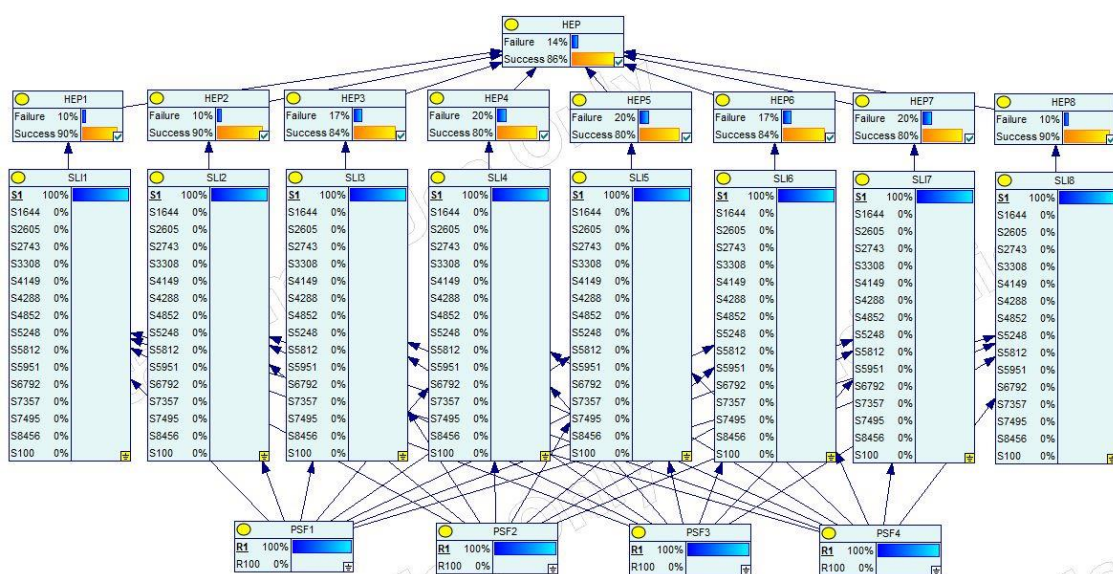
Prema navedenom, može se zaključiti da *poznavanje sustava* (PSF₁) nije bilo adekvatno, odnosno negativno je utjecalo na razvoj događaja. Što se tiče *iskustva navigatora* (PSF₂), odnosno druge časnice palube, može se zaključiti da je ono u kontekstu same navigacije bilo solidno, međutim kada se uzme u obzir rukovanje sustavom, prilikom čega su mnoge važne postavke ignorirane ili neiskorištene, ispostavilo se da je neadekvatno, i nastupa kao jedan od uzročnika nezgode. Prema izvještaju, *procedura planiranja putovanja* (PSF₃) bila je potpuno neadekvatna, s obzirom da je putovanje planirano tijekom svoje straže (čim je preuzela dužnost). Pritom nije napravljena adekvatna provjera rute niti je ista bila potvrđena i odobrena od zapovjednika broda. *Sučelje čovjek-stroj* (PSF₄) jedan je od elemenata koji su odigrali ključnu ulogu u nasukanju (planiranje, odnosno izmjene plana putovanja rađene su noću, prilikom čega je korišten noćni prikaz na zaslonu ECDIS sustava, što je otežalo primjećivanje vrijednosti dubina na pličinama). Osim toga, korištene su karte neadekvatnog mjerila te standardni prikaz zaslona bez informacija koje su eventualno mogle spriječiti negativan razvoj događaja (Slika 77.).



Slika 77. Rekonstrukcija zaslona ECDIS sustava neposredno prije nasukanja na M/B “Muros”.

Izvor: [162].

Nastavno na prikazano, u BN-SLIM model planiranja putovanja uvrštene su negativne vrijednosti ($R_1=100\%$) za sva četiri čimbenika oblikovanja izvedbe PSF_1 , PSF_2 , PSF_3 i PSF_4 (Slika 78.).

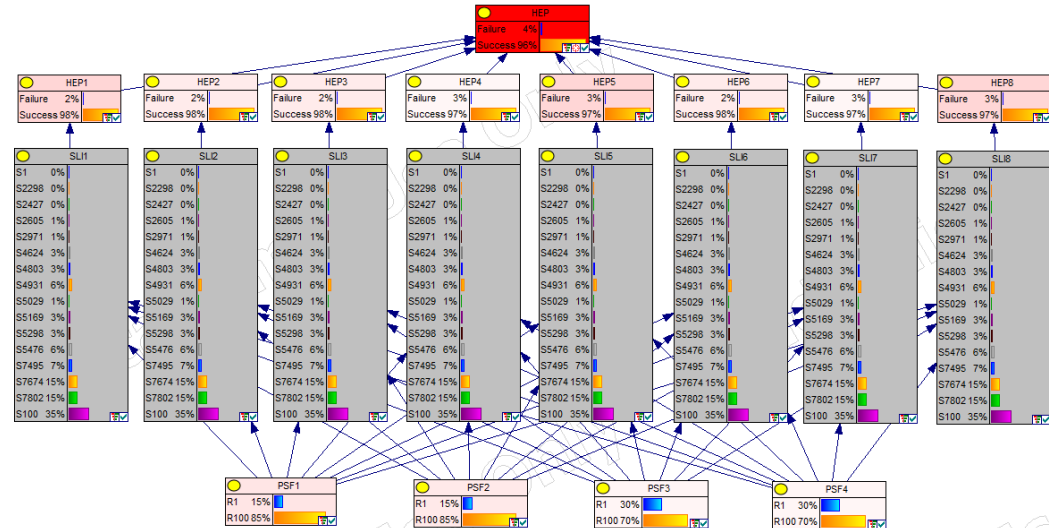


Slika 78. Model planiranja putovanja sa negativnim utjecajem PSF čimbenika.

Prema rezultatima modela s negativnim utjecajem PSF čimbenika, vjerojatnost nastanka ljudske pogreške prilikom planiranja putovanja značajno je porasla (s 4% na 14%) te se prema tome može zaključiti da model vjerno prikazuje utjecaj određenih čimbenika na vjerojatnost nastanka ljudske pogreške. U obzir naravno treba uzeti činjenicu kako model ne uključuje sve moguće utjecajne čimbenike te se zbog toga vrijednost vjerojatnosti nastanka neželjenog događaja zadržava na relativno niskim vrijednostima. Ipak, negativna vrijednost je uz vjerojatnost neželjenog ishoda značajno porasla i u kombinaciji s nekim drugim čimbenicima dodatno povećava vjerojatnost nastanka nezgode.

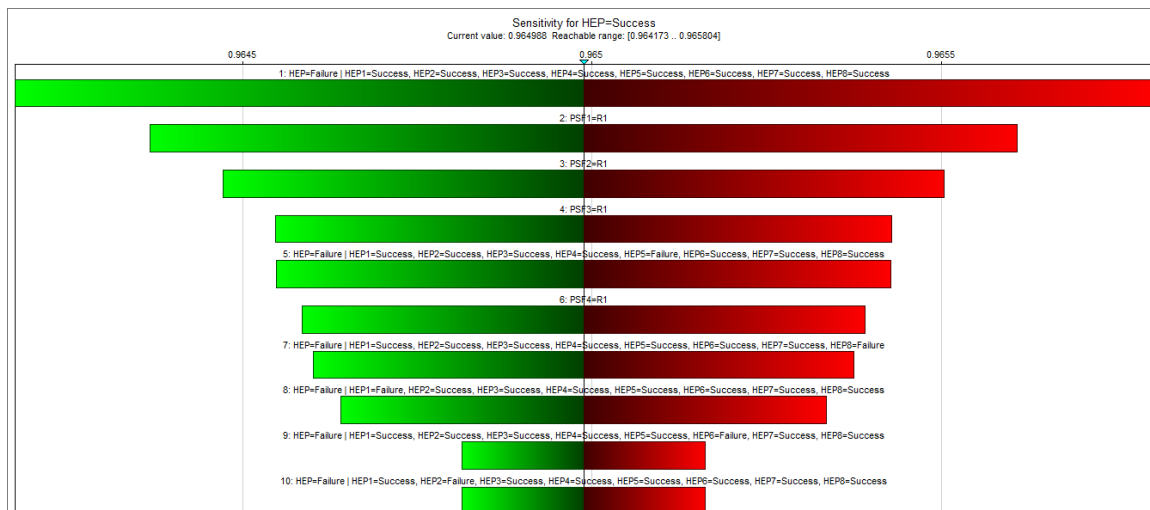
4.4.5.2. Vođenje navigacije (BN-SLIM)

Kao i prije, verifikacija je napravljena je pomoću analize osjetljivosti (Slika 79.), s ukupnom vjerojatnošću ljudske pogreške za vođenje navigacije (*HEP*) kao ciljnim čimbenikom.



Slika 79. Analiza osjetljivosti BN-SLIM modela vođenja navigacije za ciljni čimbenik *HEP*.

Čimbenici *PSF1* (poznavanje sustava) i *PSF 2* (iskustvo navigatora) te čimbenici *HEP1*, *HEP5* i *HEP8* definirani su kao najosjetljiviji (najveći utjecaj na ciljni čimbenik); djelovanjem na njih (optimalno, prema (7), odnosno putem *HEP1-HEP8*) moglo bi se značajno unaprijediti sigurnost vođenja navigacije, odnosno povećati vjerojatnost uspješnosti izvršenja zadatka.



Slika 80. Tornado dijagram analize osjetljivosti modela vođenja navigacije sa ciljnim čimbenikom *HEP* (stanje uspješnost).

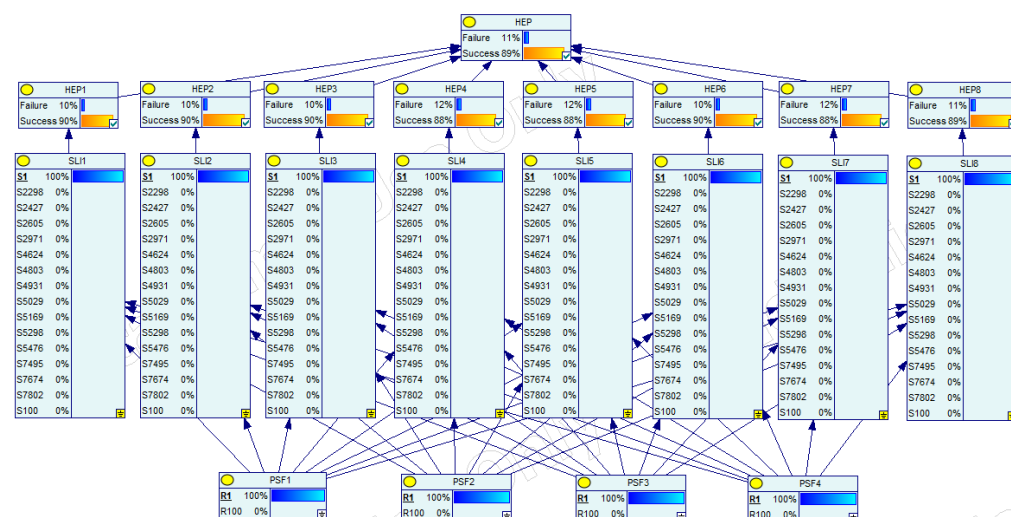
Analiza osjetljivosti i potvrda postavljenih zaključaka prikazani su na Slici 80. Na vodoravnoj osi prikazana je promjena posteriorne vjerojatnosti uspješnosti vođenja navigacije kada se vrijednost svakog parametara promijeni za 10 %. Raspon ciljne vrijednosti prikazuje minimalnu i maksimalnu posteriornu vrijednost vjerojatnosti odabranog ciljnog čimbenika

(HEP). Na primjer, ako se stanje čimbenika *PSF1* (*poznavanje sustava*, stanje "R1" – negativan utjecaj) smanji za 10 %, posteriorna vjerojatnost da se ljudska pogreška prilikom planiranja putovanja neće dogoditi porasti će sa 96,5 % na 96,6 %. Deset prikazanih čimbenika ima najveći značaj na posteriornu vjerojatnost uspješnosti BN-SLIM modela vođenja navigacije.

Validacija BN-SLIM modela vođenja navigacije izvršena je temeljem izvještaja o nasukanju broda „CSL Thames“. Za ovu su nezgodu utvrđeni sljedeći uzročnici (PSF čimbenici prikazani su u zagradama iza svakog pojedinog uzročnika određenog službenom istragom pomorske nezgode) [162]:

- Odluka trećeg časnika da prerano započne s okretom broda na desnu stranu prije sljedeće točke promjene kursa temeljila se na pretpostavci da će jedrilica koju izbjegava slijediti približno recipročan kurs sljedećem planiranom kursu broda „CSL Thames“ (*situacijska svjesnost*),
- Analiza radarske snimke broda „CSL Thames“ pokazuje, da je treći časnik slijedio planiranu rutu u skladu s planom putovanja, druga dva broda prošla bi dovoljno daleko s njegove desne strane (*situacijska svjesnost i iskustvo navigatora*),
- Da se zaslon ECDIS sustava nalazio ispred časnika, vjerojatnije bi bilo da bi prilikom praćenja navigacijske situacije bio korišten više, rutinski (*sučelje čovjek-stroj, ergonomija zapovjedničkog mosta*),
- Treći časnik nije shvatio da se aktivirao vizualni alarm protiv nasukanja jer nije pratio stanje na zaslonu ECDIS sustava (*poznavanje sustava*),
- Zvučni alarm koji je trebao upozoriti trećeg časnika na činjenicu da „CSL Thames“ plovi u opasnost, nije funkcionirao (*sučelje čovjek-stroj*),
- Postavka sigurnosne konture bila je neprikladna za gaz broda „CSL Thames“ u vrijeme nezgode, dok ni zapovjednik ni drugi časnici u pitanje nisu dovodili nepostojanje zvučnog alarma sustava. Ova činjenica ukazuje na nedostatak razumijevanja sigurnosnih značajki opreme i/ili njihove vrijednosti (*poznavanje sustava, situacijska svjesnost, sučelje čovjek-stroj*),
- Zapovjednikovo povjerenje u sposobnost trećeg časnika da može samostalno voditi navigaciju broda u ograničeno plovnom području bilo je pogrešno. Neiskusan, i s obzirom na navigacijske zahtjeve putovanja i kompleksnost područja, časnik je trebao potporu i pomoć zapovjednika broda (*iskustvo navigatora, situacijska svjesnost*),
- Čak i da je zvučni alarm ECDIS sustava radio, treći časnik ga vjerojatno ne bi čuo zbog glasne glazbe na mostu (*iskustvo navigatora, sigurnosno ozračje*).

Prema navedenom, razvidno je kako su PSF čimbenici, uzeti u obzir prilikom izrade BN-SLIM modela vođenja navigacije negativno utjecali na izvedbu časnika navigacijske straže te su, između ostalih čimbenika (koji ovdje nisu uzeti u obzir), uzrokovali nasukanje broda. Naime, časnik navigacijske straže nije razvio situacijsku svjesnost, s premalo iskustva, i nije bio adekvatno upoznat sa sustavom. Povrh toga, zvučni alarm sustava nije funkcionirao. Prema tome, vrijednostima čimbenika izvedbe (*PSF1-PSF4*) u BN-SLIM modelu vođenja navigacije date su negativne vrijednosti ($R1=100\%$), kao što je prikazano na Slici 81.



Slika 81. BN-SLIM model vođenja navigacije s negativnim utjecajem PSF čimbenika.

Prema rezultatima modela s negativnim utjecajem PSF čimbenika, vjerojatnost nastanka ljudske pogreške prilikom vođenja navigacije porasla je s 4 % na 11 %, što potvrđuje vjernost modela pri prikazu utjecaja PSF čimbenika na HEP prilikom vođenja navigacije. Kao i kod modela planiranja putovanja potrebno je uzeti u obzir činjenicu da model ne uključuje sve moguće čimbenike koji utječu na vjerojatnost nastanka ljudske pogreške.

4.4.6. Procjena navigacijskih rizika

4.4.6.1. Matrica rizika pri planiranju putovanja

Kombinirajući vjerojatnost ljudske pogreške s ozbiljnošću posljedica, za procjenu rizika korištena je matrica rizika. Stručnjaci su procijenili ozbiljnost posljedica potencijalnih opasnosti. Njihove su procjene razmatrane u grupnom konsenzusu.

Budući da su radnje planiranja putovanja i vođenja navigacije promatrane zasebno, izrađene su dvije matrice rizika. U prvoj matrici rizika (planiranje putovanja), prema mišljenjima stručnjaka i rezultatima SLIM metode, radnje koje su prihvatljivog rizika (budući da je HEP između $1,00E-01$ i $1,00E-02$, te su stručnjaci procijenili da je ozbiljnost posljedica visoka – narančasti kvadratić u matrici rizika) su: *Aдекватно конфигуриране контуре дубине на ECDIS sustavu (T1), Одговарајући приказ зaslona (дан/сумрак/ноћ) (T3), Одговарајући прорахун дубине испод кobilice и највеће висине брода изнад мора (T5) и Функција провере руте исправно употребљена (T8)* (Tablica 40.). Budući da su, iako podnošljivog rizika, i dalje više rizične od radnji koje su prihvatljivog rizika: *Одговарајући ENC у употреби приказан у одговарајућем мјерилу (T2), Оčekivani uvjeti okoline узети у обзир (T4), XTD адекватно постављен и конфигуриран (T6) и Planiranje сигурносне брзине (T7)* moguće je uvesti dodatne mjere kojima bi se taj rizik dodatno smanjio.

Tablica 40. Matrica rizika za planiranje putovanja ograničeno plovnom područjem.

Kategorija	HEP	Ozbiljnost posljedica
------------	-----	-----------------------

		Kritična (1)	Visoka (2)	Srednja (3)	Mala (4)	Neznatna (5)
A	1,00E+00 do 1,00E-01					
B	1,00E-01 do 1,00E-02		T1, T3, T5, T8	T2, T4	T6, T7	
C	1,00E-02 do 1,00E-03					
D	1,00E-03 do 1,00E-04					

Budući da, nakon što se izradi, plan putovanja verificira zapovjednik uz ostale časnike, može se smatrati da će se i rizici od opasnih radnji značajno smanjiti. Ipak, s obzirom da su rizici osim prihvatljivih i podnošljivi, uvođenjem dodatnih administrativnih kontrola (poput dodatnog treninga ili kontrolnih lista) potrebno je umanjiti rizike i unaprijediti sigurnost. Kao rješenje, predlaže se model planiranja putovanja ograničeno plovnom područjem (poglavlje 5.) koji se fokusira na elemente koji su tijekom istraživanja identificirani kao oni koji imaju najveću vjerojatnost ljudske pogreške te se na taj način rizici umanjuju.

4.4.6.2. Matrica rizika pri vođenju navigacije

Kod matrice rizika za vođenje navigacije ograničeno plovnom područjem (Tablica 41.), radnje prihvatljivog rizika uključuju *Aдекватno konfigurirane konture dubine na ECDIS sustavu (T1)*, *Odgovarajući ENC u upotrebi prikazan u odgovarajućem mjerilu (T2)*, *Odgovarajući prikaz zaslona (dan/sumrak/noć) (T3)*, *Očekivani uvjeti okoline uzeti u obzir (T4)*, *Brod plovi sigurnosnom brzinom (T5)*, *Izdane pravilne zapovijedi za kormilarenje (T7)* i *Pravilno izvedene zapovijedi za kormilarenje (T8)*. Budući da su za radnju *Funkcija Look-ahead podešena i korištena (T6)* stručnjaci procijenili da je ozbiljnost posljedica srednja, ona je manjeg rizika nego prethodno navedene radnje.

Tablica 41. Matrica rizika za vođenje navigacije ograničeno plovnom područjem.

Kategorija	HEP	Ozbiljnost posljedica				
		Kritična (1)	Visoka (2)	Srednja (3)	Mala (4)	Neznatna (5)
A	1,00E+00 do 1,00E-01					
B	1,00E-01 do 1,00E-02		T1, T2, T3, T4, T5, T7, T8	T6		
C	1,00E-02 do 1,00E-03					
D	1,00E-03 do 1,00E-04					

Iako su rizici prihvatljivi i podnošljivi te je straža na navigacijskom mostu u zadanim uvjetima obično pojačana, potrebno je uvesti dodatne mjere kojima bi se smanjila vjerojatnost nezgode. S tim ciljem, prema hijerarhiji kontrola rizika (potpoglavlje 3.2.5, Slika 30.) moguće je uvesti dodatne administrativne mjere za smanjenje postojećih rizika. Modelima planiranja i vođenja navigacije ograničeno plovnom područjem fokus se stavlja na elemente koji predstavljaju najveći rizik i preporučuju se radnje za unaprjeđenje sigurnosti i smanjenje vjerojatnosti nastanka ljudske pogreške.

5. MODEL PLANIRANJA I VOĐENJA NAVIGACIJE OGRANIČENO PLOVNIM PODRUČJIMA

5.1. Uvodne napomene

S obzirom na rezultate procjene navigacijskih rizika i identifikaciju istih, i temeljem dobivenih rezultata istraživanja u funkciji utvrđenih utjecajnih čimbenika, izrađeni su modeli planiranja putovanja i vođenja navigacije u definiranim uvjetima, i to zasebno za svaku radnju, s obzirom da se utjecajni čimbenici za ove radnje razlikuju.

5.2. Razvoj modela

Jedan od čimbenika koji značajno utječe na sigurnost plovidbe ograničeno plovnim područjem, jest sučelje čovjek-sustav. Pod sustavom se unutar modela smatra ECDIS, dok interakcija časnika sa sustavom nastupa kao ključan element. Na zaslonu sustava prikazani su navigacijski i ostali podatci te je izuzetno važno da su pregledni, jasni i dostupni. Utvrđeno je kako starenje ima negativan učinak na vid u sumrak i po noći te dodatno može uzrokovati poteškoće u razlikovanju boja prilikom slabijeg osvjetljenja, posebice prilikom gledanja u zaslon sustava. Neraspoznavanje, ili slabije raspoznavanje objekata i informacija na zaslonu sustava može dovesti do opasnih situacija i povećanog rizika od nasukanja ili sudara. Prema rezultatima anketnog upitnika, određeni broj pomoraca ne koristi preporučeni prikaz zaslona ECDIS sustava prilikom planiranja putovanja i vođenja navigacije. Stoga, oba modela u obzir uzimaju vrijeme dana (prilikom planiranja putovanja i vođenja navigacije), kao i godine starosti; s obzirom na povećani rizik od neraspoznavanja i tumačenja objekata na zaslonu, za njih se preporuča korištenje dnevnog ili prikaza sumraka, uz prigušivač svjetla.

Jedan od problema potvrđenih anketnim upitnikom i procjenom rizika jest i neujednačenost čimbenika koji se koriste za izračun sigurnosne konture. Procjena rizika potvrđuje kako je najrizičnija radnja prilikom planiranja putovanja i vođenja navigacije *očekivani uvjeti okoline uzeti u obzir*, što se odnosi na vremenske uvjete a posebice valove koji mogu značajno ograničiti plovidbu ovim područjima, budući su često ograničena raspoloživom dubinom u odnosu na gaz broda. Kako je prilikom planiranja putovanja pravilno postavljena sigurnosna kontura od izuzetne važnosti za sigurnost plovidbe, a prilikom same navigacije ju je potrebno provjeriti i u nekim slučajevima i revidirati (zbog nastupanja čimbenika koji nisu bili poznati prilikom planiranja), izračun sigurnosne konture i njezina provjera također su uzeti u obzir. Za pravilno postavljanje sigurnosne konture (SC) koristi se jednadžba:

$$SC = \text{maksimalni statički gaz} + UKC + \text{dodatni zagažaj} \pm \text{visina vode} + CATZOC + \text{dinamički nagib} + \text{odziv na valovima} \quad (17)$$

Uvrštavanjem ovog izračuna i provjere dodatno je umanjen rizik koji može nastati zbog neadekvatne procedure planiranja putovanja. Jedna od rizičnijih prepoznatih radnji jest *planiranje sigurnosne brzine, odnosno brod plovi sigurnosnom brzinom*. Ona je uzeta u obzir

kod oba modela i usko je povezana s određivanjem sigurnosne konture (zbog dodatnog zagažaja broda).

Situacijska svjesnost je čimbenik koji značajno utječe na obje radnje. Redovita kontrola položaja broda prema izrađenom planu putovanja jedan je od prijeko potrebnih postupaka. Odgovarajući *proračun dubine ispod kobilice* i *visine broda iznad mora* prepoznat je također kao jedan od rizičnijih postupaka. Većina ispitanika se slaže da visine između vodene površine i nadvodnih konstrukcija moraju biti detaljnije prikazane na ENC kartama. Mjesto prolaska ispod nadvodnih objekata izuzetno je važno. Nadvodni objekti mogu biti mostovi ali i kablovi te je preporučeno mjesto prolaska različito za jedne i druge. Svakako, navigacijski časnik mora provjeriti visinu broda iznad mora i poziciju prolaska na karti prilikom planiranja putovanja (što bi trebalo biti izričito naglašeno u proceduri planiranja) te tijekom vođenja navigacije još jednom provjeriti visinu broda iznad mora zbog mogućih promjena (npr. balast) i poziciju prolaska na karti te vizualnim osmatranjem odrediti položaj broda (*situacijska svjesnost*). Čimbenici *procedura planiranja* i *situacijska svjesnost* prepoznati kao značajni također su uzeti u obzir, uz određivanje i ucrtavanje paralelnih indeksa za prolazak ispod nadvodnih objekata. Budući da plovidba u zadanim uvjetima redovito uključuje ručno kormilarenje, i činjenicom kako je većina ispitanika tijekom svoje karijere doživjela i krivo izdanu i izvedenu kormilarsku naredbu, model vođenja navigacije uključuje ručno kormilarenje i, s ciljem povećanja situacijske svjesnosti, uključuje i *komunikaciju zatvorene petlje*. Osim rezultata analize anketnog upitnika, opasnost prilikom ručnog kormilarenja potvrđena je i prilikom procjene vjerojatnosti ljudske pogreške, pri čemu su stručnjaci identificirali izdavanje pravilne zapovijedi za kormilarenje kao jedan od kritičnih postupaka.

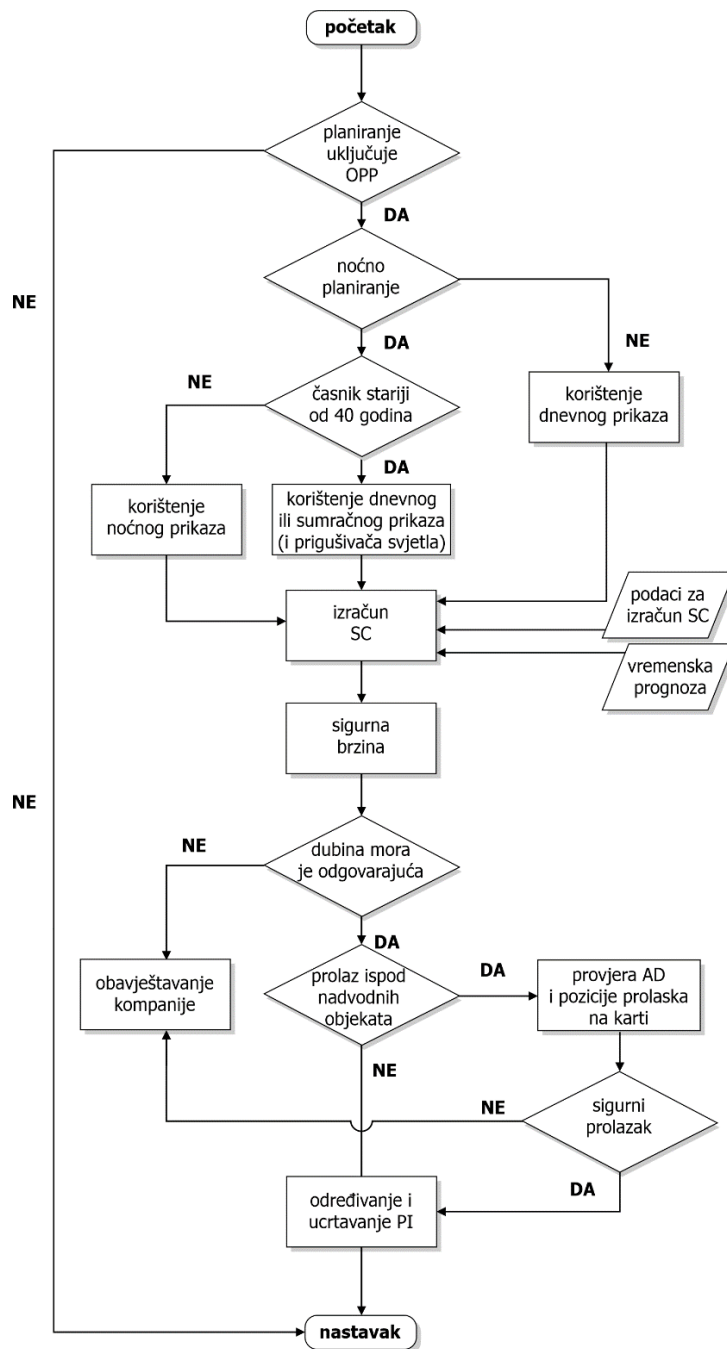
5.2.1. Model planiranja putovanja

U prvom koraku modela planiranja putovanja (Slika 82.) potrebno je utvrditi da li ono uključuje prolazak kroz ograničeno plovno područja (OPP). U slučaju potvrde, potrebno je utvrditi da li se planiranje putovanja odvija tijekom noći.

Ako se planiranje ne odvija tijekom noći po modelu se predlaže korištenje dnevnog prikaza na zaslonu ECDIS uređaja. Ako se planiranje odvija tijekom noći potrebno je utvrditi je li časnik stariji od 40 godina. Ako je časnik mlađi od 40 godina savjetuje se korištenje noćnog prikaza na zaslonu sustava, dok se u drugom slučaju savjetuje korištenje dnevnog ili prikaza sumraka u kombinaciji s prigušivačem svjetla. Sljedeći korak je izračun sigurnosne konture, za koji se definirani podatci upisuju u definiran izraz, uz konzultiranje vremenske prognoze (utvrđivanje dinamičke rezerve zagažaja broda prouzročene valovima). U sljedećem koraku potrebno je utvrditi je li dubina mora odgovarajuća.

Ako dubina mora nije odgovarajuća potrebno je obavijestiti kompaniju da ograničeno plovno područje nije plovno. Ako je dubina mora odgovarajuća potrebno je utvrditi da li planiranje uključuje prolazak ispod nadvodnih objekata. Ako ne uključuje, slijedi idući korak uz određivanje i ucrtavanje paralelnih indeksa, nakon čega slijedi nastavak planiranja. U

slučaju da planiranje uključuje prolaz ispod nadvodnih objekata potrebno je provjeriti visinu broda iznad mora (engl. *Air Draft - AD*) i poziciju prolaska ispod nadvodne konstrukcije prema preporuci ucrtanoj na ENC karti, i preporukama najpovoljnijeg prolaska po IALA oznakama. Ako prolazak nije siguran zbog AD koji je veći od onog ucrtanog na mjestu najpovoljnijeg prolaska potrebno je obavijestiti kompaniju da ograničeno plovno područje nije plovno. U slučaju sigurnog prolaska, kreće sljedeći korak koji podrazumijeva određivanje i ucrtavanje PI, nakon kojeg slijedi nastavak planiranja.



Slika 82. Model planiranja putovanja ograničeno plovnim područjima.

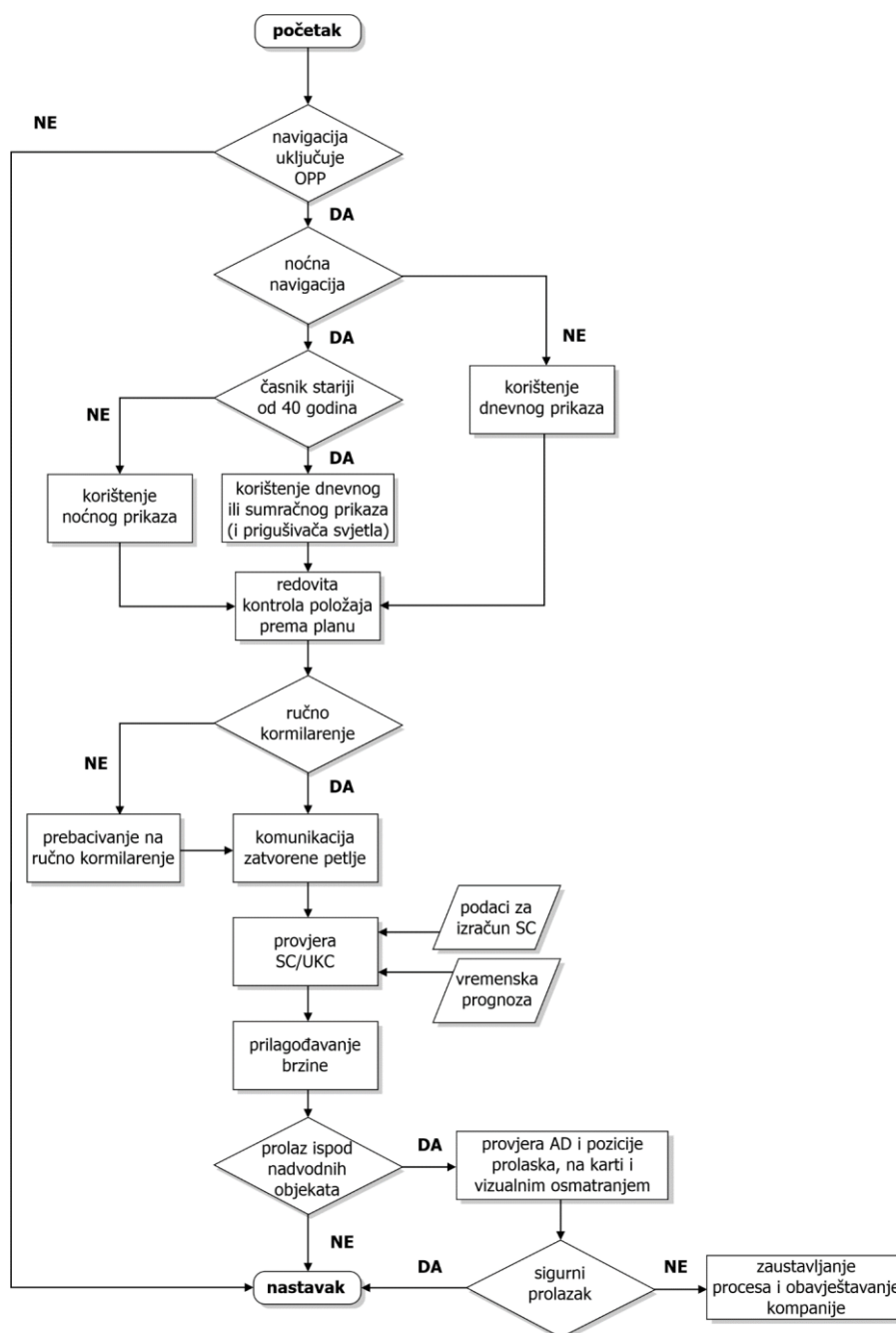
Izvor: [Autor]

Primjenom modela planiranja putovanja koje uključuje ograničeno plovna područja unaprijeđuje se procedura planiranja, kao značajni utjecajni čimbenik na sigurnost. Model je moguće primijeniti i u obliku kontrolne liste te osigurati da se neki od važnih čimbenika ili postupaka prilikom izvršavanja radnje planiranja putovanja ne zaborave ili još važnije, ne naprave adekvatno. Budući da je prilikom analize pomorskih nezgoda pet najčešćih uzročnika identificirano kao *rutinski prekršaji*, *neadekvatan nadzor*, *organizacijsko ozračje*, *planirana neprikladna operacija* i *stanje operatera*, model se uklapa u mjere smanjenja ovih rizika.

5.2.2. Model vođenja navigacije

U prvom koraku utvrđuje se da li navigacija uključuje plovidbu kroz ograničeno plovna područja (Slika 83.), odnosno odvija li se plovidba tijekom noći. Kod dnevne plovidbe, predlaže se korištenje dnevnog prikaza. Ako se plovidba odvija tijekom noći potrebno je utvrditi je li časnik stariji od 40 godina. Ako je časnik mlađi od 40 godina savjetuje se korištenje noćnog prikaza. U suprotnom slučaju, savjetuje se korištenje dnevnog ili prikaza sumraka u kombinaciji s prigušivačem svjetla. Sljedeći korak je redovita kontrola položaja prema planu. Savjetuje se ručno kormilarenje, uz komunikaciju pomoću metode zatvorene petlje. U sljedećem koraku provjerava se sigurnosna kontura i UKC, u obzir uzimajući podatke za izračun sigurnosne konture uključujući vremensku prognozu. Po potrebi se prilagođava brzina broda zbog utjecaja dodatnog zagažaja. Ako plovidba ograničeno plovnim područjem ne uključuje prolaz ispod nadvodnih objekata nastavlja se s praćenjem kretanja broda po planiranom putu. U suprotnom slučaju, potrebno je provjeriti visinu broda iznad mora (AD) i poziciju prolaska ispod nadvodne konstrukcije na karti, uz vizualno osmatranje plovidbenih oznaka. Ako se utvrdilo da prolazak nije siguran, zaustavlja se proces navigacije i obavještava se kompanija. U slučaju sigurnog prolaska, nastavlja se s redovitom navigacijom i praćenjem kretanja broda po planiranom putu.

Kao kod prethodnog modela, model vođenja navigacije prilagođen je čimbenicima koji su identificirani kao najčešći uzročnici pomorskih nezgoda u kojima je ECDIS ili ECS sustav bio glavni ili pomoćni navigacijski sustav. Primjenom modela moguće je značajno ublažiti ove ciljne navigacijske rizike i unaprijediti sigurnost plovidbe.



Slika 83. Model vođenja navigacije ograničeno plovnim područjima.

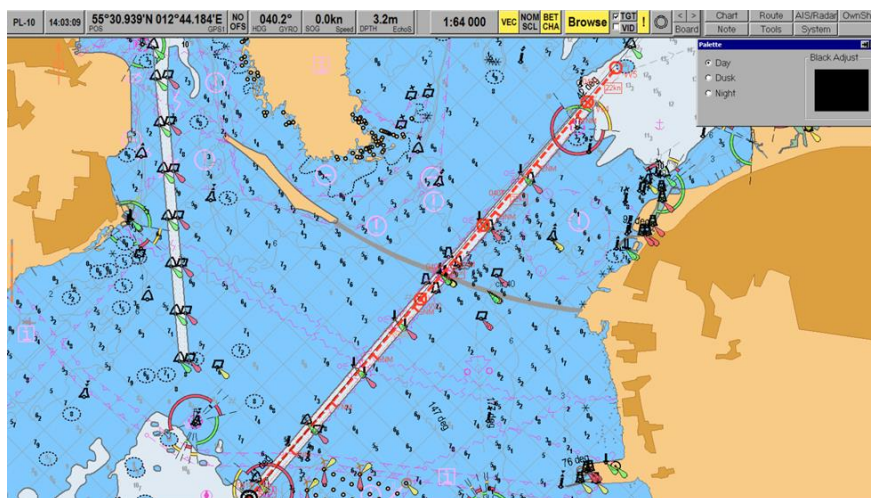
Izvor: [Autor]

U sljedećem poglavlju prikazani su rezultati validacije vjerodostojnosti vježbe izrađene sa ciljem verifikacije modela te rezultati verifikacije modela primjenom u simuliranom okolišu navigacije.

5.3. Procjena vjerodostojnosti vježbe kod validacije modela

Vjerodostojnost vježbe validirana je unutar simulatorskih okruženja na navigacijskim simulatorima Pomorskog fakulteta Sveučilišta u Dubrovniku i Sveučilišta u Rijeci. Na prvoj vježbi, za ograničeno plovno područje odabran je plovni kanal ispod mosta *Oresund* koji spaja

obale Danske i Švedske (Slika 84.). Razlog odabira ovog područja je postojanje jaružanog kanala ograničene širine i dubine, i prolaz ispod nadvodne konstrukcije.



Slika 84. Plovni kanal koji prolazi ispod međunarodnog mosta Oresund.

Izvor: [192].

Za brod *M/B Fantasy* (potpoglavlje 3.4.) izvršene su testne simulacije plovidbe (Tablica 42.) prilikom čega je u plovnom kanalu utvrđen UKC za različite brzine i stanje mora bez valova, odnosno s valovima visine jednog metra. Utvrđeno da će se brod pri plovidbi brzinom većom od 10,5 čvorova i valovima od jednog metra u kanalu nasukati. Stoga, da bi se uspješno izvršila plovidba, brzina plovidbe ne smije prelaziti deset čvorova, pri čemu UKC iznosi 0,3 metra.

Tablica 42. Vrijednosti UKC prilikom testiranja plovidbe OPP Oresund.

Brzina (čv)	UKC (m)	Visina valova (m)
5,0	1,3	0,0
5,0	1,2	1,0
6,8	0,9	1,0
7,0	0,8	1,0
8,0	0,7	1,0
8,4	0,6	1,0
9,0	0,5	1,0
9,5	0,4	1,0
10,0	0,3	1,0
10,5	Nasukanje	1,0
10,8	Nasukanje	1,0

Izvor: Autor prema [192].

Na simulatoru Pomorskog fakulteta u Rijeci odabrano je područje *Baltimore William Preston Lane Jr. Memorial Bay Bridge* zbog sličnih karakteristika s prethodno odabranim područjem. S odabranim brodom (potpoglavlje 3.4.), izvršene su testne plovidbe (Tablica 43.).

Tablica 43. Vrijednosti UKC prilikom testiranja plovidbe OPP *Baltimore William Preston Lane Jr. Memorial Bay Bridge*.

Brzina (čv)	UKC (m)	Visina valova (m)
5,0	1,0	0,0
7,0	0,9	1,0
7,2	0,8	1,0
7,5	0,7	1,0
10,0	0,4	1,0
11,5	0,2	1,0
12,0	Nasukanje	1,0

Izvor: Autor prema [216].

Testiranjem je utvrđeno da će se brod pri plovidbi brzinom od 12,0 čvorova i valovima od jednog metra u kanalu nasukati. Da bi se uspješno izvršila plovidba brzina plovidbe ne smije prelaziti 11,5 čvorova, pri čemu UKC iznosi 0,2 metra.

5.4. Verifikacija modela

Vježba (potpoglavlje 3.4.) se sastojala od plovidbe područjem *Oresund* (Slika 85.) u noćnim satima. Časnici i studenti podijeljeni su u dvije skupine, od kojih je kod jedne skupne tijekom vježbe primijenjen model. Nakon toga su analizirani i uspoređeni rezultati s ciljem utvrđivanja razlika u izvedbi, odnosno uspješnosti modela. Prosjek uspješnosti izvođenja vježbe na simulatoru kod iskusnih pomoraca prilikom planiranja i plovidbe bez predloženog modela iznosio je 4,7 bodova od mogućih deset (Tablica 44.)



Slika 85. OPP Oresund tijekom noćnih sati.

Izvor: [192].

Tablica 44. Planiranje/plovidba OPP bez modela (časnici).

Varijabla/Kandidat	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.
1. Zaslon (noćni)	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

2. Provjera tablice zagažaja	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
3. Air Draft	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1
4. Provjera vremenske prognoze, valovi	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5. UKC (zadani, valovi)	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6. Provjera podataka: GPS, brzinomjer, dubinomjer	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7. Ruta kroz kanal (ENC preporuka)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8. Prolaz ispod mosta (Sektor)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9. Ručno kormilarenje	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0
10. Uspješno plovio, nije se nasukao	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ukupno bodova	5	7	7	6	5	5	5	5	5	4	3	4	3	4	3	5	3	5

Prosjek uspješnosti izvođenja vježbe kod iskusnih pomoraca uz korištenje predloženog modela planiranja i navigacije OPP iznosio 9,2 boda (Tablica 45.).

Tablica 45. Planiranje/plovidba OPP s modelom (časnici).

Varijabla/Kandidat	1.	2.	3.	4.	5.	6.
1. Zaslon (noćni)	0	0	1	0	0	0
2. Provjera tablice zagažaja	1	1	1	1	1	1
3. Air Draft	1	1	1	1	1	1
4. Provjera vremenske prognoze valovi	1	1	1	1	1	1
5. UKC (zadani, valovi)	1	1	1	1	1	1
6. Provjera podataka GPS, brzinomjer, dubinomjer	1	1	1	1	1	1
7. Ruta kroz kanal (ENC preporuka)	1	1	1	1	1	1
8. Prolaz ispod mosta (Sektor)	1	1	1	1	1	1
9. Ručno kormilarenje	1	1	1	1	1	1
10. Uspješno plovio, nije se nasukao	1	1	1	1	1	1
Ukupno bodova	9	9	10	9	9	9

Prosjek uspješnosti izvođenja vježbe kod studenata bez modela je iznosio 4,5 bodova dok je kod grupe uz korištenje predloženog modela iznosio 8,8 bodova (Tablica 46.).

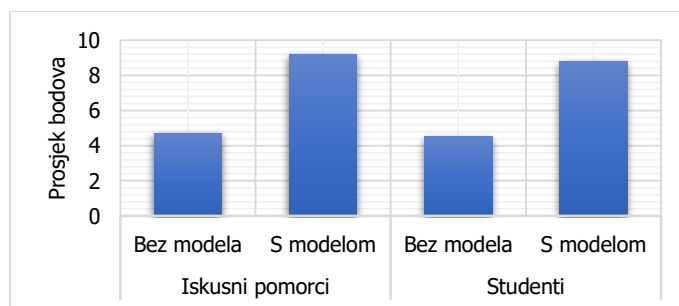
Tablica 46. Planiranje/ploviba OPP s modelom i bez modela (studenti).

Varijabla/Kandidat	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
Planiranje/plovidba OPP s modelom (A), bez modela (B)	A	A	B	B	A	A	B	B	A	A	A	A	A	B	B	B	B
1. Zaslon (noćni)	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0

2. Provjera tablice zagažaja	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3. Air Draft	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1
4. Provjera vremenske prognoze, valovi	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
5. UKC (zadani, valovi)	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0
6. Provjera podataka GPS, brzinomjer, dubinomjer	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7. Ruta kroz kanal (ENC preporuka)	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
8. Prolaz ispod mosta (Sektor)	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
9. Ručno kormilarenje	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10. Uspješno plovio, nije se nasukao	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ukupno bodova	9	9	5	3	9	7	4	3	9	9	10	8	9	5	6	5	5

Izvor: [Autor]

Usporedba rezultata uspješnosti izvođenja vježbe prikazana je na Slici 86. Prosjek bodova kod časnika poboljšan je s 4,7 kod planiranja i plovidbe OPP bez korištenja modela na 9,2 s predloženim modelima. Kod studenata, prosjek bodova također je poboljšan s 4,5 kod planiranja i plovidbe OPP bez modela na 8,8 korištenjem modela.



Slika 86. Prosjek bodova pomoraca i studenata prilikom planiranje/plovidba bez modela i s modelom.

Izvor: [Autor].

Časnici i studenti koji su koristili model imali su značajno bolje rezultate (skoro dvostruko bolju izvedbu) od kolega koji predloženi model nisu koristili. Što se časnika tiče, značajne razlike u rezultatima su zabilježene u provjeri visine broda iznad mora, vremenske prognoze i valova, dubine ispod kobilice, rute kroz kanal i mjesta prolaza ispod mosta. Značajne razlike među studentima primijećene su u provjeri vremenske prognoze i valova, dubine ispod kobilice, rute kroz kanal i mjesta prolaza ispod mosta. Analiza rezultata uspješnosti izvedenih vježbi, i njihova usporedba, potvrdile su upotrebljivost modela i potrebu za njegovom primjenom u praksi kao i u nastavnim procesima.

6. RAZMATRANJA

U ovom su poglavlju razmotreni rezultati cjelokupnog istraživanja i ostvareni izvorni znanstveni doprinosi. Prikazan je osvrt na razvijene modele, metodologiju istraživanja te proizašle spoznaje, prijedloge i preporuke, uz prikaz željenog nastavka istraživanja.

6.1. Spoznaje, prijedlozi i preporuke proizašle temeljem rezultata istraživanja

Znanstveni doprinosi doktorskog rada očituju se u više zasebnih ili međusobno povezanih segmenata. Predloženim modelima moguće je doprinijeti povećanju sigurnosti plovidbe prilikom izvršavanja ključnih navigacijskih zadataka. Pružene su smjernice i definirani postupci ususret umanjeanju, odnosno uklanjanju potencijalnih uzročnih čimbenika pomorskih nezgoda. Procjena rizika koji nastaju zbog pogrešaka časnika prilikom korištenja navigacijskih informacijskih sustava u plovidbi ograničeno plovnim područjima, odnosno identifikacija stvarnih prijetnji sigurnom vođenju navigacije nastupa kao jedan od doprinosa. Odabirom, prilagodbom i kombinacijom znanstvenih metoda pružen je razvojni okvir za unaprjeđenje postupaka planiranja, praćenja kretanja broda po planiranom putu i svih vezanih postupaka, uključujući pristup, interpretaciju, rukovanje, i konačno, uspješno izvršenje odnosnih procesa. Nadalje, pregledom dostupne literature, pojedinih izvještaja pomorskih nezgoda, neadekvatnim odabirom vrste prikaza tijekom izvođenja vježbe na simulatoru, i konačno, analizom odnosnih odgovora iz upitnika, dokazano je postojanje ograničenja ljudskog vida prilikom raspoznavanja nijansi boja prisutnih na određenim vrstama prikaza zaslona. Konačno, znanstveni doprinos predstavlja mogućnost unaprjeđenja pomorske izobrazbe i naobrazbe u segmentu rada. Jedan od doprinosa predstavljaju pregled i sustavna kategorizacija znanstvene i ostale literature.

Rezultatima istraživanja i njihovom analizom također su identificirane potrebe za daljnjim aktivnostima u pogledu sigurnosti vođenja pomorske navigacije, a koje se ogledaju u prijedlozima i preporukama vezanima za značajke ograničeno plovnih područja u kontekstu korištenja navigacijskih informacijskih sustava, procjenu prihvatljivih rizika pri planiranju putovanja i vođenju navigacije, ispitivanje vida pomoraca, i unaprjeđenje procesa izobrazbe i naobrazbe.

6.1.1. Značajke ograničeno plovnih područja u kontekstu korištenja navigacijskih informacijskih sustava

Specifičnosti ograničeno plovnih područja su, temeljem postojećih spoznaja, opisane i dopunjene u dijelu 2.2.5. Temeljem provedenog istraživanja, može se zaključiti kako su *ograničeno plovna područja sva zahtjevna područja, definirana prethodnim uvjetima, gdje uz ograničavajuće fizičke značajke, ne postoje dovoljni resursi za sigurno vođenje navigacije, a koji variraju od navigacijske opreme, podataka, njihove kvalitete, do osobnih preferencija i sposobnosti časnika navigacijske straže.*

Navigacijski informacijski sustavi su časnicima na raspolaganju kako bi im omogućili sigurnije izvršenje navigacijskih zadataka. Također, omogućuju integraciju različitih izvora podataka. Prilagodba operativnih postavki, odnosno automatizacija ECDIS sustava, ovdje prikazana na primjeru uzbuda, ima dvije važne posljedice:

- a) praćenje rute prikazane na ECDIS sustavu ne zamjenjuje situacijsku svjesnost, već ju eventualno pojačava – funkcije uzbuda sustava, iako korisne, djelomične su i mogu biti pogrešne, krivo protumačene, ili jednostavno zanemarene;
- b) situacijska svjesnost mora uključivati procese i status elektroničkih komponenti sustava. To uključuje sve priključene senzore, serijske veze i komunikacijske ulaze, podatkovna sučelja, računalni procesor i operativni sustav, programsku podršku za navigaciju i karte, uređaje za pohranu podataka, i napajanje.

Ove nove odgovornosti moraju biti uravnotežene s tradicionalnim držanjem, i budnosti tijekom navigacijske straže. Vizualno osmatranje i dalje je najbolji način praćenja situacije. Paradoksalno, ECDIS čini posao časnika navigacije jednostavnijim i složenijim [21].

6.1.2. Procjena prihvatljivih rizika pri planiranju putovanja i vođenju navigacije

Identifikacija najrizičnijih postupaka i utjecajnih čimbenika na pojavnost ljudske pogreške predstavlja značajan doprinos rada. Na brodovima je potrebno provoditi formalnu procjenu prihvatljivih rizika koji nastaju prilikom planiranja putovanja i plovidbe koristeći predložene modele procjene rizika. U radu su prepoznati postupci pri kojima nastupa najveća vjerojatnost nastanka ljudske pogreške; za radnje planiranja putovanja to su *očekivani uvjeti okoline uzeti u obzir* i *planiranje sigurnosne brzine* te čimbenici oblikovanja izvedbe koji imaju najznačajniji utjecaj na izvođenje zadataka *poznavanje sustava* i *procedura planiranja putovanja*. Stoga, potrebno je poduzimati mjere i osigurati adekvatnu proceduru planiranja putovanja koja uključuje sve detalje u vezi navigacijske opreme određenog broda, s posebnim naglaskom na preporuke za planiranje sigurnosne brzine na određenim dijelovima putovanja i uzimanje u obzir očekivanih okolišnih uvjeta (poput valova).

Nadalje, rezultati vježbe potvrdili su da se procjenom rizika identificiraju stvarne prijetnje sigurnoj plovidbi broda te se upravljanjem one mogu umanjiti; nakon prepoznavanja utjecajnih čimbenika, izradom modela te naposljetku njegovim korištenjem defirane radnje izvršene su uspješnije i sigurnije.

6.1.3. Ispitivanje vida pomoraca

Tijekom istraživanja, došlo se do zaključka kako su dosadašnji medicinski testovi za ispitivanje oštine i kolornog vida za pomorce nedostatni. Navedeno se prvenstveno odnosi na pomorske časnike starije dobi, no s obzirom na suvremena korisnička sučelja potrebno je promijeniti i uobičajene testove za sve časnike. Prijedlozi dodatnih testova, kojima bi se mogli utvrditi eventualni nedostaci vida pomoraca, uključuju:

- *Farnsworth-Munsell 100 Hue Test* koji se koristi za precizno određivanje poremećaja kolornog vida, gdje osoba slaže niz boja pravilnim redoslijedom. Pogreške u rješavanju mogu ukazivati na različite oblike poremećaja kolornog vida [49].
- *Lantern dynamic test (Farnsworth Lantern Test – FALANT)* predstavlja nizove obojenih svjetala, obično crvene, zelene i žute boje u različitim kombinacijama. Ispitanik mora točno identificirati redoslijed i raspored svjetala, odnosno pouzdano razlikovati crveno svjetlo od zelenog [53].
- *D-15 Test* se sastoji od raznobojnih pločica koje osoba mora složiti određenim redoslijedom. Pogreške u slaganju ukazuju na stupanj poremećaja kolornog vida [54].
- *Cambridge Colour Test* se često koristi za procjenu i praćenje poremećaja kolornog vida, posebno kod zadataka koji zahtijevaju precizno razlikovanje boja [50].

Uz potrebu za redovitim i opsežnijim pregledima očiju sa ciljem ranog prepoznavanja poremećaja, prilikom liječničkih pregleda predlaže se korištenje anomaloskopa, uređaja koji se koristi za procjenu točne prirode poremećaja kolornog vida i određivanje stupnja percepcije boja u različitim stupnjevima osvjetljenja.

Kontrastni vid, iznimno važan u sumrak i prilikom noćne navigacije, *trenutačno se uopće ne provjerava*. Ovdje se predlaže korištenje testa za kontrastnu osjetljivost (engl. *Visual contrast sensitivity test*) [221], dodatne ambijentalne rasvjete, korektivnih leća s antirefleksnim premazom te dodatnih mjera u situacijama osvjetljenja nižeg intenziteta (uz programe rehabilitacije vida [33, 207, 230, 235]).

6.1.4. Upotpunjeni proces izobrazbe i naobrazbe

Kvalitetna izobrazba i unaprjeđenje procesa familijarizacije neuptina je, no (daljnji) razvoj i primjena navigacijskih informacijskih sustava zahtijeva dodatne resurse. Ovo se podjednako odnosi na postojeće i buduće časnike, uz vjerojatno veći izazov kod postojećih. Modeli procjene rizika (4.4.6.) predstavljaju potencijalno primjenjive elemente za implementaciju u nastavne procese. Uz definirane kurikule, tijekom obrazovanja potrebno je na adekvatan način predočiti postojeće probleme s kojima se časnici, postojeći ili budući, mogu susresti tijekom izvršenja osnovnih radnji, ali i pružiti moguća rješenja (poput predloženih modela).

U istraživanju je identificirano nekoliko ključnih problema koji značajno utječu na sigurnost plovidbe. Ti problemi, iako prisutni, do sada nisu bili adekvatno prepoznati, što je potaknulo dublje istraživanje. Nakon početne identifikacije, potvrđeno je postojanje ovih problema na više različitih načina, što uključuje analize stvarnih nezgoda, prikupljanje podataka, strukturirane intervju, anketne upitnike, i mišljenja stručnjaka. Vrijedne upute i povratne informacije doprinijele su sustavnoj analizi problema i potencijalnih uzroka. Nezgode i zadržavanja brodova također su odigrale značajnu ulogu. Ove nezgode su, između ostalog, omogućile bolje razumijevanje specifičnih uvjeta i čimbenika koji mogu dovesti do pogrešaka, a zatim i nezgoda. Analizirajući ove situacije, otkrivene su ključne spoznaje koje su pomogle u

daljnjoj analizi i prepoznavanju opasnosti za pomorsku navigaciju. Sa ciljem konkretiziranja rezultata istraživanja i demonstracije utjecajnih čimbenika, razvijene su specifične vježbe osmišljene da reflektiraju stvarne uvjete i izazove s kojima se pomorci susreću. Dokazano je kako određeni čimbenici utječu na sigurnost plovidbe, i kako ih je moguće izbjeći. Sudionicima je omogućeno prepoznavanje rizičnih situacija i učenje kako reagirati u stvarnim uvjetima. Ovim pristupom postigla se dvojaka korist, odnosno doprinosi. Prvo, razvijena je metoda koja omogućava pomorcima da prepoznaju i izbjegavaju potencijalne rizike, što predstavlja konkretnu primjenjivost u svakodnevnoj navigaciji. Drugo, možda još važnije, razvijena je metodologija izrade modela i specifičnih, usmjerenih vježbi. Ovaj pristup omogućava kreiranje ciljano dizajniranih vježbi koje odgovaraju stvarnim izazovima, s unaprijed definiranim ishodima koji u obzir uzimaju sve čimbenike, povećavajući učinkovitost vježbi, i konačno, doprinosi umanjenoj rizika već u njihovim početnim fazama.

6.2. Očekivani učinci na dosadašnja stajališta o problemu istraživanja

Uz očite prednosti, velike varijacije u korisničkim sučeljima mogu značajno smanjiti učinkovitost časnika u obavljanju navigacijskih zadataka [237]. Značajna raznolikost i pomanjkanje standardizacije u gumbima, ikonama, radnjama, tijekovima rada, procesima, mjernim jedinicama ili lokaciji informacija, dovodi do razmjernog povećanja vremena potrebnog za upoznavanje opreme, kao i rizika pogrešaka, naročito u zahtjevnijim navigacijskim situacijama. U kontekstu HMI tehnologije, akumuliranje znanja, vještina i iskustva korištenja osnovnih funkcija, koje se mogu prenositi između sustava i opreme različitih proizvođača, predstavlja relativno novu vještinu i kompetencije. Dodatno, važne funkcije i informacije trebaju biti smještene na dosljednim lokacijama, sličnih veličina, i prepoznatljive po položaju, boji i obliku. Proizvođači navigacijske opreme trebaju osigurati da zasloni navigacijskih sustava pružaju intuitivno sučelje za nesmetanu interakciju između opreme, časnika i navigacijskih zadataka [112]. Osim toga, ergonomske dizajn zapovjednih mostova i funkcionalnog rasporeda opreme bi, uz već definirane smjernice [107], trebao biti više usmjeren na potrebe i poslove časnika [107].

Uvođenje novih tehnologija na brodove ima potencijal poboljšanja učinkovitosti planiranja, vođenja navigacije i praćenja kretanja broda po planiranome putu i povećanja sigurnosti tih radnji. Međutim, potrebno je prepoznati evidentne zahtjeve za prilagođenom izobrazbom o fizičkom upravljanju novim sustavima, kao i onu koja je potrebna da bi pomorci mogli koristiti sustave za donošenje boljih odluka. Standardizacija dizajna je nužna kako bi se stvorilo okruženje u kojem pomorci, radeći unutar prirodnih ograničenja svojih zanimanja, mogu sigurno i učinkovito upravljati sustavima. Ova izobrazba mora uzeti u obzir posebne ljudske čimbenike povezane s HMI interakcijom, kao i spoznaju da automatizacija mijenja radnju koju je trebala podržavati, i da će časnici plovidbene straže možda manje učinkovito nadzirati planiranje, vođenje navigacije i praćenje kretanja broda po planiranome putu [109].

Prijedlozi vezani za poboljšanje sučelja čovjek-stroj ogledaju se u dva međusobno povezana elementa koje je moguće promatrati kao zasebne. S jedne strane, konfiguracija zaslona u kontekstu različitih stupnjeva osvjetljenja, odnosno jasnijih tumačenja sadržaja na zaslonima i navigacijskim kartama može se unaprijediti u kontekstu uvođenja lako prepoznatljivih boja i odgovarajućih, viših kontrasta. Proizvođači ECDIS sustava mogu, uz odgovarajuću regulatornu podlogu [98, 103], pružiti opcije paleta boja unutar unaprijed definiranih ograničenja, što bi navigatorima omogućavalo prilagodbu prema vlastitim preferencijama i posebnim potrebama vida, ako one postoje. U kontekstu korištenja navigacijskih informacijskih sustava u ograničeno plovnom područjima potrebno je promicati svijest o važnosti razlikovanja boja i prepoznavanja kontrasta, što podrazumijeva aktivnosti već i tijekom nastavnih procesa. Drugi su element proaktivne mjere u pogledu dodatnih metoda ispitivanja vida, kako bi isti bili usklađeni s industrijskim standardima, novim sučeljima i konačno, nesmetanim i sigurnim rukovanjem. Oba elementa zahtijevaju angažman i svih vezanih dionika – pomorskih vlasti, proizvođača sustava, ergonomske stručnjake i odnosnih medicinskih subjekata.

6.2.1. Pristup planiranju putovanja i vođenju navigacije korištenjem navigacijskih informacijskih sustava

Postupci pri kojima nastupa najveća vjerojatnost nastanka ljudske pogreške jesu *Očekivani uvjeti okoline uzeti u obzir* i *Brod plovi sigurnosnom brzinom* te PSF čimbenici *Poznavanje sustava* i *Situacijska svjesnost*. Potonje nastupa kao jedan od čestih uzročnika ljudskih pogrešaka na moru, i iako je u radu obrađen i elaboriran uz pružanje odgovarajućih rješenja, zahtijeva još više pažnje. Brodsko vodstvo (engl. *shipboard leadership*) mora raspolagati načinima umanjivanja njegovog utjecaja. Potrebno je intenzivirati timski rad, razmišljanje na glas (engl. *thinking out loud*) te održati naviku gledanja kroz prozore zapovjedničkog mosta i osluškivanja, kao što već tradicionalne metode i zahtijevaju, smanjujući time tehnološku samodopadnost (engl. *technology complacency*). Časnik, odnosno cijeli tim na mostu mora u svakom trenutku biti svjestan uvjeta okoline, ograničenja koje nameću te u skladu s time regulirati kretanje i brzinu broda. Osim navedenog, poznavanje sustava, kao i kod planiranja, jedan je od značajnijih sigurnosnih čimbenika. Ulaganje u znanje ulaganje je u sigurnost. Predlaže se implementiranje adekvatnih dodataka izobrazbi i naobrazbi, i osiguravanje lako čitljivih i razumljivih priručnika koji mogu dodatno pomoći prilikom nastanka određenih problema.

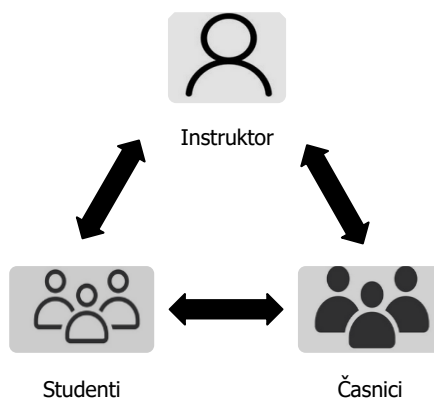
Osim navedenog, predlaže se korištenje predloženih modela sa ciljem povećanja sigurnosti plovidbe i zaštite okoliša. Rezultati istraživanja su pokazali kako se pravilnom uporabom modela koja zahtijeva minimalan utrošak vremena i truda može povećati sigurnost plovidbe u predefiniranim uvjetima te se može koristiti u obliku dijagrama toka ili kontrolne liste.

6.2.2. Interakcija sadašnjih i budućih časnika navigacijske straže kao edukacijski alat

Razvoj i unaprjeđenje edukacijskog okvira u sprezi ciljnih skupina ispitanika nastupali su kao jedni od pomoćnih ciljeva rada, a ogledaju se u neizravnoj interakciji dionika (časnika i studenata) i petlji instruktor – časnik – student. Interakcijom s navigacijskim časnicima identificirana su znanja koja je potrebno unaprijediti, što znači odmah i primijeniti na studente.

6.2.2.1. Petlja instruktor – časnik – student

Uloga instruktora u obrazovanju navigacijskih časnika ključna je za razvoj vještina i znanja potrebnih za uspješno obavljanje navigacijskih zadataka. Interakcija se može prikazati neprekidnom petljom, a koja uključuje instruktora, navigacijskog časnika i studenta (Slika 87.).



Slika 87. Petlja instruktor – časnik – student.

Izvor: Autor.

Instruktor, koji nastupa kao stručnjak sa znanjem i iskustvom, ima zadatak prenositi svoje znanje i iskustvo na studente i navigacijske časnike. Njegova uloga nije samo da podučava teorijske osnove navigacije, već i da razvija praktične vještine. Kroz simulacije, praktične vježbe i teorijska predavanja, instruktor pruža razumijevanje složenosti navigacijskih operacija. Uloga časnika, ovdje u ulozi učenika, je aktivna; on ne samo da prima informacije, već ih primjenjuje u praksi, ali i *svojim informacijama doprinosi procesu*. Proces učenja je dvosmjernan, jer nije samo navigacijski časnik taj koji uči. Instruktor također prilikom izvođenja izobrazbe uči, jer ima priliku spoznati probleme, odnosno mogućnost identifikacije dijelova u kojima navigacijski časnici griješe. Na taj se način oplemenjuje sadržaj izobrazbe te se fokus stavlja na dijelove u kojima polaznici pokazuju slabije (ili gore, podstandardno) znanje. Na ovaj se način, primjenom navedenog, nastavni proces može ciljano primijeniti na studente. Ovo podrazumijeva identifikaciju dijela problema prilikom rada sa časnicima. Opet, proces je dvosmjernan, jer instruktor ima priliku procijeniti znanje studenata te identificirati područja u kojima je potrebna nadogradnja. S druge strane, studenti se suočavaju s izazovima rada koji zahtijevaju brzu prilagodbu i rješavanje problema, što dodatno obogaćuje ovaj proces. Ova interakcija omogućava razvoj kritičkog razmišljanje i sposobnost donošenja odluka.

Završetkom formalnog obrazovanja, studenti (časnici) nastavljaju učiti kroz iskustvo i povratne informacije od svojih instruktora i kolega. Ovaj kontinuirani proces učenja osigurava

da su navigacijski časnici uvijek spremni suočiti se s novim izazovima i promjenama u pomorskoj industriji.

Zaključno, predstavljen je dinamičan i interaktivan nastavni proces temeljen na praksi, mješovitom učenju (engl. *blended learning*), i kontinuiranom razvoju.

6.2.2.2. Unaprjeđenje nastavnog procesa

Razvoj, odnosno unaprjeđenje edukacijskih procesa podrazumijeva poboljšanje sučelja čovjek-stroj, te osiguravanje potrebnih znanja o radu i rukovanju, uz prepoznavanje prednosti i ograničenja prilikom korištenja sustava. Uz opisanu petlju, nastavne je procese neophodno kontinuirano unaprjeđivati novim metodama i pristupima. Ovo unaprjeđenje može se ostvariti pomoću nekoliko elementa: uvođenjem inovativnih metoda podučavanja studenata i pomoraca, korištenjem dostupne tehnologije i simulatora te kontinuiranom edukacijom instruktora. Interaktivnim metodama studenti i pomorci postaju aktivni sudionici u vlastitom učenju, čime se potiče razvoj mekih vještina (engl. *soft skills*) kao što su kritičko razmišljanje, kreativnost, suradnja, i konačno, situacijska svjesnost.

Prilikom istraživanja potvrđena je važnost interakcije između budućih pomorskih časnika, koji se još uvijek nalaze u procesu izobrazbe, i iskusnih pomoraca, koji svojim stručnim mišljenjem i znanjem mogu značajno pridonijeti razvoju obrazovnih metoda. Uz pomoć stručnog mišljenja i znanja postojećih pomoraca razvijeni su konceptualni modeli čijim se korištenjem mogu unaprijediti nastavni procesi te naposljetku omogućiti kvalitetnije obrazovanje, a postojećim pomorcima omogućiti stjecanje novih znanja.

Budući da su se tijekom vježbe (potpoglavlje 5.4) mogla odrediti područja vođenja navigacije u kojima i iskusni pomorci griješe te područja u kojima griješe studenti, analizom pogrešaka i njihovom usporedbom moguće je dodatno upotpuniti obrazovnu strukturu ovog procesa. Budući da su iskusni časnici upoznati s najvećim problemima tijekom definiranih radnji, od njih se očekivao manji broj grešaka. No, postojanje pogrešaka upućuje na segmente koji zahtijevaju dodatne aktivnosti. Rezultati anketnog upitnika pokazuju kako se većina ispitanika slaže da bi ECDIS obuka trebala biti kontinuirana, i prilagođena časničkom rang, odnosno dužnostima. Također, velika većina izražava potrebu za dodatnim obukama i stalnim usavršavanjem, što uključuje i nadolazeće, još uvijek nekritične standarde.

6.2.3. Primjena rezultata istraživanja

Osim prethodno opisanih, ciljanih primjena, rezultati istraživanja primjenjivi su tijekom plovidbenog pothvata koji se sastoji od svih utemeljenih koraka, u obliku nadopune postojećih procesa i postupaka planiranja putovanja i praćenja kretanja broda po planiranom putu. Kategorizacija i procjene prepoznatih rizika mogu se primijeniti kao dopuna postojećim, određujući razvojni okvir za unaprjeđenje postupaka vođenja pomorske navigacije. Istraživanjem je moguće upotpuniti službene dokumente vezanih krovnih organizacija, a koji

se odnose na konfiguraciju i općenito prikaze zaslona navigacijskih informacijskih sustava i prikaza elektroničkih karata, odnosno, propise vezane za podatke i korisnička sučelja.

Između ostalog, postoji mogućnost implementacije parcijalnih rezultata u nadolazeće standarde vezane za navigacijske informacijske sustave. U segmentu planiranja putovanja i vođenja navigacije pomoću navigacijskih informacijskih sustava, uključujući raspoznavanje prikazanih boja, rezultati su primjenjivi na standarde *ENC karata unutarnjih plovni putova* (S-401), *Slojeva batimetrijskih kontura za ENC unutarnjih plovni putova* (S-402), *Plana putovanja* (S 421), i *Upravljanja dubinom ispod kobilice* (S 129). Navedeni su standardi, uz *VTS službu digitalnih informacija* (S-212) i *Dodatne slojeve o vremenskim informacijama* (S-412) prikladni za segment istraživanja koji se odnosi na manevriranja u istraženim područjima, prikazima nadvodnih konstrukcija i kormilarskih naredbi. Konačno, za segment prikazanih dubina i sigurnosnih parametara vezanih za dubinu i utjecaj valova, uz navedene standarde, rezultati su primjenjivi unutar *Vremenskih uvjeta i stanja mora* (S-413) te *Opažanja vremenskih prilika i valova* (S-414).

6.3. Prednosti i ograničenja rezultata istraživanja i dobivenih modela

Istraživanje i dobiveni modeli imaju svoje prednosti i ograničenja pa ih je stoga prilikom njihovog tumačenja potrebno uzeti u obzir. Jedna od prednosti istraživanja je ukupan broj ispitanika koji su sudjelovali u anketi, budući da su pomorci stručnjaci kojih nema mnogo i dosta vremena provode na moru te stoga nisu dostupni za aktivno sudjelovanje u istraživanju. Ipak, anketirano je 154 pomorca što rezultate čini reprezentativnima, i što je važnije, ažurnima. Osim anketiranja, korištena je i metoda testiranja modela sa studentima i iskusnim pomorcima na simulatoru, što predstavlja dodanu vrijednost obrazovnim procesima, i razvoj interakcije među studentima i časnicima. Prednost istraživanja je i veliko iskustvo stručnjaka koji su sudjelovali u procjeni vjerojatnosti nastanka ljudske pogreške i procjene rizika te njihove sugestije prilikom izrade rada. Uz pomoć pomoraca i studenata došlo se do novih spoznaja kojima se može unaprijediti sigurnost planiranja putovanja i vođenja pomorske navigacije.

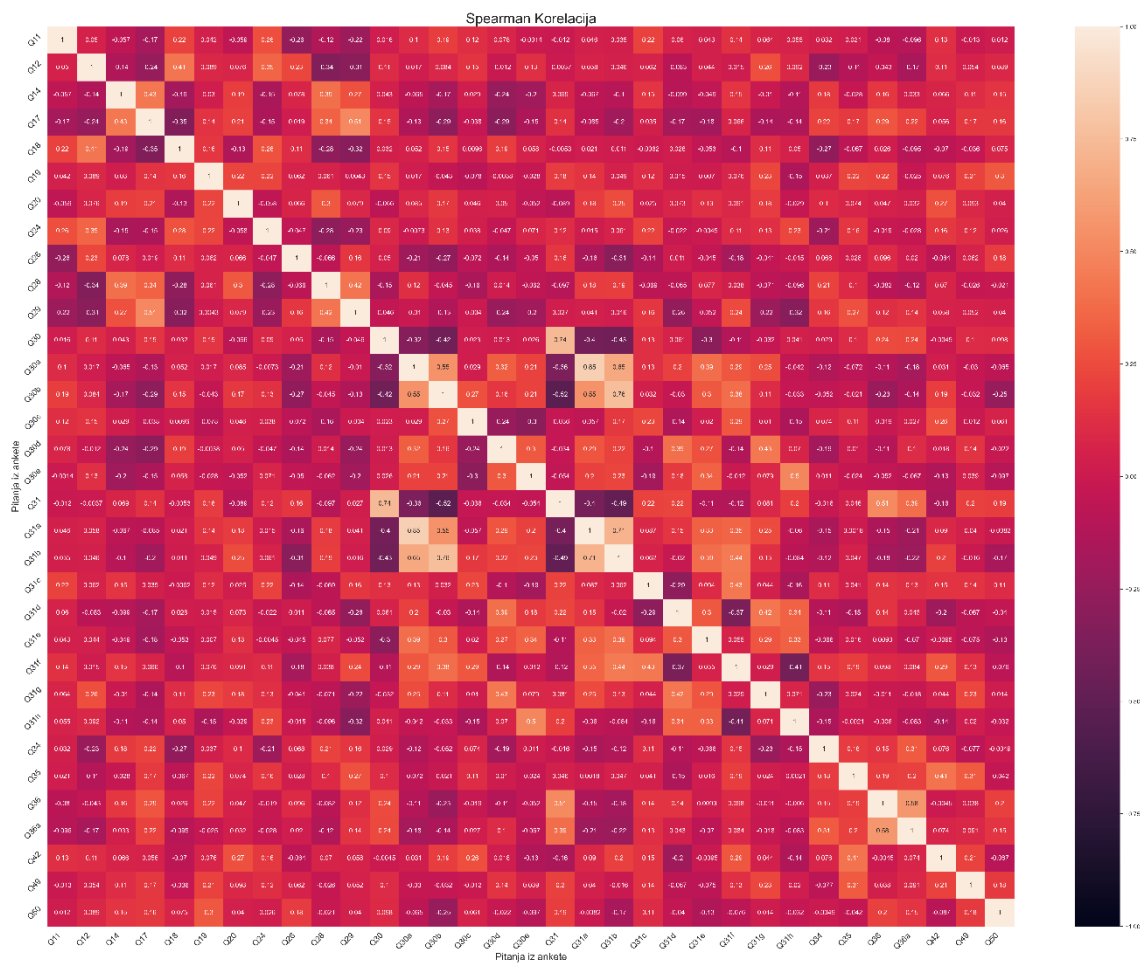
Jedno od potencijalnih ograničenja predstavlja subjektivnost sudionika. Kako bi se smanjio ovaj utjecaj, korištena su neutralno postavljena pitanja. Jedan od nedostataka je i to što je unutar simulatorskog okruženja zahtjevno prikazati vjernu navigacijsku situaciju. Iz tog su razloga, između ostalog, vježbe pripremljene na dva sustava. Osim navedenog, noćni prikaz i prikaz sumraka nisu isti na svim modelima sustava. Na simulatoru su ispitanici mahom odabirali prikaz sumraka u noćnoj navigaciji te su izjavili da su to napravili zbog bolje preglednosti. Ipak, potrebno je naglasiti da na drugim sustavima ne mora uvijek biti slučaj da je u noćnoj navigaciji prikaz sumraka pregledniji od noćnog.

6.4. Smjernice za daljnja istraživanja

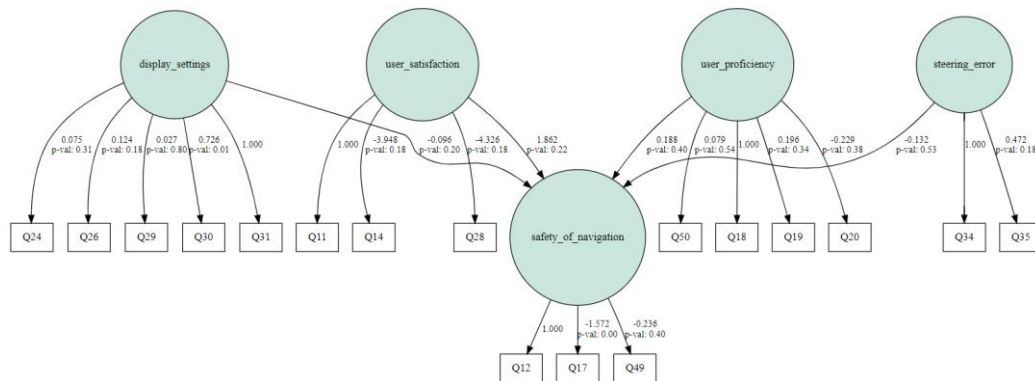
Istraživanje otvara daljnje mogućnosti ciljanih slučajeva za određene vrste brodova i/ili časničkih zvanja, kako bi se utvrdilo postoje li razlike u rizicima koji nastaju u zadanim

uvjetima. Osim toga, u buduća se istraživanja predlaže uključiti međudjelovanje broda s okolinom, osim komponente dubine, odnosno istražiti potencijalno opasne situacije gdje nastaju rizici sudara ili udara. Navigacija u ograničenoj vidljivosti također predstavlja logičan tijek daljnjeg rada, uz dodatno specficiranje scenarija navigacijskih situacija i/ili područja.

U istraživanju je ukupno sudjelovalo preko 220 sudionika. Daljnjim angažmanom još većeg broja stručnjaka i krajnjih korisnika, moguće je definirati nove čimbenike u funkciji unaprjeđenja izrađenih modela. Oni bi se tada dalje mogli kvantificirati i kategorizirati ovisno o svojoj mjerljivoj i nemjerljivoj prirodi; u početku izrade doktorskog rada na opće rezultate anketnog upitnika (Slika 88.) pokušalo se pristupiti metodom modeliranja strukturnih jednadžbi (engl. *Structural Equation Modeling* – SEM). Modeliranje strukturnih jednadžbi je multivarijantna tehnika koja se sve više koristi u znanstvenim istraživanjima za testiranje i procjenu multivarijantnih uzročnih odnosa između jedne ili više zavisnih varijabli i jedne ili više nezavisnih varijabli, pri čemu zavisne i nezavisne varijable mogu biti kontinuirane ili diskretne te čimbenici ili izmjerene varijable. SEM se razlikuje od drugih pristupa modeliranju jer testira izravne i neizravne učinke na unaprijed pretpostavljene uzročne odnose [240].



Rezultati teza potrebnih za postavljanje modela nisu pokazali odgovarajuće razine značajnosti, vrlo vjerojatno uslijed premalenog uzorka, stoga je ova metoda odbačena. Iz tog razloga, SEM model (Slika 89.), kojim se pokušalo definirati latentne varijable i čimbenike koje nije moguće izravno mjeriti, ovdje nije korišten. No daljnjim radom, odgovarajućom izradom namjenskih anketnih upitnika te povećanjem broja ispitanika, moguće je dodatno identificirati i utvrditi značajne, *nove*, utjecajne čimbenike pri procesu planiranja putovanja i vođenja navigacije, odnosno odrediti njihovu međusobnu povezanost u funkciji sigurnosnih rješenja.



Slika 89. SEM modeliranje rezultata anketnog upitnika.

Izvor: Autor

Razvoj noćnog vida u boji s pojačanim kontrastom predstavlja poseban segment u daljnjem istraživanju, namijenjen starijim osobama, ali i onima slabijeg vida. Odnosno, istraživanje je potrebno usmjeriti ne samo na starije časnike, već na sve generacije kako bi se pravovremeno uočili potencijalni rizici nedovoljno prihvatljivog vida pojedinca, a što se trenutnim testovima ne može otkriti.

7. ZAKLJUČAK

Planiranje pomorskog putovanja i vođenje navigacije izazovni su i kompleksni zadaci o kojima ovisi uspješnost plovidbenog pothvata i sigurnost plovidbe. Obavezna primjena navigacijskih informacijskih sustava nalaže znanja i kompetencije časnika navigacijske straže koja i dalje djelomično odskakuju od zahtijevanih, i nalaže dodatne vještine uz svjesnost o primjeni tehnologije i njenim ograničenjima. Rizici koji se ovdje pojavljuju mogu se značajno razlikovati od već identificiranih tijekom postupaka pri tradicionalnoj navigaciji. Plovidba ograničeno plovnim područjima smješta navigacijske zadatke u dodatno kritičan kontekst. Rješavanju potencijalnih problema uslijed navedenih uvjeta potrebno je pristupiti sa više aspekata, uzimajući u obzir dodatne utjecajne elemente.

U skladu sa svrhom istraživanja, bilo je potrebno definirati i kvantificirati čimbenike koji utječu na sigurnost plovidbe u prethodno definiranim uvjetima: tijekom planiranja i vođenja navigacije, u ograničeno plovnim područjima te korištenjem navigacijskih informacijskih sustava kao primarnih navigacijskih sredstava. Prvotno je analizirana postojeća literatura i na temelju rezultata analize i ekspertnog mišljenja autora kreiran je anketni upitnik, koji je za cilj imao otkriti stavove, mišljenja i znanje vezano za ove zadatke. Analizom izvještaja prijavljenih, istraženih i analiziranih nezgoda koje uključuju korištenje navigacijskih informacijskih sustava i ograničeno plovna područja identificirani su najčešći čimbenici koji utječu na pojavnost ljudske pogreške. *Rutinski prekršaji, Neadekvatan nadzor, Organizacijsko ozračje, Planirana neprikladna operacija i Stanje operatora* pet je najčešćih uočenih uzročnika pomorskih nezgoda. Kod nasukanja brodova u ograničeno plovnim područjima na brodovima s ECDIS sustavom kao primarnim navigacijskim sredstvom, čimbenik *Sklopovlje* nastupa kao značajan. Adekvatne postavke sustava i zaslona, uključujući njihovu ergonomiju, dizajn, i pravilno rukovanje također imaju nezanemariv utjecaj na sigurnost plovidbe. Definicija ograničeno plovnih područja upotpunjena je budući da se planiranje putovanja i navigacija takvim područjima više skoro pa i ne može zamisliti bez upotrebe sustava. Analize zaustavljanja brodova s ECDIS sustavom kao uzročnikom upućuju na daljnju prisutnost zadržavanja ove vrste; prema analizama, porast nedostataka i zaustavljanja brodova u vezi s ECDIS sustavom i dalje je prisutan.

Primjenom SLIM i SLIM-BN metode identificirani su značajni utjecajni čimbenici na sigurnost plovidbe. Identificirani su i najrizičniji zadatci/postupci unutar radnji planiranja putovanja i vođenja navigacije ograničeno plovnim područjima. Procijenjen je nastanak pogreške časnika navigacijske straže prilikom izvođenja zadataka te je napravljena procjena rizika za obje radnje. U radu je dokazano kako se djelovanjem na određene čimbenike može unaprijediti sigurnost plovidbe. Izrađeni su modeli za unaprjeđenje planiranja putovanja i vođenja navigacije ograničeno plovnim područjem te je potvrđeno kako se njihovom primjenom ove radnje mogu značajno unaprijediti, čime je potvrđena postavljena znanstvena hipoteza.

Istraživanjem su dokazane sve pomoćne hipoteze. Primjenom znanstvenih metoda, empirijski, sustavnim istraživanjem, anketnim upitnicima i strukturiranim intervjuima identificirani su čimbenici koji negativno utječu na sigurnost vođenja navigacije, odnosno na procjenu i upravljanje navigacijskim rizicima; primjenom matrice rizika procijenjeni su stvarni rizici i identificirane su prijetnje sigurnom vođenju navigacije (i planiranju putovanja) te je prikazano kako se one mogu do određene mjere umanjiti. Dokazano je da kako varijable modela procjene rizika planiranja putovanja i vođenja navigacije nemaju jednaki utjecaj na sigurnost plovidbe i moguće posljedice. Analizom odgovora ispitanika na odabrana pitanja u vezi korištenja ECDIS sustava i njegovog utjecaja na sigurnost plovidbe te usporedbom s korištenjem papirnatih karata, može se zaključiti da dio pomoraca ipak nije u potpunosti prihvatio ECDIS kao primarni sustav za vođenje navigacije, što zauzvrat može uzrokovati sigurnosne propuste i opetovani nastanak ljudske pogreške. Analizom dostupne literature i odgovora iskusnih pomoraca na pitanja o korištenju paleta boja zaslona ECDIS sustava prilikom planiranja putovanja ili vođenja navigacije u različito doba dana, može se zaključiti kako stariji pomorci ne koriste za to predviđene palete, gdje se posebno ističe korištenje dnevnog ili prikaza sumraka uz prigušenje svjetlosti zaslona tijekom rada u noćnim satima. Predloženo je nekoliko načina pregleda vida tijekom liječničkih pregleda, koji bi bili puno adekvatniji od trenutačnog, Ishihara testa. Pritom, osim ciljane skupine 'starijih' časnika, pojavljuje se potreba za adekvatnijom provjerom kolornog vida kod svih generacija. Uz naprednu navigacijsku opremu, obrazovanje budućih pomoraca, odnosno studenata, i izobrazba aktivnih pomoraca predstavljaju ključan segment unaprjeđenja sigurnosti plovidbe, zaštite okoliša i razvoja pomorske industrije. Obrazovan i vješt pomorac najvažnija je karika u pomorskoj industriji. Unaprjeđenje nastavnih procesa dodatno je moguće ostvariti interakcijom među sadašnjim i budućim časnicima, što uključuje analizu i usporedbe rezultata grupa ispitanika unutar namjenskih, prilagođenih scenarija, i primjenom sustava neprekidne edukativne petlje među dionicima.

LITERATURA

- [1] Abrishami, S., Khakzad, N., Hosseini, S. M., Van Gelder, P. (2019). BN-SLIM: A Bayesian network methodology for human reliability assessment based on Success Likelihood Index Method (SLIM). Reliability Engineering & System Safety, 106647. doi:10.1016/j.ress.2019.106647
- [2] Admiralty, (2023). S-57 to S-101: Explaining the IHO standards for ECDIS Dostupno na: <https://www.admiralty.co.uk/news/s-57-s-101-explaining-iho-standards-ecdis> (Datum pristupa: 15. listopada 2024.)
- [3] Adumene, S., Afenyo, M., Salehi, V., William, P. (2022). An adaptive model for human factors assessment in maritime operations, International Journal of Industrial Ergonomics, Vol 89, 103293, <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2022.103293>
- [4] Akyuz, E., Celik, E. (2017). The role of human factor in maritime environment risk assessment: A practical application on Ballast Water Treatment (BWT) system in ship. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 24(3), 653-666. <https://doi.org/10.1080/10807039.2017.1396184>
- [5] Alexander, L., Brown, M., Greenslade, B., Pharaoh, A. (2007). Development of IHO S-100: The New IHO Geospatial Standard for Hydrographic Data, International Hydrographic Review. 1033. <https://scholars.unh.edu/ccom/1033>
- [6] All about AIS, (2023). Dostupno na: <http://www.allaboutais.com/index.php/en/> (Datum pristupa: 20. srpnja 2023.)
- [7] Arnerić, J., Protrka, K. (2019). Modeli analize varijance (ANOVA). Matematičko fizički list, 70 (277), 25-32.
- [8] Aslam, T., Mahmood, S. (2008). Age-related cataracts: Molecular biology and potential therapeutic targets. Expert Reviews in Molecular Medicine, 10, e7. doi: 10.1017/S1462399408000594
- [9] Asyali, E., 2012, The Role of ECDIS in Improving Situation Awareness, The 13th Annual General Assembly of the IAMU: Expanding Frontiers - Challenges and Opportunities in Maritime Education and Training
- [10] Australian Maritime Safety Authority (AMSA) (2023). Dostupno na: <https://www.amsa.gov.au/vessels-operators/port-state-control#collapseArea665> (Datum pristupa: 20. veljače 2023.)
- [11] Bahamas Maritime Authority, (2021). MN094 – Port State Control Detentions.
- [12] Bąk, A., Gucma, S., Przywarty, M. (2024). Safety of Navigation in Restricted Areas. Methods of Risk Estimation and Analysis. Synthesis Lectures on Ocean Systems Engineering. Springer Nature Switzerland AG. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-49532-8>
- [13] Baltar, F., Brunet, I. (2012). Social research 2.0: virtual snowball sampling method using Facebook, Internet Research, Vol. 22 Iss: 1 pp. 57 – 74
- [14] Barić M., Grbić L., Peričin L., Jelic R. (2023). The Role of the ECDIS on the Development of Situational Awareness – a Study on Grounding Accidents. TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 17, No. 1, doi:10.12716/1001.17.01.24, pp. 219-225,

- [15] Barić, M. (2017). Model određivanja širine ograničenih plovni putova. Doktorski rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka, Hrvatska.
- [16] BayesFusion, (2023). LLC, GeNie Academic Modeler, 4.1.4109, Dostupno na: <http://www.bayesfusion.com/> (Datum pristupa: 10. studenoga 2024.)
- [17] Ben-Gal, I. (2007). Bayesian Network, in Encyclopedia of Statistics in Quality and Reliability, F., Faltin, F., Kenett, R. Ruggeri, Ed.: Wiley & Sons, 2007.
- [18] Bielić, T., Hasanspahić, N., Čulin, J. (2017). Preventing marine accidents caused by technology-induced human error, Pomorstvo: scientific journal of maritime research, 31, 33-37
- [19] Biočić, T., Hasanspahić, N., Kristić, M., Đurđević-Tomaš, I. (2024). Estimating the Human Error Probability during Lifeboat Drills. Appl. Sci. 14, 6221. <https://doi.org/10.3390/app14146221>
- [20] Bos, J. E., Kruijt, C. (2006). Acceptance of Color Deficiencies in Ships. Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries, 16(4), 437-452.
- [21] Bowditch. American Practical navigator. Volume 1. (2017). Dostupno na: <https://thenauticalalmanac.com/2017-Bowditch-American-Practical-Navigator/Volume-1/03-%20Part%201-%20Fundamentals/Chapter%205-%20ECDIS%3A%20Electronic%20Chart%20Display%20and%20Information%20Systems.pdf> (Datum pristupa: 10. studenoga 2024.)
- [22] Bowo L. P., Mutmainnah W., Furusho M. (2017). The Development of Marine Accidents Human Reliability Assessment Approach: HEART Methodology and MOP model. TransNav, Vol. 11, no. 2, pp. 249-254, DOI 10.12716/1001.11.02.06
- [23] Boyes, W. (2019). Instrumentation reference book (4th ed.). Elsevier
- [24] Boyle, T.; Rodrigues, I. (2002). An investigation regarding seafarers' resistance to using ECDIS black-background chart display modes. International Hydrographic Review, Vol. 3, No. 2.
- [25] Brčić, D. (2022). Integrirani navigacijski sustavi. Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet. Rijeka, Hrvatska
- [26] Brčić, D., Kos, S., Žuškin, S. (2016). Partial structural analysis of the ECDIS EHO research: The handling part, In: Rijavec, R. (ed.) Proceedings of the 24th International Symposium on Electronics in Transport (ISEP24). Ljubljana: Electrotechnical Association of Slovenia & ITS Slovenia, 2016, pp. 80-87, (ISBN: 978-961-6187-56-5).
- [27] Brčić, D., Žuškin, S., Barić, M. (2017). Observations on ECDIS Education and Training. 12th International Conference on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation At: Gdynia, Poljska DOI: 10.1201/9781315099132-5.
- [28] Brčić, D., Žuškin, S., Kos, S., Valčić. (2022). Evolving ECDIS: GNSS PNT-based concepts towards safe and automated maritime navigation venture. In: Book of Extended Abstracts of the 15th Baška GNSS Conference: Technologies, Techniques and Applications Across PNT and The 2nd Workshop on Smart, Blue and Green Maritime Technologies. Baška, Croatia, pp. 111-115.
- [29] Brčić, D., Žuškin, S., Valčić, S., Frančić, V. (2018). Implementation of the ECDIS system: an OOW perspective as an integral part of educational improvement, Zbornik radova, 19th Annual General Assembly, Barcelona, 17.-19.10.2018., p. 121-129

- [30] Brčić, D., Žuškin, S. (2018). Towards Paperless Vessels: A Master's Perspective. *Pomorski zbornik*, 2018, Vol. 55 No. 1, pp. 183-199, (ISSN: 0554-6397), DOI: 10.18048/2018.00.12.
- [31] Brčić, D., Kos, S., Žuškin, S. (2015). Navigation with ECDIS: Choosing the Proper Secondary Positioning Source. *TransNav, Int. J. Mar. Navig. Saf. Sea Transp.* 2015, 9 (3), 317-326. <https://doi.org/10.12716/1001.09.03.03>.
- [32] Brčić, D., Žuškin, S., Valčić, S., Rudan, I. (2019). ECDIS transitional period completion: Analyses, observations and findings. *WMU journal of maritime affairs*, 18, 2; 2019., 359-377. doi:10.1007/s13437-019-00173-z.
- [33] Buck, S. L. (2004). The Purkinje shift and scotopic sensitivity. *Journal of Optometry*, 5(3), 163-165.
- [34] Butkiewicz, T., Atkin, I., Sullivan, B., Kastrisios, C., Stevens, A., Beregovyi, K. (2022). Web-based Visualization of Integrated Next-Generation S-100 Hydrographic Datasets. Conference OCEANS 2022 Hampton Roads, Virginia Beach Convention Center, October 17-20, 2022.
- [35] Canadian Centre for Occupational Health and Safety (2024). Hazard and Risk, Dostupno na: https://www.ccohs.ca/oshanswers/hsprograms/hazard/hazard_risk.html (Datum pristupa: 7. studenoga 2024.)
- [36] Cannan, J., Hu, H. (2011). Human-machine interaction (HMI): A survey. University of Essex, 27, 2011.
- [37] Car, M., Brčić, D., Žuškin, S., Sviličić, B. (2020). The Navigator's Aspect of PNC before and after ECDIS Implementation: Facts and Potential Implications towards Navigation Safety Improvement., *Journal of marine science and engineering*, svez. 8, br. 11, pp. 842-856, 2020. <https://doi.org/10.3390/jmse8110842>.
- [38] Car, M., Tominac Coslovich, S., Brčić, D., Žuškin, S. (2021). Cross-Section of ECDIS Education and Training Worldwide and in the Republic of Croatia: Relations Between Programs and User Perceptions., *TransNav*, svez. 15, br. 2, pp. 267-272, 2021. doi:10.12716/1001.15.02.01.
- [39] Car, M., Vujičić, S., Žuškin, S., Brčić, D. (2019). Human Machine Interface: Interaction of OOWs with the ECDIS system., *Naše more*; Koboević, Žarko (ur.), Dubrovnik: University of Dubrovnik, Maritime Department, 2019.
- [40] Castillo, E., Gutiérrez, J. M., Hadi, A. S. (1997). Sensitivity analysis in discrete Bayesian networks. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 27(4), 412-423.
- [41] Chauvin, C., Lardjane, S., Morel, G., Clostermann, J.-P., Langard, B. (2013). Human and organisational factors in maritime accidents: Analysis of collisions at sea using the HFACS, *Accident Analysis & Prevention*, Vol 59, 2013, pp. 26-37, <https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.05.006>
- [42] Chen, S.T., Wall, A., Davies, P., Yang, Z., Wang, J., Chou, Y.H. (2013). A Human and Organisational Factors (HOFs) analysis method for marine casualties using HFACS-Maritime Accidents (HFACS-MA), *Safety Science*, Volume 60, 2013, Pages 105-114, ISSN 0925-7535, <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2013.06.009>.
- [43] Choi, H., Kang, D., Oh, S., Kim, Y. (2021). A Study on Development of Machine-readable Platform for S-100 ECDIS. *Journal of the Korean Institute of Navigation and Port Research*, 45 (2), 61-68. <https://doi.org/10.5394/KINPR.2021.45.2.061>

- [44] Choi, H., Oh, S., Hwang, S. (2017). A Study of Development and Application on S-100 Registry, Transportation Research Procedia, Volume 21, 2017, pp. 263-268, ISSN 2352-1465, <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.03.096>
- [45] Choi, H., Oh, S., Kang, D., Yoon, M. (2020). Evaluation of S-100 ECDIS Based on S-10X Digital Maritime Safety Information. Journal of the Korean Institute of Navigation and Port Research, 44 (5), 375-381. <https://doi.org/10.5394/KINPR.2020.44.5.375>
- [46] Cicek, K., Celik, M. (2013). Application of failure modes and effects analysis to main engine crankcase explosion failure on-board ship. Safety Science 5181, pp. 6-10
- [47] ClassNK, (2016). PSC Bulletin. NK-PSC-o8. E C D I S (Electronic chart display and information systems) Dostupno na: https://www.classnk.or.jp/hp/pdf/info_service/psc/bulletin/nkpsco8_e.pdf (Datum pristupa: 10. studenoga 2024.)
- [48] Cole, J. S., Asyali, E. (2018). Role of ECDIS training on improving situational awareness. Proceedings of 19th IAMU AGA Conference (IAMU 19), Barcelona, Spain, 17-19.10.2018. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya/International Center for Numerical Methods in Engineering, In: Grifoll M.; Martínez de Osés F.X.; Castells M.; Martin A. (Eds.) 2018., 165-172.
- [49] Color Blind Test, (2024). Dostupno na: <https://www.colorblindnesstest.org/farnsworth-munsell-100-hue-test/> (Datum pristupa: 28. veljače 2024.)
- [50] Color Blind Test, Cambridge Color Test, (2024). Dostupno na: <https://colorblind-test.io/cambridge-color-test> (Datum pristupa: 28. veljače 2024.)
- [51] Color palette extractor (2023). Dostupno na: <https://mdigi.tools/color-extractor/> (Datum pristupa: 27. studenog 2023.)
- [52] COLORLITE (2023). Dostupno na: <https://www.colorlitelens.com/ishihara-test.html> (Datum pristupa: 25. rujna 2023.)
- [53] Colorlite, (2024). Dostupno na: <https://www.colorlitelens.com/lantern-test.html> (Datum pristupa: 28. veljače 2024.)
- [54] Colorlitelens, (2024). Dostupno na: <https://www.colorlitelens.com/images/test/D15/D15.html> (Datum pristupa: 28. veljače 2024.)
- [55] Confidential Human Factors Incident Reporting Programme (CHIRP), (2004). Safe speed, Dostupno na: <https://chirp.co.uk/report/safe-speed/> (Datum pristupa: 10. studenoga 2024.)
- [56] Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea, (1972). COLREGs
- [57] Crossland, M. D., Culham, L. E., Rubin, G. S. (2005). Fixation stability and reading speed in patients with newly developed macular disease. Ophthalmic and Physiological Optics, 25(4), 327-333.
- [58] Danish Maritime Accident Investigation Board (DMAIB) (2023). Dostupno na: <https://dmaib.com/> (Datum pristupa: 26. lipnja 2023.)
- [59] Deeb, S. S. (2006). Genetics of variation in human color vision and the retinal cone mosaic, Current Opinion in Genetics & Development, Volume 16, Issue 3, 2006, Pages 301-307, ISSN 0959-437X, <https://doi.org/10.1016/j.gde.2006.04.002>
- [60] Dickson, J. H. (1952). Radar Chart-matching Devices. Journal of Navigation, 5(4), 331-344. doi:10.1017/S0373463300045045

- [61] DiMattia, D., Khan, F.I., Amyotte, P.R. (2005). Determination of human error probabilities for offshore platform musters. *Journal of Loss Prevention in Process Industry* 18, pp. 488-501.
- [62] Duplančić, Leder, T., Lapaine, M. (2006). A proposal of ENC Cell Distribution of the Croatian Part of the Adriatic, 2006.
- [63] ECDIS Passage Planning and Watchkeeping, (2019). Edition, Witherby Publishing Group Ltd, Scotland, UK
- [64] Elliott, D.B. (1987). Contrast sensitivity decline with ageing: a neural or optical phenomenon? *Ophthalmic Physiol Opt.* 1987. 7(4):415-9. PMID: 3454919.
- [65] Embrey, D. E., Humphreys, P. C., Rosa, E. A., Kirwan, B., Rea, K., (1984). SLIM-MAUD: An Approach to Assessing Human Error Probabilities using Structured Expert Judgement, NUREG/ CR-3518, US Nuclear Regulatory Commission, Washington DC,
- [66] Embrey, D.E., Humphreys, P., Rosa, E.A., Kirwan, B., Rea, K. (1984). SLIM-MAUD: an approach to assessing human error probabilities using structured expert judgment. 1984, Volume II. Detailed analysis of the technical issues. United States
- [67] Ernstsén, J., Nazir, S. (2018). Human Error in Pilotage Operations. *TransNav – the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 2018, 12(1), DOI: 10.12716/1001.12.01.05.
- [68] European Maritime Safety Agency (EMSA), (2023). Annual Overview of Marine Casualties and Incidents 2023, Dostupno na: <https://emsa.europa.eu/publications/item/5052-annual-overview-of-marine-casualties-and-incidents.html> (Datum pristupa: 15. listopada, 2024.)
- [69] European Union Agency for the Space Programme (EUSPA) (2023). Dostupno na: <https://www.euspa.europa.eu/> (Datum pristupa: 31. kolovoza 2023.)
- [70] Federal Bureau of Maritime Casualty Investigation (BSU) (2023). Dostupno na: https://www.bsu-bund.de/EN/Publications/Unfallberichte/Unfallberichte_node.html (Datum pristupa: 26. lipnja 2023.)
- [71] Felski, A. (2008). Gyrocompasses - Their Condition and Direction of Development. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, Vol. 2, No. 1, pp. 55-59
- [72] French Marine Accident Investigation Office (BEAmer) (2023). Dostupno na: <http://www.bea-mer.developpement-durable.gouv.fr/about-us-r50.html> (Datum pristupa: 26. lipnja 2023.)
- [73] Froger, N., Ouarour, A., Lemaire, J. J., Résibois, A., Pelletier, J. (2011). Assessing disability in patients with multiple sclerosis: which questionnaire should be used? *Joint Bone Spine*, 78(3), 238-241.
- [74] Gierczyk, M., Gromkowska-Melosik, A., Scott, S., Parker, C. (2024). The Snowball Sampling Strategy in the Field of Social Sciences. Contexts and Considerations. : Contexts and considerations . *Przegląd Badań Edukacyjnych (Educational Studies Review)*. Online. 30 January 2024. Vol. 2, no. 43, pp. 87-104. DOI 10.12775/PBE.2023.029
- [75] Gillespie-Gallery, H., Konstantakopoulou, E., Harlow, A. J., Barbur, L. J. (2013). Capturing Age-Related Changes in Functional Contrast Sensitivity With Decreasing Light Levels in Monocular and Binocular Vision. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2013. 54(9):6093-6103. doi: <https://doi.org/10.1167/iovs.13-12119>.

- [76] Goerlandt, F., Montewka, J. (2015). Maritime transportation risk analysis: Review and analysis in light of some foundational issues, *Reliability Engineering & System Safety*, Volume 138, 2015, Pages 115-134, ISSN 0951-8320, <https://doi.org/10.1016/j.res.2015.01.025>.
- [77] Google Maps, (2024). Dostupno na: https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1dWR6W5uNXnaDRofnXQFcvwo_XDo&hl=en_US&ll=-36.929174299176005,%2C174.774342999999996&z=12 (Datum pristupa: 1. ožujka 2024.)
- [78] Grant, A., Williams, P., Ward, N., Basker, S. (2009). GPS Jamming and the Impact on Maritime Navigation. *Journal of Navigation*. 62, 2, 173– 187. <https://doi.org/10.1017/S0373463308005213>
- [79] Gubian, P., Piccinelli, M., Neri, B., Neri, P., Giurlanda, F. (2015). The disaster of Costa Concordia cruise ship: An accurate reconstruction based on Black Box and automation system data. 2015 2nd International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management (ICT-DM), 2015. doi:10.1109/ict-dm.2015.7402049.
- [80] Haas, E.J., Demich, B., McGuire, J. (2020). learning from Workers' Near-miss Reports to Improve Organizational Management. *Min. Metall. Explor.* 2020, 37, 873–885
- [81] Hartong, D. T., Berson, E. L., Dryja, T. P. (2006). Retinitis pigmentosa. *The Lancet*, 368(9549), 1795-1809. doi: 10.1016/S0140-6736(06)69740-7
- [82] Hasanspahić, N. (2019). Prilog unaprjeđenju kulture sigurnosti u brodarstvu sustavnim upravljanjem izbjegnutim nezgodama, Doktorski rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet. Rijeka, Hrvatska
- [83] Hasanspahić, N., Vujičić, S., Frančić, V., Čampara, L. (2021). The Role of the Human Factor in Marine Accidents. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2021, 9(3), 261; <https://doi.org/10.3390/jmse9030261>
- [84] Hasanspahić, N., Biočić, T., Car, M., Vujičić, S. (2023). HFACS-MA and 4-MOP integrated methodology for the assessment of human factors in maritime accidents. 16th Baška GNSS Conference: Technologies, Techniques and Applications Across PNT and the 3rd Workshop on Smart, Blue and Green Maritime Technologies, Book of extended abstracts. Brčić, D.; Valčić, M.; Kos, S. et al. (ur.). Rijeka. Pomorski fakultet Sveučilišta u Rijeci, 2023. str. 147-154
- [85] Hasanspahić, N., Vujičić, S., Kristić, M., Mandušić, M. (2022). Improving Safety Management through Analysis of Near-Miss Reports—A Tanker Ship Case Study. *Sustainability* 2022, 14, 1094
- [86] Hatteland Technology, (2023), Color calibration for ECDIS: What it is and why it matters, Dostupno na: <https://www.hattelandtechnology.com/blog/what-is-color-calibration-for-ecdis> (Datum pristupa: 15. listopada, 2024.)
- [87] Heckerman, D., Geiger, D., Chickering, D.M. (1995). Learning Bayesian Networks: The Combination of Knowledge and Statistical Data, *Machine Learning*, vol. 20, pp. 197-243, 1995.
- [88] Hydro international, (2010). The IHO's role in the Development of ECDIS Dostupno na: <https://www.hydro-international.com/content/article/the-iho-s-role-in-the-development-of-ecdis>, (Datum pristupa: 14. Listopada 2024.)
- [89] Hydrographic and Oceanographic Service of the Chilean Navy (SHOA). (2023). International Hydrographic Organization (IHO) and the Hydrographic and Oceanographic Service of the Chilean Navy (SHOA), *IHO S-100: The New IHO Hydrographic Geospatial Standard for Marine Data and*

Information, Valparaíso, Chile. Dostupno na: <http://www.shoa.mil.cl/php/index.php> (Datum pristupa: 16. rujna 2023.)

[90] International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities (IALA), (2017). Producing an IALA S-200 Series Product Specification, Edition 2.0, June 2017

[91] International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities (IALA). (2021). IALA Maritime Buoyage System and other Aids to Navigation. IALA Guideline 1026.

[92] International Hydrographic Organisation, IHO. (2010). Publication SP-66 1.0 - Facts about Electronic Charts and Carriage Requirements, Edition 1.0.0. International Hydrographic Bureau, Monaco, 2010.

[93] International Hydrographic Organisation, IHO. (2022). Roadmap for the S-100 Implementation Decade (2020 – 2030), Annex 2, S-100 Timelines, Version 2.0 Dated: 12 July, 2022. IHO, Monaco.

[94] International Hydrographic Organization (IHO) (2017). *S-65 ENC's: Production, Maintenance and Distribution Guidance*. Edition 2.1.0, May 2017. IHO, Monaco.

[95] International Hydrographic Organization (IHO) (2018). *S-100: Universal Hydrographic Data Model*. Edition 4.0.0, December 2018. IHO, Monaco.

[96] International Hydrographic Organization (IHO) (2020). *S-57: Transfer Standard for Digital Hydrographic Data*. Edition 3.1., November 2020. IHO, Monaco.

[97] International Hydrographic Organization (IHO) (2021). *S-100 based Product Specifications*. IHO, Monaco. Dostupno na: <https://iho.int/en/s-100-based-product-specifications> (Datum pristupa: 1. ožujka 2024.)

[98] International Hydrographic Organization (IHO) (2022). S-100 Universal Hydrographic Data Model, S-100 Infrastructure, Portrayal Catalogue Builder, Dostupno na: <https://iho.int/en/portrayal-catalogue-builder> (Datum pristupa: 11. studenoga 2024.)

[99] International Hydrographic Organization (IHO) (2022). *S-58: ENC Validation Checks*. Edition 7.0.0, October 2022. IHO, Monaco.

[100] International Hydrographic Organization (IHO), (1997). Glossary of ECDIS-related terms. Ed. 3.0. IHO, Monaco.

[101] International Hydrographic Organization (IHO), (2024). Information on IHO Standards Related to ENC and ECDIS, IHO, Monaco Dostupno na: https://iho.int/uploads/user/Services_%20and%20Standards/ENC_ECDIS/PSC_%20Advice_%20IHO_Ed_%202.1_Final.pdf (Datum pristupa: 15. listopada, 2024.)

[102] International Hydrographic Organization, IHO. (2014). IHO report on the results of the ECDIS survey conducted by BIMCO and Denmark. IHO, Monaco, 2014.

[103] International Hydrographic Organization, (IHO). (2020). S-52 Annex A: IHO ECDIS Presentation Library, Edition 4.0(3) – October 2014, (With Clarifications up to December 2020) Addendum to Part I: S-52 ENC Symbol Catalogue Paper based description of symbols for use on ECDIS, IHO, Monaco, 2020.

[104] International Hydrographic Organization, (IHO). (2022). S-98 Annex C: Harmonised User Experience for ECDIS and INS. Edition 1.0.0, May 2022. IHO: Monaco, 2022.

- [105] International Hydrographic Organization, (IHO). (2020). S-57: Transfer Standard for Digital Hydrographic Data. Edition 3.1., November 2020., IHO, Monaco, 2020.
- [106] International Institute of Marine Surveying (2023). Dostupno na: <https://www.iims.org.uk/overreliance-on-ecdis-seen-as-factor-in-cruise-ship-strike-on-alaska-pier/> (Datum pristupa: 30. listopada 2024.)
- [107] International Maritime Organization (IMO) (2000). MSC/Circ.982: Guidelines on ergonomic criteria for bridge equipment and layout. London: IMO.
- [108] International Maritime Organization (IMO) (2002). MSC Circ. 1023/MEPC Circ. 392, Guidelines for formal safety assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process, London: IMO.
- [109] International Maritime Organization (IMO) (2003). MSC/Circ.1091: Issues to be considered when introducing new technology on board ship. London: IMO.
- [110] International Maritime Organization (IMO) (2010). MSC.87(26) Add.1: Adoption of performance standards for bridge alert management. London: IMO.
- [111] International Maritime Organization (IMO) (2012). Model Course 1.27: Operational use of Electronic Chart Display and Information System. London: IMO.
- [112] International Maritime Organization (IMO) (2019). MSC.1/Circ.1609: Guidelines for the standardization of user interface design for navigation equipment. London: IMO.
- [113] International Maritime Organization (IMO). (2007). Resolution MSC.83(28) Add.3 Adoption of the revised performance standards for Integrated Navigation Systems (INS) London: IMO,
- [114] International Maritime Organization (IMO). (2022). Resolution MSC.1/Circ.1503 Rev.2. ECDIS - Guidance for Good Practice. International Maritime Organization, London, 28 November 2022
- [115] International Maritime Organization (IMO). (2007). Resolution MSC.252(83) Adoption of the revised performance standards for Integrated Navigation Systems (INS) London: IMO,
- [116] International Maritime Organization: Port State Control, London, (2024). Dostupno na: <https://www.imo.org/en/OurWork/IIIS/Pages/Port%20State%20Control.aspx> (Datum pristupa: 15. listopada 2024.)
- [117] International Maritime Organization: Resolution A.1106(29), Revised guidelines for the onboard operational use of shipborne Automatic Identification Systems (AIS), (2015).
- [118] International Maritime Organization: Resolution A.224(7), Performance standards for echo-sounding equipment, (1971).
- [119] International Maritime Organization: Resolution A.342(9), Recommendation on performance standards for automatic pilots, (1975).
- [120] International Maritime Organization: Resolution A.682(17) Regional co-operation in the control of ships and discharges International Maritime Organization, London, (1991).
- [121] International Maritime Organization: Resolution A.817(19), Performance standards for Electronic Chart Display and Information Systems (ECDIS), (1995).
- [122] International Maritime Organization: Resolution A.823(19) Recommendation on performance standards for Automatic Radar Plotting Aids (ARPAs), (1995).

- [123] International Maritime Organization: Resolution A.824(19), Performance standards for devices to indicate speed and distance, (1995).
- [124] International Maritime Organization: Resolution MSC.192(79) Adoption of the revised performance standards for RADAR equipment, (2004).
- [125] International Maritime Organization: Resolution MSC.232(82), Adoption of the revised performance standards for Electronic Chart Display and Information Systems (ECDIS), (2006).
- [126] International Maritime Organization: Resolution MSC.530(106). The Performance Standards for Electronic Chart Display and Information Systems (ECDIS). International Maritime Organization, London, (2022).
- [127] Ishihara, S. (1917). Testovi za daltonizam. Handaya, Tokio.
- [128] ISM Code, (2015). International Management Code for the safe operations of ships and for pollution prevention, International Maritime Organization, Revised 2015.
- [129] ISO 31000:2018, (2021). Risk management. A practical guide, Edition 1.
- [130] ISO 8402:1995 / BS 4778, (2012). Guide to Risk Assessment in Ship Operations
- [131] ISO/IEC GUIDE 51, (2014). Safety aspects – Guidelines for their inclusion in standards
- [132] Jackson, G. R., Owsley, C., McGwin Jr, G. (1999). Aging and dark adaptation. Vision Research, 39(23), 3975-3982.
- [133] Japanese Standards Association, (2019). JIS Z 8115, Glossary of terms used in dependability
- [134] Jianan, L., Xiaoxia, W., Jing, D. (2020). A New Model of Environment-Aware Geographic Information Services in E-navigation, The Journal Of Navigation (2020), 73, 471-484. c The Royal Institute of Navigation 2019, doi:10.1017/S0373463319000766
- [135] Kaptan, M., Sariañoğlu, S., Uğurlu, Ö., Wang, J. (2021). The evolution of the HFACS method used in analysis of marine accidents: A review, International Journal of Industrial Ergonomics, Vol 86, 2021, 103225, <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2021.103225>
- [136] Kartverket, Electronic Navigational Charts (ENC), (2024). Dostupno na: <https://www.kartverket.no/en/at-sea/nautical-charts/elektroniske-sjokart-enc> (Datum pristupa: 14. listopada, 2024)
- [137] Kaufmann, R., Glavin, S., J. (1990). General guidelines for the use of colour on electronic charts. International Hydrographic Review, Monaco, LXVII(1), July 1990.
- [138] Kayisoglu, G., Bolat, P., Tam, K. (2022). Evaluating SLIM-based human error probability for ECDIS cybersecurity in maritime. The Journal of Navigation, 75(6), 1364-1388. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0373463322000534>
- [139] Kayisoglu, G., Bolat, F. (2022). A slim based approach for human error probability of steel scrap cargo operations as a critical process in the maritime sector. Scientific Journal of Maritime Research 2022, 36(1), pp. 22-30. <https://doi.org/10.31217/p.36.1.3>
- [140] Kayisoglu, G., Gunes, B., Besikci, E.B. (2022). SLIM based methodology for human error probability calculation of bunker spills in maritime operations. Reliability Engineering & System Safety, Vol. 217, 2022, 108052, <https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.108052>

- [141] Knowledge of sea, (2021). Mandatory ECDIS alarms and alarm setting, Dostupno na: <https://knowledgeofsea.com/mandatory-ecdis-alarms-and-alarm-setting/> (Datum pristupa: 4. studenoga 2024.)
- [142] Korea Hydrographic and Oceanographic Agency (KHOA) (2017). *Future Concept of Special overlay for Navigational Information*. Dostupno na: <https://legacy.iho.int/srv1/index.php?lang=en> (Datum pristupa: 16. rujna 2023.)
- [143] Korea Hydrographic and Oceanographic Agency (KHOA) (2021). *Ocean Data in Grid Framework*. Dostupno na: <http://www.khoa.go.kr/oceangrid/khoa/intro.do> (Datum pristupa: 16. rujna 2023.)
- [144] Kozłowski, A., Kaliszewski, A., Dabrowski, J., Klimek, H. (2021). Virtual network sampling method using LinkedIn. *MethodsX* 101393. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2021.101393>
- [145] Krile, S., Kezić, D. i Dimc, F. (2013). NMEA Communication Standard for Shipboard Data Architecture. *NAŠE MORE*, 60 (3-4), 68-81.
- [146] Kristić, M., Žuškin, S., Brčić, D., Car, M. (2021). Overreliance on ECDIS Technology: A Challenge for Safe Navigation, *Transnav*, Vol. 15, No. 2, 2021, DOI: 10.12716/1001.15.02.02
- [147] Kristić, M., Žuškin, S., Brčić, D., Valčić, S. (2020). Zone of Confidence Impact on Cross Track Limit Determination in ECDIS Passage Planning. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2020, 8(8), 566; <https://doi.org/10.3390/jmse8080566>
- [148] Kuwalek E., Maltais L., Journault M. (2012). The new IHO S-102 standard charting a new frontier for bathymetry. *The International Hydrographic Review Journal*, November 2012.
- [149] Łacheta, M., Sitnik, R. (2020). Enhancement of Visualisation of Navigation Marks in ECDIS. *TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 14(3), 653-659.
- [150] Land Information New Zealand, (2024). Dostupno na: <https://www.linz.govt.nz/products-services/charts> (Datum pristupa: 1. ožujka 2024.)
- [151] Lee S., Kim H. (2024). IHO S-100 Data Model and Relevant Product Specification. *TransNav*, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 18, No. 2, doi:10.12716/1001.18.02.04, pp. 297-301, 2024
- [152] Lee, A. (2003). Marine Information Objects (MIOs) and ECDIS: Concept and Practice. *Proceedings: U.S. Hydrographic Conference*, 24-27 March 2003, Biloxi, MS
- [153] Lee, A., Joseph F., R., Michael, J., C. Integrated Navigation System: Not a Sum of Its Parts (2004). *Canadian Hydrographic Conference*. 297. <https://scholars.unh.edu/ccom/297>
- [154] Lee, S., Lee, C., Kim, G., Na, H., Kim, H., Lee, J., Park, M. (2022). A study of S-100 based product specifications from a software implementation point of view: focusing on data model representation, similar features and symbols, and ECDIS and VTS software, *Journal of Navigation*, 75(5), pp. 1226-1242. doi:10.1017/S037346332200039X.
- [155] Legiec, W. (2016). Position Cross-Checking on ECDIS in View of International Regulations Requirements and OCIMF Recommendations. *TransNav*, 10, 1, 105-113 (2016), <https://doi.org/10.12716/1001.10.01.12>

- [156] Lim, L. S., Mitchell, P., Seddon, J. M., Holz, F. G., Wong, T. Y. (2012). Age-related macular degeneration. *The Lancet*, 379(9827), 1728-1738. doi: 10.1016/S0140-6736(12)60282-7
- [157] Liu B., Wang S.Z., Xie Z.X., Zhao J.S., Li M.F. (2019). Ship Recognition and Tracking System for Intelligent Ship Based on Deep Learning Framework. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, Vol. 13, No. 4, doi:10.12716/1001.13.04.01, pp. 699-705, 2019
- [158] Liu, J., Aydin, M., Akyuz, E. (2021). Prediction of human-machine interface (HMI) operational errors for maritime autonomous surface ships (MASS)., *J Mar Sci Technol*, svez. 27, p. 293-306, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00773-021-00834-w>.
- [159] Lušić, Z., Bakota, M., Mikelić, Z. (2017). Human errors in ecdis related accidents, 7th International Maritime Science Conference, April 20th-21st, 2017, Solin, Croatia
- [160] Lützhöft, M. H., Dekker, S. W. A. (2002). On Your Watch: Automation on the Bridge. *Journal of Navigation*, 55(1), 83-96.
- [161] Man computer Interactive Data Access System (McIDAS) (2021). Dostupno na: <https://www.ssec.wisc.edu/mcidas/> (Datum pristupa: 20. rujna 2023.)
- [162] Marine Accident Investigation Branch (MAIB) (2023). Dostupno na: <https://www.gov.uk/government/organisations/marine-accident-investigation-branch> (Datum pristupa: 20. veljače 2023.)
- [163] Marine insight (2023). Dostupno na: <https://www.marineinsight.com/marine-navigation/understanding-the-principles-of-passages-planning/> (Datum pristupa: 20. rujna 2023.)
- [164] Marine Insight, (2024). 5 Dead After Barge Collides With Bridge Near Guangzhou, China, Dostupno na: <https://www.marineinsight.com/shipping-news/5-dead-after-berge-collides-with-bridge-near-guangzhou-china/> (Datum pristupa: 4. studenoga 2024.)
- [165] Marine Safety Investigation Unit (MSIU) (2023). Dostupno na: <https://mtipservices.gov.mt/en/Pages/MSIU/Marine-Safety-Investigation-Unit.aspx> (Datum pristupa: 26. lipnja 2023.)
- [166] Marinegyaan, (2024). What is a SENC or System Electronic Navigaton Chart, Dostupno na: <https://marinegyaan.com/what-is-a-senc-system-electronic-navigaton-chart/> (Datum pristupa: 14. listopada 2024.)
- [167] Maritime and Coastguard Agency, (2008). MGN 379 (M+F), Navigation: Use of Electronic Navigation Aids, 2008.
- [168] Mazzarella, F., Vespe, M., Alessandrini, A., Tarchi, D., Aulicino, G., Vollero, A. (2017). A novel anomaly detection approach to identify intentional AIS on-off switching. *Expert Systems with Applications*. 78, 110-123 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.02.011>
- [169] McLeod, S., Curtis, C. (2020). Integrating urban road safety and sustainable transportation policy through the hierarchy of hazard controls. *Int. J. Sustain. Transp.* 2020, 1-15
- [170] Meilstrup, M., Thomas, G. (2017). U.S. Naval Institute (USNI). *Instill the Fundamentals of Seamanship and Navigation*, Proceedings, Vol. 143/8/1,374, August 2017

- [171] Mohović, Đ. (2010). Ocjena prihvatljivosti pomorskih plovidbenih rizika. Doktorski rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet. Rijeka, Hrvatska
- [172] Mutmainnah, W., Bowo, L.P., Sulistiyono, A.B., Furusho, M. (2018). Causative Chains that Leads to Ship Collisions in Japanese Maritime Traffic System (MTS) as Final Outcome of MOP Model. Applied Mechanics and Materials, Vol. 874, pp 221-227. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.874.221.
- [173] Mutmainnah, W., Furusho, M. (2018). Improper Look-out as a Factor that Leads to Ship Collisions in Japan Characterized by MOP Model, Transactions of Navigation, 2018, Vol 3, Issue 1, pp. 9-14, https://doi.org/10.18949/jintransnavi.3.1_9
- [174] Mutmainnah, W., Sulistiyono, A.B., Furusho, M., (2017). Introducing 4M Overturned Pyramid (MOP) Model to Analyze Accidents in Maritime Traffic System (MTS): A Case Study on Collisions in Japan Based on Occurrence Time. Applied Mechanics and Materials. Vol. 862. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.862.220>
- [175] Narodne Novine, Vlada RH, (2015). Uredba o načinu i uvjetima za obavljanje sigurnosnih istraga pomorskih nesreća i nezgoda, 2015. Dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2015_11_122_2310.html (Datum pristupa: 15. listopada, 2024.)
- [176] National Library of Medicine. National Center for Biotechnology Information (2023). Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/> Datum pristupa: 26. rujna 2023.
- [177] National Transportation Safety Board (NTSB) (2023). Dostupno na: <https://www.nts.gov/Pages/home.aspx> (Datum pristupa: 17. veljače 2023.)
- [178] National Transportation Safety Board (NTSB). Grounding of the Panamanian passenger ship Royal Majesty on Rose and Crown shoal near Nantucket, Massachusetts June 10, 1995. Dostupno na: <https://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/mar9701.pdf> (Datum pristupa: 2. studenoga 2024.)
- [179] Neitz, J., Neitz, M. (2011). The genetics of normal and defective color vision, Vision Research, Volume 51, Issue 7, 2011, Pages 633-651, ISSN 0042-6989, <https://doi.org/10.1016/j.visres.2010.12.002>.
- [180] NIMA (2000) Department of Defence World Geodetic System 1984, The National Imagery and Mapping Agency.
- [181] Optometrija (2023). Dostupno na: <https://www.optometrija.net/pogreske-oka/daltonizam-neprepoznavanje-boja/> (Datum pristupa: 26. rujna 2023.)
- [182] Owsley, C. (2003). Contrast sensitivity. Ophthalmology Clinics of North America, 16(2), 171-177.
- [183] Owsley, C. (2011). Aging and vision. Vision Research, 51(13), 1610-1622.
- [184] Paris Memorandum of Understanding (Paris MOU) (2017). Report of the 2017 Concentrated Inspection Campaign (CIC) on Safety of Navigation, including ECDIS. Dostupno na: <https://parismou.org/system/files/2021-12/CIC%20on%20Safety%20of%20Navigation%20in%202017%20web%20report%20%28final%29.pdf> (Datum pristupa: 10. studenoga 2024.)
- [185] Paris Memorandum of Understanding (Paris MOU) (2023). Dostupno na: <https://www.parismou.org/detentions-banning/> (Datum pristupa: 6. travnja 2023.)

- [186] Paris Memorandum of Understanding (Paris MOU) (2024). Dostupno na: <https://parismou.org/Statistics%26Current-Lists/inspection-results-deficiencies> (Datum pristupa: 15. listopada 2024.)
- [187] Park, K. S., Lee, J. (2008). A New Method for Estimating Human Error Probabilities: AHP-SLIM, Reliability Engineering & System Safety, Volume 93, pp. 578–587, 2008.
- [188] Park, S., Chang, Y., Park, Y. (2021). Importance-Performance Analysis (IPA) of Cyber Security Management: Focused on ECDIS User Experience. Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety, 27 (3), 429–438. <https://doi.org/10.7837/kosomes.2021.27.3.429>
- [189] Pipchenko, O.D., Burenkov, O., Tsymbal, M., Pernykoza, V. (2021). Identification of Weak Links in the ECDIS - Operator System Based on Simulator Training. TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 15, No. 1, doi:10.12716/1001.15.01.07, pp. 83–88, 2021
- [190] Pleskacz, K.; Uriasz, J. (2012). Understanding of navigational information systems. Annual of Navigation, November 2012, 19/2012/part 1, DOI: 10.2478/v10367-012-0010-z.
- [191] Pokorny, J., Smith, V. C. (1997). Psychophysical signatures associated with magnocellular and parvocellular pathway contrast gain. Journal of the Optical Society of America A, 14(9), 2477–2486
- [192] POLARIS Ship's Bridge Simulator (2011). Kongsberg Maritime, Sveučilište u Dubrovniku, Pomorski fakultet, Dubrovnik, Hrvatska
- [193] PRIMAR, (2024). Dostupno na: <https://primar.ecc.no/primar/portal/cc/mapClient.jsf> (Datum pristupa 19. veljače 2024.)
- [194] Qiao, W., Liu, Y., Ma, X., Liu, Y. (2020). A methodology to evaluate human factors contributed to maritime accident by mapping fuzzy FT into ANN based on HFACS, Ocean Engineering, Vol. 197, 2020, 106892, <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.106892>
- [195] Regan, B. C., Reffin, J. P., Mollon, J. D. (1994). Luminance noise and the rapid determination of discrimination ellipses in color deficiency. Vision Research, 34(10), 1279–1299. doi: 10.1016/0042-6989(94)90203-8. PMID: 8023437.
- [196] Rutkowski G. (2018). ECDIS Limitations, Data Reliability, Alarm Management and Safety Settings Recommended for Passage Planning and Route Monitoring on VLCC Tankers. TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 12, No. 3, doi:10.12716/1001.12.03.06, pp. 483–490, 2018
- [197] Sabelis, H. (1999). Voyage planning in ECDIS, International Hydrographic Review, Monaco, LXXVI(2), September 1999.
- [198] Šakan, D. (2023). Optimizacija planiranja putovanja diskretnim metodama globalnog planiranja puta, Doktorski rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet. Rijeka, Hrvatska
- [199] Sanz Subirana, J., Juan Zornoza J.,M., Hernández-Pajares M. (2013). GNSS Data Processing, Vol. I: Fundamentals and Algorithms (ESA TM-23/1, May 2013), ESA Communications, Netherlands
- [200] Schechter, Shaffer & Harris, (2023). The Role of Weather in Causing Maritime Accidents, Dostupno na: <https://maintenanceandcure.com/maritime-blog/the-role-of-weather-in-causing-maritime-accidents/> (Datum pristupa: 10. studenoga 2024.)

- [201] Schröder-Hinrichs, JU., Hollnagel, E., Baldauf, M. (2012). From Titanic to Costa Concordia—a century of lessons not learned. *WMU J Marit Affairs* 11, 151–167 (2012). <https://doi.org/10.1007/s13437-012-0032-3>
- [202] Shi, K., Fan, S., Weng, J., Yang, Z. (2024). Seafarer competency analysis: Data-driven model in restricted waters using Bayesian networks, *Ocean Engineering*, Volume 311, Part 2, 2024, 119001, ISSN 0029-8018, <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.119001>.
- [203] Shipowners, (2024). ECDIS and the modern navigator, Dostupno na: <https://www.shipownersclub.com/latest-updates/news/ecdis-and-modern-navigator/> (Datum pristupa: 14. listopada 2024.)
- [204] Shipowners, (2024). The IHO's role in the Development of ECDIS, Dostupno na: <https://www.hydro-international.com/content/article/the-iho-s-role-in-the-development-of-ecdis> (Datum pristupa: 14. listopada 2024.)
- [205] SOLAS, (2020). Consolidated Text of the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, and Its Protocol of 1988, Articles, Annexes and Certificates, Incorporating All Amendments in Effect from 1 January 2020. International Maritime Organization, London 2020
- [206] SQEMARINE (2023). Dostupno na: <https://sqemarine.com/key-recommendations-for-safe-use-of-ecdis/> Datum pristupa: 24. svibnja 2023.
- [207] Stockman, A., Sharpe, L. T. (2006). Into the twilight zone: the complexities of mesopic vision and luminous efficiency. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 26(3), 225–239. doi: 10.1111/j.1475-1313.2006.00325.x. PMID: 16684149.
- [208] Tamura, K. (2022). Risk in the maritime sector. Dealing skillfully with risks. *ClassNK Technical Journal* No.6, 2022.
- [209] The Guardian, (2024). Baltimore bridge collapse: at least six missing, Dostupno na: <https://www.theguardian.com/us-news/2024/mar/26/baltimore-francis-scott-key-bridge-collapses-after-boat-collision> (Datum pristupa: 4. studenoga 2024.)
- [210] The Maritime Executive, (2024). Inland Cargo Ship Loses Containers After Hitting Rotterdam Bridge, Dostupno na: <https://maritime-executive.com/article/video-inland-cargo-ship-loses-containers-after-hitting-rotterdam-bridge> (Datum pristupa: 4. studenoga 2024.)
- [211] The Navigator. (2013). Positioning. Where are you? How do you know? October 2013, Issue No. 4, Dostupno na: <https://www.nautinst.org/static/uploaded/1d50f0f3-f116-4293-914b817bda28f7ee.pdf> (Datum pristupa: 7. studenoga 2024.)
- [212] The Standard for service and security, (2015). Standard Safety Special Edition: ECDIS assisted grounding, April 2015. Dostupno na: <https://www.standard-club.com/fileadmin/uploads/standardclub/Documents/Import/publications/standard-safety/2015/1738472-standard-safety-special-edition-ecdis-assisted-grounding-april-2015.pdf> (Datum pristupa: 31. listopada 2024.)
- [213] Tokyo Memorandum of Understanding (Tokyo MOU) (2018). Report of the 2017 Concentrated Inspection Campaign (CIC) on Safety of Navigation, including ECDIS, Dostupno na: <https://www.tokyo->

- [mou.org/doc/CIC%20Safety%20of%20Navigation%20including%20ECDIS%20-%20Report%20-%20op.pdf](https://www.tokyo-mou.org/doc/CIC%20Safety%20of%20Navigation%20including%20ECDIS%20-%20Report%20-%20op.pdf) (Datum pristupa: 10. studenoga 2024.)
- [214] Tokyo Memorandum of Understanding (Tokyo MOU) (2023). Dostupno na: https://www.tokyo-mou.org/inspections_detentions/ (Datum pristupa: 20. veljače 2023.)
- [215] Toosy, A. T., Mason, D. F., Miller, D. H. (2014). Optic neuritis. *The Lancet Neurology*, 13(1), 83-99. doi: 10.1016/S1474-4422(13)70259-X
- [216] Transas. (2024). Wärtsilä Simulator NTPRO [Software]. Wärtsilä. Dostupno na: <https://www.wartsila.com/marine/products/simulation-and-training/navigational-simulators/navigation-simulator-ntpro-5000> (Datum pristupa: 10. studenoga 2024.)
- [217] TransOcean Maritime Agencies. (2018). Safety Management System version 5, Chapter 10, At sea watch handover checklist, Monaco
- [218] Transport Accident Investigation Commission (TAIC) (2023). Dostupno na: <https://www.taic.org.nz/> (Datum pristupa: 26. lipnja 2023.)
- [219] Turna, I., Öztürk, B. O. (2019). A causative analysis on ECDIS-related grounding accidents, *Ships Offshore Struc.* 2019. p. 12. doi: 10.1080/17445302.2019.1682919.
- [220] UK P&I. (2021). Capt. Sekine, H. ECDIS-related accidents and the human element. Dostupno na: <https://www.ukpandi.com/news-and-resources/articles/2021/ecdis-related-accidents-and-the-human-element/> (Datum pristupa: 10. rujna 2022.)
- [221] Visual contrast sensitivity test, (2024). Dostupno na: <https://www.vctest.com/> (Datum pristupa: 28. veljače 2024.)
- [222] Vjerojatnost, (2024). Nastavni materijali, Sveučilište u Zadru, Zadar, Hrvatska. Dostupno na: http://www.unizd.hr/portals/13/nastavni_materijali/01%20-%20ovjerojatnost.pdf (Datum pristupa: 10. studenoga 2024.)
- [223] Vojković, L., Bakota, M., Kuzmanić Skelin, A. (2024). Using the Bayes Probability Model to Evaluate the Risk of Accidents Caused by the Electronic Chart Display and Information System. *J. Mar. Sci. Eng.* 2024, 12, 1391. <https://doi.org/10.3390/jmse12081391>
- [224] Volpe, J. A. (2001). National Transportation Systems Center: Vulnerability Assessment of the Transportation Infrastructure Relying on the Global Positioning System. Final Report., U.S. Department of Transportation: Washington. (2001)
- [225] Vu, V.D., Lutzhoft, M., Imset, M. (2022). Logical grouping of data and control functions on the displays of shipboard navigation systems, *Journal of Navigation*, 75(3), pp. 507-527. doi:10.1017/S0373463322000157.
- [226] Weinreb, R. N., Aung, T., Medeiros, F. A. (2014). The pathophysiology and treatment of glaucoma: A review. *JAMA*, 311(18), 1901-1911. doi: 10.1001/jama.2014.3192
- [227] Weintrit, A. (2011). International recent issues about ECDIS, E-navigation and safety at sea: Introduction. In: Weintrit, A. (Ur.) *International recent issues about ECDIS, E-navigation and safety at sea*. Boca Raton: Taylor & Francis Group Ltd. 2011., 9-12.
- [228] Weintrit, A., Stawicki, K. (2008). Operational requirements for Electronic Chart Display and Information Systems (ECDIS). Risk of overreliance on ECDIS. *Transport Problems*, 3(2), 2008., 67-74.

- [229] Werner, J. S., Donnelly, S. K., Kliegl, R. (1992). Aging and human macular pigment density. *Vision Research*, 32(6), 1995-2003.
- [230] Werner, J. S., Scheffrin, B. E. (1993). Loci of achromatic points throughout the life span. *Journal of the Optical Society of America A*, 10(7), 1509-1516
- [231] Wolfe U, Ali N. (2015). Dark adaptation and purkinje shift: a laboratory exercise in perceptual neuroscience. *J Undergrad Neurosci Educ*. 2015 Mar 15;13(2):A59-63. PMID: 25838803; PMCID: PMC4380301.
- [232] Wood, J. M., Owens, D. A. (2005). *Optometry and Vision Science*, 82(8), 698-705.
- [233] Yau, J. W., Rogers, S. L., Kawasaki, R., Lamoureux, E. L., Kowalski, J. W., Bek, T., Wong, T. Y. (2012). Global prevalence and major risk factors of diabetic retinopathy. *Diabetes Care*, 35(3), 556-564. doi: 10.2337/dc11-1909
- [234] Zalewski, P. (2019). A Critical Analysis of IMO S-Mode Guidelines. *TransNav, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, Vol. 13, No. 4, doi:10.12716/1001.13.04.17, pp. 841-846, 2019
- [235] Zele, A. J., Cao, D. (2014). Vision under mesopic and scotopic illumination. *Frontiers in Psychology*, 5, 1594. doi: 10.3389/fpsyg.2014.01594. PMID: 25657632
- [236] Zhang, J., Shen, J., Zhou, W., Wu, D. (2013). Research on night vision technology. In *Proceedings of the 2013 International Conference on Optoelectronics and Microelectronics* (pp. 29-32). IEEE.
- [237] Žuškin S., Brčić D., Uroda M., Strabić M. (2023). Evolving ECDIS: Concept Development Through Different Manufacturer Models Comparison. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, Vol. 17, No. 1, doi:10.12716/1001.17.01.25, pp. 227-234, 2023
- [238] Žuškin, S., Brčić, D., Kos, S. (2016). Partial structural analysis of the ECDIS EHO research: The safety contour. *Proceedings of the 7th International Conference on Maritime Transport*, Barcelona, Spain, 27-29 June 2016; Martinez de Osés, F. X.; Castells Sanabra, M.; Universitat Politècnica De Catalunya – UPC: Barcelona, Spain, 2016; 246-262.
- [239] Žuškin, S., Brčić, D., Šabalja, Đ. (2013). A contribution to improving the standards of ECDIS training. *Pomorstvo, Sci. J. Mar. Res.* 2013, 27(1), 131-148.
- [240] Fan, Y., Chen, J., Shirkey, G., John, R., Wu, S.R., Park, H., Shao, C. (2016). Applications of structural equation modeling (SEM) in ecological studies: an updated review. *Ecol Process* 5, 19 <https://doi.org/10.1186/s13717-016-0063-3>

POPIS KRATICA

Kratika	Naziv na engleskom jeziku	Naziv na hrvatskom jeziku
AIS	Automatic Identification System	Sustav za automatsku identifikaciju
AD	Air Draft	Visina broda iznad mora
ANOVA	Analysis Of Variance	Analiza varijance
AMSA	Australian Maritime Safety Authority	Australska uprava za pomorsku sigurnost
ARPA	Automatic Radar Plotting Aid	Sustav automatskog radarskog plotiranja
BAG	Bathymetric Attributed Grid	Batimetrijska dodijeljena mreža
BN	Bayesian Network	Bayesove mreže
CATZOC	Categories of Zone Of Confidence	Kategorije zona pouzdanosti
CHIRP	Confidential Human Factors Incident Reporting Programme	Program izvještavanja o incidentima vezanim uz ljudske čimbenike
CPT	Conditional Probability Tables	Tablice uvjetne vjerojatnosti
DR	Dead Reckoning	Zbrojena pozicija
ECDIS	Electronic Chart Display and Information System	Informacijski sustav i prikaz elektroničkih karata
ECS	Electronic Chart System	Elektronički kartografski sustav
EGT	ECDIS Generic Training	ECDIS generička izobrazba
ENC	Electronic Navigation Chart	Elektronička navigacijska karta
EST	Equipment Specific Training	ECDIS obuka za specifičnu opremu
ETA	Estimated Time of Arrival	Očekivano vrijeme dolaska broda
GI	Geographic Information	Geografske informacije
GNSS	Global Navigational Satellite System	Globalni navigacijski satelitski sustav
GPS	Global Positioning System	Globalni sustav za određivanje položaja
HEP	Human Error Probability	Vjerojatnost ljudske pogreške
HMI	Human Machine Interface	Sučelje čovjek-stroj
HRA	Human Reliability Analysis	Procjenjivanje ljudske pouzdanosti
IALA	International Association of marine aids to navigation and Lighthouse Authorities	Međunarodno udruženje uprava pomorske signalizacije i sredstava za pomorsku navigaciju
IEC	International Electrotechnical Comitee	Međunarodni elektrotehnički odbor
IHO	International Hydrographic Organization	Međunarodna hidrografska organizacija
IMO	International Maritime Organization	Međunarodna pomorska organizacija
INS	Integrated Navigation System	Integrirani navigacijski sustav
ISM	International Safety Management Code	Međunarodni kodeks upravljanja sigurnošću
KHOA	Korea Hydrographic and Oceanographic Agency	Korejska hidrografska i oceanografska organizacija
MET	Maritime Education and Training	Sustav naobrazbe i izobrazbe pomoraca
MLE	Maximum Likelihood Estimation	Maksimalna vjerojatna procjena

MMSI	Maritime Mobile Service Identity Number	Identifikacijski broj pomorske mobilne postaje
MOP	4M Overturned Pyramid	4M obrnuta piramida
MOU	Memorandum of Understanding	Memorandum o razumijevanju
OOW	Officer Of the Watch	Časnik plovidbene straže
PAYS	Pay As You Sail	Plati kuda ploviš
PI	Parallel Indexing	Ucrtavanje dužine paralelne s pramčanicom
PNC	Paper Navigational Charts	Papirnat navigacijske karte
PSC	Port State Control	Inspektori lučkog nadzora stranih brodova
PSF	Performance Shape Factors	Čimbenici oblikovanja izvedbe
RADAR	Radio Detection and Ranging	Uređaj za otkrivanje objekata i određivanje udaljenosti radio valovima
RCDS	Raster Chart Display System	Rasterski način rada
RNC	Raster Navigation Chart	Rasterska navigacijska karta
ROT	Rate Of Turn	Brzina zakreta broda
SA	Situation Awareness	Situacijska svjesnost
SLI	Success Likelihood Index	Indeks vjerojatnosti uspješnog izvršenja zadatka
SLIM	Success Likelihood Index Method	Metoda indeksa vjerojatnosti uspjeha
SMS	Safety Management System	Sustav upravljanja sigurnošću
SOA	Single Operator Action	Jednostavna radnja operatera
SOG	Speed Over Ground	Brzina preko dna
SOLAS	International Convention for the Safety of Life at Sea	Međunarodna konvencija o zaštiti ljudskih života na moru
STM	Sea Traffic Management	Sustav upravljanja pomorskim prometom
STW	Speed Through Water	Brzina kroz vodu
UKC	Under Keel Clearance	Dubina pod kobilicom
UTC	Universal Time Coordinated	Koordinirano svjetsko vrijeme
WGS	World Geodetic System	Svjetski geodetski sustav
WP	Way Point	Točka okreta broda
XTD	Cross Track Distance	Bočno odstupanje od kursa

POPIS SLIKA

Slika 1. ECDIS arhitektura na temelju primjera ©Transas NaviSailor 4000.	16
Slika 2. Zaslon ECDIS sustava: odnosi između razina informacija.	19
Slika 3. Vremenski tijek implementacije S-100 proizvoda u vrijeme pisanja doktorskog rada.....	26
Slika 4. Operativni dizajn geografskih informacijskih usluga.	27
Slika 5. Oceanski podatci prikazani u obliku podatkovne mreže.	27
Slika 6. Broj pomorskih nezgoda i incidenata prema ozbiljnosti u periodu 2014.-2022.....	28
Slika 7. Broj pomorskih nezgoda i incidenata prema pomorskom području.....	29
Slika 8. Vrste pomorskih nezgoda (lijevo) i postotak utjecajnih čimbenika, 2014.-2022.....	29
Slika 9. Nedostatci u području sigurnosti navigacije koji su zabilježeni prilikom inspekcijskog nadzora članica Pariškog memoranduma u periodu od siječnja 2021. do lipnja 2024.....	30

Slika 10. ENC model uzročno-posljedičnog lanca štetnih događaja	31
Slika 11. Dionici ECDIS sustava.	33
Slika 12. Analiza paleta osnovnih boja ECDIS sustava (lijevo) i paleta noćnog prikaza (desno).	34
Slika 13. Primjer Ishihara testa.	35
Slika 14. Dekompozicija CATZOC atributa.	41
Slika 15. Identificirani ECDIS problemi i njihova međusobna povezanost.....	42
Slika 16. Katalog ENC karata.....	44
Slika 17. Proces planiranja putovanja.	45
Slika 18. Navigacijska domena pri planiranju putovanja i vođenju navigacije	45
Slika 19. Dubina ispod kobilice.	46
Slika 20. Kreiranje (lijevo) i provjera (desno) rute unutar ECIS sustava.....	47
Slika 21. Podatci o ruti i sigurnosni okvir.....	50
Slika 22. Primjer dnevnog prikaza ograničeno plovnih područja.	52
Slika 23. Prikaz sumraka (lijevo) i noćni prikaz (desno) ograničeno plovnih područja.....	52
Slika 24. Prikaz mosta Auckland na navigacijskoj karti (lijevo) i gledano s morske strane.	53
Slika 25. Metodološki okvir provedenog istraživanja: koraci, metode i postupci, i ishodi.	55
Slika 26. HFACS-MA metoda.	59
Slika 27. 4-MOP model.	60
Slika 28. Tijek korištene SLIM metode.	63
Slika 29. Usmjereni aciklički graf.	64
Slika 30. Hijerarhije kontrola.....	66
Slika 31. Prikaz vježbe na navigacijskom simulatoru.....	68
Slika 32. Udio pojedinog čimbenika po kategorijama u ukupnom broju nezgoda (lijevo) i udio pojedine kategorije (desno).....	72
Slika 33. 4MOP model analiziranih nezgoda s prikazom najznačajnijih uzročnih čimbenika po kategorijama.	74
Slika 34. Zaustavljanja brodova prilikom AMSA inspekcija.	77
Slika 35. Zaustavljanja brodova inspekcijskog nadzora Tokijskog memoranduma o razumijevanju....	78
Slika 36. Zaustavljanja brodova pod jurisdikcijom Pariškog memoranduma o razumijevanju.	79
Slika 37. Izdvojena pitanja iz CIC upitnika vezana za ECDIS sustav (Pariški memorandum).....	80
Slika 38. Izdvojena pitanja iz CIC upitnika vezana za ECDIS sustav (Tokijski memorandum).....	80
Slika 39. Zvanja ispitanika.....	81
Slika 40. Pomorska zvanja ispitanika (lijevo), godine starosti (centar), i iskustvo s radom na papirnatim kartama i/ili ECDIS sustavom (desno).	82
Slika 41. Godine iskustva ispitanika u pomorskim zvanjima (lijevo) i godine iskustva rada s ECDIS sustavom (desno).	82

Slika 42. Tipovi brodova na kojima plove ispitanici (lijevo) i područja plovidbe.	83
Slika 43. Status navigacijske opreme na brodu.	83
Slika 44. Zastupljenost ECDIS modela među ispitanicima (lijevo) i zadovoljstvo korištenim modelom.	84
Slika 45. Stav o doprinosu sigurnosti navigacije uvođenjem ECDIS sustava (lijevo) i kategorizirane prednosti sustava u usporedbi s papirnatim navigacijskim kartama.	84
Slika 46. Najkorisnije ENC značajke prema odgovorima ispitanika.	85
Slika 47. Stav o prednostima papirnatih u odnosu na elektroničke karte (lijevo) i najzastupljenije prednosti prema odgovorima ispitanika.	85
Slika 48. Zadovoljstvo s prikazanim informacijama na ENC kartama.	86
Slika 49. Stav o konstataciji da je suvremeni navigacijski sustavi smanjili situacijsku svjesnost i doprinijeli prevelikom oslanjanju.	86
Slika 50. Kategorizacija prepoznatih problema prilikom rada s ECDIS sustavom.	87
Slika 51. Značaj ugroze kibernetičke sigurnosti na brodovima bez papirnatih karata (lijevo) i doživljene kibernetičke prijetnje među ispitanicima.	87
Slika 52. Potreba za standardizacijom (lijevo) i kategorizacija prijedloga poboljšanja sustava.	88
Slika 53. Svjedožbe o ECDIS obuci (lijevo) i mišljenje ispitanika o vlastitom znanju.	88
Slika 54. Slaganje ispitanika s konstatacijom da ECDIS obuka treba biti prilagođena časničkom rangu.	89
Slika 55. Mišljenje ispitanika o potrebi za dodatnom edukacijom s obzirom na razvoj sustava (lijevo) te o potrebi za stalnim usavršavanjem.	89
Slika 56. Mišljenje ispitanika o potrebi stalnog usavršavanja, odnosno cjeloživotnog učenja da bi se ostalo u trendu sa znanjem o trenutnim i nadolazećim tehnologijama.	90
Slika 57. Isječak prikaza ECDIS sučelja.	90
Slika 58. Učestalost pogrešnog tumačenja ENC simbola.	91
Slika 59. Planiranje putovanja, <i>dnevni</i> , <i>sumrak</i> ili <i>noćni</i> prikaz zaslona.	91
Slika 60. Praćenje kretanja broda po planiranome putu, <i>dnevni</i> , <i>sumrak</i> ili <i>noćni</i> prikaz zaslona.	92
Slika 61. Udio odgovora ispitanika na slučaj krivog izdavanja naredbe kormilaru (lijevo) ili od strane kormilara (centar) tijekom plovidbe u ograničeno plovnom područjem te stav o vjerojatnosti ugroze navigacije zbog krivo izdane ili krivo izvedene naredbe.	92
Slika 62. Stav ispitanika o konstataciji kako bi se sustavom upozorenja uslijed krivo izdane ili izvedene kormilarske naredbe unaprijedila sigurnost navigacije plovidbom u ograničeno plovnim područjima.	93
Slika 63. Uzimanje utjecaja valova na dubine na karti prilikom navigacije u ograničeno plovnim područjima (lijevo), i iskustvo smanjenja UKC vrijednosti uslijed djelovanja valova.	93
Slika 64. Doprinos dodatnog sloja ECDIS sustava kojim bi se dubine na karti automatski ispravljale za određenu visinu valova.	94

Slika 65. Potreba za detaljnijim prikazom visina između vodene površine i nadvodne konstrukcije (lijevo), odnosno za detaljnijim prikazom oznaka dubina ispod nadvodne konstrukcije.	94
Slika 66. Način određivanja sigurnosne konture temeljem odgovora ispitanika.	95
Slika 67. Vrijednosti pondera PSF čimbenika za planiranje putovanja.	99
Slika 68. Vrijednosti pondera PSF čimbenika za vođenje navigacije.	100
Slika 69. Procijenjena vjerojatnost ljudske pogreške prema ključnim postupcima prilikom planiranja putovanja.	103
Slika 70. Procijenjena vjerojatnost ljudske pogreške prema ključnim postupcima prilikom vođenja navigacije.	104
Slika 71. Kvalitativni BN-SLIM model planiranja putovanja.	107
Slika 72. Kvantitativni BN-SLIM model planiranja putovanja.	109
Slika 73. Kvalitativni BN-SLIM model vođenja navigacije.	109
Slika 74. Kvantitativni BN-SLIM model vođenja navigacije.	111
Slika 75. Analiza osjetljivosti modela <i>planiranje putovanja</i> za ciljni čimbenik <i>HEP</i>	112
Slika 76. Tornado dijagram analize osjetljivosti modela planiranje putovanja s ciljanim čimbenikom <i>HEP</i> (stanje <i>uspješnost</i>).	112
Slika 77. Rekonstrukcija zaslona ECDIS sustava neposredno prije nasukanja na M/B “Muros”.	114
Slika 78. Model planiranja putovanja sa negativnim utjecajem PSF čimbenika.	114
Slika 79. Analiza osjetljivosti BN-SLIM modela vođenja navigacije za ciljni čimbenik <i>HEP</i>	115
Slika 80. Tornado dijagram analize osjetljivosti modela vođenja navigacije sa ciljnim čimbenikom <i>HEP</i> (stanje <i>uspješnost</i>).	115
Slika 81. BN-SLIM model vođenja navigacije s negativnim utjecajem PSF čimbenika.	117
Slika 82. Model planiranja putovanja ograničeno plovnim područjima.	121
Slika 83. Model vođenja navigacije ograničeno plovnim područjima.	123
Slika 84. Plovni kanal koji prolazi ispod međunarodnog mosta Oresund.	124
Slika 85. OPP Oresund tijekom noćnih sati.	125
Slika 86. Prosjek bodova pomoraca i studenata prilikom planiranje/plovidba bez modela i s modelom.	127
Slika 87. Petlja instruktor – časnik – student.	133
Slika 88. Korelacijska matrica odgovora na pitanja iz anketnog upitnika.	136
Slika 89. SEM modeliranje rezultata anketnog upitnika.	137

POPIS TABLICA

Tablica 1. Primjeri uzbuda ECDIS sustava.	16
Tablica 2. Podjela ENC karata prema navigacijskoj primjeni.	18
Tablica 3. Standardi na snazi u vrijeme pisanja doktorskog rada.	21

Tablica 4. Neki od svjetskih centara za EGT obuku pomoraca.....	22
Tablica 5. Propisi države zastave koji se odnose na prihvatljive metode ECDIS EST izobrazbe.	23
Tablica 6. Značajke standarda S-10x produkata.....	24
Tablica 7. Primjer kontrolne liste za primopredaju navigacijske straže.....	47
Tablica 8. Čimbenici koji mogu utjecati na sigurnu uporabu ECDIS sustava.....	48
Tablica 9. Općenita klasifikacija uzročnih čimbenika nezgoda.....	60
Tablica 10. Matrica rizika.....	65
Tablica 11. Popis pomorskih nezgoda u kojima je ECDIS/ECS sustav bio glavni ili pomoćni navigacijski sustav. Bojama su označena značajna razdoblja vezano uz implementaciju sustava.	70
Tablica 12. Uzročni čimbenici analiziranih nezgoda.	71
Tablica 13. Veze između uzročnih čimbenika analiziranih nezgoda.	73
Tablica 14. Pet najčešćih uzročnih čimbenika prema analizi nezgoda.....	74
Tablica 15. Rezultati binarne logističke regresije za čimbenik M2-02 sklopovlje (x).....	76
Tablica 16. Demografski podaci stručnjaka.....	96
Tablica 17. Ključni postupci (T) prema ekspertnom mišljenju stručnjaka koji se izvršavaju prilikom planiranja putovanja (radnja 1) i vođenja navigacije (radnja 2).	97
Tablica 18. Čimbenici koji značajno utječu na planiranje putovanja (engl. <i>Appraisal/Planning</i>) ograničeno plovnim područjima korištenjem navigacijskih informacijskih sustava.....	98
Tablica 19. Čimbenici koji značajno utječu na vođenje navigacije (engl. <i>Execution/Monitoring</i>) ograničeno plovnim područjima korištenjem navigacijskih informacijskih sustava.....	98
Tablica 20. Srednje i normalizirane vrijednosti pondera PSF za planiranje putovanja.	99
Tablica 21. Srednje i normalizirane vrijednosti pondera PSF za vođenje navigacije.	99
Tablica 22. Srednje vrijednosti ocjena PSF čimbenika za planiranje putovanja.....	100
Tablica 23. Srednje vrijednosti ocjena PSF čimbenika za vođenje navigacije.....	100
Tablica 24. SLI vrijednosti postupaka za radnju planiranje putovanja.	101
Tablica 25. SLI vrijednosti postupaka za radnju vođenje navigacije.....	101
Tablica 26. Procijenjena vjerojatnost ljudske pogreške i vrijednosti konstanti <i>a</i> i <i>b</i> , planiranje.....	102
Tablica 27. Procijenjena vjerojatnost ljudske pogreške i vrijednosti konstanti <i>a</i> i <i>b</i> , navigacija.....	102
Tablica 28. Procijenjene HEP pogreške za pojedini postupak planiranja putovanja.	102
Tablica 29. Procijenjene HEP pogreške za pojedini postupak vođenja navigacije.....	103
Tablica 30. Izračun konzistentnosti procjena među stručnjacima za planiranje putovanja.....	105
Tablica 31. Analiza osjetljivosti za radnju planiranja putovanja.	105
Tablica 32. Izračun konzistentnosti procjena među stručnjacima za vođenje navigacije.	106
Tablica 33. Analiza osjetljivosti za radnju vođenja navigacije.....	106
Tablica 34. Uvjetne vjerojatnosti za čimbenik <i>SLI</i>	108

Tablica 35. Procijenjene vjerojatnosti ljudske pogreške u najboljem i najgorem slučaju i vrijednosti konstanti a i b za planiranje navigacije.....	108
Tablica 36. Uvjetne vjerojatnosti za čimbenik <i>HEP1</i>	109
Tablica 37. Uvjetne vjerojatnosti za kvantificiranje čimbenika <i>SLI1</i>	110
Tablica 38. Procijenjene vjerojatnosti ljudske pogreške u najboljem i najgorem slučaju i vrijednosti konstanti a i b za vođenje navigacije.....	110
Tablica 39. Uvjetne vjerojatnosti za čimbenik <i>HEP2</i>	111
Tablica 40. Matrica rizika za planiranje putovanja ograničeno plovnom područjem.	117
Tablica 41. Matrica rizika za vođenje navigacije ograničeno plovnom područjem.	118
Tablica 42. Vrijednosti UKC prilikom testiranja plovidbe OPP Oresund.	124
Tablica 43. Vrijednosti UKC prilikom testiranja plovidbe OPP <i>Baltimore William Preston Lane Jr. Memorial Bay Bridge</i>	125
Tablica 44. Planiranje/plovidba OPP bez modela (časnici).....	125
Tablica 45. Planiranje/plovidba OPP s modelom (časnici).....	126
Tablica 46. Planiranje/ploviba OPP s modelom i bez modela (studenti).	126

Prilog 1. Anketni upitnik

Napomena: Provođenje studije odobrilo je Etičko povjerenstvo Sveučilišta u Dubrovniku 4. lipnja 2022. (EA 981/22).

1. Your rank?
2. Choose your age group.
3. Years of sea service?
4. Years of experience with ECDIS?
5. In which country have you obtained your Certificate of Competency (CoC)?
6. Type of the vessel you are/were serving on?
7. Please select your past navigational area experience:
8. What is the navigational equipment status on board where you are currently serving?
9. Which ECDIS certificate do you hold?
10. Which ECDIS system/model do you utilize on the vessel that you are serving?
11. Please express your satisfaction with the selected ECDIS system/model from the previous question. (1) Completely dissatisfied, (2) Mostly dissatisfied, (3) Neither satisfied or dissatisfied, (4) Mostly satisfied, (5) Completely satisfied
12. Do you agree with the statement that the mandatory ECDIS implementation contributed to the safety of navigation?
(1) Strongly disagree; (2) Disagree; (3) Neither agree nor disagree; (4) Agree; (5) Strongly agree.
13. Please specify some (one or more) of the advantages of the ECDIS and Electronic Nautical Charts (ENCs) in comparison with paper nautical charts.
14. Do you agree with the statement that there are advantages of paper nautical charts over ENCs? (1) Strongly disagree; (2) Disagree; (3) Neither agree nor disagree; (4) Agree; (5) Strongly agree.
15. Please specify, according to your opinion, one or more of the advantages of paper nautical charts over ENCs.
16. Some of the new, possible ENCs features are provided below. In your opinion, please specify if, and eventually which, you find useful.
17. In your opinion, has the modern navigation decreased situational awareness and brought us to over-reliance on electronic aids to navigation? (1) Strongly Disagree, (2) Disagree, (3) Neutral, (4) Agree, (5) Strongly Agree
18. According to your current role, do you think that you possess sufficient knowledge about the ECDIS system in order to utilize it proficiently and flawlessly? (1) Strongly Disagree, (2) Disagree, (3) Neutral, (4) Agree, (5) Strongly Agree
19. In terms of further system development do you think you could benefit from additional ECDIS system-related trainings and enhance your knowledge about the system utilization? (1) Strongly Disagree, (2) Disagree, (3) Neutral, (4) Agree, (5) Strongly Agree
20. Do you agree with the statement that ECDIS-related training should be tailored according to the trainee or officer rank on board, as well as adopted to the current involvement with the system? (1) Strongly disagree; (2) Disagree; (3) Neither agree nor disagree; (4) Agree; (5) Strongly agree.
21. If you have encountered problems when operating with the ECDIS system, please specify which ones:
22. Have you experienced problems with ENC coverage and if "Yes" please specify which ones?
23. Have you experienced problems with ENC updates and if "Yes" please specify which ones?
24. Are you satisfied with the displayed ENC information quality? (1) Extremely unsatisfied, (2) Unsatisfied, (3) Neutral, (4) Satisfied, (5) Extremely satisfied
25. Please specify possible improvements to the ENC information quality:
26. Do you agree with the statement that the safety of maritime navigation would benefit from better standardization of the ECDIS settings, display, functions and terminology between manufacturers/models? (1) Strongly disagree; (2) Disagree; (3) Neither agree nor disagree; (4) Agree; (5) Strongly agree.
27. I have practical experience with the voyage planning on:
28. For the voyage planning purpose I prefer to utilise paper nautical charts over ENCs/ECDIS. Please express your agreement: (1) Strongly disagree; (2) Disagree; (3) Neither agree nor disagree; (4) Agree; (5) Strongly agree.
29. The following ECDIS system display excerpt represents one situation where OOW had misinterpreted ENC symbols. In this particular case, OOW had failed to identify during the track visual check that the track was unsafe. Have you experienced issues related to misinterpretations of ENCs symbols due to colours mismatch, scale (zoom in/out), display mode (Day/Dusk/Night), or illumination? (1) Never, (2) Occasionally, (3) Sometimes, (4) Often, (5) Always
30. For the VOYAGE PLANNING purpose during the day and night time I prefer utilising the following display mode: Day, Dusk, and Night. Please express your agreement using the attached scale from 1 to 5; (1) Strongly disagree; (2) Disagree; (3) Neither agree nor disagree; (4) Agree; (5) Strongly agree. [Day time planning - Day display]

30. For the VOYAGE PLANNING purpose during the day and night time I prefer utilising the following display mode: Day, Dusk, and Night. Please express your agreement using the attached scale from 1 to 5; (1) Strongly disagree; (2) Disagree; (3) Neither agree nor disagree; (4) Agree; (5) Strongly agree. [Day time planning - Dusk display]
30. For the VOYAGE PLANNING purpose during the day and night time I prefer utilising the following display mode: Day, Dusk, and Night. Please express your agreement using the attached scale from 1 to 5; (1) Strongly disagree; (2) Disagree; (3) Neither agree nor disagree; (4) Agree; (5) Strongly agree. [Day time planning - Night display]
30. For the VOYAGE PLANNING purpose during the day and night time I prefer utilising the following display mode: Day, Dusk, and Night. Please express your agreement using the attached scale from 1 to 5; (1) Strongly disagree; (2) Disagree; (3) Neither agree nor disagree; (4) Agree; (5) Strongly agree. [Night time planning - Day display]
30. For the VOYAGE PLANNING purpose during the day and night time I prefer utilising the following display mode: Day, Dusk, and Night. Please express your agreement using the attached scale from 1 to 5; (1) Strongly disagree; (2) Disagree; (3) Neither agree nor disagree; (4) Agree; (5) Strongly agree. [Night time planning - Dusk display]
30. For the VOYAGE PLANNING purpose during the day and night time I prefer utilising the following display mode: Day, Dusk, and Night. Please express your agreement using the attached scale from 1 to 5; (1) Strongly disagree; (2) Disagree; (3) Neither agree nor disagree; (4) Agree; (5) Strongly agree. [Night time planning - Night display]
31. For the VOYAGE MONITORING purpose during the day, dusk and night time I prefer utilising the following display mode: Day, Dusk, and Night. Please express your agreement using the attached scale from 1 to 5; (1) Strongly disagree; (2) Disagree; (3) Neither agree nor disagree; (4) Agree; (5) Strongly agree. [Day time monitoring - Day display]
31. For the VOYAGE MONITORING purpose during the day, dusk and night time I prefer utilising the following display mode: Day, Dusk, and Night. Please express your agreement using the attached scale from 1 to 5; (1) Strongly disagree; (2) Disagree; (3) Neither agree nor disagree; (4) Agree; (5) Strongly agree. [Day time monitoring - Dusk display]
31. For the VOYAGE MONITORING purpose during the day, dusk and night time I prefer utilising the following display mode: Day, Dusk, and Night. Please express your agreement using the attached scale from 1 to 5; (1) Strongly disagree; (2) Disagree; (3) Neither agree nor disagree; (4) Agree; (5) Strongly agree. [Day time monitoring - Night display]
31. For the VOYAGE MONITORING purpose during the day, dusk and night time I prefer utilising the following display mode: Day, Dusk, and Night. Please express your agreement using the attached scale from 1 to 5; (1) Strongly disagree; (2) Disagree; (3) Neither agree nor disagree; (4) Agree; (5) Strongly agree. [Dusk time monitoring - Day display and dimmer]
31. For the VOYAGE MONITORING purpose during the day, dusk and night time I prefer utilising the following display mode: Day, Dusk, and Night. Please express your agreement using the attached scale from 1 to 5; (1) Strongly disagree; (2) Disagree; (3) Neither agree nor disagree; (4) Agree; (5) Strongly agree. [Dusk time monitoring - Dusk display and dimmer]
31. For the VOYAGE MONITORING purpose during the day, dusk and night time I prefer utilising the following display mode: Day, Dusk, and Night. Please express your agreement using the attached scale from 1 to 5; (1) Strongly disagree; (2) Disagree; (3) Neither agree nor disagree; (4) Agree; (5) Strongly agree. [Dusk time monitoring - Night display and dimmer]
31. For the VOYAGE MONITORING purpose during the day, dusk and night time I prefer utilising the following display mode: Day, Dusk, and Night. Please express your agreement using the attached scale from 1 to 5; (1) Strongly disagree; (2) Disagree; (3) Neither agree nor disagree; (4) Agree; (5) Strongly agree. [Night time monitoring - Day display and dimmer]
31. For the VOYAGE MONITORING purpose during the day, dusk and night time I prefer utilising the following display mode: Day, Dusk, and Night. Please express your agreement using the attached scale from 1 to 5; (1) Strongly disagree; (2) Disagree; (3) Neither agree nor disagree; (4) Agree; (5) Strongly agree. [Night time monitoring - Dusk display and dimmer]
31. For the VOYAGE MONITORING purpose during the day, dusk and night time I prefer utilising the following display mode: Day, Dusk, and Night. Please express your agreement using the attached scale from 1 to 5; (1) Strongly disagree; (2) Disagree; (3) Neither agree nor disagree; (4) Agree; (5) Strongly agree. [Night time monitoring - Night display and dimmer]
32. When maneuvering in restricted waters, and in the closed loop communication, have you ever witnessed wrong order given to the helmsman? (1) Yes, (0) No
33. When maneuvering in restricted waters, in the closed loop communication, have you ever witnessed the wrong execution of the given order by the helmsman? (1) Yes, (0) No
34. If your answer on at least one of the previous two questions is Yes, please specify the likeliness of potential threat to the safety of navigation: (1) Extremely unlikely, (2) Unlikely, (3) Neutral, (4) Likely, (5) Extremely likely

35. Do you agree with the statement that safety of navigation would benefit from the system which would raise alarm when there is a wrong execution of the given order by the helmsman or wrong order to the helmsman by the conning officer? Please express your opinion by using the attached scale from 1 to 5. (1) Strongly disagree; (2) Disagree; (3) Neither agree nor disagree; (4) Agree; (5) Strongly agree.
- 36 a. Considering the provided graphical presentations, express your agreement with the following statements using the attached scale from 1 to 5. (1) Strongly disagree; (2) Disagree; (3) Neither agree nor disagree; (4) Agree; (5) Strongly agree. [Surface navigation would benefit from more detailed bridge heights along the bridge line]
- 36 b. Considering the provided graphical presentations, express your agreement with the following statements using the attached scale from 1 to 5. (1) Strongly disagree; (2) Disagree; (3) Neither agree nor disagree; (4) Agree; (5) Strongly agree. [Surface navigation would benefit from charted sea depths below the bridge line]
37. Did your company set up procedures for the "Safety contour" definition? (1) Yes, (0) No
38. Please specify which data do you utilize to define the "Safety contour" setting?
39. "Safety contour" parameter acts as a crucial safety setting, but its wrong setup can lead to serious accidents. Do you think that changing the "Safety contour" settings should be limited (password protected or prescribed by Shipboard Directive) only to certain members of the Bridge team? (1) Yes, (0) No
40. During the passage planning and monitoring process in restricted waters, do you take into consideration the expected wave height and its possible impact on the charted depth? (1) Yes, (0) No
41. Have you ever experienced the wave impact on the charted depth? (1) Yes, (0) No
42. Do you think that the development of the ECDIS layer which automatically corrects ENC's charted depths with wave conditions would contribute to the safety of navigation? (1) Strongly disagree; (2) Disagree; (3) Neither agree nor disagree; (4) Agree; (5) Strongly agree.
43. Have you so far encountered the following aspects or features of new navigational and related technologies:
44. Please express your knowledge about the upcoming IHO S-100 and the related standards (S-10X products). (1) Very Poor, (2) Poor, (3) Average, (4) Good, (5) Excellent.
45. Do you think that you could benefit from better understanding of the upcoming S-100 standards? (1) Strongly disagree; (2) Disagree; (3) Neither agree nor disagree; (4) Agree; (5) Strongly agree.
- 46 a. The International Maritime Organization has a goal to implement the e-navigation concept and solutions in the following five sections: more user-friendly navigational bridge design, standardized and automated ship's reporting system, better reliability of the navigation bridge equipment, graphical display of the information received via communication equipment, and improved communication with VTS. Please grade the importance of each topic by using the following scale: (1) Not Important; (2) Slightly Important, (3) Moderately Important; (4) Important; (5) Very Important. [More user-friendly navigational bridge design]
- 46 b. The International Maritime Organization has a goal to implement the e-navigation concept and solutions in the following five sections: more user-friendly navigational bridge design, standardized and automated ship's reporting system, better reliability of the navigation bridge equipment, graphical display of the information received via communication equipment, and improved communication with VTS. Please grade the importance of each topic by using the following scale: (1) Not Important; (2) Slightly Important, (3) Moderately Important; (4) Important; (5) Very Important. [Standardized and automated ship's reporting system]
- 46 c. The International Maritime Organization has a goal to implement the e-navigation concept and solutions in the following five sections: more user-friendly navigational bridge design, standardized and automated ship's reporting system, better reliability of the navigation bridge equipment, graphical display of the information received via communication equipment, and improved communication with VTS. Please grade the importance of each topic by using the following scale: (1) Not Important; (2) Slightly Important, (3) Moderately Important; (4) Important; (5) Very Important. [Better reliability of the navigation bridge equipment]
- 46 d. The International Maritime Organization has a goal to implement the e-navigation concept and solutions in the following five sections: more user-friendly navigational bridge design, standardized and automated ship's reporting system, better reliability of the navigation bridge equipment, graphical display of the information received via communication equipment, and improved communication with VTS. Please grade the importance of each topic by using the following scale: (1) Not Important; (2) Slightly Important, (3) Moderately Important; (4) Important; (5) Very Important. [Graphical display of the information received via communication equipment]
- 46 e. The International Maritime Organization has a goal to implement the e-navigation concept and solutions in the following five sections: more user-friendly navigational bridge design, standardized and automated ship's reporting system, better reliability of the navigation bridge equipment, graphical display of the information received via communication equipment, and improved communication with VTS. Please grade the importance of each topic by using the following scale: (1) Not Important; (2) Slightly Important, (3) Moderately Important; (4) Important; (5) Very Important. [Improved communication with VTS]
47. Nowadays, the paperless ship navigation is advancing progressively. The cyber security possesses the following threat to the paperless ship navigation: (1) Insignificant; (2) Minor; (3) Moderate; (4) Major; (5) Severe.

48. Have you experienced cyber security threats to your vessel? (1) Yes, (0) No

49. Sea Traffic Management (STM) is a concept under development with a goal to allow a real time information exchange between personnel working on board and on shore. Areas of the targeted information exchange focus on the following fields: ship to ship route information exchange, route optimization, route monitoring, port of call information, etc. Do you think that safety of navigation will benefit from the developing STM concept? Please express your opinion by using the attached scale from 1 to 5. (1) Strongly disagree; (2) Disagree; (3) Neither agree nor disagree; (4) Agree; (5) Strongly agree.

50. Do you agree with the statement that continuous professional development, in terms of further educational training, is needed for all navigational ranks in order to stay in line with the latest advancements in the navigation information systems and all related emerging technologies? (1) Strongly disagree; (2) Disagree; (3) Neither agree nor disagree; (4) Agree; (5) Strongly agree.

51. At the very end of this questionnaire, please feel free to leave any additional comments regarding the covered topics. You are welcome to leave any kind of feedback.

Prilog 2. Upitnik popunjen nakon izvođenja vježbe (iskusni pomorci)

1. Prikaz zaslona Dnevni, Sumrak, Noćni 1-2-3-4-5	4,2
2. Pilotska Tablica 1-2-3-4-5	4,4
3. Squat Tablica 1-2-3-4-5	4,6
4. Dubina kanala 1-2-3-4-5	4,8
5. Isplanirano putovanje kroz kanal 1-2-3-4-5	4,6
6. Trenutni kurs kroz kanal 1-2-3-4-5	4,6
7. Udaljenosti od plutača 1-2-3-4-5	4,4
8. UKC statički 1-2-3-4-5	4,4
9. Vremenska prognoza 1-2-3-4-5	4,4
10. Smjer i brzina vjetra 1-2-3-4-5	4,6
11. Smjer i jačina struje 1-2-3-4-5	4,7
12. Izvještaj o stanju leda u tropskom području plovidbe 1-2-3-4-5	1,0
13. Vidljivost 1-2-3-4-5	4,5
14. Utjecaj najavljenih valova na UKC 1-2-3-4-5	4,1
15. Air draft 1-2-3-4-5	4,8
16. Oznaka visine mosta na ENC-u 1-2-3-4-5	4,7
17. Pozicioniranje rute u kanalu 1-2-3-4-5	4,3
18. IALA preporuka za najpovoljniji sektor prolaska ispod mosta 1-2-3-4-5	4,3
19. Safety settings: broj nijansi 1-2-3-4-5	3,9
20. UKC dinamički 1-2-3-4-5	4,4
21. Utjecaj valova na UKC 1-2-3-4-5	4,2
22. IALA svijetlosne oznake na mostu 1-2-3-4-5	4,3
23. Prikaz preporučene rute prolaska ispod mosta na ENC-u 1-2-3-4-5	4,1
24. Rank časnika 1-2-3-4-5	3,9
25. Dob ECDIS operatera 1-2-3-4-5	3,6
26. Godine iskustva/navigacije 1-2-3-4-5	4,2
27. Godine iskustva s ECDIS-om 1-2-3-4-5	3,9
28. Tip broda 1-2-3-4-5	3,7
29. Područje plovidbe 1-2-3-4-5	4,3
30. Status navigacijske opreme na brodu 1-2-3-4-5	4,4
31. General ECDIS certificate 1-2-3-4-5	3,8

32. Equipment Specific ECDIS training 1-2-3-4-5	4,2
33. ECDIS model 1-2-3-4-5	3,8
34. Sva ECDIS sučelja postavljena s istim prikazom Dnevni, Sumrak, Noćni 1-2-3-4-5	3,9

Prilog 3. Ponderiranje PSF-ova prema utjecaju na određeni zadatak – planiranje putovanja.

Stručnjak 1.	PSF1	PSF2	PSF3	PFS4	Stručnjak 2.	PSF1	PSF2	PSF3	PFS4
T1	100	80	85	75	T1	95	80	90	75
T2	80	80	80	90	T2	85	80	80	85
T3	70	75	60	95	T3	65	70	60	100
T4	50	95	75	50	T4	50	90	70	50
T5	50	100	90	50	T5	55	95	95	50
T6	70	75	80	65	T6	70	75	75	60
T7	50	90	85	50	T7	50	90	80	50
T8	90	75	85	75	T8	85	75	85	70
Stručnjak 3.	PSF1	PSF2	PSF3	PFS4	Stručnjak 4.	PSF1	PSF2	PSF3	PFS4
T1	95	80	90	75	T1	95	80	85	70
T2	80	80	75	85	T2	80	80	75	90
T3	70	75	55	95	T3	70	70	60	100
T4	50	90	70	50	T4	50	90	70	50
T5	55	95	90	50	T5	50	95	90	50
T6	65	80	80	65	T6	65	80	80	60
T7	50	90	80	50	T7	50	90	80	50
T8	90	75	80	70	T8	90	75	80	75
Stručnjak 5.	PSF1	PSF2	PSF3	PFS4	Stručnjak 6.	PSF1	PSF2	PSF3	PFS4
T1	95	80	85	75	T1	95	85	90	75
T2	80	75	75	90	T2	85	80	80	90
T3	70	70	60	100	T3	65	75	60	100
T4	50	90	70	50	T4	50	95	75	50
T5	55	100	90	50	T5	50	95	90	50
T6	65	75	75	65	T6	70	80	75	60
T7	50	90	85	50	T7	50	90	80	50
T8	90	75	80	75	T8	90	75	80	75

Prilog 4. Ponderiranje PSF-ova prema utjecaju na određeni zadatak – vođenje navigacije

Stručnjak 1.	PSF1	PSF2	PSF3	PFS4	Stručnjak 2.	PSF1	PSF2	PSF3	PFS4
T1	100	75	65	90	T1	95	85	70	70
T2	90	75	65	90	T2	80	75	75	85
T3	90	100	50	90	T3	70	75	60	95
T4	60	100	75	50	T4	55	90	75	50

T5	50	100	80	50	T5	50	85	90	50
T6	100	75	80	95	T6	95	75	75	60
T7	50	100	75	50	T7	50	95	90	55
T8	50	100	75	75	T8	50	95	90	60
Stručnjak 3.	PSF1	PSF2	PSF3	PFS4	Stručnjak 4.	PSF1	PSF2	PSF3	PFS4
T1	90	80	60	75	T1	90	80	80	80
T2	80	80	75	80	T2	70	70	80	80
T3	70	80	50	95	T3	70	90	90	90
T4	50	90	70	50	T4	60	90	80	50
T5	50	90	90	50	T5	50	100	90	60
T6	90	70	80	80	T6	80	60	70	60
T7	50	90	85	60	T7	70	100	95	70
T8	50	95	85	70	T8	70	100	95	70
Stručnjak 5.	PSF1	PSF2	PSF3	PFS4	Stručnjak 6.	PSF1	PSF2	PSF3	PFS4
T1	90	90	60	75	T1	95	85	60	80
T2	80	75	70	80	T2	85	85	70	85
T3	75	90	60	90	T3	65	80	60	95
T4	50	95	75	50	T4	50	95	80	50
T5	50	95	95	50	T5	50	95	95	50
T6	95	75	75	85	T6	90	70	75	85
T7	50	95	90	55	T7	50	95	80	60
T8	50	95	90	65	T8	50	95	80	70

Prilog 5. Izračun tablice uvjetne vjerojatnosti za planiranje putovanja

SLI1	Log (vjerojatnost uspješnosti)	Vjerojatnost uspješnosti	HEP1
1	-0,04530426	0,90094	0,09906
16,44	-0,03830639	0,915574	0,084426
26,05	-0,03395085	0,924803	0,075197
27,43	-0,03332539	0,926136	0,073864
33,08	-0,03076465	0,931613	0,068387
41,49	-0,02695298	0,939825	0,060175
42,88	-0,02632299	0,941189	0,058811
48,52	-0,02376678	0,946745	0,053255
52,48	-0,02197199	0,950666	0,049334
58,12	-0,01941577	0,956278	0,043722
59,51	-0,01878578	0,957666	0,042334
67,92	-0,01497412	0,966108	0,033892
73,57	-0,01241337	0,971822	0,028178
74,95	-0,01178791	0,973222	0,026778
84,56	-0,00743237	0,983032	0,016968
100	-0,0004345	0,999	0,001