Optimizacija planiranja putovanja diskretnim metodama globalnog planiranja puta

Šakan, Davor

Doctoral thesis / Disertacija

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:187:262734

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-27**

Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet
University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies

Repository / Repozitorij:

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

uniri DIGITALNA KNJIŽNICA

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET

Davor Šakan

OPTIMIZACIJA PLANIRANJA PUTOVANJA DISKRETNIM METODAMA GLOBALNOG PLANIRANJA PUTA

DOKTORSKI RAD

Rijeka, 2023.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET

Davor Šakan

OPTIMIZACIJA PLANIRANJA PUTOVANJA DISKRETNIM METODAMA GLOBALNOG PLANIRANJA PUTA

DOKTORSKI RAD

Mentor: prof. dr.sc. Igor Rudan
Komentor: izv. prof. dr.sc. Srđan Žuškin

Rijeka, 2023.

UNIVERSITY OF RIJEKA
FACULTY OF MARITIME STUDIES

Davor Šakan

PASSAGE PLANNING OPTIMIZATION BASED ON DISCRETE GLOBAL PATH PLANNING METHODS

DOCTORAL THESIS

Rijeka, 2023

Mentor: prof. dr.sc. Igor Rudan

Komentor: izv. prof. dr.sc. Srđan Žuškin

Doktorski rad obranjen je 22.8.2023. na Sveučilištu u Rijeci, Pomorskom fakultetu, pred povjerenstvom u sastavu:

1. prof. dr. sc. Đani Mohović, predsjednik
2. izv. prof. dr. sc. David Brčić, član
3. prof. dr. sc. Zvonimir Lušić, član
4. dr. sc. Serđo Kos, professor emeritus, član

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Igoru Rudanu i komentoru izv. prof. dr. sc. Srđanu Žuškinu. Svojim znanjem, ustrajnošću i dosljednošću usmjeravali su me i motivirali u istraživanju i izradi doktorskog rada.

Zahvaljujem se predsjedniku prof. dr. sc. Đaniju Mohoviću i članovima povjerenstva za ocjenu doktorskog rada, izv. prof. dr. sc. Davidu Brčiću, prof. dr. sc. Zvonimiru Lušiću i dr. sc. Serđu Kosu, professoru emeritusu na konstruktivnim i korisnim opažanjima kojima su poboljšali kvalitetu doktorskoga rada.

Zahvaljujem se kolegama sa Zavoda za nautičke znanosti te kolegama i kolegicama s Pomorskog fakulteta koji su uvijek bili spremni za razgovor i pružali podršku tijekom izrade doktorskog rada.

Zahvaljujem roditeljima Olgi i Žarku te bratu Hrvoju na poticanju i podršci, a ponajviše na usvojenim životnim vrijednostima prema kojima sam se uvijek vodio. Također se zahvaljujem Vesni i Josipu Božić, na svesrdnoj pomoći i podršci, prije i tijekom pisanja rada.

Konačno, ponajviše zahvaljujem supruzi Ivani i kćerima Nevi i Vidi. Bili ste mi oslonac i imali razumijevanja i strpljenja u najizazovnijim trenutcima. Stoga ovaj doktorski rad posvećujem vama.

SAŽETAK

Globalno planiranje puta odnosi se na određivanje geometrijskog puta u statičkome i poznatome prostoru, najčešće koristeći diskretne metode i pripadajuće algoritme kojima se stvarno okružje pretvara u oblik prikladan za pretraživanje rješenja. Kako su osnovne metode i algoritmi globalnog planiranja puta proizašli iz teorije grafova, robotike, teorije upravljanja i automatizacije, njihova prilagodba značajkama klasičnog pomorskog planiranja uz korištenje elektroničkih navigacijskih karata nije dovoljno razmatrana. Vrlo skromne mogućnosti i složenost korištenja elektroničkih navigacijskih karata izvan osnovnog navigacijskog okružja i ograničenja trenutno važećih standarda otežavaju istraživačke pristupe i primjenu modernih tehnoloških rješenja, naročito besplatnih i otvorenog koda.

Za navedene izazove u ovome doktorskome radu stvorena je metodologija koja se sastoji od nekoliko sastavnica. Prva se odnosi na unos, pohranu i prilagodbu objekata elektroničkih navigacijskih karata u objektno-relacijskoj bazi podataka koje se može prilagoditi prema navigacijskoj primjeni, području plovidbe ili vrsti objekta. Sljedeća sastavnica se odnosi na korištenje prostornih proširenja kojima je moguće modelirati prostor te ograničiti i ubrzati pretraživanje rješenja u plovidbenom području i odrediti globalni put. Uz navedeno, primijenjena su ograničenja i postupci prema standardnim postupcima iz planiranja putovanja, što je u prethodnim istraživačkim pristupima vrlo skromno razmatrano. Posljednja sastavnica odnosi se na korištenje podataka automatskog identifikacijskog sustava, statističke i usporedbe sličnosti putova korištenjem diskretne Fréchetove udaljenosti.

Za primjenu diskretnih metoda razmatralo se područje između luka Savannah i Charleston u SAD-u. Prostor je modeliran korištenjem šesterokutnih H3 rešetki veličina definiranih odabranom rezolucijom dok je put određen korištenjem Dijkstrinog algoritma koji je pojednostavljen Ramer, Douglas i Peucker te Visvalingam i Whatt algoritmima, i izglađen B-splajnovima. Obilježja određenog globalnog puta uspoređena su sa putovima stvarnih brodova i provjerena u navigacijskom simulatoru, čime je potvrđena primjenjivost metodologije u okružju pomorskog planiranja putovanja. U budućim istraživanjima razmotrit se će unapređenje određivanja, pojednostavljivanje i izglađivanje putova, korištenje većeg broja elektroničkih navigacijskih karata i pripadajućih objekata te primjena ostalih izvora navigacijskih podataka.

KLJUČNE RIJEČI: Globalno planiranje puta, statičko planiranje puta, diskretne metode planiranja puta, planiranje putovanja

SUMMARY

Global path planning refers to the determination of the geometric path in static and known environment, most often using discrete methods and associated algorithms on the environment model suitable for searching of global path planning solutions. As the basic methods and algorithms of global path planning originate from graph theory, robotics, control theory and automation, their adaptation to the features of classical maritime voyage planning with the use of electronic navigational charts has not been sufficiently researched. The very modest possibilities and complexity of using electronic navigational charts outside the basic navigational environment and the limitations of currently valid standards makes the research and application of modern technological solutions difficult, notably free, and open source.

For these challenges in this doctoral thesis, a methodology consisting of several components has been created. The first refers to importing, storing, and modification of electronic navigational chart objects in the object-relational database that can be adapted according to the navigational purpose, navigation area or type of an object. The following component refers to spatial extensions that can be used for environment modelling, limiting, and speeding up of solution search in the navigational area and determination of the global path. In addition, constraints and standard procedures from voyage planning have been applied, which has been very modestly considered in previous research approaches. The last component refers to the use of automatic identification system data, statistical and comparison of path similarities using discrete Fréchet distance.

For the application of discrete methods, the area between the ports of Savannah and Charleston in the USA was considered. Static environment was modelled using hexagonal H3 grids defined by the selected predefined resolution. The path was determined using Dijkstra's algorithm and simplified with Ramer, Douglas and Peucker and Visvalingam and Whatt algorithms, further smoothed by B-splines. The characteristics of a particular global path were compared with the paths of actual ships and validated in the navigation simulator, which confirmed the applicability of the methodology in the maritime voyage planning environment. In future research, the improvement of path determination, simplification and smoothing will be considered, with use of larger number of electronic navigational charts with associated objects, along with the application of other navigational data sources.

KEYWORDS: Global path planning, static path planning, discrete path planning, voyage planning

SADRŽAJ

1. UVOD ... 1
1.1. Problem, predmet i objekti istraživanja ... 4
1.2. Znanstvena hipoteza i pomoćne hipoteze ... 7
1.3. Svrha i cilj istraživanja ... 8
1.4. Pregled dosadašnjih istraživanja ... 9
1.5. Korištene znanstvene metode ... 13
1.6. Struktura rada ... 14
2. ANALIZA KONTEKSTA PLANIRANJA PUTA I ČIMBENIKA PLANIRANJA PUTOVANJA ... 16
2.1. Planiranje puta u funkciji planiranja putovanja ... 16
2.1.1. Planiranje puta u statičkom okružju ... 21
2.1.2. Planiranje puta u dinamičkom okružju ... 24
2.1.3. Kriteriji i ciljevi pri planiranju puta i putovanja u statičkom okružju ... 25
2.2. Pravni i formalni okvir planiranja putovanja ... 28
2.2.1. Propisi, odluke i smjernice ... 29
2.2.2. Priručnici i publikacije ... 33
2.3. Obilježja i ograničenja elektroničke navigacijske karte ... 38
2.3.1. Standardi i specifikacije ... 39
2.3.2. Osnovne značajke S-100 standarda ... 51
2.3.3. Struktura elektroničke navigacijske karte ... 54
2.3.4. Generalizacija prikaza podataka na elektroničkim navigacijskim kartama ... 56
2.3.5. Pouzdanost korištenih podataka ... 59
2.3.6. Položajna točnost ... 66
2.3.7. Informacijski sustav i prikaz elektroničkih karata (ECDIS) ... 71
2.4. Obilježja broda i zahtjevi pri planiranju putovanja ... 74
2.4.1. Značajni parametri broda korišteni pri planiranju putovanja ... 74
2.4.2. Propisi, odluke i smjernice o manevarskim svojstvima brodova ... 79
2.4.3. Korištenje podataka o manevarskim svojstvima broda pri planiranju putovanja 84
2.5. Sigurnosne postavke pri određivanju puta i planiranju putovanja ... 85
2.5.1. Sigurna izobata i dubina ... 86
2.5.2. Sigurna udaljenost i kurs ... 89
2.5.3. Promjena kursa i brzina zakretanja broda ... 93
2.6. Čimbenici i ograničenja planiranja puta u različitim područjima plovidbe ... 99

2.6.1. Oceanska, obalna i plovidba ograničenim plovnim područjima 99
2.6.2. Polarna područja 102
3. OPTIMIZIRANI DISKRETNI ALGORITAM GLOBALNOG PLANIRANJA PUTA 105
3.1. Obilježja i ograničenja globalnog planiranja puta u kontekstu statičkog okružja ... 105
3.2. Ulazni podatci i ograničenja GPP diskretnog algoritma 110
3.2.1. Odabir područja, pripadajućih ENC-ova i podataka o brodovima 110
3.2.2. Odabir načina stvaranja modela okružja 119
3.2.3. Stvaranje jedinstvenih relacija za plovidbeno područje 128
3.2.4. Opis broda i ograničenja plovidbenog područja 134
3.2.5. Opis algoritma i primjena 142
4. ANALIZA REZULTATA GLOBALNOG PLANIRANJA PUTA 160
4.1. Validacija algoritma analizom podataka o plovidbi brodova 160
4.2. Studija slučaja u obalnom području korištenjem navigacijskog simulatora 172
5. ZAKLJUČAK 179
POPIS LITERATURE 182
POPIS SLIKA 201
POPIS TABLICA 206
POPIS UPITA 208
POPIS SIMBOLA 209
POPIS KRATICA 212
PRIVITAK 1. 218
PRIVITAK 2. 232

1. UVOD

Sigurna i učinkovita plovidba broda zasnovana je između ostalog i na primjerenom planiranju putovanja. Planiranjem se razmatraju i predviđaju zahtjevi plovidbe broda u ograničenjima statičkih i dinamičkih uvjeta uz korištenje podataka iz raznovrsnih izvora. Obilježja broda i područja plovidbe, očekivana gustoća prometa, vremenski uvjeti, kao i kriteriji učinkovitosti plovidbe samo su neki od čimbenika koji određuju konačan sadržaj plana putovanja. Metode planiranja i izrade plana putovanja razrađene su i opsežno prikazane u raznovrsnim izvorima: međunarodnim propisima, odlukama i preporukama, postupcima brodarskih tvrtki te znanstvenoj i stručnoj literaturi. Ujednačenost i objektivnost u pristupu ciljevi su standarda pomorskog obrazovanja, određujući odgovarajuće vještine i kompetencije osoba koje će plan putovanja izraditi ili odobriti. Unatoč tome, pri planiranju putovanja prisutna je djelomična subjektivnost, uvjetovana sposobnošću i iskustvom osoba koje planiraju i neodređenosti terminoloških odrednica. Subjektivnost je moguće smanjiti unaprjeđenjem postupaka, uvođenjem sustava podrške pri odlučivanju i u konačnici razvojem potpuno autonomnih navigacijskih sustava.

Nedavno je završeno s uvođenjem Informacijskog sustava i prikaza elektroničkih karata (engl. *Electronic Chart Display and Information System*, ECDIS) na brodove čime se prešlo s isključivo tradicionalnih ili mješovitih pristupa planiranju putovanja na tehnološki integrirane pristupe. U skoroj budućnosti implementirat će se novi standardi, povećati primjena podataka visoke rezolucije i naprednih računalnih tehnologija, kako na plovnim objektima različitih stupnjeva autonomije, tako i na brodovima s ljudskom posadom. Međutim, dokle god će osoba plan odobravati i za njega odgovarati prije i tijekom izvedbe putovanja broda, kontekst i cilj izrade plana mora ostati isti. Sažeto ga možemo izraziti kao: *Odrediti siguran put broda korištenjem čovjeku razumljivog ograničenog prikaza stvarnosti*.

Pod ograničenim prikazom stvarnosti podrazumijevamo navigacijsku kartu ili primjerenije elektroničku navigacijsku kartu (engl. *Electronic Navigational Chart*, ENC) kao nasljednicu tradicionalne papirnate karte. Sukladno tome, ENC i dalje mora zadovoljavati različite uvjete koji omogućavaju tumačenje primjereno čovjeku. Spomenuto stvara izazove za korištenje u naprednim tehnološkim sustavima koji nemaju mogućnost poimanja stvarnosti poput ljudi, međutim takvi sustavi nemaju ograničenja prirodnih sustava kojih je čovjek samo dio. Prema tome, potrebno je razmotriti izvore ograničenosti prikaza elektroničke navigacijske karte, bilo

za neposredno korištenje u kontekstu sadašnjih mogućnosti planiranja i izrade puta kojim će se brod kretati, ali i naprednih tehnoloških rješenja. Općenito govoreći, izvori ograničenja ENC-ova i karata odnose se na odrednice i pouzdanost metoda prikupljanja, odnosno na samu generalizaciju prikaza podataka.

Prema prethodnome, brojni su istraživački interesi usmjereni prema cjelovitom planiranju putovanja ili njegovim pojedinim elementima koji se odnose samo na primjerice ENC-ove, plovidbene značajke broda ili planiranje puta. Uz pomorstvo i druge grane prometa, planiranje puta istražuje se u područjima robotike, autonomnih vozila ili računalnih tehnologija. Ako govorimo o planiranju puta za pokretne objekte, ono obuhvaća određivanje kretanja modela vozila ili plovila u prikazu fizičkog prostora u kojem se nalazi. Ako uključimo i vrijeme pri kretanju po putu, određujemo i trajektoriju plovila. Usto, ukoliko je okružje potpuno poznato i određeno, a prepreke nepomične, planiranje puta je statičko i vremenski nepromjenljivo.[1]

Prema tome možemo definirati i globalno planiranje puta (engl. *Global Path Planning,* GPP) kojim se planira put u potpuno poznatome statičkom okružju, dok se lokalno planiranje puta (engl. *Local Path Planning,* LPP) odnosi na neposredno izbjegavanje statičkih ili dinamičkih prepreka tijekom plovidbe.[2] Brojni su pristupi planiranju puta koji mogu ali ne moraju zahtijevati stvaranje modela prostora. Također se razlikuju i optimizacijski pristupi koji mogu biti jednokriterijski odnosno s jednom funkcijom cilja pa se odnose na najkraći put, izglađenost ili sigurnost puta. Kako se problem planiranja puta izražava kao problem sva tri prethodno navedena cilja,[3] često se primjenjuju i višekriterijski pristupi.[4] Konačno, ukoliko govorimo o planiranju puta i kretanju, pristupe možemo općenito podijeliti u pretraživanje grafova, uzorkovanje, interpolaciju krivulja i numeričku optimizaciju.[5]

---

[1] Goerzen, C., Kong, Z., Mettler, B., 2009. A survey of motion planning algorithms from the perspective of autonomous UAV guidance. Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications 57, 65. https://doi.org/10.1007/s10846-009-9383-1

[2] Châari, I., Koubâa, A., Trigui, S., Bennaceur, H., Ammar, A., Al-Shalfan, K., 2014. SmartPATH: An efficient hybrid ACO-GA algorithm for solving the global path planning problem of mobile robots. International Journal of Advanced Robotic Systems 11. https://doi.org/10.5772/58543

[3] Davoodi, M., Panahi, F., Mohades, A., Hashemi, S.N., 2013. Multi-objective path planning in discrete space. Applied Soft Computing 13, 709–720. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2012.07.023

[4] Wu, M., Zhang, A., Gao, M., Zhang, J., 2021. Ship Motion Planning for MASS Based on a Multi-Objective Optimization HA* Algorithm in Complex Navigation Conditions. Journal of Marine Science and Engineering 9, 1126. https://doi.org/10.3390/jmse9101126

[5] Gonzalez, D., Perez, J., Milanes, V., Nashashibi, F., 2016. A Review of Motion Planning Techniques for Automated Vehicles. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 17, 1135–1145. https://doi.org/10.1109/TITS.2015.2498841

Kako se planiranje puta često razmatra u kontekstu diskretnih struktura poput grafova, potrebno je razmotriti kako stvoriti apstrakciju prirodnog prostora te ga diskretizirati da bi bio primjenjiv za pripadajuće algoritme. Kako najkraći put ne mora nužno biti i najpovoljniji (najbrži, s najmanjom potrošnjom goriva ili najugodniji za putovanje), moguće je dodijeliti i težinske faktore (engl. *weights*), pa će rješenje biti ono s minimalnim troškom prelaska puta umjesto udaljenosti. Načelno, generirani put obično sadrži veći broj vrhova odnosno međutočaka nego što ih je potrebno te ih je potrebno reducirati. Iako međutočke i pripadajući kursovi mogu odgovarati postavljenim ograničenjima i kriterijima, bilo algoritma ili optimizacijskog pristupa, ne moraju nužno odgovarati manevarskim obilježjima broda ili zahtjevima planiranja putovanja. Tako dobivene putove potrebno je prilagoditi. Pri ucrtavanju plana putovanja to se čini ručnim podešavanjem položaja međutočaka i polumjera kruga okreta broda u ECDIS-u, prema poznatim manevarskim obilježjima broda i referentnim navigacijskim objektima. U primjeni algoritama, realistični putovi mogu se stvoriti postupcima izglađivanja krivulja i aproksimacijama matematičkih funkcija.[6] Pri razmatranju metoda izglađivanja javljaju se izazovi poput računalnog i memorijskog troška. Također, razmatra se neprekidnost i prikladnost puta pri kretanju, promjeni brzine ili okretanju radi promjene smjera autonomnih vozila ili robota.[7]

Unatoč tehnološkom napretku, u skoroj budućnosti većina brodova će i dalje imati posadu koja će donositi odluke ovisno o razini automatizacije.[8] Sukladno tome, planove putovanja i dalje će znatno interpretirati i odobravati ljudi korištenjem integriranih sustava, bilo na brodu ili kopnu. Također, sa sve većom primjenom potpuno ili djelomično automatiziranih rješenja planiranja putovanja, čiji je dio i globalno planiranje puta, unaprjeđivanje će se nastaviti. Međutim, to će donijeti nove izazove u domeni same metodologije stvaranja plana putovanja, potencijalnih kriterija evaluacije i prihvaćanja dobivenih putova. Da bi se prikladno moglo odgovoriti predstojećim izazovima potrebno je temeljito razumijevanje međuodnosa metoda, okružja i obilježja brodova, odnosno plovnih objekata.

---

[6] Chen, Y., Cai, Y., Zheng, J., Thalmann, D., 2017. Accurate and Efficient Approximation of Clothoids Using Bézier Curves for Path Planning. IEEE Transactions on Robotics 33, 1242–1247. https://doi.org/10.1109/TRO.2017.2699670

[7] Ravankar, A., Ravankar, A.A., Kobayashi, Y., Hoshino, Y., Peng, C.C., 2018. Path smoothing techniques in robot navigation: State-of-the-art, current and future challenges. Sensors (Switzerland) 18. https://doi.org/10.3390/s18093170

[8] World Maritime University, 2019. Transport 2040: analysis of technical developments in transport - maritime, air, rail and road, Reports. World Maritime University, Malmö. https://doi.org/10.21677/itf.20191018

1.1. Problem, predmet i objekti istraživanja

Razmatrajući globalno planiranje puta, potrebno je odrediti elemente koji omogućavaju stvaranje puta primjenjivog u planiranju putovanja. Ti su osnovni elementi prikaz i pretvaranje prostora u oblik pogodan za metode odnosno algoritme kojima će se odrediti put. Nastavno, potrebno je utvrditi kriterije optimizacije, funkciju cilja i načine kako se put može evaluirati, bilo u simuliranom okružju ili prema podatcima dobivenim opažanjima. Potrebno je spomenuti da su već dostupna komercijalna rješenja planiranja putovanja, koja koriste vlastite zatvorene sustave i pristupe uključivši umjetnu inteligenciju, povijesne zapise kretanja brodova ili baze podataka. Unatoč tome što informacije o takvim sustavima nisu javne niti dostupne, određene aspekte planiranja puta ili putovanja moguće je istražiti koristeći platforme otvorenog koda, javno dostupne podatke i prethodna istraživanja. Općenito govoreći, nekoliko je izazova koji se javljaju pri korištenju i interpretaciji podataka s ENC-a u primjeni GPP algoritama. Prvi je neodređenost odnosno pouzdanost prikazanih podataka na karti. Neodređenost podataka proizlazi iz metoda prikupljanja podataka, korištenih uređaja i njihovih ograničenja. Na temelju tih podataka stvaraju se modeli okružja u kojima se često mora interpolirati podatke jer nisu dostupni za određeno područje. Nastavno, obzirom na korištene metode interpolacije i varijabilnosti korištenih podataka i sam model ima neodređenost. Radi interpretacije neodređenosti, ENC-ovi sadrže sloj metapodataka, odnosno klasu objekata (engl. *Quality of data,* M_QUAL) kojima se opisuje način kako su podatci prikupljeni, ali ne i kolika je stvarna točnost ili neodređenost prikaza npr. dna u plovidbenom području. Točnije govoreći, neodređenost samog digitalnog modela dubina koji se koristi i korištena interpolacija između područja hidrografskih izmjera nije poznata krajnjem korisniku.[9] Drugi izazov je sama generalizacija prikaza ENC-a određena ograničenjima čitljivosti, sigurnosti, topologije i morfologije čime se osiguravaju kriteriji interpretacije podataka, ali i sigurnosti. Navedena ograničenja su ponekad suprotstavljena, pa se sukladno tome mora napraviti kompromis, naročito pri različitim mjerilima karte.[10] Treći je izazov korištenje dostupnih slojeva ENC-a pri globalnom planiranju puta. U raznovrsnim pristupima planiranju puta, često se općenito navodi korištenje podataka o dubini ENC-a ili se navodi DEPARE (engl. *Depth area*) objekt koji

[9] Hare, R., Eakins, B., Amante, C., 2011. Modelling Bathymetric Uncertainty. The International Hydrographic Review.

[10] Skopeliti, A., Stamou, L., Tsoulos, L., Pe'eri, S., 2020. Generalization of Soundings across Scales: From DTM to Harbour and Approach Nautical Charts. ISPRS International Journal of Geo-Information 9, 693. https://doi.org/10.3390/ijgi9110693

obuhvaća dubinu područja[11] iako su dostupni i drugi geografski objekti definirani u IHO S-52 standardu.[12] Posljednji izazov je korištenje ENC-ova za raznovrsne istraživačke ili aplikativne pristupe. ENC-ove je moguće prikazati u cijelosti ili djelomično, no ne postoji platforma, naročito otvorenog koda u kojoj bi se moglo u cijelosti i interaktivno razmatrati pojedine elemente istraživačkih interesa vezanih uz ENC. Navedeno se odnosi na vizualizaciju podataka, geoprostornu analitiku, planiranje putovanja, autonomna plovila i simulacije.[13]

Da bi se sadržaj ENC-a mogao koristiti za GPP, prikaz prostora potrebno je prikladno diskretizirati. U tu se svrhu koriste pravilne i nepravilne rešetke, poligoni ili grafovi. Pravilne rešetke, poput kvadratnih, jednostavno je generirati, ali zahtijevaju visoku rezoluciju da bi se stvorio dovoljno vjeran prikaz plovidbenog područja. Nepravilne rešetke predstavljaju točniji prikaz područja, no zahtijevaju veći broj parametara kojima će se stvoriti.[14] Uz rešetke, prostor se može pretvoriti u graf korištenjem četvornih stabala, Voronojevih dijagrama ili grafova vidljivosti vrhova.[15]

Pri globalnom planiranju puta nekoliko je općih pristupa. Prema pristupima iz robotike razlikuju se mapiranje puta, dekompozicija prostora i potencijalna polja (engl. *roadmap, cell decomposition, potential field*).[16] Pri prva dva pristupa problem određivanja puta svodi se na pretraživanje grafa čemu prethodi određivanje povezivosti u slobodnome prostoru. Metode mapiranja puta imaju prednost da se mogu relativno jednostavno implementirati u 2D ili 3D konfiguracijskom prostoru, odnosno prostoru stanja.[17] Metodama dekompozicije slobodni se prostor dijeli u manja područja, odnosno ćelije. Metode mogu biti egzaktne i dati potpuna rješenja ili aproksimativne pa pružiti približno potpuna rješenja pri zadanoj rezoluciji.[18] Konačno, metode potencijalnih polja koriste potencijalni gradijent polja u neposrednoj blizini pokretnog objekta, a ne cjelokupni prikaz slobodnog prostora. To ih čini efikasnima, međutim

---

[11] Liu, S., Wang, C., Zhang, A., 2019. A Method of Path Planning on Safe Depth for Unmanned Surface Vehicles Based on Hydrodynamic Analysis. Applied Sciences 2019, Vol. 9, Page 3228 9, 3228. https://doi.org/10.3390/APP9163228
[12] IHO, 2000. S-57 Appendix A IHO Object Catalogue (edition 3.1).
[13] Blindheim, S., Johansen, T.A., 2021. Electronic Navigational Charts for Visualization, Simulation, and Autonomous Ship Control. IEEE Access 1–1. https://doi.org/10.1109/access.2021.3139767
[14] Maka, J, Magaj, J.-Z.N.M., 2012. Data extraction from an electronic S-57 standard chart for navigational decision systems. Yadda.Icm.Edu.Pl 30, 83–87.
[15] Lee, W., Choi, G.H., Kim, T. wan, 2021. Visibility graph-based path-planning algorithm with quadtree representation. Applied Ocean Research 117, 102887. https://doi.org/10.1016/j.apor.2021.102887
[16] Latombe, J.-C., 2012. Robot Motion Planning, The Springer International Series in Engineering and Computer Science Book 124. Springer Science & Business Media, 2012.
[17] Ibid. str. 154.
[18] Ibid. str. 18.

može se dogoditi zapinjanje u lokalnome minimumu.[19] Osim prethodno navedene metodologije koja ima izvorište u robotici, proširena sistematizacija algoritama za planiranje puta uključuje ograničenja kretanja, potrebu za modeliranjem prostora, način rada (*online/offline*) i jesu li algoritmi deterministički, odnosno probabilistički.[20]

Razmatrajući opće kriterije algoritama planiranja puta oni mogu biti: optimalnost odnosno cjelovitost, učinkovitost i neosjetljivost na složenost prostora.[21] Detaljnija metrika GPP algoritma može uključivati srednje vrijeme izvršenja, relativnu standardnu devijaciju vremena izvršenja, srednju duljinu puta, relativnu standardnu devijaciju duljine puta te izglađenost puta.[22] Nastavno, ako se razmatra optimalnost planiranja puta ili šire, putovanja, onda to može biti najkraći put, vremenski optimalan put, put s najmanjom potrošnjom energije, optimalnom izglađenosti ili najmanjeg rizika.[23] Ukoliko razmatramo kriterije sličnosti između dobivenih putova, tada se može usporediti sličnost oblika koristeći Fréchetovu ili Hausdorffovu udaljenost,[24] dok se kod trajektorija također koriste metode kojima se trajektorije poravnavaju u vremenu ili usklađuju radi usporedbe.[25]

Kao što je opisano, brojna su područja istraživanja globalnog planiranja puta koja obuhvaćaju širi kontekst izvan osnovne problematike planiranja putovanja broda. Obzirom na složenost razmatranih problema, tada je i očekivano da je fokus istraživanja prvenstveno usmjeren prema značajnim problemima individualnog područja. Intenzitet multidisciplinarnih pristupa koji između ostalog uključuju robotiku, hidrografiju, autonomne plovne objekte i brodove također je velik. Planiranje putovanja u tome pogledu sigurno nije izuzeto. Međutim, globalno

---

[19] Ibid., str. 19.
[20] Souissi, O., Benatitallah, R., Duvivier, D., Artiba, A., Belanger, N., Feyzeau, P., 2013. Path planning: A 2013 survey, in: Proceedings of 2013 International Conference on Industrial Engineering and Systems Management, IEEE - IESM 2013.
[21] Qureshi, A.H., Miao, Y., Simeonov, A., Yip, M.C., 2021. Motion Planning Networks: Bridging the Gap between Learning-Based and Classical Motion Planners. IEEE Transactions on Robotics 37, 48–66. https://doi.org/10.1109/TRO.2020.3006716
[22] Tsardoulias, E.G., Iliakopoulou, A., Kargakos, A., Petrou, L., 2016. A Review of Global Path Planning Methods for Occupancy Grid Maps Regardless of Obstacle Density. Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications 84, 829–858. https://doi.org/10.1007/s10846-016-0362-z
[23] Liu, S., Wang, C., Zhang, A., 2019. A Method of Path Planning on Safe Depth for Unmanned Surface Vehicles Based on Hydrodynamic Analysis. Applied Sciences 2019, Vol. 9, Page 3228 9, 3228. https://doi.org/10.3390/APP9163228
[24] Votion, J., Cao, Y., 2019. Diversity-based cooperative multivehicle path planning for risk management in costmap environments. IEEE Transactions on Industrial Electronics 66, 6117–6127. https://doi.org/10.1109/TIE.2018.2874587
[25] Nie, P., Chen, Z., Xia, N., Huang, Q., Li, F., 2021. Trajectory similarity analysis with the weight of direction and k-neighborhood for ais data. ISPRS International Journal of Geo-Information 10, 757. https://doi.org/10.3390/ijgi10110757

planiranje puta iz perspektive nautičkih znanosti i prizme planiranja putovanja zahtijeva dodatni istraživački interes. Time se pruža mogućnost razmatranja osobitosti pojedinačnih pristupa unutar šireg okružja, njihovih utjecaja na ishode planiranja i još važnije kriterije evaluacije.

Sukladno prikazanome, može se opisati **problem istraživanja**. Globalno planiranje puta je element planiranja putovanja koji se intenzivno istražuje u različitim znanstvenim područjima. Međutim, razina razmatranja pojedinog čimbenika koji utječu na put nerijetko je usklađena s njegovim značajem u izvornome istraživačkom području. Također, dosadašnja razmatranja međuodnosa globalnog planiranja puta i ostalih elemenata planiranja putovanja u pomorskoj površinskoj navigaciji upućuju na potrebu nastavka istraživanja. Konačno, u kontekstu planiranja putovanja, u dosadašnjim pristupima nisu dostatno razmotreni međuodnosi obilježja metoda globalnog planiranja puta, ENC-a, broda i sigurnosnih postavki.

Prema navedenome, opći **predmet istraživanja** odnosio se na metode globalnog planiranja puta primjenjive u planiranju putovanja za brodove. Iz navedenog općeg predmeta proizašlo je nekoliko užih područja istraživanja. U tu svrhu istraženi su algoritmi koji mogu ili već koriste ENC kao podlogu za stvaranje modela prostora. Sukladno tome, bilo je potrebno istražiti strukturu i sadržaj ENC-a, kao prikaza stvarnosti i ulaznih podataka koji služe za stvaranje modela prostora za algoritme. Konačno, istraženi su optimizacijski pristupi i metode kojima se može izgladiti put prilagođen obilježjima broda te ograničenjima i sigurnosnim postavkama planiranja putovanja.

Konačno, definirani **objekti istraživanja** odnosili su se na pravne izvore o planiranju putovanja, standarde i specifikacije elektroničkih navigacijskih karata, čimbenike i ograničenja koji utječu na planiranje putovanja pri statičkim uvjetima, diskretne i determinističke algoritme prikladne za određivanje puta, modeliranje prostora, baze za pohranu podataka, proširenja s mogućnostima prilagodbe prostornih podataka te mjere usporedbe sličnosti putova.

1.2. Znanstvena hipoteza i pomoćne hipoteze

Iz prethodno definiranog problema i predmeta istraživanja postavljena je hipoteza:

Primjenom unaprijeđenih diskretnih metoda globalnog planiranja puta, koristeći objekte i atribute elektroničke navigacijske karte i prilagodbu puta obilježjima broda, moguće je optimizirati planiranje putovanja.

Pomoćna hipoteza 1: Analizom postojećih pristupa globalnom planiranju puta koji koriste elektroničke navigacijske karte mogu se identificirati njihovi nedostatci.

Pomoćna hipoteza 2: Podrobnijim korištenjem prikladnih objekata i atributa elektroničkih navigacijskih karata može se unaprijediti diskretni algoritam globalnog planiranja puta.

Pomoćna hipoteza 3: Izglađivanjem dobivenog puta sukladno obilježjima broda mogu se stvoriti trajektorije primjenjive u planiranju i provjeri plana putovanja.

Pomoćna hipoteza 4: Usporedbom dobivenih putova s empirijskim podatcima o plovidbi brodova i analizom putova u informacijskom sustavu i prikazu elektroničkih karata može se utvrditi primjenjivost unaprijeđenog diskretnog algoritma.

1.3. Svrha i cilj istraživanja

Svrha istraživanja odnosila se na sustavno istraživanje, prema prethodnim razmatranjima, ograničenja postojećih diskretnih GPP metoda koje koriste elektroničke navigacijske karte kako bi se moglo unaprijediti planiranje puta u okviru planiranja putovanja. Analizirane su mogućnosti primjerenijeg korištenja objekata i atributa ENC-a kojima bi se moglo unaprijediti postojeće algoritme GPP-a. Također je razmotren utjecaj pouzdanosti, točnosti i generalizacije prikaza podataka ENC-a. Konačno, proučeni su pristupi optimizaciji dobivenog puta u kontekstu zadovoljavanja uvjeta optimalnosti puta i izračuna potrebnih vrijednosti za izradu realističnih vrijednosti postavki plana putovanja potrebnih za sigurno izvođenje plovidbe.

Cilj istraživanja bio je izraditi unaprijeđeni odabrani diskretni algoritam globalnog planiranja puta uzevši u obzir ograničenja i dostupnost podataka elektroničke navigacijske karte, obilježja broda i optimizacijskog pristupa. Time nastojalo poboljšati planiranje putovanja i omogućiti detaljnije razmatranje primjene, ali i interpretacije stvorenih putova i trajektorija u planu putovanja. U tu svrhu napravljen je plan istraživanja kako je navedeno u nastavku.

Plan istraživanja:

- istražiti primjenjive metode i algoritme GPP-a koji koriste ENC za prikaz okružja
- analizirati pristupe diskretizaciji i stvaranju modela okružja ENC-a, te njihove prednosti i nedostatke
- analizirati načine korištenja dostupnih objekata i atributa ENC-a korištenih u GPP algoritmima

- evaluirati optimizacijske pristupe planiranju puta usklađenih s manevarskim obilježjima broda i sigurnosnim zahtjevima radi izrade realističnih planova puta
- odrediti kriterije i ciljeve planiranja putovanja koji utječu na obilježja globalnog planiranje puta
- izraditi unaprijeđeni diskretni GPP algoritam koristeći objekte i atribute ENC-a značajne za plan putovanja, obilježja broda i odabrani optimizacijski pristup
- validirati izrađeni GPP algoritam i dobiveni put usporedbom s empirijskim podatcima o plovidbi brodova, odnosno putova za odabrano plovidbeno područje
- validirati učinkovitost izrađenog GPP algoritma analizom dobivenog puta za odabrano plovidbeno područje koristeći ECDIS sustav u okružju navigacijskog simulatora.

1.4. Pregled dosadašnjih istraživanja

Nakon pregleda dosadašnjih istraživanja, može se utvrditi da je korištenje ENC-ova kao podloge za GPP, skromno razmotreno, bilo za statičko ili dinamičko okružje. Nadalje, veza i korištenje GPP-a u okviru planiranja putovanja razmatrana je još i manje, što je ukazalo na potrebu za cjelovitijim razmatranja navedenog. Sukladno tome, izdvojeni su radovi koji obuhvaćaju nekoliko elemenata planiranja ili su usmjereni prema nekim od elemenata istraživanja. Kao što će biti prikazano u nastavku, postoji raznovrsnost u pristupima, ali i određene sličnosti kod pristupa koji koreliraju s predmetom istraživanja.

Tsou (2010.) razmatra automatsko planiranje u ECDIS sustavu i ukazuje na subjektivnost i sličnost metodologije izrade putovanja u ECDIS sustavu onima na papirnatim kartama. U radu se razrađuje metoda generiranja rute temeljena na geografskom informacijskom sustavu (engl. *Geographic Information System*, GIS) sustavu koji koristi informacije ECDIS-a. Prepreke se pronalaze prostornom analizom pomoću GIS sustava, izrađuju se rute od kojih se izabire najprikladnija pomoću evolucijskog odnosno genetskog algoritma. Autor karakterizira izradu rute kojom će se izbjeći prepreke višekriterijskim nelinearnim problemom s velikim brojem ograničenja. Sukladno faktorima autor razrađuje vlastiti višeobjektni pristup koji uzima u obzir uvjete sigurnosti i ekonomičnosti. U svrhu sigurnog izbjegavanja prepreka stvaraju se sigurnosne zone koje mogu biti izvedene kao sigurnosne udaljenosti od središta rute ili kao područja u odnosu na objekte koje se izbjegava. U istraživanju se koristi drugi način tako da se dodaju atributi pojedinim prostornim objektima (točke, linije, poligoni) i sigurnosno područje.

Zatim se ruta analizira tražeći presjecišta s objektima. Za uklanjanje nepotrebnih međutočaka koristi se Douglas-Peucker algoritam.[26]

Mohović i ostali (2012.) istražili su kretanje broda pri izvanrednom događaju. U svrhu izrade modela kretanja broda razmatraju krivulje kretanja broda, pri čemu odabiru Eulerovu spiralu odnosno klotoidu kao krivulju koja vjerno prikazuje kretanje broda. Također izrađuju model promjene brzine broda kojim se može procijeniti brzina broda u bilo kojoj točki krivulje kada je otklon kormila nepromijenjen, a stroj zaustavljen.[27]

Ari i ostali (2013.) razmatraju vremenski najkraći put od ishodišta do odredišta u prisustvu prepreka. Problem se razmatra statički. Metodologija se temelji na diskretizaciji plovidbenog područja usmjerenom cjelobrojnom rešetkom s osam susjedstava i korištenjem A* algoritma. U metodologiji su navedena tri stvarna obilježja prisutna pri okretu broda: različiti promjeri kružnica okreta preko lijeve i desne strane, smanjivanje brzine pri okretu te uvjet da brod mora linearno prijeći nekoliko rubova rešetke prije nego započne okret. Posljednjim uvjetom omogućava se diskretizacija područja pri bilo kojoj odabranoj rezoluciji. Navode da je njihov pristup prvi koji je napravljen na temelju teorije grafova, sigurnosne udaljenosti i ograničenja kruga okreta s mogućnosti cjelovite parametrizacije ograničenja. U kontekstu teorije grafova, generička ograničenja kruga okreta određena su ograničenjem od jednog koraka brida kruga okreta (engl. *one-edge ahead turn constraints*). Takva ograničenja modelirana su različitim pristupima: preslikavanjem vrhova, modifikacijom Dijkstrinog algoritma i transformacijom izvornog grafa. U kontekstu problema optimalne navigacije broda autori definiraju sigurnosno područje odnosno zonu. Krug okreta broda ograničen je gornjom granicom zakrivljenosti kruga okreta u lijevu ili desnu stranu. Autori ne koriste ENC, i put generiraju u simuliranom ograničenom području s ledenim plohama kao preprekama. Izvedivost dobivenog puta provjeravaju korištenjem navigacijskog simulatora.[28]

Blaich i ostali (2015.) razmatraju globalno i lokalno planiranje puta za autonomna površinska plovila. Navode kinematička ograničenja kruga okreta koja uvjetuju dohvatljivost međutočaka.

---

[26] Tsou, M.-C., 2010. Integration of a Geographic Information System and Evolutionary Computation for Automatic Routing in Coastal Navigation. Journal of Navigation 63, 323–341. https://doi.org/10.1017/s0373463309990385

[27] Mohović, Đ., Mohović, R., Rudan, I., 2012. Ship Track and Speed Model in Case of Steering Gear Breakdown with Rudder Remaining Fix at non-Zero Angle. Brodogradnja: Teorija i praksa brodogradnje i pomorske tehnike 63, 117–124.

[28] Ari, I., Aksakalli, V., Aydogˇdu, V., Kum, S., 2013. Optimal ship navigation with safety distance and realistic turn constraints. European Journal of Operational Research 229, 707–717. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.03.022

Stvoreni put, prema navedenome, morao bi biti izglađen i neprekinute zakrivljenosti. Za GPP algoritam stvara se jednolika diskretna rešetka na temelju podataka ENC-a koristeći Bresenhamov algoritam. Veličina broda svedena je na jednu ćeliju rešetke. Sukladno diskretizaciji prepreke su uvećane s tangentno dodanim poljem potencijala na rubovima. Ćelije prepreka poput obale moguće je prijeći, ali imaju veći trošak čime ih se izbjegava. Za određivanje puta prema odredištu koristi se A* algoritam. Broj međutočaka reduciran je Douglas-Peucker algoritmom, a neprekidnost zakrivljenosti osigurava se interpolacijom Bezierovim krivuljama. Ne razmatra se pouzdanost podataka niti objekti i atributi ENC-a.[29]

Reed i Schmidt (2016.) razmatraju korištenje ENC-a za planiranje puta autonomnih površinskih plovila korištenih za hidrografska mjerenja. U tu svrhu koriste *ENC_Reader* u okviru *Mission Oriented Operating System (MOOS)* platforme korištene za pokretne robote. Podaci ENC-a u S-57 formatu pretvaraju se ENC–DB bazu podataka, te se grupiraju prema geometriji podataka. Objekti opasni za navigaciju definiraju se razinama opasnosti, dostupnim kvantitativnim i kvalitativnim podacima poput „*Water Level Effect*“ atributa, kada kvantitativni podaci nisu dostupni. Prema podatcima definiraju razine opasnosti od -1 do 5 te ih prikazuju različitim bojama sukladno opasnosti.[30]

Schmidt i Reed (2018.) razmatraju upotrebu ENC-a u svrhu planiranja puta i navigacije. Prikazuju poteškoće pri korištenju ENC-a na primjeru karte u mjerilu 1:10000 koja nema dovoljno detaljan prikaz podataka, što postaje izraženo pretjeranim uvećavanjem prikaza karte na mjerila veća od konstrukcijskog (engl. *overscale*). Navodi se i neusklađenost karata sa stvarnom situacijom u promatranome području, odnosno ograničenja generalizacije na pripadajućem mjerilu. Također postoji i razlika u položaju npr. hridi koja se zbog kompilacijskog postupka može razlikovati više od 40 m. Kao rješenje problema generalizacije na ENC-ovima predlaže se definiranje objekata u dvije dimenzije umjesto jednodimenzionalno kako se prikazuje sada. Time se sprječava utjecaj generalizacije na prikaz pojedinih objekata na karti i definiranje stvarne veličine objekta kod prikaza pri različitim mjerilima. Također se navodi da prikaz pouzdanosti podataka, definiran zonama pouzdanosti, ne mora točno prikazivati pouzdanost pri procesu stvaranja karte. Zaključuju da bi karte trebale biti

---

[29] Blaich, M., Wirtensohn, S., Reuter, J., Hahn, A., 2015. Trajectory generation for vessels using a reachability graph, in: MTS/IEEE OCEANS 2015 - Genova: Discovering Sustainable Ocean Energy for a New World. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. https://doi.org/10.1109/OCEANS-Genova.2015.7271471

[30] Reed, S., Schmidt, V.E., 2016. Providing Nautical Chart awareness to autonomous surface vessel operations. OCEANS 2016 MTS/IEEE Monterey 1–8. https://doi.org/10.1109/OCEANS.2016.7761472

prilagođene veličini i manevarskim obilježjima brodova koji plove plovidbenim područjem.[31]

Jia i ostali (2019.) razmatraju generiranje puta koristeći binarno stablo odlučivanja. Ukazuju na prethodne pristupe koji su razrađeni isključivo koristeći jedan ENC, dok se u njihovome pristupu razmatra korištenje više ENC-ova. Navode prethodna istraživanja i neprikladnost pristupa koji nisu optimalni za stvarne uvjete. Predlaže se i koristi prostorna baza podataka za navigaciju te algoritam indeksa R-stabla (engl. *R-tree index).* Plitka područja određuju se na temelju podataka ENC-a dok se model dubina stvara korištenjem nepravilne trokutne mreže (engl. *Triangulated Irregular Network*, TIN). Korištenjem atributa određuju se prepreke i dodaje sigurnosna zona (engl. *buffer)* na temelju polumjera kružnice broda i točnosti položaja. Algoritam uzima u obzir najbližu prepreku koju brod treba izbjeći. Dodaje najbliže čvorove (npr. dva) koji postaju testni čvorovi i ponavlja postupak do odredišta i postupno stvara binarno stablo odlučivanja. Udaljenosti se zbrajaju i put s najmanjom prevaljenom udaljenosti je i najkraći. Prepreke se uzimaju s dostupnih karata i spajaju se u jedinstvenoj prostornoj bazi podataka. Navodi se indeks točnosti koji je funkcija presjeka točnosti karata. Tijekom procesa planiranja suvišni objekti se uklanjaju, dok se bitne prepreke u plovidbenom području spremaju u bazu podataka.[32]

Jeong i ostali (2019.) razmatraju višekriterijski pristup planiranju puta razmatrajući kriterije sigurnosti, učinkovitosti, praktičnosti i izvedivosti plovidbe. Navode da je većina obrađenih pristupa planiranju putovanja usmjerena uz sigurnost na učinkovitost plovidbe. Iscrpno prikazuju različite pristupe kategorizirane prema učinkovitosti i ekonomičnosti, kriterijima optimizacije i fazama navigacije. Autori razrađuju vlastiti višekriterijski pristup za faze prikupljanja i planiranja putovanja u obalnoj navigaciji. Razmatraju mogućnost nastupa nasukanja, udara, prevrtanja i potonuća u odnosu na nepomične objekte odnosno ne razmatraju izbjegavanje sudara s drugim brodovima. U razmatranome navigacijskome području Janganseoa u Republici Koreji, dijele plovidbeno područje kružnicama sukladno intervalima učestalosti određivanja položaja. Nastavno, geometrijskom analizom određuju koheziju i brojnost prepreka u području te im kvantitativno pridružuju vrijednosti rizika. Sukladno tim vrijednostima, stvaraju se konture rizika, odnosno linije jednake vrijednosti rizika koje su temelj

[31] Schmidt, V., Reed, S., 2018. Autonomous Navigation on (US) Nautical Charts, in: 2018 Canadian Hydrographic Conference. Canadian Hydrographic Society, Victoria, CA, p. 10.
[32] Jia, S., Dai, Z., Zhang, L., 2019. Automatic Ship Routing with High Reliability and Efficiency between Two Arbitrary Points at Sea. Journal of Navigation 72, 430–446. https://doi.org/10.1017/S0373463318000814

za prilagodbu putova.[33]

Kristić i ostali (2020). razmatraju vrijednost bočne granične udaljenosti (engl. *Cross Track Limit*, XTL) korištenu u ECDIS sustavu u okviru planiranja putovanja. Navode neodređenost u određivanju te nedostatak propisa i preporuka koji bi ujednačili određivanje. Za prikladno određivanje XTL vrijednosti potrebno je uzeti u obzir pouzdanost i točnost podataka ENC-a. Razmatraju se i pripadajući atributi koji opisuju vrijeme i metodu određivanja hidrografskih mjerenja. Sukladno navedenome definirana je jednadžba za određivanje XTL-a koja uključuje vrijednosti batimetrijskih podataka i dopušteno odstupanje prema obilježjima navigacijskog područja i broda.[34]

Liang i ostali (2021.) razmatraju probleme u automatskom planiranju putovanja. Navode često korištenje Dijkstrinog, A* i Theta* algoritama koji koriste rešetke. Pri određivanju puta na većim udaljenostima rješenja imaju velik broj vrhova, povećavajući vrijeme potrebno za pretraživanje grafa i određivanja puta. Također, kako su dubine na ENC-u neravnomjerno raspoređene, za posljedicu imaju poteškoće pri konstrukciji rešetke. U svome pristupu, autori stvaraju kartu točaka dubine koristeći Delaunayevu triangulaciju (DT) i podatke s ENC-a. Nakon toga primjenjuju L+ i FO L+ algoritme (engl. *Final Optimization L+*). Algoritam primjenjuju u ograničenom području rijeke Mississippi i Meksičkog zaljeva. Autori ne razmatraju pouzdanost podataka, te obilježja i atribute ENC-a.[35]

1.5. Korištene znanstvene metode

U izradi doktorskog rad primijenile su se znanstvene metode prema postavljenom cilju, predmetu, problemu i cjelinama istraživanja. Pri razmatranju čimbenika i obilježja globalnog planiranja puta i planiranja putovanja koristila se metoda dedukcije, metoda indukcije, metoda analize, metoda komparacije i metoda sinteze. Matematički se opisala i modelirala neodređenost i ograničenja elektroničke navigacijske karte uz obilježja broda. Pri odabiru i poboljšanju optimiziranog diskretnog algoritma globalnog planiranja puta korištene su metode

---

[33] Jeong, M.G., Lee, E.B., Lee, M., 2019. An Adaptive Route Plan Technique with Risk Contour for Autonomous Navigation of Surface Vehicles, in: OCEANS 2018 MTS/IEEE Charleston, OCEAN 2018. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. https://doi.org/10.1109/OCEANS.2018.8604638

[34] 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 8, 566. https://doi.org/10.3390/jmse8080566

[35] Liang, C., Zhang, X., Watanabe, Y., Zhao, B., 2021. Novel L+ and FO L+ algorithms based on ENC data for automatic route planning of ships. Ocean Engineering 235, 109389. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.109389

generalizacije, metode iz računalne geometrije, metode diskretizacije prostora, metode pretraživanja grafa i metode optimizacije. Pri validaciji koristila se studija slučaja za odabrano plovidbeno područje, statističke i analitičke metode obrade podataka te metoda simulacije. Pri evaluaciji empirijskih podataka koristile su se statističke metode i metoda komparacije s dobivenim algoritamskim putovima.

1.6. Struktura rada

Struktura doktorskog rada naslovljenog „Optimizacija planiranja putovanja diskretnim metodama globalnog planiranja puta“ postavljena je prema prethodno postavljenim ciljevima i definirana dosadašnjim istraživanjima. Doktorski rad sastoji se od četiri sadržajno povezana poglavlja.

U prvome, uvodnome poglavlju iznesen je problem, predmet i objekti istraživanja te postavljena znanstvena hipoteza s pomoćnim hipotezama. Uz opis osnovne svrhe i cilja istraživanja napravljen je pregled dosadašnjih istraživanja te su navedene razmatrane i korištene istraživačke metode.

U drugome poglavlju naslova *Analiza konteksta planiranja puta i čimbenika planiranja putovanja* razmatrao se kontekst planiranja puta i čimbenici koji na njega utječu. Razmatralo se planiranje u statičkome okružju uz detaljnu analizu formalnih i pravnih okvira planiranja, pripadajućih standarda i obilježja elektroničke navigacijske karte, broda i sigurnosnih postavki.

U trećemu poglavlju naslova O*ptimizirani diskretni algoritam globalnog planiranja puta* razmatralo se globalno planiranje puta, pripadajuća obilježja i ograničenja planiranja te mogućnosti poboljšanja planiranja u kontekstu planiranja putovanja. Definirani su ulazni podaci i ograničenja, prikazani su načini stvaranja modela okružja i objekti koji su se koristili u pretraživanju rješenja. Također je opisan način kako se koristi algoritam, izglađuje dobiveni put i određuju trajektorije sukladno postavljenim ograničenjima.

U četvrtome poglavlju naslovljenom *Analiza rezultata globalnog planiranja puta* analizirani su dobiveni podaci planiranja puta u plovidbenom području koji su uspoređeni s AIS podacima stvarnih brodova. Konačno, put je analiziran u okružju ECDIS-a navigacijskog simulatora te su se i na taj način potvrdili rezultati istraživanja.

Konačno u zaključnom poglavlju, cjelovito se razložila i objedinila problematika planiranja puta u kontekstu planiranja putovanja, razmotreni su rezultati istraživanja te znanstveni doprinosi uz osvrt na moguće buduće smjerove istraživanja.

2. ANALIZA KONTEKSTA PLANIRANJA PUTA I ČIMBENIKA PLANIRANJA PUTOVANJA

Planiranje puta jedan je od elemenata u planiranju putovanja, međutim u kontekstu pomorske plovidbe terminološki se razmatra ruta, pojam koji se odnosi na više elemenata od same geometrije kojom definiramo put. Slično je i u drugim znanstvenim disciplinama, gdje ti pojmovi mogu poprimiti značenje ovisno o kontekstu. Nakon razmatranja puta potrebno je formalizirati sam proces planiranja i propisa koji ga određuju. Tek tada se mogu valjano razmotriti čimbenici i ograničenja koja utječu na obilježja rješenja dobivenog puta, koji uključuju podatke i obilježja elektroničke navigacijske karte, plovidbenog područja i konačno samoga broda.

2.1. Planiranje puta u funkciji planiranja putovanja

Kao što je opisano u uvodu i pregledu istraživanja, definicija planiranja puta definira se, općenito, u kontekstu geometrije puta, dok se vremenska dimenzija razmatra u planiranju trajektorija. Najčešće, planiranje puta prethodi planiranju trajektorije, no oboje se može razmatrati istovremeno. Složenost planiranja raste s povećavanjem stupnja autonomije i zahtjevnosti okoliša. Najjednostavniji oblik planiranja je u poznatom, određenom statičkom okružju, dok se složenost planiranja puta povećava u dinamičkom ili nepoznatome okružju.[36] Uz ovu podjelu, možemo još dodati i planiranje kretanja kao sveobuhvatniji pojam. Pojedina vrsta planiranja obuhvaća sljedeće opće elemente i razgraničenja. Pri planiranju puta brod ili plovni objekt načelno se svodi na točku te se ne razmatraju kinetička i dinamička ograničenja. Međutim, određeni put ne mora biti moguć, odnosno ostvariv. Planiranjem trajektorije uzimaju se u obzir brzina, smjer kretanja ili rotacija objekta čime se dobiva realističniji put. Nedostatak je što se nerijetko ne razmatra interakcija između pojedinih ograničenja. Konačno, pri planiranju kretanja razmatra se i modelira kinematika te dinamika plovnoga objekta.[37] Prethodni opisi proizlaze iz robotike, pa iako jasno formulirani, mogu se različito interpretirati ovisno o razmatranome objektu, temi ili znanstvenoj disciplini. U svrhu pojmovnog

[36] Gasparetto, A., Boscariol, P., Lanzutti, A., Vidoni, R., 2015. Path planning and trajectory planning algorithms: A general overview, in: Mechanisms and Machine Science. pp. 3–27. https://doi.org/10.1007/978-3-319-14705-5_1.

[37] Wu, M., Zhang, A., Gao, M., Zhang, J., 2021. Ship Motion Planning for MASS Based on a Multi-Objective Optimization HA* Algorithm in Complex Navigation Conditions. Journal of Marine Science and Engineering 9, 1126. https://doi.org/10.3390/jmse9101126

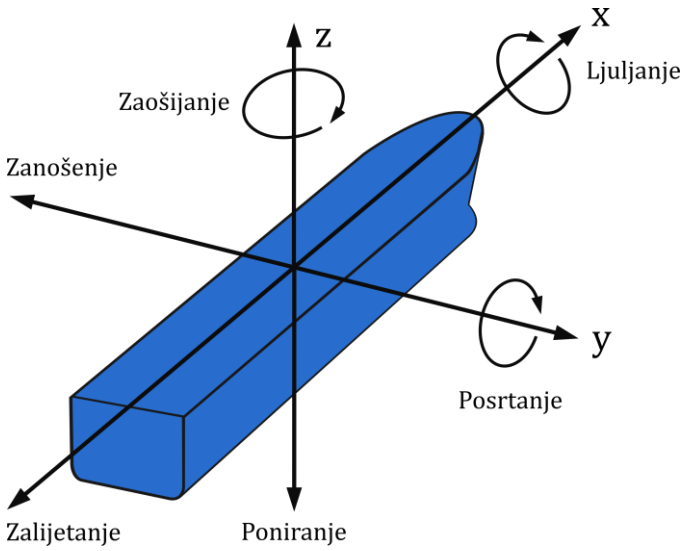
razgraničenja i učinkovite interpretacije u kontekstu autonomnih površinskih plovila pojmovi su definirani i razvrstani[38] kao što je prikazano na Slici 1. Uz planiranje puta i trajektorije navodi se slijeđenje puta i trajektorije, kao logičan nastavak nakon faze planiranja. Pri slijeđenju puta vrijeme ne predstavlja ograničenje, već je cilj ostati na zadanome putu. Kod slijeđenja trajektorije, vrijeme je ograničeno i brod mora doći na zadanu međutočku ili odredište u određenom vremenu.[39]

Slika 1. Klasifikacija pojmova o putu i trajektoriji. Priredio autor prema[38]

Valja spomenuti još nekoliko pojmova vezanih uz planiranje puta i kretanja kojima se opisuju ograničenja i prostor u kojem se objekt nalazi. Prvi pojam je konfiguracija. Konfiguracija predstavlja vektor parametara koji opisuju objekt. Kako se većina pokretnih objekata, vozila odnosno plovila, može predstaviti *krutim tijelima* (engl. *rigid body*) konfiguracija predstavlja šest vrijednosti (tri koordinate koje definiraju položaj i tri orijentacije). Skup svih mogućih konfiguracija predstavlja *konfiguracijski prostor (engl. configuration space)* ili *C-prostor*.[40] Konfiguracijski prostor načelno je *neeuklidski* i broj dimenzija je jednak broju nezavisnih varijabli kojima opisujemo prostor. Njih još nazivamo i stupnjevima slobode (engl. *Degree of Freedom,* DOF). Objekt i okružje određuju broj stupnjeva slobode i oblik konfiguracijskog prostora i ukoliko objekt može promijeniti smjer u bilo kojem trenutku (ukoliko nema prepreka) tada govorimo da su objekt i ograničenja *holonomski*. Ukoliko takvo kretanje nije moguće tada su objekt i ograničenja *neholonomski.* Konačno, objekt se može modelirati kinematičkim jednadžbama ograničenim brzinama ili dinamičkim jednadžbama ograničenim silama. Također

[38] Vagale, A., Oucheikh, R., Bye, R.T., Osen, O.L., Fossen, T.I., 2021. Path planning and collision avoidance for autonomous surface vehicles I: a review. Journal of Marine Science and Technology (Japan) 26, 1292–1306. https://doi.org/10.1007/S00773-020-00787-6/FIGURES/13
[39] Ibid.
[40] Goerzen, C. et al., 2009., op. cit.

u kontekstu upravljivosti, razlikujemo potpuno upravljane (engl. *actuated*) i podupravljane (engl. *underactuated*) sustave odnosno konfiguracije. Podupravljani sustavi imaju manji broj aktuatora od stupnjeva slobode sustava.[41] U kontekstu brodova i ostalih plovnih objekata razmatramo šest stupnjeva slobode (tri translacije: zalijetanje, zanošenje i poniranje te tri rotacije: ljuljanje, posrtanje i zaošijanje) koji se mogu vidjeti na Slici 2.



Slika 2. Šest stupnjeva slobode broda (6 DOF). Priredio autor

Često se tri stupnja slobode reduciraju, primjerice za praćenje trajektorije (engl. *trajectory tracking*) gdje se zadržavaju zalijetanje, zanošenje, zaošijanje s dostupnim aktuatorima (poriv vijka i kormilo) koji djeluju na zalijetanje i zanošenje. Sukladno tome, brod koji se razmatrao u istraživanju možemo karakterizirati kao podupravljani.[42] Uz podupravljane i potpuno upravljane brodove, danas postoji i niz drugih plovnih objekata s različitim konfiguracijama aktuatora.[43] Svrha prethodnog kratkog prikaza upućuje na važnost egzaktnog definiranja razmatranog problema puta i kretanja, jer se tome sukladno bira pristup rješavanju problema odnosno odabire metoda ili konačno, algoritam. Kako nije moguće prikazati sva obilježja i izazove, reference u prethodnim odjeljcima pružaju uvid u sveobuhvatnost problematike.

---

[41] Choset, H.M. (Ed.), 2005. Principles of robot motion: theory, algorithms, and implementation, Intelligent robotics and autonomous agents. MIT Press, Cambridge, Mass.
[42] Serrano, M.E., Scaglia, G.J.E., Godoy, S.A., Mut, V., Ortiz, O.A., 2014. Trajectory Tracking of Underactuated Surface Vessels: A Linear Algebra Approach. IEEE Transactions on Control Systems Technology 22, 1103–1111. https://doi.org/10.1109/TCST.2013.2271505
[43] Vagale et al., 2021. (a), op. cit.

Prethodni prikaz ne uključuje elemente koji se najčešće ne razmatraju u okviru teorije upravljanja ili robotike, a dio su planiranja putovanja u pomorstvu. Planiranje putovanja obuhvaća prethodne razine planiranja uz unos obilježja koja se moraju predvidjeti a ne spadaju u neposredna ograničenja broda ili okružja. To su npr. odrednice postupanja po preporukama u određenim područjima ili plovidbe s povećanim oprezom u područjima povećane pomorske aktivnosti radi ribolova ili drugih ljudskih djelatnosti dostupnih u pratećim pomorskim publikacijama poput peljara. Valja spomenuti i ograničenja plovidbe koja mogu proizaći iz obilježja tereta, primjerice prijevoza opasnih tereta zbog kojih se u određenim područjima brodovi udaljavaju od obale ili propisanih zona plovidbe sukladno teretnim vodenim linijama. Prethodni opisi planiranja proizlaze uglavnom iz robotike i srodnih područja poput teorije upravljanja te je vidljivo da postoje određene pojmovne neujednačenosti i nedostatna povezanost s pomorskim planiranjem putovanja. Sukladno tome, kako se tada formulira planiranje puta, trajektorije ili kretanje u uvjetno rečeno „klasičnom“ planiranju putovanja kojeg u cijelosti ili djelomično planira i odobrava čovjek?

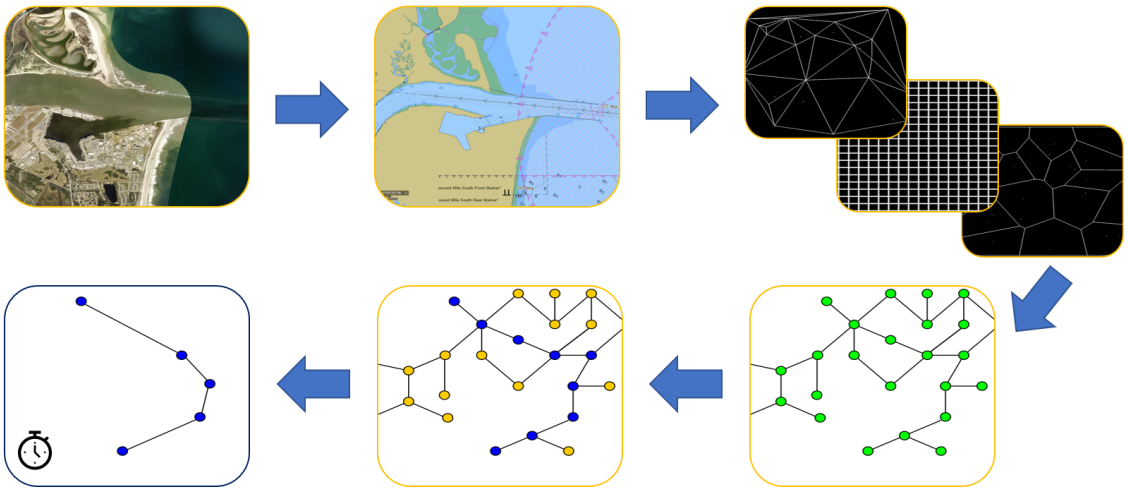
Općenito se pojam planiranja rute često koristi kao istoznačnica za planiranje puta[44] no može biti i sveobuhvatniji jer se uz osnovno određivanje puta uzimaju različiti kriteriji poput sigurnosti, učinkovitosti ili praktičnosti putovanja.[45] Nastavno, ako preuzmemo razmatranja iz teorije grafova, planiranje rute se definira kao određivanje puta. Prema tome, planiranje optimalne rute je izjednačeno s pronalaženjem najkraćeg puta od jednog vrha grafa do drugoga. Valja napomenuti da se pojmovi optimalno i najkraće definiraju u kontekstu razmatranog problema ili vrste grafa.[46] U prethodnome izvoru također se navodi vrijeme, primjerice do odredišta, kao element određivanje rute[47] što bi se odnosilo na planiranje trajektorije prema prethodnim opisima. Ako razmotrimo korištenje ECDIS-a, čiji zahtjevi i funkcionalnost obuhvaćaju planiranje i nadzor rute kao dijela putovanja, oni uključuju ograničenja vezana uz gaz broda, manevarska obilježja broda uključivši promjer kružnice okretanja broda, točku promjene smjera (engl. *Wheel Over Point*, WOP) otklonom kormila ili porivnika kojima se može postići promjena smjera te brzinu zakretanja. Također se planira brzina broda i sukladno

[44] Zhou, C., Gu, S., Wen, Y., Du, Z., Xiao, C., Huang, L., Zhu, M., 2020. The review unmanned surface vehicle path planning: Based on multi-modality constraint. Ocean Engineering 200, 107043. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107043
[45] Jeong, M.G., Lee et al., 2019. op. cit., str. 77.
[46] Hofmann-Wellenhof, B., Legat, K., Wieser, M., 2003. Navigation. Springer Vienna, Vienna. str. 93.
[47] Ibid., str. 113.

tome očekivano vrijeme dolaska, bilo na međutočke ili na odredište. Dio tih elemenata možemo vidjeti na Slici 3.

Slika 3. Konceptualni prikaz planiranja putovanja. Priredio autor

Prema prikazanim elementima riječ je o planiranju kretanja jer je za određivanje prostornih i vremenskih ograničenja putovanja potrebno primijeniti znanja o manevriranju broda tj. imati mentalni model kretanja i ponašanja broda u okružju uz percepciju očekivanog međudjelovanja sila. Međutim, i ovaj model je pojednostavljen i ograničen prema dostupnim izvorima, primjerice vrijednostima iz manevarskog dijagrama ili preporuka o potrebnoj preostaloj dubini ispod kobilice da bi bio primjenjiv u praktičnim situacijama. Slično je u perspektivi autonomije i robotike. Govoreći o korištenju GPP-a, odnosno planiranju puta, potrebno je stvoriti model stvarnosti pogodan za korištenje algoritama. Ukoliko koristimo ENC, on u svome izvornome obliku nije prikladan već se mora stvoriti pojednostavljena struktura kojom se ENC pojednostavljuje kao graf ili rešetka. Dobiveno rješenje, odnosno put, najčešće se mora pojednostaviti i izgladiti. Da bi se prešlo put u zadanome vremenu, potrebno je odrediti i brzinu i time dobiti trajektoriju. Opisani slijed planiranja puta i trajektorije može se vidjeti na konceptualnom prikazu vidljivom na Slici 4.



Slika 4. Konceptualno planiranje puta i trajektorije. Priredio autor

Složenost pretvaranja i izrade rješenja pomoću algoritama i modela raste obzirom na složenost planiranja odnosno apstrakcije, koja je potrebna da bi se opisala stvarnost i pronašlo prihvatljivo rješenje. Kao što je djelomično prikazano u ovome kratkom osvrtu na planiranje puta iz dvije perspektive, robotike odnosno „klasičnog“ pomorskog planiranja putovanja, terminološke odrednice mogu označavati različite pristupe, metode ili zadatke. U narednim potpoglavljima i poglavljima prikazat će se sličnosti i razlike između tih dviju općih perspektiva te pripadajući izazovi i rješenja.

2.1.1. Planiranje puta u statičkom okružju

Statičkim okružjem smatramo okružje koje je nepromjenjivo, i u kontekstu broda, odnosi se na prirodna i umjetna obilježja područja u kojima će brod ploviti. Prirodna obilježja neposredno utječu, odnosno omogućavaju ili ograničavaju plovidbu broda. Kao što će biti detaljnije prikazano u sljedećim potpoglavljima, formulacija horizontalnih i vertikalnih ograničenja određuje mogući put kojim brod može ploviti. Kod statičkog okružja smatra se da je nepromjenjivo, te se put određuje na temelju postavljenih prostornih ograničenja uključivši dimenzije broda. Područje koje je izuzeto od ograničenja postaje slobodan prostor u kojem će navigator odrediti prema zadanim kriterijima pripadajuće međutočke i kursove. Na sličan način će se i slobodan prostor (engl. *free space*) u kontekstu računalnih pristupa na određeni način pretvoriti u oblik pogodan za traženje rješenja, najkraćeg ili optimalnog puta po nekom drugome kriteriju.

Uz prirodne objekte, potrebno je spomenuti i umjetne objekte, poput plutača ili svjetionika koji mogu biti postavljeni s namjerom, primjerice radi povećavanja sigurnosti. Također mogu biti vezani uz druge ljudske djelatnosti. To mogu biti obalne građevine poput mostova, energetskih kablova ili odobalni objekti poput naftnih platformi ili sve prisutnijih vjetroparkova. Kao i kod prirodnih objekata, radi sigurnosti navigacije, pri planiranju nastojat će se udaljiti brod od prepreka koliko je to potrebno ili moguće sukladno ograničenjima planiranja.

Planirana ruta predstavlja neposredni rezultat planiranja. Donedavno primarno ucrtana na papirnatoj i danas sve češće samo na elektroničkoj karti, njeni osnovni elementi su međutočke i pripadajući kursovi između njih. Opća načela ucrtavanja kursova temelje se na usvojenom navigacijskom znanju i vještinama, stručnoj literaturi te prilagodbama i ograničenjima u uputama samih brodara. Primjer rezultata planiranja rute u okviru putovanja možemo vidjeti na Slici 5. Osim slike, prikazani elementi će se detaljnije razmotriti u nastavku poglavlja gdje će biti prikazani načini njihova određivanja.

Name	Position	Leg Type	Leg	Total Distance	X PORT X STBD	Turn Radius	Draught	Safety contour	Safety depth	ETA	ETD	TTG	Total Time	Speed	Average Speed
	32° 49.964 N 079° 53.665 W	XX	XXX.X XXX.X	XXX.X	XXX.X XXX.X	XXX.X	XXX.X	XXX.X	XXX.X	XX-XX-XX XX:XX	**28-04-23 12:00**	XX-XX-XX	XX-XX-XX	XXX.X	XXX.X
	32° 49.765 N 079° 53.755 W	RL	200.9° 0.19 NM	0.19 NM	0.10 NM 0.10 NM	0.10 NM	12.6 m	15 m	15 m	28-04-23 12:01	28-04-23 12:01	00 d 00 h 01 min	00 d 00 h 01 min	**6.0 kn**	6.0 kn
	32° 49.426 N 079° 54.132 W	RL	223.2° 0.47 NM	0.67 NM	0.10 NM 0.10 NM	0.10 NM	12.6 m	15 m	15 m	28-04-23 12:06	28-04-23 12:06	00 d 00 h 04 min	00 d 00 h 06 min	**6.0 kn**	6.0 kn
	32° 49.194 N 079° 54.315 W	RL	213.7° 0.28 NM	0.94 NM	0.10 NM 0.10 NM	0.10 NM	12.6 m	15 m	15 m	28-04-23 12:09	28-04-23 12:09	00 d 00 h 02 min	00 d 00 h 09 min	**6.0 kn**	6.0 kn
	32° 48.905 N 079° 54.655 W	RL	224.8° 0.39 NM	1.33 NM	0.10 NM 0.10 NM	0.10 NM	12.6 m	15 m	15 m	28-04-23 12:13	28-04-23 12:13	00 d 00 h 03 min	00 d 00 h 13 min	**6.0 kn**	6.0 kn

Slika 5. Prikaz elemenata planiranja rute (puta, trajektorije i ostalih značajki) u sustavu ECDIS. Priredio autor koristeći Wärtsilä Navi-Sailor ECDIS 4000 navigacijskog simulatora NTPRO5000

Ako razmatramo planiranje u statičkom okružju i ucrtane putove s kursovima kao najznačajnije elemente po kojima će se izvoditi putovanje, njih bi trebalo ucrtavati kako slijedi. Kursove bi trebalo povlačiti općenito najkraćom i najsigurnijom rutom, na sigurnoj udaljenosti od obale i potencijalnih opasnosti. Udaljenost od obale trebala bi omogućavati određivanje položaja opažanjem obalnih objekata te biti unutar ograničenja gaza. Kursovi bi trebali voditi na istaknute objekte ili objekte prema kojima će se subočice okretati u nove kursove. Noću bi načelno trebalo udaljiti brod odnosno ucrtati kurs dalje od navigacijskih opasnosti. Također, valjalo bi smanjiti mogućnost mimoilaženja s drugim brodovima, držati se općih ili preporučenih smjerova plovidbe i konačno razmotriti pouzdanost dostupnih podataka.[48]

[48] Lušić, Z., Kos, S., Galić, S., 2014. Ujednačavanje načina crtanja kursova i izbora točaka okreta u pomorskoj navigaciji. Promet - Traffic - Traffico 26, 313–322. https://doi.org/10.7307/ptt.v26i4.1437

Uz navigacijske pojmove i pristupe, vrijedi spomenuti još nekoliko pojmova koji su opisani u kontekstu umjetne inteligencije, kojima možemo pobliže opisati okružje, ali i definirati problem planiranja i prikladno odabrati moguće rješenje. Sukladno tome definira se *agent* (*nešto* što *čini* ili *izvršava* od lat. *agere*) koji djeluje autonomno, može se mijenjati te stvarati i imati ciljeve i načelno ponašati se razumno. To podrazumijeva ostvarivanje najboljeg ishoda prema postavljenom cilju, odnosno slično kao u teoriji upravljanja, minimiziranju ili maksimiziranju funkcije cilja. Agent se nalazi u tzv. *okružju zadatka* (engl. *task environment*) za kojeg se moraju definirati izvedba, okružje, upravljači i osjetila odnosno senzori (engl. *Performance, Environment, Actuators, Sensors,* PEAS). Izvedbu možemo mjeriti duljinom puta, sigurnosti, troškom ili drugom postavljenom funkcijom cilja odnosno minimiziranom ili maksimiziranom vrijednosti. Okružje predstavlja prostor u kojem se planiranje odvija, dok se upravlja korištenjem aktuatora.[49] Osjetila ili senzori odnose se na fazu izvršenja i omogućavaju kretanje kroz neposredno okružje. Okružje se može kategorizirati kao potpuno ili djelomično vidljivo, odnosno može se opažati (engl. *fully and partially observable*) ili nevidljivo ako agent nema osjetila. U okružju može biti jedan agent (engl. *single agent*) ili ih može biti više (engl. *multiagent*) koji mogu ili ne moraju surađivati. Nadalje, okružje može biti determinističko ako je buduće stanje agenta i okružja određeno sadašnjim stanjem, inače je nedeterminističko u što spada većina okružja. Okružje je statičko ukoliko se ne mijenja i ne razmatra se protok vremena i diskretno ukoliko ima konačan broj stanja. Konačno, okružje može biti poznato ili nepoznato.[50] Za razliku od algoritama, agente karakterizira upravo mogućnost autonomije u odlučivanju uz interakciju s okružjem i aktuatorima, ma koliko ona bila ograničena. Uz druga područja istraživanja primjena agenata se naravno razmatra i u okviru planiranja puta u pomorstvu.[51] Iako je u ovome kontekstu riječ o računalnim programima koji se definiraju agentima, sam pojam agenta je širi i označava nekoga ili nešto što *djeluje* ili ima *moć djelovanja.*[52] U tome kontekstu *agent* je osoba koja planira, preuzima neke (npr. podrška pri odlučivanju) ili sve odluke (npr. navigator pri klasičnome planiranju) koje donosi na temelju

[49] Russell, S.J., Norvig, P., 2021. Artificial intelligence: a modern approach, Fourth edition. ed, Pearson series in artificial intelligence. Pearson, Hoboken.
[50] Ibid.
[51] Xiao, Z., Fu, X., Zhang, L., Zhang, W., Agarwal, M., Siow, R., 2019. MarineMAS: A multi-agent framework to aid design, modelling, and evaluation of autonomous shipping systems. Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping 2, 43–57. https://doi.org/10.1080/25725084.2019.1569318
[52] https://www.merriam-webster.com/dictionary/agent

opažanja i znanja o objektu (brod) i okružju (izvori navigacijskih informacija). Ograničenja upravljanja objektom odnosit će se na dostupne aktuatore poput porivnika i kormila.

Konačno, da bi se utvrdila razgraničenja između odrednica statičkog i dinamičkog okružja, potrebno je ukratko prikazati i obilježja dinamičkog okružja.

2.1.2. Planiranje puta u dinamičkom okružju

Općenito govoreći, dinamičko okružje određuju oceanološki i meteorološki uvjeti, pojavnost i gustoća pomorskog prometa ili čak vjerojatnost nastupa rijetkih i izvanrednih događaja na brodu. Neke oceanološke i meteorološke uvjete moguće je djelomično predvidjeti sukladno njihovim obilježjima. Pojavnost se može temeljiti na klimatološkim podatcima, najčešće iz pomorskih publikacija, dok se predviđanje neposrednih uvjeta pretpostavlja na temelju rezultata prognostičkih modela, opažanja odnosno njihove interpretacije na brodu i drugih mjernih točaka dostupnih u stvarnome vremenu ili sa manjim kašnjenjem za određeno područje. Također, dinamika uključuje i periodičke pojave poput morskih mijena čija se pojavnost može predvidjeti s visokom pouzdanošću i koje mogu značajno utjecati na mogućnost plovidbe u određenim područjima gdje je njihov utjecaj izražen. Dinamika se odnosi i na pomorski promet. Iako ne možemo predvidjeti kolika će biti gustoća prometa u danome trenutku prilikom planiranja putovanja, možemo odrediti područje u kojem je potrebno ploviti s povećanim oprezom ili primjerice prilagoditi brzinu kretanja.

Razmatrajući dinamičke uvjete u kontekstu planiranja puta, zahtjevnost planiranja raste jer je potrebno modelirati utjecaj dinamičkih sila ili razmjerno brzo izračunati rješenje za izbjegavanje drugih dinamičkih objekata kao što su brodovi, plovni ili plutajući objekti. U tu svrhu potrebno je koristiti algoritme koji omogućavaju razmjerno brzo ponovno planiranje (engl. *replanning*) ili inkrementalno planiranje koje omogućava da se djelomično ponovno izračuna put na npr. prethodno određenom grafu. Neki od za tu svrhu korištenih algoritama predstavljaju izvedenice klasičnih algoritma poput D* i D* Lite koji se temelje na A*.[53]

[53] Ferguson, D., Likhachev, M., Stentz, A., 2005. A guide to heuristic-based path planning, in: Proceedings of the International Workshop on Planning under Uncertainty for Autonomous Systems, International Conference on Automated Planning and Scheduling (ICAPS). pp. 1–10.

Sukladno prikazanome, razmatranje dinamičkog okružja i prepreka zahtijeva drugačije pristupe i odnosi se na niz elemenata koji izlaze iz okvira predviđenog istraživanja, pa se nadalje neće razmatrati.

2.1.3. Kriteriji i ciljevi pri planiranju puta i putovanja u statičkom okružju

Govoreći o planiranju puta i putovanja u statičkome okružju, nekoliko je ciljeva i kriterija koji se razmatraju ako izuzmemo promjenjive odnosno dinamičke uvjete. Idealno, određeni put bi trebao, sukladno ograničenjima, biti najkraći mogući, s najmanjim mogućim brojem međutočaka i minimalnom potrošnjom energije za ostvarivanje putovanja. Općenito, uz prethodno navedene kriterije ekonomičnosti i plovidbene uspješnosti, temeljni je kriterij sigurnost koji se ostvaruje postupanjem u skladu sa zadanim ograničenjima broda i područja u kojem se nalazi. Ovaj kriterij se zadovoljava postavljanjem pripadajućih graničnih vertikalnih vrijednosti u odnosu na gaz broda i horizontalne sigurne udaljenosti od prepreka. Valja napomenuti da početne vrijednosti jesu statičke, no imaju i dinamičku komponentu načelno povezanu s brzinom broda, ograničenjima plovnoga puta ili utjecajem meteoroloških i oceanoloških uvjeta. Početne statičke vrijednosti se mijenjaju i odražavaju kroz dodatni zagažaj, nagib broda pri okretu pri različitim kutovima zakretanja, brzinama broda ili povećanju promjera kružnice okretanja u plitkoj vodi. Iako je riječ o dinamičkim vrijednostima njih valja uzeti u obzir pri planiranju, čime se osigurava ostvarivost osnovnog statičkog rješenja, odnosno razumna margina sigurnosti u odnosu na postavljena statička ograničenja. U tu svrhu se računaju vrijednosti sigurne izobate i dubine, te sigurna udaljenost od prepreka ili granična vrijednosti bočnoga odstupanja.

U okviru planiranja putovanja upravo se često razmatra učinkovitost te se optimiziraju i najčešće minimiziraju odabrane ciljne vrijednosti (najmanja udaljenost tj. prevaljeni put, potrošnja goriva, trajanje putovanja, učestalost promjena kursa). Nerijetko se u okviru evaluacije razmatranih kriterija pretpostavlja da je kriterij sigurnosti prethodno zadovoljen ili se detaljno ne razmatra. Kada se razmatra, kriterij sigurnosti se izražava u odnosu na mogućnost nasukanja ili udara broda uzrokovanih statičkih prepreka. Ponekad se izražava kroz pojam sigurne udaljenosti koja se može odnositi na udaljenosti koje se mjere u odnosu na brod ili plovni objekt i služiti kao jedna od vrijednosti kojom će kvantificirati rizik ili stvarati sigurnosnu zonu na sličan način kao i u pristupima iz robotike. Detaljnija razrada sigurne

udaljenosti u kontekstu planiranja putovanja bit će prikazana u jednom od sljedećih potpoglavlja.[54]

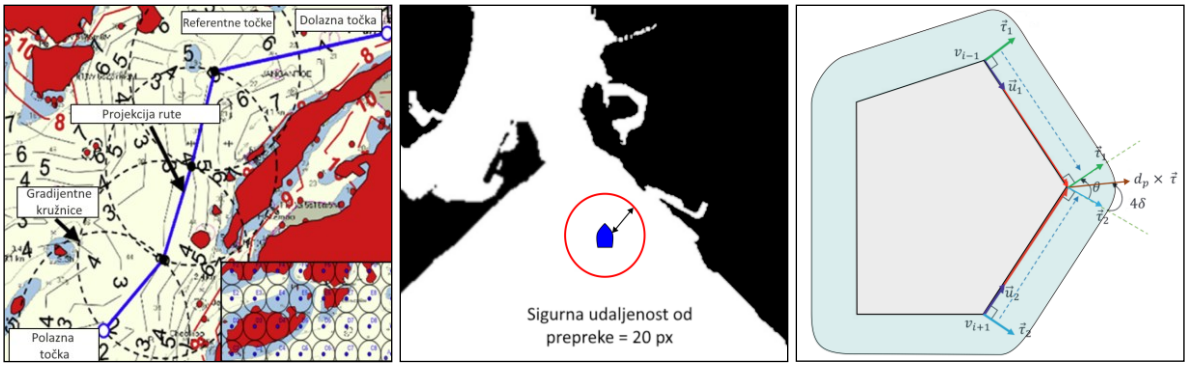
Jedan od kriterija sigurnosti odnosi se na mogućnost i vjerojatnost nasukanja koja se određuje na temelju niza modela koji između ostaloga razmatraju statičke elemente poput širine kanala ili plovnoga puta. Načelno mogu se podijeliti na analitičke i statističke. Analitički modeli, poput izvornih modela Fujiija i MacDuffa, odnosno istraživača koji su ih daljnje razvijali, ne uzimaju u obzir razdiobu pomorskog prometa. Statistički modeli, proizašli iz Pedersenova modela, uzimaju distribuciju prometa.[55] Valja napomenuti da se u ovim modelima razmatra pojam nasukanja koji se u engleskom jeziku opisuje s dva pojma, od kojih *grounding* opisuje slučaj kada se broda nasuče na hrid ili greben u plovnome putu, dok je *stranding* slučaj kada se brod nasuče na obalu.[56] Uz navedene modele, razvijen je i niz drugih modela nasukanja tijekom proteklih desetljeća,[57] međutim i dalje je određivanje rizika nasukanja pri planiranju putovanja na brodu subjektivan proces procjene, bez obzira na dostupne modele.[58] Upravo propusti u planiranju ili tijekom izvršenja putovanja mogu se smatrati glavnim uzrokom nasukanja, dok se sekundarni uzrok može pripisati neažuriranim kartama[59] i pouzdanosti njihovih podataka, bilo papirnatih ili elektroničkih.[60] Sukladno prikazanome, potrebno je navesti neke od primjera kojim se razmatraju kvantificirani načini udaljavanja od opasnosti, odnosno statičkih prepreka.

Nekoliko je mogućih načina kako se prema statičkim preprekama, ograničenjima broda i kriteriju sigurnosti može razdijeliti navigacijsko područje. Općenito se područje može podijeliti na plovidbeno i neplovidbeno, ovisno o plovidbenim ograničenjima. Nadalje se plovidbeno područje u ENC-u, koristeći faktor sigurnosti, može kvantificirati i geometrijski razdijeliti prema gustoći i koheziji prepreka, primjerice sukladno intervalima učestalosti određivanja

---

[54] Vidjeti potpoglavlje 2.5.1.
[55] Mazaheri, A., Ylitalo, J., 2010. Comments on Geometrical Modelling of Ship Grounding. https://doi.org/10.13140/2.1.3359.3284
[56] Ibid.
[57] Galić, S., Lušić, Z., Mladenović, S., Gudelj, A., 2022. A Chronological Overview of Scientific Research on Ship Grounding Frequency Estimation Models. Journal of Marine Science and Engineering 10, 207. https://doi.org/10.3390/jmse10020207
[58] Lušić, Z., Kos, S., 2013. Ranking of sailing routes according to the potential number of groundings. Transport 28, 295–301. https://doi.org/10.3846/16484142.2013.831374
[59] Mohović, Djani, Mohović, R., Rudan, I., 2013. Simulation of ship movement after steering system failure to determine the worst-case scenario of grounding. Promet-Traffic&Transportation 25, 457–456. https://doi.org/10.7307/ptt.v25i5.1194
[60] Kristić, M., Žuškin, S., Brčić, D., Car, M., 2021. Overreliance on ECDIS technology: A challenge for safe navigation. TransNav : International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation Vol. 15 No, 277–287. https://doi.org/10.12716/1001.15.02.02

položaja, preporukama ili neposrednim razmatranjem brzine broda i obilježja područja.[61] Na temelju tih i ostalih obilježja broda i okružja mogu se stvoriti konture rizika kojima se ruta prilagođava ovisno postavljenim polumjerima, kao što možemo vidjeti na Slici 6. (lijevo).[62] Prikazana ruta odnosi se na konvencionalni brod. U kontekstu ostalih plovnih objekata za koje se planira put, poput plovila bez posade (engl. *Unmanned Surface Vehicle*, USV) može se koristiti sigurna udaljenost koja se pri planiranju određuje na pojednostavljenom prikazu. U prikazanome primjeru, umjesto ENC-a, koristi se binarna mapa, koja se može vidjeti na Slici 6. (sredina), stvorena na temelju satelitske slike odabranog područja. Vrijednost sigurne udaljenosti, prikazane kružnicom, određuje se u pikselima kao osnovnim jedinicama.[63] Konačno, vrijednost sigurne udaljenosti prilagođene obilježjima broda, odnosno kružnice okreta može se dodati na prepreku, kao sigurnosna zona, primjerice prema peterokutnom poligonu kao što je prikazano na Slici 6. (desno).



Slika 6. Prikaz različitih pristupa određivanja sigurnosne udaljenosti od statičkih prepreka: ruta s gradijentnim kružnicama rizika i konturama rizika[62] (lijevo), sigurnosna udaljenost u pikselima[63] (sredina) i sigurnosna zona[28] (desno). Prilagodio autor na temelju izvornika

Kao što je prikazano, sigurnosni kriteriji definiraju se u odnosu na brod i okružje kojim se kreće. Na papirnatim kartama, navigator vizualno provjerava jesu li postavljeni uvjeti zadovoljeni tijekom pripreme, dok u ECDIS sustavu postoje automatizirane funkcije za provjeru opasnosti unutar ograničenja sigurne bočne udaljenosti (engl. *Cross Track Distance,* XTD), sigurne izobate (engl. *safety contour*, SC) ili zadanih područja poput sidrišta, područja koje valja

[61] Jeong, M.G. i dr., 2019. op. cit., str. 74.
[62] Ibid., str. 75.
[63] Singh, Y., Sharma, S., Sutton, R., Hatton, D., Khan, A., 2018. A constrained A* approach towards optimal path planning for an unmanned surface vehicle in a maritime environment containing dynamic obstacles and ocean currents. Ocean Engineering 169, 187–201. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.09.016

izbjegavati, područja u kojem treba ploviti s povećanim oprezom i sl.[64] Iako su funkcije provjere automatizirane, navigator mora provjeriti sve elemente rute. Sigurnosni kriteriji tijekom provjere rute mogu biti zadovoljeni ili ne, dok će se tijekom faze izvršenja javiti upozorenje ili alarm približavanja opasnosti, ovisno o podešenim postavkama. Nakon zadovoljenja kriterija sigurnosti, potrebno je razmotriti kako se evaluiraju ostali kriteriji planiranja puta. U evaluaciji funkcije cilja planiranja puta često korišteni kriteriji evaluacije puta odnose se na duljinu puta, vremena potrebnog za izvršenje putovanja, izglađenosti puta, jednostavnosti izvedbe (engl. *tractability*), potrošnje energije i preciznosti. Od navedenih, u kontekstu planiranja puta, najčešće se evaluiraju duljina puta (60 %) i izglađenost (30 %).[65] Izglađenost puta, odnosno krivulje izražava se u pojmovima geometrijske (G^0, G^1, G^2, G^i) i parametarske neprekidnosti (C^0, C^1, C^2, C^i), odnosno kontinuiteta. Parametarska neprekidnost odnosi se na brzinu i orijentaciju parametra na razmatranome putu, dok se geometrijska neprekidnost ne odnosi na brzinu. Duljina puta se najčešće odnosi na najkraći odnosno minimalni put, jer će načelno biti potrebno najmanje vremena za prijeći put ili će se potrošiti najmanje energije, međutim to ne mora uvijek biti slučaj, primjerice u području stalne struje. Preciznost puta odnosi se na to prolazi li put primjerice svim planiranim međutočkama ili samo nekima od njih, što je naročito važno kod izbjegavanja prepreka. Konačno, jednostavnost izvedbe razmatra se u kontekstu cjelokupnog izgleda puta odnosno oblika primjerice s velikim brojem međutočaka i cik/cak kretanjem. Uz navedeno, u kontekstu izvedivosti razmatra se što se događa s putom ukoliko se ukloni npr. jedna međutočka.[66]

2.2. Pravni i formalni okvir planiranja putovanja

Razmatrajući pravni i formalni okvir, nekoliko je osnovnih izvora koji se odnose na planiranje putovanja. Uz njih, koristi se niz publikacija i drugih korisnih izvora. Također, u okviru sustava upravljanja sigurnosti nalaze se kontrolne liste (engl. c*hecklist*) i prilagođene upute za planiranje putovanja koje u većoj ili manjoj mjeri odražavaju posebnosti pojedinih brodova ili čak skupina brodova sličnih obilježja.

---

[64] Wärtsilä, 2021. Multifunctional Display. Navi- Sailor 4000 ECDIS. Additional Functions Version 3.02.350. str. 323.
[65] Vagale, A., Bye, R.T., Oucheikh, R., Osen, O.L., Fossen, T.I., 2021. Path planning and collision avoidance for autonomous surface vehicles II: a comparative study of algorithms. Journal of Marine Science and Technology (Japan) 26, 1307–1323. https://doi.org/10.1007/S00773-020-00790-X/TABLES/5
[66] Lekkas, A., Fossen, T., 2013. Line-of-Sight Guidance for Path Following of Marine Vehicles.

2.2.1. Propisi, odluke i smjernice

Planiranje putovanja opisano je u nekoliko službenih izvora iz kojih proizlaze odrednice planiranja putovanja. U tekstu Međunarodne konvencije o zaštiti ljudskih života na moru (engl. *International Convention for the Safety of Life at Sea, SOLAS*), u poglavlju V, u pravilu 34 koje se odnosi na sigurnost plovidbe i izbjegavanje opasnih situacija navodi se obveza zapovjednika da osigura izradu plana putovanja korištenjem odgovarajućih karata i publikacija, uz primjenu službenih smjernica i preporuka. Planiranjem se u planu putovanja mora utvrditi ruta pri čijoj izradi će se uzeti u obzir sustavi usmjeravanja plovidbe i dovoljan prostor oko broda za sigurnu plovidbu tijekom cijeloga putovanja. Također, moraju se predvidjeti sve poznate navigacijske opasnosti, vremenske prilike i mjere zaštite morskog okoliša. Nastavno, u pravilu 34-1 izričito se navodi pravo zapovjednika na neovisno odlučivanje (engl. *Master's discretion*).[67] U navedenom pravilu upućuje se na rezoluciju A.893(21), odnosno na nacrt smjernica za planiranje putovanja.[68] U smjernicama se navode ciljevi planiranja putovanja i četiri osnovne faze planiranja: prikupljanje i procjena, planiranje, izvršenje i nadzor putovanja te osnovni elementi planiranja u pojedinoj fazi. Općenito govoreći, u prvoj fazi prikupljaju se podatci o brodu i predstojećem putovanju, potrebne mjere za sigurnu plovidbu, navigacijske karte i publikacije, razmatraju se meteorološki i oceanografski podatci i obilježja, informacije o područjima povećanog prometa i ostali specifični podaci potrebni za izvršenje putovanja. U drugoj se fazi izrađuje detaljan plan putovanja koji između ostaloga uključuje podatke važne za sigurnu plovidbu poput brzine i područja gdje ju je potrebno promijeniti. Potrebno je odrediti pripadajuću sigurnu dubinu ispod kobilice i učestalost određivanja položaja. Također, moraju se ucrtati odnosno prikazati kursovi na navigacijskim kartama (elektroničkim ili papirnatim) s jasno naznačenim informacijama važnim za plovidbu. Treća faza odnosi se na izvršenje te započinje neposredno nakon isplovljenja. U ovoj se fazi ažurira procijenjeno vrijeme dolaska (engl. *Estimated Time of Arrival,* ETA), vremena dolazaka u područja u kojima se moraju uzeti u obzir elementi plime i oseke, meteoroloških uvjeta, doba dana, gustoće prometa i po potrebi pozivanja dodatnih članova posade radi održavanja sigurne plovidbe. Posljednja, četvrta faza, odnosi se na nadzor planiranog putovanja u kojem se dosljedno provode prethodno zadani elementi plana putovanja i po potrebi izmjenjuje plan sukladno promjenama, primjerice pri

[67] IMO (Ed.), 2020. SOLAS: Consolidated text of the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, Consolidated edition 2020, 7th ed. IMO International Maritime Organization, London.
[68] IMO, 1999. Resolution A.893(21) – Guidelines for Voyage Planning – (Adopted on 25 November 1999).

promjeni meteoroloških prilika ili primljenih navigacijskih obavijesti. Kao što je do sada prikazano, u SOLAS-u se navodi odgovornost, obveze i pravo zapovjednika, dok se u rezoluciji A.893(21) detaljnije razmatraju elementi planiranja. Uz navedeno potrebno je općenito razmotriti znanja i vještine koji se odnose na osobe koje će sudjelovati u planiranju putovanja.

Planiranje putovanja navodi se u tekstu konvencije Međunarodne konvencije o standardima izobrazbe, izdavanju svjedodžbi i držanju straže pomoraca (STCW, engl. *International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers*) u poglavlju II, odjeljcima A-II/1, A-II/2 i A-II/3. Odjeljak A-II/1 odnosi se na minimalne standarde sposobnosti časnika plovidbene straže na brodovima od 500 BT ili većim, odnosno na radnu razinu, dok se odjeljak A-II/2 odnosi na minimalne standarde sposobnosti zapovjednika i prvih časnika na brodovima od 500 BT ili većim, odnosno upravljačku razinu. Nastavno, odjeljak A-II/3 odnosi se na časnike i zapovjednike na brodovima manjim od 500 BT u priobalnoj plovidbi. U ovome odjeljku se za časnike navodi radna razina dok se za zapovjednika zahtijeva upravljačka razina. Na radnoj razini (II/1) navedena je sposobnost planiranja i izvođenja prolaska te određivanja položaja (engl. *Plan and conduct a passage and determine position*). Između ostaloga, navode se potrebna znanja i vještine za određivanje položaja metodama astronomske, terestričke i elektroničke navigacije uz poznavanje sredstava, pogrešaka i ograničenja pojedine vrste navigacije. Također se navodi temeljito poznavanje obilježja i korištenje navigacijskih karata, publikacija i ostalih izvora informacija. Nadalje, upravljačka navigacijska razina II/2 podrazumijeva sposobnosti na razini II/1 uz prošireno i detaljnije poznavanje prethodno općenito navedenih znanja i vještina. Sposobnosti su proširene na planiranje putovanja i navigaciju (engl. *Plan a voyage and conduct navigation*) dok se određivanje položaja definira odvojeno (engl. *Determine position and the accuracy of resultant position fix by any means*) i odnosi na detaljno poznavanje odrednica jedne i druge sposobnosti za sve uvjete. Za priobalnu plovidbu (II/3) navodi se operativna razina navigacije te sposobnosti planiranja i izvedbe obalnog prolaska prilagođenim znanjima i vještina u skladu s obilježjima plovidbe u priobalnom i ograničenom području. Planiranje putovanja spominje se u odjeljku A-VIII/2, koji se odnosi na držanje straže, točnije u drugome dijelu koji se tiče planiranja putovanja, podijeljenom na četiri cjeline. Prva cjelina odnosi se na opće zahtjeve planiranja. Navodi se obveza planiranja putovanja koja uključuje prikupljanje svih potrebnih informacija o putovanju, ucrtavanje i provjeru svih kursova prije početka putovanja. Također se navodi dužnost upravitelja stroja da sa zapovjednikom odredi dostatnu količinu goriva, zaliha i ostalog potrebnog za izvršenje putovanja. U drugoj cjelini koja se odnosi na planiranje prije početka

putovanja, navodi se obveza posjedovanja i korištenja prikladnih, ažuriranih karata i ostalih publikacija kao izvora informacija o statičkim navigacijskim ograničenjima i opasnostima. Treća cjelina odnosi se na obvezu verifikacije rute, provjeru svih kursova te stalan prikaz na odgovarajućim kartama. U posljednjoj cjelini koja se odnosi na odstupanja od planirane rute, primjerice pri promjeni odredišne luke ili zbog drugih razloga, navodi se obveza prethodnog planiranja izmjene prije same promjene. Prema prikazanome, minimalni standardi navedeni u STCW-u određuju očekivana znanja i vještine odnosno postavljaju uvjete sigurnog planiranja putovanja prema zadanim elementima. Uz formulirane opće uvjete i standarde planiranja preostaje razmotriti razradu procesa planiranja.

Uz definirana obilježja, zahtijevana stručna znanja i vještine, sigurnost i učinkovitost pri pripremi i izvođenju počiva na uspješnoj razradi, organizaciji i upravljanju radnim procesima. Segment upravljanja u pomorstvu, koji se u prošlosti pokazao kao neodgovarajuće zastupljen, unaprijeđen je i formaliziran obveznim odredbama SOLAS poglavlja IX, odnosno stupanjem na snagu Međunarodnog pravilnika o upravljanju sigurnošću (engl. *International Safety Management Code,* ISM). U ISM-u se navodi obveznost primjene u svrhu sigurnog upravljanja brodom, smanjenja mogućih štetnih posljedica na okoliš, ali i imovine. Navodi se obveza preuzimanja odgovornosti vlasnika, upravitelja ili zakupca broda odnosno *tvrtke* i postupanja po pravilniku. Pravilnik je pisan općenito, na način da je primjenjiv prema osobitostima različitih brodova i tvrtki. Uz funkcionalne zahtjeve sustava upravljanja navodi se obveza uspostavljanja sustava upravljanja kvalitetom i sigurnosti (engl. *Safety Management System,* SMS). Sukladno općoj formulaciji pravilnika, planiranje putovanja ne navodi se izričito već se kao ciljevi navode sigurnost na moru, zaštita ljudskih života, okoliša i imovine. Nastavno, jedan od ciljeva sustava upravljanja je osiguravanje sigurnih postupaka i radne okoline.[69] Implementacija postupaka planiranja putovanja u okviru sustava upravljanja kvalitetom i sigurnošću može se razlikovati u opsegu i razini detalja kod pojedine tvrtke, no osnovni elementi planiranja moraju biti obuhvaćeni i omogućiti pripremu i provedbu postupaka u svrhu sigurne plovidbe. Kako se usklađenost SMS-a s odrednicama ISM-a nadzire, revidira i certificira unatoč mogućim razlikama u opsegu i razini detalja, standardi ne smiju biti niži od minimalnih.

---

[69] IMO (Ed.), 2018. ISM code: International Safety Management Code with guidelines for its implementation, 2018 edition, IMO publication. IMO, London.

Do sada prikazano i opisano temelji se na odgovornosti osoba uključenih u proces planiranja, prvenstveno zapovjednika. Međutim, tehnološki razvoj i dinamika promjena uvjetuju razmatranja propisa i metodologija koje će odgovarati izazovima primjene novih tehnologija, ali i promjene odgovornosti, ne samo pri planiranju putovanja. Ususret tome, velika je aktivnost pomorskih dionika u domeni primjene tehnologija i stvaranja regulatornih okvira koji će obuhvatiti različite razine autonomije brodova. Iako postoji različito stupnjevanje razina autonomije, IMO ih navodi četiri.[70] Prvi stupanj je s posadom na brodu i djelomično automatiziranim procesima. Drugi se stupanj odnosi na upravljanje i nadzor s udaljene lokacije i posadom na brodu koja po potrebi može preuzeti nadzor i upravljanje. Na trećemu stupnju brod je daljinski upravljan, nadziran i bez posade na brodu. Na četvrtome stupnju brod je u potpunosti autonoman. Povezano sa SOLAS poglavljem V i razinama autonomije, za prvi i drugi stupanj zahtijeva se da odgovornost preuzima zapovjednik, uvjetno rečeno slično kao i na klasičnome brodu. Pri trećemu stupnju odgovornost se mora prilagoditi, dok se za četvrti stupanj autonomije, ona ne predviđa. Bitno je navesti da se također navodi da će u dužem razdoblju[71] većina brodovlja biti konvencionalna. Kako nije moguće sveobuhvatno razmotriti problematiku autonomnih brodova (engl. *Maritime Autonomous Surface Ships*, MASS), odnosno autonomnih plovnih objekata[72] i njihovih detaljnih pojmovnih razgraničenja,[73] prikazat će se elementi koji u određenoj mjeri koreliraju s postavljenim ciljevima istraživanja i svrhom konvencionalnog određivanja rute te planiranja putovanja.

Na 105. sjednici IMO odbora za sigurnost (engl. *Maritime Safety Committee,* MSC) donesene su smjernice za razvoj MASS pravilnika čije je stupanje na snagu predviđeno za 1. siječanj 2028.[74] Sukladno važnosti navedene teme, IMO države članice su se uključile u domeni unaprjeđenja zakonodavstva i tehničkih zahtjeva autonomnih brodova prijedlozima izmjena i prikazom istraživanja. Primjerice, u izvještaju predstavnika Ujedinjenog Kraljevstva koji je priložen za 106 sjednicu, pod točkom 5. navodi se uvođenje pojmova autonomnog broda,

[70] IMO, 2021, MSC.1/Circ.1638: Outcome of the regulatory Scoping Exercise for the use of Maritime Autonomous Surface Ships (MASS).
[71] Ibid., str. 32.
[72] Pomorski zakonik (Narodne novine 181/04., 76/07., 146/08., 61/11., 56/13., 26/15. i 17/2019.).
[73] Pajković, M., 2021. Iz antologije tehnologijskog prava: autonomni brod i drugi napredni objekti u novom pomorskom zakoniku – de lege ponderanda. Zbornik radova Pravnog fakulteta u Splitu 58, 875–906.
[74] IMO, 2022. Report of the Maritime Safety Committee on its 105th session, MSC 105/20/Add.2.

zapovjednika autonomnog broda, udaljenog operatera i udaljenog operativnog centra.[75] Pod istom točkom, predstavnici Japana prikazali su nekoliko demonstracijskih projekata primjene tehnologije korištene za autonomne brodove. U dodatku izvješća, u dijelu nacrta za MASS pravilnik, navodi se funkcionalni zahtjev planiranja i izvedbe putovanja i njegovo unošenje u autonomni navigacijski sustav (engl. *Autonomous Navigation System,* ANS), sustav koji se temelji na integriranom navigacijskom sustavu (engl. *Integrated Navigational System,* INS) čiji su elementi između ostalog ARPA radar, ECDIS i ostali uređaji. Navodi se da se pri izradi plana putovanja moraju odrediti sve navigacijske opasnosti, koristiti ažurne karte, publikacije te izvršiti sve potrebne provjere sustava. Također, u dijelu o sučelju između čovjeka i stroja (engl. *Human Machine Interface*, HMI) navodi se da prikaz podataka mora biti takav da doprinosi sigurnosti plovidbe.[76]

Prema opisanome, možemo zaključiti da će dugoročno elementi planiranja putovanja biti i dalje postavljeni sukladno zahtjevima i poimanju ljudi uz uključivanje obilježja naprednih tehnoloških zahtjeva, ovisno o razini autonomije. Veliki izazov bit će prilagoditi obilježja planiranja i izvedbe putovanja u sve raznovrsnijem navigacijskom okružju. To se posebno odnosi na osnovne razine u kojoj će čovjek postavljati ograničenja i donositi odluke, ali i tehnološki naprednije razine u kojoj će tehnologija biti u funkciji podrške odlučivanju ili potpune autonomije plovnih objekata.

2.2.2. Priručnici i publikacije

Prema općim zahtjevima planiranja putovanja uz posjedovanje ažurnih karata, zahtijevaju se i pripadajuće priručnici i publikacije što je vidljivo u SOLAS poglavlju V, pravilu 27. Kako slijedi u tekstu, prvo će se vrlo kratko prikazati opći izvori podataka bitni za planiranje putovanja, a zatim nekoliko publikacija koje općenito razrađuju planiranje putovanja ili njegove značajne elemente. Ovaj pregled ne može biti sveobuhvatan, jer bi za adekvatan prikaz svake publikacije bilo nužno posvetiti značajan prostor.

---

[75] IMO, 2022. Development of a goal-based instrument for Maritime Autonomous Surface Ships (MASS), Draft provisions of navigational tasks/functions for the International Code of Safety for MASS Submitted by United Kingdom (Pre-session public release: No. MSC 106/INF.6). Maritime Safety Committee on its 106th session Agenda item 5, London.

[76] IMO, 2022. Development of a goal-based instrument for Maritime Autonomous Surface Ships (MASS), Results of demonstration tests of fully autonomous ship navigation on "MEGURI 2040" Submitted by Japan (Pre-session public release: No. MSC 106/INF.4), Maritime Safety Committee 106th session Agenda item 5.

U rezoluciji A.893(21), u dijelu koji se tiče pripreme i prikupljanja podataka, navodi se korištenje ažurnih peljara, popisa svjetala i popisa radijskih signala. Kao dodatni izvori informacija navedene su upute za plovidbu u navigacijski zahtjevnim područjima, tablice i atlasi morskih mijena odnosno ostali izvori sa klimatološkim, hidrografskim i oceanografskim podatcima. Također, za sveobuhvatno planiranje potrebno je razmotriti mogućnosti korištenja klimatoloških ruta koje se danas primjenjuju kao dodatci postojećih integriranih sustava ili samostalnih aplikacija. Važno je razmotriti i očekivani pomorski promet u pojedinom području, sustave javljanja s brodova, mjere postupanja u svrhu zaštite okoliša, te bitne podatke o lukama i terminalima.

Dodatno pojašnjenje i navođenje publikacija koje zadovoljavaju uvjete SOLAS V/19.2.1.4 može se pronaći u smjernicama Agencije za pomorstvo i obalnu stražu Ujedinjenog Kraljevstva (engl. *United Kingdom Maritime and Coastguard Agency,* MCA) gdje se u Prilogu C poziva na SOLAS V pravila 19, 21 i 27 koja se tiču karata i publikacija. Također se navodi da publikacije mogu biti i u elektroničkom obliku.[77] Uz prethodno navedene i opisane publikacije navodi se i Međunarodni signalni kodeks (engl. *International Code of Signals*, ICS)[78] te IAMSAR Međunarodni priručnik za zračno i pomorsko traganje i spašavanje (engl. IAMSAR Manual Vol III).[79] Dodatno se navode i službene obavijesti za trgovačku mornaricu, smjernice i informacije (engl. *Merchant Shipping Notices, Marine Guidance Notes and Marine Information Notes*). Konačno, radi usklađivanja sa zahtjevima radiokomunikacijskih propisa (engl. *Radio Regulations, RR*) Međunarodne telekomunikacijske unije (engl. *International Telecommunications Union,* ITU), odnosni brodovi moraju posjedovati publikacije s popisima obalnih i brodskih radijskih stanica, stanica posebne namjene te priručnik za korištenje pomorskih pokretnih i satelitskih radio komunikacijskih usluga.[80]

U međunarodnoj plovidbi najčešće se koriste publikacije Hidrografskog ureda Ujedinjenog Kraljevstva (engl. *United Kingdom Hydrographic Office,* UKHO). Također, koriste se publikacije nacionalnih hidrografskih ureda, ali i ostalih izdavača. Potrebno je naglasiti da se navedene publikacije mogu pronaći u tiskanom izdanju ili sve češće u elektroničkom obliku

---

[77] Maritime and Coastguard Agency (MCA), 2020. Marine Guidance Note MGN 610 (M+F), SOLAS Chapter V - Guidance on the Merchant Shipping (Safety of Navigation) Regulations 2020.
[78] International code of signals, 2005 edition, 5th ed. 2021. International Maritime Organization, London.
[79] IMO, International Civil Aviation Organization (Eds.), International Aeronautical and Maritime Search and Rescue Manual: IAMSAR manual. Volume III: Mobile facilities, 12th edition, 2022, IMO Publication. International Maritime Organization, London.
[80] MCA, 2020. Marine Guidance Note MGN 610 (M+F), op. cit., str. 33.

bilo kao e-knjiga ili objedinjene kao jedinstvena usluga s naprednim mogućnostima pretraživanja, prikaza i ispisa.

Kao temeljni dodatni izvor informacija o plovidbenim područjima koriste se peljari u kojima se mogu pronaći detaljne informacije o navigacijskim područjima, preporučenim rutama, propisima, uputama o prilasku lukama i ostali važni navigacijski, meteorološki ili oceanografski podaci. Ovisno o izdavaču, peljari mogu obuhvaćati područja matične države izdavača, susjednih država ili čak cijeloga svijeta, kao što je slučaj s UKHO izdanjima peljara (engl. *Admiralty Sailing Directions,* ASD*)* koji trenutno broji 76 naslova. Za dopunu peljarima još se koriste publikacije u kojima se prikazuju najprometniji i ostalih plovidbeni pravci[81] (engl. *Ocean Passages for the World)* dostupni u dva dijela[82] i daljinari u kojima su navedene udaljenosti između pojedinih luka ili područja. U svrhu određivanje sigurnosne dubine ili ostalih značajnih podataka koji su povezani s gazom broda i sigurnosnih vrijednosti koje iz njega proizlaze, koriste se tablice morskih mijena. Dio podataka o pomorskim svjetlima moguće je pronaći na navigacijskim kartama i peljarima, dok se u popisima svjetala navode detaljne informacije o svjetionicima te ostalim pomorskim i lučkim svjetlima. U svrhu držanja pomorske radio službe, primitaka navigacijski važnih obavijesti i informacija, pozivanja peljara, službi nadzora pomorskog prometa ili komunikacije u pogibelji, koriste se publikacije u kojima su informacije objedinjene u jedno izdanje ili više izdanja razdijeljenih prema funkciji ili službi. Da bi se olakšalo snalaženje i tumačenje pojmova i podataka osnovnih izvora informacija, dostupna su dodatna izdanja i izvori kojima se ih pobliže opisuje i razrađuje. Tako se detaljniji opis važnih navigacijskih informacija o načelima izmjera, navigacijskim kartama, točnosti i pouzdanosti podataka na kartama i položaja uz pregled najvažnijih publikacija može se pronaći u *Priručniku za pomorce* (engl. *Mariner's Handbook)* UKHO-a koja ima svoju primjenu i pri planiranju putovanja.[83] Vrijedi podsjetiti kako je jedan od uvjeta sigurnosti plovidbe ažurnost karata i publikacija koja se održava redovitim ispravljanjem putem oglasa za pomorce u tiskanome ili danas uglavnom elektroničkom obliku. Konačno, potrebno je napomenuti da je sve veći broj dodatnih navigacijski važnih informacija dostupan na mrežnim stranicama državnih, organizacijskih ili upravljačkih tijela koje nadziru ili upravljaju pomorskim

---

[81] Ocean Passages for the World. Volume 1: Atlantic Ocean Including Caribbean Sea and Mediterranean Sea, Second edition. ed. 2021. United Kingdom Hydrographic Office, Taunton.
[82] Ocean Passages for the World. Volume 2: Indian and Pacific Oceans Including Red Sea, Persian Gulf and South East Asia, Second edition. ed. 2021. United Kingdom Hydrographic Office, Taunton.
[83] The Mariner's Handbook, 12th edition. ed. 2020, NP (100). United Kingdom Hydrographic Office, Taunton, Somerset.

prolazima, kanalima ili lukama te dopunjuju temeljne informacije koje se koriste pri planiranju putovanja. Nakon ovog kratkog pregleda izvora i informacija iz kojih se prikupljaju podaci na temelju kojih će se planirati putovanje, mogu se prikazati primjeri izdanja kojima se opisuje i razrađuje sama metodologija planiranja i izvedbe putovanja.

Općenito, postoji niz publikacija koje se neposredno ili posredno odnose na planiranje putovanja. Uz opće značajke planiranja, neke su posvećene isključivo planiranju putovanja korištenjem ECDIS-a, ili se odrednice odnose i na papirnate karte. Kako nije moguće prikazati sve navedene publikacije, niti ih neposredno vrednovati prema primjeni u praksi, odabrane su publikacije dvaju izdavača kojima se može razmotriti sadržaj i planiranje putovanja.

Prva publikacija je *ICS Bridge Procedures Guide*[84] koju izdaje Međunarodna udruga brodara *(*engl. *International Chamber of Shipping,* ICS*),* međunarodna neprofitna organizacija koja okuplja nacionalne udruge brodara i 80 % svjetskog trgovačkog brodovlja.[85] Sadržaj obuhvaća držanje straže na zapovjedničkom mostu, dužnosti časnika u straži, korištenje opreme na zapovjedničkome mostu, peljarenje te tri priloga posvećena dinamičkom pozicioniranju, ECDIS-u i prikazu kontrolnih lista. Jedno poglavlje posvećeno je planiranju putovanja. Uz službene izvore informacija koji su prethodno opisani, navodi se da bi tvrtka odnosno brodar u svome SMS-u trebao uključiti upute o planiranju putovanja i standardizirani plan putovanja. Za fazu planiranja putovanja čimbenici su grupirani u nekoliko skupina. Prvi, navigacijski, odnose se na korištenje dostupnih informacija poput karata i publikacija, ograničenja vezanih uz putovanje (gaz, dodatni zagažaj i sl.). Sljedeći su operativni čimbenici. Oni uključuju obilježja luke i pristana, zaliha, manevriranja, tereta i komercijalnih zahtjeva. Zatim slijede okolišni čimbenici koji se odnose na izmjenu balasta, plovidbu kroz posebno osjetljiva morska područja (engl. *Particularly Sensitive Sea Area*, PSSA), područja nadzora emisija plinova (engl. *Emission Control Area*, ECA). Posljednji opisani čimbenici odnose se na postupanje u izvanrednim situacijama uključivši pripremu za takve situacije, pripremu izvješća i izmjene plana putovanja. Nakon toga navode se službene publikacije i dodatne informacije uz detaljnu razradu elemenata po pojedinoj fazi. Također su opisani postupci dovršavanja plana putovanja, učinkovitog prenošenja informacija koje se nalaze u planu putovanja i pojedinih elemenata na

[84] Bridge procedures guide, 6th edition, ed. 2022. International Chamber of Shipping, Marisec Publications, London.
[85] About ICS | International Chamber of Shipping [mrežna stranica], 2022. archive.ph. https://archive.ph/ez3WH (20.9.2022.).

koje se mora obratiti pozornost tijekom plovidbe poput izmjena plana i rute, primitka navigacijski važnih obavijesti, plovidbe u područjima usmjeravanja ili nadzora plovidbe.

Druga prikazana publikacija je *Passage Planning Guidelines,* privatnog izdavača *Witherby,* koja uz planiranje putovanja uključuje i preporuke o sigurnom držanju straže i timskom radu na zapovjedničkom mostu.[86] Planiranje putovanja se razmatra za papirnate karte i korištenjem ECDIS sustava. Proces planiranja prikazan je po pojedinim fazama, uz detaljnu razradu načina prikupljanja i korištenja podataka. Detaljno se razrađuje planiranje pri peljaranju, prilaženju luci, obalnoj i oceanskoj navigaciji. Posebno su razrađeni procesi specifični za ECDIS. Konačno, u prilogu se nalaze primjeri kontrolnih lista, plana putovanja, načela određivanja sigurne dubine i izobate te konačno korisnih publikacija pri planiranju. Uz navedenu osnovnu publikaciju postoje i posebna izdanja koja detaljno razrađuju planiranje u navigacijski zahtjevnim područjima poput Engleskog kanala, Malajskog i Singapurskog prolaza, područja Velikog koraljnog grebena, Torresovog prolaza i Baltičkog mora.

Od nacionalnih izdanja, elementi planiranja putovanja razmatrani su stručno u okviru tematike terestričke i elektroničke navigacije[87] odnosno plovidbe u navigacijski zahtjevnim područjima.[88] Procesi i elementi planiranja putovanja obrađeni su u kontekstu pomorske plovidbe[89] odnosno pomorskog putovanja.[90] Od znanstvenih publikacija u kontekstu planiranja putovanja razmatran je utjecaj sigurnosti i ekonomičnosti na optimizaciju pomorskog putovanja[91] i algoritamski pristup planiranju pomorske plovidbe.[92]

Kako je prikazano, planiranje putovanja obuhvaćeno je kroz službene izvore, stručne publikacije te razrađene procese planiranja. Podatci su i dalje, bez obzira na promjenu medija u kojem se nalaze, pripremljeni primarno za ljudsku interpretaciju i donošenje odluka. Kako je prikazano u prethodnim istraživanjima, istraživački interesi su vrlo intenzivni u različitim područjima koje se tiču stvaranja putova, trajektorija ili razmatranja cjelokupnog kretanja

---

[86] Passage planning guidelines, seventh edition, published 2021. ed. 2021.Witherbys, Livingston.
[87] Kos, S., Zorović, D., Vranić, D., 2010. Terestrička i elektronička navigacija, 1. izdanje. Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka.
[88] Benković, F., Piškorec M., Lako Lj., Čepelak K., Stajić D., 1986. Terestrička i elektronska navigacija. Hidrografski institut ratne mornarice, Split.
[89] Zec, D., Planiranje pomorske plovidbe. 1997. Pomorski fakultet. Rijeka.
[90] Jašić, D., Belamarić, G., Trošić, Ž. 2011. Planiranje pomorskog putovanja. Sveučilište u Zadru, Zadar
[91] Lušić, Z., 2010. Prilog istraživanju utjecaja sigurnosti i ekonomičnosti na optimizaciju pomorskog putovanja. Doktorski rad. Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet u Rijeci.
[92] Mohović, Đ., 2003. Algoritamski pristup planiranju pomorske plovidbe. Magistarski rad. Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet u Rijeci.

plovila. Međutim, izvori informacija koji se koriste u planiranju putovanja nisu za sada u jednakoj mjeri zastupljeni u razmatranju trenutnih ili budućih tehnologija. U tome pogledu i obzirom na svoj format odnosno strukturu, ENC-ovi ipak pružaju određene mogućnosti prilagodbe i tehnološke primjene u odnosu na ostale izvore poput primjerice peljara. Informacije o peljaru zahtjevnije je strukturirati odnosno pretvoriti u oblik prikladan za korištenje u algoritmu ili kao izvor za metode automatskog planiranja puta poput dubokog učenja (engl. *deep learning*)[93] koje bi se mogle primijeniti kao temelj za prilagodbu rute na način kako to čini čovjek. Navedeni izazov nije samo obilježje planiranja putovanja, već bilo kojeg procesa koji za cilj ima približavanje razini razmatranja i odlučivanja bliskom ljudskom. No, istraživačka nastojanja kojima bi se peljari i drugi slični izvori mogli primijeniti postoje. U tu svrhu su primjerice korištene metode zasnovane na obradi prirodnog jezika (engl. *natural language processing,* NLP)[94] kojima se pokušava razumjeti tekst odnosno dopuniti prikupljeno znanje iz osnovnih pomorskih publikacija.[95] Takva nastojanja će se zasigurno intenzivirati u bližoj budućnosti ususret sve većoj interakciji čovjeka i različitih stupnjeva automatizirane podrške, čime postaje sve važnije korištenje i uobličavanje informacija prikladnih za ljude i sustave odnosno procese koji ih mogu koristiti.

2.3. Obilježja i ograničenja elektroničke navigacijske karte

Papirnate karte su donedavno bile jedan od temeljnih izvora neposrednih navigacijskih informacija i medija na kojem su se ucrtavali kursovi i rute. Međutim, razvojem i implementacijom ENC-ova i implementacijom ECDIS sustava, došlo je do promjene u metodama planiranja i izvedbe putovanja. Promjena je potaknula najveće svjetske proizvođače navigacijskih karata da donesu odluku o postupnom prestanku izdavanja papirnatih karata[96] i prelasku na isključivo ENC-ove.[97] Prema tome, važno je razmotriti osnovne značajke ENC-a,

---

[93] Guo, S., Zhang, X., Zheng, Y., Du, Y., 2020. An autonomous path planning model for unmanned ships based on deep reinforcement learning. Sensors (Switzerland) 20, 426. https://doi.org/10.3390/s20020426

[94] Sauvage-Vincent, J., Haralambous, Y., Puentes, J., 2015. Sentence ordering in electronic navigational chart companion text generation. ENLG 2015 - Proceedings of the 15th European Workshop on Natural Language Generation 66–70. https://doi.org/10.18653/v1/w15-4710

[95] Porathe, T., 2021. Human-automation interaction for autonomous ships: decision support for remote operators. TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation Vol. 15 No. 3. https://doi.org/10.12716/1001.15.03.03

[96] Withdrawing production of paper charts | ADMIRALTY [mrežna stranica], 2023. https://web.archive.org/web/20230204210333/https://www.admiralty.co.uk/sunsetting-paper-charts (2.4.2023).

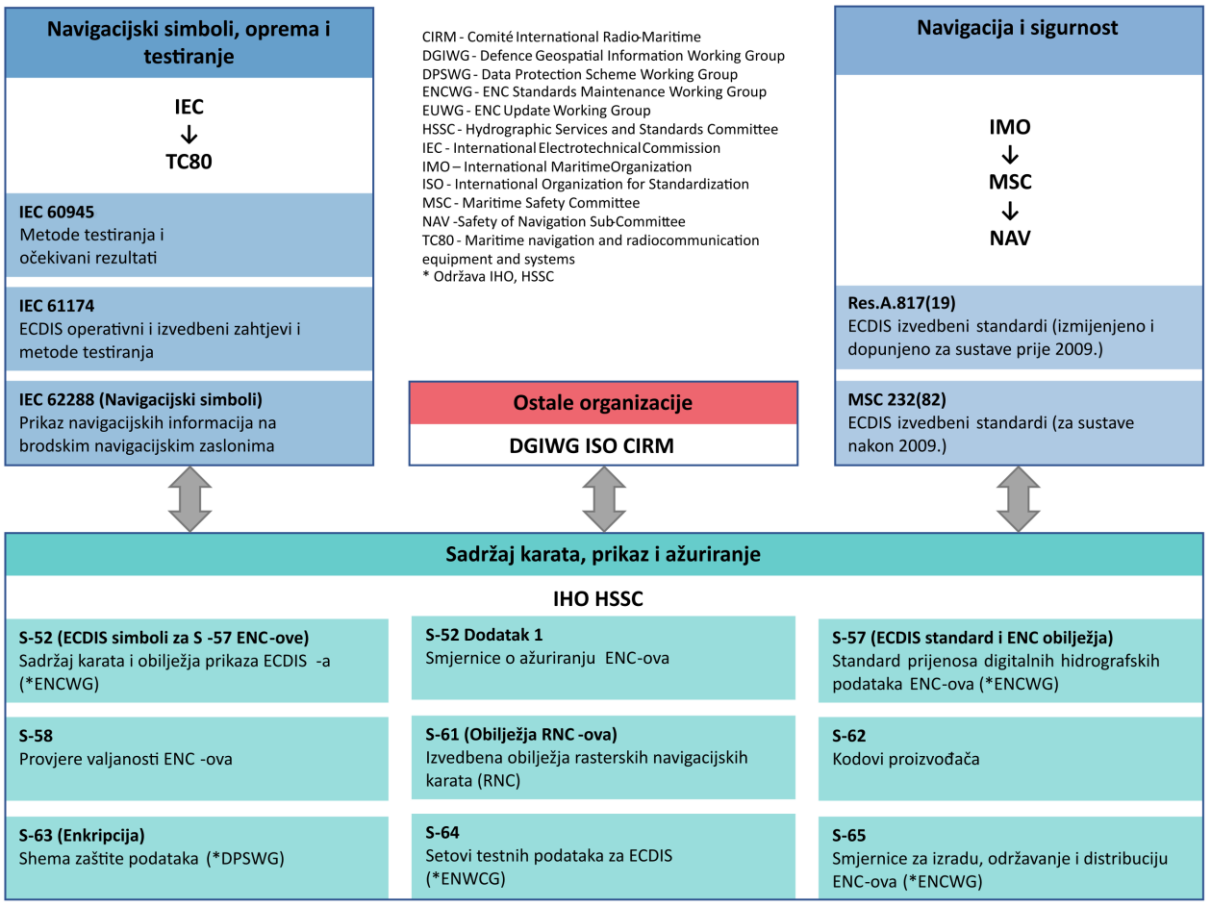
[97] U.S. Office of Coast Survey [mrežna stranica], 2023. Farewell to Traditional Nautical Charts. https://web.archive.org/web/20221222220001/https://nauticalcharts.noaa.gov/charts/farewell-to-traditional-nautical-charts.html (2.2.2023.).

bilo u svrhu korištenja u sadašnjim tehnologijama, poput ECDIS-a ili kao temelja u budućim sustavima podrške odlučivanju ili još naprednijih sustava za stvaranje planova i izvršenja putovanja. Unatoč tome, krajnji korisnici i dalje u određenoj mjeri smatraju da papirnate karte imaju određene prednosti u odnosu na ENC-ove ili smatraju da bi ih trebalo zadržati na brodovima.[98] Međutim, kako se istraživanje ne odnosi na brodove koji koriste papirnate karte, u nastavku ih se neće razmatrati. Također će se izuzeti i prikaz standarda koji se odnose na rasterske navigacijske karte (engl. *Raster Navigational Chart,* RNC) i sigurnost odnosno zaštitu podataka karte. Sukladno tome, bit će prikazani osnovni standardi koji se odnose na obilježja ENC-ova, njihovu strukturu, generalizaciju, pouzdanost podataka te osnovna obilježja ECDIS sustava.

2.3.1. Standardi i specifikacije

Nekoliko je međunarodnih organizacija uključeno u izradu standarda koji se odnose na ENC-ove i ECDIS-a. Primarno valja istaknuti IMO, zatim Međunarodnu hidrografsku organizaciju (engl. *International Hydrographic Organization*, IHO), te Međunarodnu elektrotehničku komisiju (engl. *International Electrotechnical commission*, IEC) i niz drugih organizacija koje neposredno stvaraju ili daju svoj doprinos standardima poveznih s elementima ENC-ova ili ECDIS-a. Njihovu povezanost i doprinos možemo vidjeti na Slici 7.

[98] 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 8, 842. https://doi.org/10.3390/jmse8110842



Slika 7. Organizacije uključene u izradu i donošenje ENC i ECDIS standarda. Priredio i prilagodio autor na temelju izvornika iz IHO S-52 standarda

Vektorsku elektroničku navigacijsku kartu, odnosno ENC, možemo definirati kao bazu podataka standardiziranu po sadržaju, strukturi i formatu namijenjenu za korištenje u ECDIS-u. ENC odobrava hidrografski ured, na temelju ovlaštenja države i usklađenosti sa standardima. Da bi bila istovrijedna službenoj papirnatoj pomorskoj karti, odnosno uvjetima SOLAS-a, mora se pretvoriti u sustavnu vektorsku elektroničku navigacijsku kartu (engl. *System Electronic Navigational Chart,* SENC*)* odnosno interni format proizvođača ECDIS-a. Pretvorbu može učiniti sam proizvođač ili se ona vrši neposredno u ECDIS sustavu. Dobiveni SENC uz podatke pretvorene iz ENC-a može sadržavati i dodatne korisničke podatke, odnosno slojeve, ali i podatke iz drugih izvora.[99]

IHO uz standarde priprema i niz publikacija koje za cilj imaju pojašnjavanje primjene povezanih vlastitih i standarda ostalih međunarodnih tijela povezanih sa ENC-ovima i ECDIS-

[99] IMO, 2006. Resolution MSC.232(82) Adoption of the revised performance standards for Electronic Chart Display and Information Systems (ECDIS).

om. Također, u publikacijama koje će se prikazati, nastoji se i krajnjim korisnicima pojasniti pojedine elemente ENC-ova ili ECDIS-a u svrhu smanjenja mogućnosti pogrešaka bilo u korištenju ili u interpretaciji, kao što se može pronaći u publikaciji *Information on IHO Standards related to ENC and ECDIS*.[100] Sukladno prethodnome izvoru, navode se IHO standardi povezani s ECDIS-om koji su prikazani u Tablici 1.

Tablica 1. IHO standardi koji se odnose na ENC i ECDIS

Standard	Engleski naslov	Hrvatski naslov
S-57	Transfer Standard for Digital Hydrographic Data (including the Product Specification for Electronic Navigational Chart (ENC)	Standard prijenosa digitalnih hidrografskih podataka (uključivši izvedbena obilježja/specifikacija proizvoda) elektroničkih navigacijskih karata
S-52	Chart Content and Display Aspects of ECDIS	Sadržaj karata i obilježja prikaza ECDIS-a
S-52	Annex A – ECDIS Presentation Library (PresLib)	Prilog A – ECDIS prezentacijska biblioteka (PresLib)
S-64	Test Data Sets for ECDIS	Testni skupovi podataka ECDIS-a
S-58	ENC Validation Checks	Provjere valjanosti ENC-ova
S-61	Product Specification for Raster Navigational Chart (RNC)	Izvedbena obilježja rasterskih navigacijskih karata (RNC)
S-62	Data Producer Codes	Kodovi proizvođača
S-63	Data Protection Scheme	Shema zaštite podataka
S-65	ENCs: Production, Maintenance and Distribution Guidance	Smjernice za izradu, održavanje i distribuciju ENC-ova
S-11 A	Guidance for the Preparation and Maintenance of International (INT) Chart and ENC Schemes	Smjernice za pripremu, održavanje međunarodnih (INT) karata i ENC shema

U prethodno spomenutoj publikaciji tako se spominju povezani propisi koji se mogu pronaći u SOLAS-u, odnosno pravilo V/18 kojim se navodi da ECDIS zadovoljava prethodno navedeno pravilo 19.2.1.4. o posjedovanju odgovarajućih karata. Navodi se i pravilo V/19 u dijelu koji govori o brodskoj navigacijskoj opremi, kartama, publikacijama i mogućnostima korištenja ECDIS-a, odnosno odgovarajućeg posjedovanja sigurnosnih kopija, bilo papirnatih ili elektroničkih karata. Spominje se i pravilo V/27 koje se između ostalog odnosi na posjedovanje prikladnih i ažurnih karata za izvedbu putovanja. Konačno, spomenuta je i okružnica MSC.1/Circ.1503[101] koja se odnosi na smjernice odnosno postupke dobre prakse pri korištenju ECDIS-a. U okružnici se navodi obveznost i prijelazni period za uvođenje ECDIS-a i zahtijeva se da su brodski ECDIS-i izvedeni i zadovoljavaju izvedbene standarde prema IMO rezolucijama A.817(19) ili MSC.232(82)), ovisno o datumu ugradnje. U okružnici se dodatno pojašnjavaju pojmovi vezani uz održavanje ECDIS-a, opažene anomalije kod korištenja

[100] IHO, 2020. Information on IHO Standards Related to ENC and ECDIS.
[101] IMO, 2015. MSC.1/Circ.1503 ECDIS – Guidance for Good Practice. 06.2017. Rev. 1.

ECDIS-a i razlike u korištenju ECDIS-a kada se koriste elektroničke ili rasterske karte. Navedena je obveznost načela obuke u korištenju ECDIS-a te prijelaza s navigacije temeljene na papirnatim kartama na navigaciju korištenjem ECDIS-a.

Uz suradnju sa IMO-om, IHO, između ostalog surađuje i s IEC-om koji izdaje nekoliko standarda koji se između ostalog odnose na ECDIS i ENC-ove. Standarde priprema IEC-ov tehnički komitet 80 (engl. IEC *Technical committee 80,* IEC TC80) zadužen za navigacijsku opremu i radiokomunikacijske sustave. Prvi standard, IEC 60945:2002/COR1:2008 u važećem 4. izdanju (2008.), odnosi se na opće zahtjeve za opremu, načine i rezultate testiranja uključivši navigacijsku opremu na zapovjedničkom mostu. Drugi standard je IEC 61174:2015 RLV u važećem 4. izdanju (2015.) koji se odnosi na operativne i izvedbene standarde ECDIS-a, metode i zahtijevane rezultate testiranja. Treći standard je IEC 62288:2021 CMV u važećem 3. izdanju (2021.), koji se odnosi na prikaz i obilježja pomorskih navigacijskih zaslona, metode i zahtijevane rezultate testiranja. Također, potrebno je spomenuti i IEC PAS 61174-1 (*Publicly available specification pre-standard*) koji se odnosi na format razmjena planirane rute (engl. *Route plan exchange format*, RTZ) u kojem su navedena obilježja RTZ formata. Ovi standardi nisu javno dostupni, već je dostupan pretpregled, za razliku od IMO rezolucija i okružnica i IHO standarda koji su javno dostupni u cijelosti.

U nastavku će detaljnije biti prikazani IHO S-52 i IHO S-57 kao najvažniji standardi koji se odnose na obilježja ENC-ova. IHO standard S-52[102] odnosi se na sadržaj ENC-ova i obilježja prikaza ECDIS-a. Posljednje službeno izdanje je 6.1(.1) iz listopada 2014. s pojašnjenjima iz lipnja 2015. Izdanje se sastoji od pet poglavlja i tri priloga.

Prvo, uvodno poglavlje odnosi se na ciljeve, koncept i ograničenja ECDIS-a, funkciju i korištenje S-52 standarda te strukturu obilježja. Također je prikazan i kratak povijesni pregled razvoja ECDIS-a.

U drugom poglavlju općenito se razmatra prikaz, operativne značajke i organizacija prikaza. Glavni cilj značajki je da prikaz bude jasan, nedvosmislen, jednostavan i pregledan. Navedeno se između ostalog može postići dobro dizajniranim simbolima te odabirom prikladnih boja i paleta prikaza u svim uvjetima plovidbe. Posebno se razmatra i navodi nadzor te izvedba putovanja i izazovi preglednosti ENC-a u uvjetima plovidbe te ograničenja veličine zaslona.

[102] IHO, 2015. S-52: Specifications for Chart Content and Display Aspects of ECDIS, Edition 6.1.

Također, razmatra se prikaz dodatnih podataka i informacija koji unosi korisnik i njihove usklađenosti sa prikazom ENC podataka.

U trećemu poglavlju navode se obilježja prikaza područja, linija, točaka i teksta. Iznesene su mogućnosti tradicionalnog prikaza objekata, ali i pojednostavljenog izraženijeg prikaza, primjerice plutača. U svrhu uočavanja i razgraničenja područja, postoji mogućnost prikaza granica područja ili cjelokupnog područja unutar granica. Prikaz u ECDIS-u je zahtjevan, obzirom na broj, veličinu, preklapanje i raznovrsnost područja koje se želi prikazati. Također, detaljno se razmatra veličina linija, simbola i teksta u svrhu održavanja čitljivosti i razumijevanja podataka tijekom korištenja. Kao novi simboli u ECDIS-u, navode se simboli koji se koriste u svrhu identifikacije opasnih dubina koji uključuju sigurnu izobatu, sigurnu dubinu, sjenčanje dubine i usamljene opasnosti. Sigurnu izobatu postavlja korisnik te je posebno izražena kao podebljana linija i područje s promjenom sjenčanja. Ukoliko vrijednost sigurne izobate korisnik nije promijenio, početna je vrijednost postavljena na 30 m. Treba napomenuti da ukoliko vrijednost sigurne izobate nije dostupna, označit i osjenčat će se područje prve sljedeće dostupne izobate. Sjenčanje područja dubina postavlja se u odnosu na vrijednosti sigurne izobate, izobatama plitke (engl. *shallow contour*) i duboke vode (engl. *deep contour*) te izobatu iznad hidrografske nule u području plavljenja (engl. *drying line).* Pojedinačne dubine (engl. *spot soundings*) vrijednosti manje od sigurne izobate bit će izraženije prikazane (crnom bojom) u odnosu na dubine veće od sigurne izobate. Konačno, usamljene opasnosti dubine jednake ili manje od sigurnosne izobate u sigurnom plovidbenom području (engl. *safe water*) označene su posebnim simbolom. Kako dostupnost izobata ne mora odgovarati postavljenoj sigurnoj izobati, u područjima koja će se prikazati kao opasnim za plovidbu (engl. *unsafe water*) moguće je simbol usamljene opasnosti uključiti ili isključiti. U nastavku se opisuju ostali novi i pojednostavljeni simboli i njihovo korištenje, poput usamljenih podvodnih opasnosti, prikaza i ograničenja mjerila karte i sl.

Četvrto poglavlje S-52 standarda odnosi se na obilježja boja te se detaljno opisuju zahtjevi prikaza pri različitim razinama osvjetljenja i u odnosu na smještaj ECDIS-a na zapovjedničkom mostu. Nadalje se opisuju značajke kalibracije, verifikacije prikaza te značajki i mogućnosti funkcija podešavanja osvjetljenja ili kontrasta. Konačno, navode se tablice boja za dan, noć i sumrak s kratkim opisima zahtjeva te odabira prikaza određenog prikaza i boje.

Peto poglavlje odnosi se na zahtjeve i obilježja zaslona. Navodi se minimalna veličina zaslona (270 × 270 mm) uz dodatne zahtjeve rezolucija i broja boja. Detaljno se razrađuju obilježja

prikaza i testiranja odnosno kalibracije boja. Konačno, dostupno je nekoliko tablica kojima se dodjeljuju i opisuju boje za pojedina područja ili funkcije.

Tri su priloga. Prvi je Prilog A (engl. *Annex A)* u kojem se nalazi opisana IHO prezentacijska biblioteka. Prilog je odvojeni dokument u kojem se mogu pronaći detalji o bojama, oblicima i simbolima s uputama i smjernicama koje se odnose na prikaz ENC-ova. Prilog A sastoji se od tri dijela. Prvi dio (engl. *Part I*) odnosi se na objekte karte i ima šest dodataka (engl. *Appendices A–F*) koji su odvojene datoteke. Prvi dodatak (A) sadrži vrijednosti triju tablica boja (engl. *colour tables*) dok prestali sadrže tablice simbola (engl. *lookup-up tables*). Drugi dio sadrži nekoliko navigacijskih objekata (engl. *Mariner´s Navigational Objects).* Treći dio odnosi se na dopunu prvog dijela u kojem se opisuju korišteni simboli. Prezentacijska biblioteka izdana je zajedno sa pripadajućom datotekom koja sadrži ENC simbole (engl. *ENC chart 1*). Objekti mogu biti prikazani u vektorskom obliku u ECDIS-u ili kao unosi u tiskanome odnosno elektroničkom zapisu.[103] Prilog B je u važećem izdanju izbrisan, a sadržavao je postupke kalibracije boja na zaslonu.[104] Prilog C odnosi se na postupke održavanja kalibracije zaslona. Nastavno u dopuni 1 (engl. *Appendix 1*) navedeni su postupci ažuriranja ENC-ova. Nakon prikaza IHO S-52 standarda potrebno je razmotriti obilježja IHO S-57 standarda.

IHO S-57 standard u važećem izdanju 3.1. iz studenog 2000. odnosi se na prijenos odnosno razmjenu digitalnih hidrografskih podataka.[105] Temelji se na ISO/IEC 8211 standardu.[106] Standard je zamrznut, prvobitno na najmanje dvije godine nakon izdavanja, a nakon toga na neodređeno. Iako nije zamišljen samo kao standard za kodiranje ENC-ova, načelno je korišten isključivo za tu svrhu. Da bi se razriješila ograničenja S-57, IHO je razvio S-100 univerzalni hidrografski model[107] koji će postupno zamijeniti S-57 s načelnim početkom implementacije pojedinih S-100 produkata od 2025.[108] Kako je S-57 zamrznut, promjene se objavljuju kao bilteni (engl. *Encoding bulletin*). U biltenima se objavljuju pojedinačne poteškoće o ENC-

---

[103] National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), National Geospatial-Intelligence Agency (NGA), 2019. U.S. Chart No. 1 Symbols, Abbreviations and Terms used on Paper and Electronic Navigational Charts.
[104] Lovrinčević, D., Kljajić, I., 2014. Overview of standards for electronic navigational charts. Naše more: znanstveni časopis za more i pomorstvo 61, 52–59.
[105] IHO, 2000. S-57 Transfer Standard for Digital Hydrographic Data (Edition 3.1.0, November 2000) - Main Document.
[106] ISO, 1994. ISO/IEC 8211:1994 Information technology — Specification for a data descriptive file for information interchange.
[107] IHO, 2022. S-100 Universal Hydrographic Data Model (edition 5.0.0).
[108] IHO S-100WG7, 2023. Roadmap for the S-100 Implementation Decade (2020 – 2030), Annex 2. S-100 Timelines Version 2.0 Dated: 12 July 2022.

ovima ili ECDIS-u, uz prijedloge korektivnih postupaka i moguće posljedice ukoliko se ne primjene predloženi postupci. Iako neobvezujuće, proizvođačima se preporuča pridržavanje prijedloga u biltenima u svrhu ujednačene izrade ENC-ova. Sukladno navedenome, IHO je 2010. odlučio izmijeniti S-57 dodatak B.1, prilog A kako bi se moglo unijeti nove i revidirane ENC smjernice kodiranja iz biltena. IHO S-57 standard sa svim dodatcima i prilozima prikazani su u Tablici 2.

Tablica 2. IHO S-57 standard s dodacima

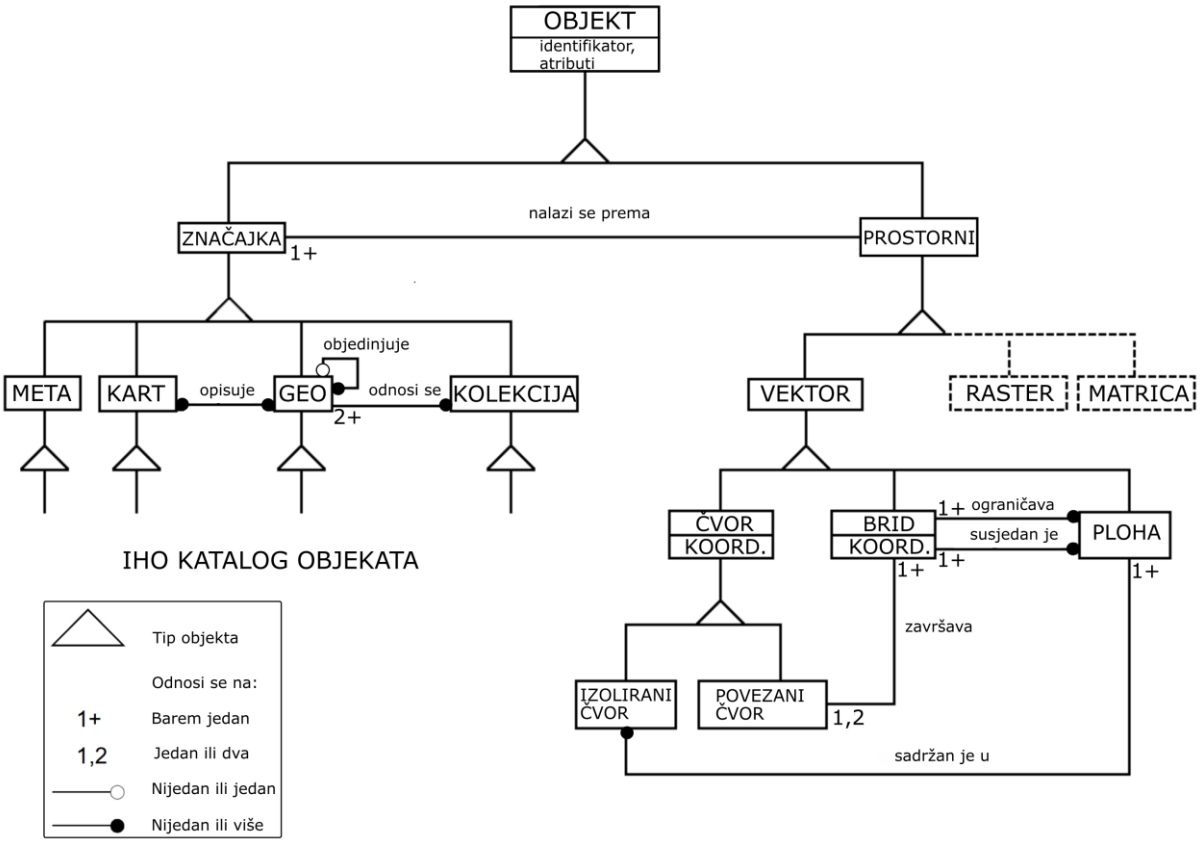
Dodatak	Engleski naslov	Hrvatski naslov
	IHO Transfer Standard for Digital Hydrographic Data (Edition 3.1.0, November 2000) - Main Document)	IHO standard prijenosa digitalnih hidrografskih podataka (izdanje 3.1.0, listopad 2000.)
A, poglavlje 1	Object Catalogue	Katalog objekata
A, poglavlje 2	Attribute Catalogue	Katalog atributa
A, prilog A	Data Producer Codes*	Kodovi/kratice proizvođača*
A, prilog B	Attributes/Object Classes Cross Reference	Unakrsne reference klasa atributa i objekata
B.1	ENC Product Specification	Proizvodna specifikacija ENC-a
B.1, prilog A	Use of the Object Catalogue for ENC – UOC (ed. 4.2.0 April 2020)	Korištenje kataloga objekata ENC-ova, izdanje 4.2.0, travanj 2020.
B.1, prilog B	Examples of CRC Coding	Primjeri CRC kodiranja
B.1, prilog C	Recommended ENC Validation Checks**	Preporučene ENC provjere validacije**
B.1, prilog D	INT1 to S-57 Cross Reference	Unakrsna reference između INT1 i S-57
B.2	IHO Object Catalogue Data Dictionary Product Specification	Proizvodna specifikacija IHO rječnika kataloga objekata
	Cumulative Maintenance Document No 8 (March 2002) – List of Clarifications, Corrections and Extensions for S-57 publications	Kumulativni dokument održavanja br. 8 (ožujak 2002.) – Popis pojašnjenja, korekcija i proširenja za S-57 publikacije
	S-57 Supplement No 3 to Edition 3.1 (June 2014 – incorporates the former Supplement No 2)	S-57 dodatak 3 izdanju 3.1 (lipanj 2014 – uključuje prethodni dodatak 2.

* Izbrisano i zamijenjeno sa S-62
** Izbrisano i zamijenjeno sa S-58

Kako zbog iznimne opsežnosti nije moguće detaljno opisati sve elemente S-57 standarda, dodataka i priloga, prikazat će se opća obilježja značajnih elemenata, započevši s glavnim dokumentom S-57 standarda, zatim dodatcima i prilozima.

Prvi dio IHO S-57 standarda odnosi se na uvod i opća obilježja, popis referenci i popis korištenih pojmova. Naveden je i kratak opis ISO/IEC 8211 standarda koji omogućava prijenos podataka, odnosno korištenje podataka neovisno o proizvođaču. U referencama se navode ostali ISO i IEC standardi na kojima se temelji S-57. U dijelu s definicijama navode se pojmovi koji se koriste u standardu. Konačno, navodi se uvjet usklađenosti sa standardom i načela održavanja i izmjene standarda.

Drugi dio odnosi se na teorijski model podataka. Kako se navodi u uvodnome opisu cilj je da model, iako pojednostavljeno, što je moguće vjernije prikazuje stvarnost. Prvenstveno se to odnosi na one entitete koji imaju hidrografsku važnost. Sukladno tome, model definira entitete iz stvarnosti u opisnim i prostornim obilježjima. Unutar modela definiraju se skupovi obilježja pojmovima objekata značajki (engl. *feature objects*) i prostornih objekata (engl. *spatial objects*) kako je prikazano na Slici 8.



Slika 8. Teorijski model podataka. Priredio autor prema izvorniku iz IHO S-57[105]

Nastavno, sam objekt se definira kao prepoznatljiv skup informacija koji može imati atribute i biti povezan s drugim objektima. Objekti značajki sadrže opisne atribute i ne sadrže informacije o obliku i položaju entiteta iz stvarnosti kojim se opisuju. Četiri su tipa objekata značajki: meta, kartografski, geo i kolekcija.

Svaki od tipova objekata imaju podtipove koji se nalaze u dodatku A, odnosno IHO katalogu objekata. Prostorni objekti također mogu imati opisne atribute, ali obavezno sadrže i podatke o obliku i položaju, odnosno geometriju. Tipovi prostornih objekata mogu biti vektorski, rasterski i u obliku matrice iako su samo vektorski definirani. Kako bi se dodatno pojednostavio prikaz, stvarnost se prikazuje dvodimenzionalno i time vektor može imati nijednu, jednu ili dvije

dimenzije koji se sukladno tome prikazuje kao čvor, brid ili ploha. Treća dimenzija prikazuje se kao atribut objekta. Navedeni prikazi mogu se povezivati i ovisno o načinu povezivanja mogu biti prikazati četiri razine topologije: kartografski špageti podaci (engl. *spaghetti data*), lanac-čvor, ravninski graf i puna topologija. Nastavno, rasterski i matrični model nisu definirani, dok se za prikaz navodi da nije dio ovog standarda i da je prikaz odvojen od pohranjenih informacija. Time se, kako se navodi, omogućava da se podatci koriste u raznovrsne svrhe bez mijenjanja strukture podataka.

Treći dio odnosi se na strukturu podataka korištenu pri implementaciji modela i opća pravila kodiranja. Da bi se prenijela stvarnost koristi se pristup razdvajanja u slojeve po slijedu: stvarnost, model, struktura i fizička razmjena. Načela pretvorbe stvarnosti i modeliranja su ukratko prikazana u prethodnom odjeljku i opisana su u drugome dijelu S-57 standarda. Sukladno tome, model se pretvara u tzv. imenovane konstrukte (engl. *named constructs*), odnosno polja i zapise. Dio te pretvorbe je i definiranje pravila te ograničenja za zapise i njihov sadržaj čime se kao rezultat dobiva struktura podataka. Kako nije moguće neposredno prenositi podatke iz jednog računalnog sustava u drugi, za prijenos se koristi enkapsulacija odnosno prethodno navedeni ISO/IEC 8211 standard. Time prostorni objekt postaje prostorni zapis. Vrijedi spomenuti i kvalitetu podataka, odnosno navode u S-57 standardu koji opisuju kvalitetu koja je jedan od metazapisa (engl. *meta records*). Kvaliteta podataka spada u metainformacije i obuhvaća izvore podataka, točnost i ažurnost. U nastavku se između ostalog opisuju obilježja ostalih metazapisa, topologije, koordinatnih sustava, pripadajućih mjernih jedinica, projekcija i načela provjere ispravnosti podataka tijekom prijenosa. Važan dio odnosi se na način kako se implementiraju zapisi obilježja koji su zapravo instanca klase objekata obilježja. Prethodne četiri kategorije klasa objekata su implementirane kao zapis obilježja koji se sastoji od sljedećih polja: identifikatora zapisa, identifikatora objekta, atributa, kontrole pokazivača (engl. *pointer control*) i pokazivača. Za svaku instancu objekata obilježja zahtijeva se jedan zapis obilježja, osim hidrografskih. U nastavku se detaljno opisuju osobitosti pojedinog polja i podpolja. Na isti način se razrađuju opisi i zapisi prostornih podataka koji uključuju vektorske zapise dok se rasterski zapis i matrice tek trebaju definirati. Dio koji slijedi opisuje način kodiranja između pojedinih zapisa. Navode se unakrsne reference i zapisi kolekcija obilježja. U preostalim poglavljima definira se struktura implementacije, obilježja formata podataka, ažuriranje te se prikazuju osnove ISO/IEC 8211, primjeri enkapsulacije i korištenje alternativnih znakova pri primjerice korištenju višejezičnih naziva. Kao što je prethodno navedeno Dodatak A odnosi se na IHO katalog objekata za kojeg se navodi da je shema podataka za S-57. Navodi se da je

objekt iz stvarnosti kodiran klasom objekata obilježja, atributom i vrijednosti atributa. Kao primjer klase objekta možemo prikazati plutaču s atributom boje i crvenom bojom kao vrijednosti atributa. Opće značajke IHO kataloga objekata opisane su u uvodu, u prvom poglavlju (*S-57 Appendix A Chapter 1 - Object Classes*)[109] kao opis klase objekata, dok su atributi opisani u odvojenome drugome poglavlju dodatka A (*S-57 Appendix A Chapter 2 - Attributes*).[110] Prikaz standardnog označavanja klase objekata možemo vidjeti u Tablici 3. kako slijedi.

Tablica 3. Zaglavlja, opisi i primjeri klasa objekata

Zaglavlje	Opis	Primjer
Klasa objekta	Ime klase objekta	Izobata (engl. *Depth contour*), GEO OBJECT
Kratica	Šesteroznamenkasti kod objekta	DEPCNT
Kod	Cjelobrojni kod korišten za kodiranje podataka	43
Podskup „Atribut_A“	Individualna obilježja atributa	VALDCO (engl. *value of depth contour*), …
Podskup „Atribut_B“	Informacije bitne za korištenje podataka (npr. prikaz)	INFORM (engl. *Information*), …
Podskup „Atribut_C“	Administrativne informacije i podatci koji ih opisuju	RECDAT (), …
Definicija	Ukoliko je moguće klasa objekata se definira i navodi izvor	„Linija koja povezuje točke jednake dubine …“
Reference		
INT 1	Referenca na broj obilježja papirnate karte INT -1* odnosno smjernice definiranja klasa objekata	II 15, 30, 31
M-4	Referenca na stavak u IHO publikaciji M-4**	404.2, 410, …
Napomene	Dodatna pojašnjenja i napomene. Povezane ali odvojene klase objekata posebno su navedene (Distinction)	Visine ispod hidrografske nule su kodirane negativnim vrijednostima.
	Distinction	Dubine, područje dubina

* International Chart Series INT 1 - Symbols, Abbreviations, Terms used on Charts
** Chart Specifications of the IHO (M-4)
… dostupni dodatni atributi koji nisu prikazani u tablici

Svaki atribut ima svoje ime, kraticu od šest znakova, cjelobrojni kod i ima jedan od šest mogućih tipova atributa koji se mogu vidjeti u tablici 4. Kao što je prikazano tipovi su različiti, mogu biti numerički i tekstualni te predefinirani ili u rasponu određenih vrijednosti.

[109] IHO, 2000. S-57 Appendix A IHO Object Catalogue (edition 3.1).
[110] IHO, 2000. S-57 Appendix A Chapter 2 - Attributes (edition 3.1).

Tablica 4. Zaglavlja, opisi i primjeri atributa

Zaglavlje	Opis	Primjer
Atribut	Ime atributa	Vrijednost dubine izobate (engl. *Value of depth contour*)
Kratica	Šesteroznamenkasti kod objekta	VALDCO
Kod	Cjelobrojni kod korišten za kodiranje podataka	174
Tipovi atributa		
Enumerirani (E)	Broj iz predefiniranog popisa vrijednosti atributa	*, BUISHP**
Popis (L)	Jedan ili više brojeva iz predefiniranog popisa vrijednosti atributa	*, CALSGN**
Broj sa pomičnim zarezom (F)	Definiran raspon, rezolucija, mjerne jedinice i format	*, DRVAL1 (engl. *Depth range value 1*), raspon dubina **
Cijeli broj (I)	Niz ASCII znakova u predefiniranom formatu	*, SCAMIN (engl. *Scale minimum*) **
Kodirani niz (A)	Neformatirani tekst	*, COMCHA (engl. *Communication channel*), Komunikacijski kanal **
Tekst slobodnog formata (S)	Brojčano-slovni niz znakova, npr. ime datoteke	*, INFORM (engl. *Information*), tekstualne informacije o objektu
Očekivani unos	Dodatna pojašnjenja o korištenju tipova atributa	*, CATSLC (engl. *Category of shoreline construction*), kategorija obalne konstrukcije: 1 lukobran, …) **
Definicije	Definicija atributa ili pojedine vrijednosti atributa	Dubina izobate
Reference		
INT 1	Referenca na broj obilježja papirnate karte INT -1*odnosno smjernice definiranja klasa objekata	II 30
M-4	Referenca na stavak u IHO publikaciji M-4	410, 411
Minimalna vrijednost	Najmanja vrijednost za cjelobrojne i atribute s pomičnim zarezom	*, 0°, ORIENT (engl. *Orientation*), Orijentacija
Maksimalna vrijednost	Najveća vrijednost za cjelobrojne i atribute s pomičnim zarezom	*, 360°, ORIENT (engl. *Orientation*), Orijentacija
Napomene	Dodatna pojašnjenja i napomene.	Izobate iznad hidrografske nule u području plavljenja su kodirane negativnim vrijednostima.
Indikacija	Konstrukcija niz za kodirane atribute tipa S	Mjerna jedinica: „*Definirano u DUNI podpolju…*“
Format	Preporučeni i obvezni format atributa	sxxxxx.x, s:
Primjer	Primjer kodiranoga atributa	Za izobate od 50 m

* Nije primjenjivo za prikazani VALDCO atribut
** Primjer navedenog tipa atributa
… Dostupni dodatni unosi koji nisu prikazani u tablici

Također, atributi su opisani te su priložene reference u IHO publikacijama pomoću kojih se mogu pronaći pripadajuće smjernice i definicije. U tablici se većina redaka odnosi na VALDCO atribut koji predstavlja vrijednost dubine izobate. Navedeni atribut je broj s pomičnim zarezom. Uz VALDCO u tablici su pokazani primjeri pojedinog tipa atributa koji su prikupljeni, označeni zvjezdicom (*) kao napomenom da se unos ne odnosi na VALDCO atribut. Primjer ostalih atributa možemo pokazati BUISHP atributom, koji je prikazan u tablici za enumerirani tip

atributa, a odnosi na oblik građevine (engl. *building shape*) koji ima devet identifikacijskih obilježja od kojih se šest još uvijek odnosi na BUISHP, dok su tri preostala oblika prenesena CATLMK atributu te opisuju oblik građevine. S tri točke (…) označava se da ostatak teksta, odnosno unosi, nisu prikazani. Kao što je prethodno prikazano u Tablici 2., kodovi proizvođača koji su se nekada nalazili u prilogu A, dodatka A sada se nalaze u publikaciji IHO S-62, dok prilog B (*S-57 Appendix A Annex B - Attributes/Object Classes Cross Reference*)[111] sadrži unakrsne reference atributa i klasa objekata u kojem se na standardizirani način navodi popis svih klasa objekata koji koriste određeni atribut. Tako za primjer možemo uzeti u obzir atribut VALDCO (kod 174) koji je prethodno prikazan. Atribut ima navedenu samo jednu klasu objekata odnosno objekt, a to je DEPCTN (kod 43).

U ENC proizvodnoj specifikaciji, odnosno dodatku B.1 razrađena su obilježja ENC-a.[112] Općenito se navode opće definicije, pojmovi, obilježja objekata i atributa, zahtjevi za podatke te opisi i razrada primjene podataka. Osnovi definirani pojmovi su ćelija (engl. *cell*) koja predstavlja geografsko područje koje sadrži ENC podatke, dok je sam ENC definiran kao posljednja verzija službenih podataka koji se nalaze na brodu za predstojeće putovanje. Nastavno, cilj same specifikacije je da hidrografski uredi proizvedu ujednačene ENC-ove koje će koristiti ECDIS proizvođači, a sve u skladu sa ECDIS izvedbenim standardima koje je postavio IMO. Tri su opće značajke ENC-ova. Prva je navigacijska primjena (engl. *navigational purpose,* NP), odnosno brojčani namjenski raspon (engl. *usage band*) koji predstavlja obuhvaćeno ENC područje i posredno određuje obilježja, razinu detalja i mjerilo koje je potrebno prikazati u određenom području. Za kategorizirani namjenski raspon, koristi se šest kodova (od 1 do 6), počevši od pregledne primjene (1), sve do neposrednog pristajanja (6).[113] Radi izbjegavanja dvosmislenosti i ponavljanja pojmova, valja napomenuti da će se u nastavku za navigacijsku primjenu i pripadajući raspon koristiti kratica NP. Druga značajka obuhvaća odrednice same ćelije. Svaka ćelija je zapravo individualna datoteka koju je moguće jedinstveno identificirati. Ograničena je veličinom od 5 MB i definirana pravokutno s dvije paralele i dva meridijana. Koordinate su kodirane u decimalnim stupnjevima u polju direktorija kataloga (CATD). Područje koje sadrži podatke označeno je meta objektom M_COVR s atributom CATCOV koji ima vrijednost 1 ako sadrži podatke, odnosno 2 ako ih ne sadrži. Ćelije

[111] IHO, 2000. S-57 Appendix A Annex B – Attributes/Object Classes Cross Reference (edition 3.1)
[112] IHO, 2000. S-57 Appendix B.1 – Product Specifications.
[113] Nyberg, J., Pe'eri, S., Catoire, S., Harmon, C., 2020. An overview of the NOAA ENC Re-Scheming Plan. International Hydrographic Review 7–20.

s istom navigacijskom primjenom mogu se preklapati ali podatci ne, već ih sadrži samo jedna ćelija. To je naznačeno i u atributu CATCOV koji može imati vrijednost 1 samo za jednu ćeliju, dok druga mora imati vrijednost 2. Također, ukoliko se objekti poput linija i točaka nalaze na granici između ćelija, moraju biti razdijeljeni između ćelija dok u slučaju ponavljanja objekata u više ćelija, njihova geometrija mora biti razdvojena, a atributi ponovljeni za svaku pojedinačnu ćeliju. Posljednje obilježje odnosi se na topologiju koja za ENC-ove mora biti izvedena kao lanac-čvor. Uz prethodno navedena obilježja potrebno je spomenuti da se za horizontalni datum izričito navodi korištenje WGS 84 horizontalnog geodetskog datuma. WGS 84 je geocentrični, desno orijentirani sustav čije je ishodište ujedno i središte WGS 84 elipsoida, referentnog za GPS sustav.[114]

Dodatak B.1, prilog A odnosi se na korištenje kataloga objekata ENC-a u važećem izdanju 4.3.0 iz listopada 2022.[115] U njemu se navode načela kodiranja i opisa geometrije odnosno značenja svakog objekta ENC-a. Koliko je moguće dodatak slijedi odrednice IHO S-4 publikacije koja se odnosi na propise koji određuju obilježja navigacijskih karata općenito, no koje su u većoj mjeri primjenjive i za ENC (IHO S-4 A.102.8). Načelno se u ovoj publikaciji opisuje kako se kodiraju bitne kartografske informacije ENC-a, određuje kvaliteta podataka, prikazuju vremenski promjenjivi podatci poput magnetske varijacije, morskih mijena i struje morskih mijena. Također razmatraju se topografska obilježja, dubine, opasnosti, obilježja dna, luka, usmjeravanja plovidbe, posebnih područja i konačno pomorske oznake.

2.3.2. Osnovne značajke S-100 standarda

Konačno, iako se u ovome istraživanju neće koristiti produkti S-100 standarda, valja ukratko spomenuti što su opća obilježja standarda i prednosti u odnosu na značajke trenutnih standarda, od kojih dio možemo vidjeti u Tablici -95.

---

[114] Frančula, N. i Lapaine M., 2008. Geodetsko-geoinformatički rječnik. Državna geodetska uprava, Zagreb.
[115] IHO, 2022. S-57 Appendix B.1: ENC Product Specification Annex A: Use of the Object Catalogue for ENC Edition 4.3.0.

Tablica 5. Popis specifikacija odabranih S-100 proizvoda objavljenih prema IHO Registru specifikacija proizvoda[116]

Oznaka	Naziv	Verzija	Nadležnost	Izmjena
S-100	Universal Hydrographic Data Model	5.0.0	IHO	2023-01-31
S-101	Electronic Navigational Chart	1.0.0	IHO	2023-02-24
S-102	Bathymetric Surface	2.1.0	IHO	2022-10-24
S-104	Water Level Information for Surface Navigation	1.0.0	IHO	2022-08-05
S-111	Surface Currents Product Specification	1.0.0	IHO	2023-03-13
S-121	Maritime Limits and Boundaries	1.0.0	IHO	2021-10-29
S-122	Marine Protected Areas	1.0.0	IHO	2021-05-06
S-123	Marine Radio Services	1.0.0	IHO	2021-05-06
S-127	Marine Traffic Management	1.0.0	IHO	2021-05-06
S-128	Catalogue of Nautical Products	1.0.0	IHO	2022-06-30
S-129	Under Keel Clearance Management Product Specification	1.0.0	IHO	2020-08-21
S-201	Aids to Navigation (AtoN) Information	1.0.0	IALA	2021-09-17
S-240	DGNSS Station Almanac	1.0.0	IALA AtoNs	2021-09-17
S-401	Inland ENC Product Specification	1.0.0	Inland ENC	2020-11-24
S-421	Route Plan	1.0.0	IEC	2021-07-02
S-98	Data Product Interoperability in S-100 Navigation Systems	1.0.0	IHO	2022-05-23

Iz ove skupine standarda, S-101[117] odnosi se na obilježja novih ENC-ova te uključuje katalog značajki i prikaza, složene atribute, bogatu geometriju i vrste informacija. Također, postoji mogućnost dodavanja slojeva naprednim i dinamičkim prikazom drugih S-100 proizvoda (engl. *products*) kao što su batimetrija visoke rezolucije ili dinamički okolišni podatci.[118] Kako bi se prevladala ograničenja S-57, S-100 je kompatibilan s međunarodnim geografskim informacijskim standardima ISO 19100 i pruža veću fleksibilnost kao što se može vidjeti u Tablici 6. Za ISO 19100 standarde o geografskim informacijama zadužen je ISO tehnički komitet 211 (engl. ISO/TC 211).

[116] IHO, 2023. IHO Geospatial Information Registry [mrežni dokument]. https://web.archive.org/web/20230323113801/https://registry.iho.int/productspec/list.do (23.3.2023.).
[117] IHO, 2018. ENC Product Specification (Edition 1.0.0, December 2018).
[118] Contarinis, S., Pallikaris, A., Nakos, B., 2020. The Value of Marine Spatial Open Data Infrastructures—Potentials of IHO S-100 Standard to Become the Universal Marine Data Model. Journal of Marine Science and Engineering 8, 564. https://doi.org/10.3390/jmse8080564

Tablica 6. Usporedba mogućnosti S-57 i S-100 standarda. Preuzeto i prilagođeno iz izvora[118]

Mogućnosti	S-57	S-100
Geoprostorni standardi	-	ISO 19100 standardi
Jezik konceptualne sheme	-	UML
Registri informacija	S-57 Dod. A, pog. 1. katalog objekata	IHO Geospatial Information Registry[119]
Opći model značajki (GFM)[120]	Složeni i jednostavni objekti, atributi	Značajke, kompleksni i jednostavni atributi
Kvaliteta metapodataka	Ne	S-100-Dio 4c
Katalog značajki	Ne	378 pomorskih značajki
Geografski koordinatni sustav	WGS 84	Višestruki
Primitivi prostorne sheme	Čvor, brid, ploha	Točka, skup točaka, krivulja, površina, pokrivenost
Slike i umreženi podatci	Djelomično podržano	Podržano
Prikaz	S-52	XML[121] i skriptiranje u Lua programskom jeziku
Slojevi prikaza	Nije definirano	28
Format kodiranja	ISO8211	ISO8211, GML[122], HDF5[123]
Specifikacija proizvoda	Ne	Temelji se na domeni
Način održavanja	S-65	S-99
Validacija podataka	S-58	S-98 Prilog B
Interoperabilnost	-	S-100 Dio 16 i S-98
Mrežna izmjena podataka	-	S-100 Dio 15
Zaštita podataka	S-63	S-100 Dio 13
3D podatci	Djelomično	Podržano
Podatci u vremenskoj dimenziji	-	Proširenje u razmatranju

ISO/TC 211 pripremio je do sada 89 standarda koji sveobuhvatno opisuju geografske elemente poput referentnih modela, testiranja, prostornih i vremenskih shema, prikaza i opisa raznovrsnih tipova podataka.[124] Navedeno olakšava distribuciju i korištenje podataka iz raznovrsnih izvora odnosno različitih formata. S-101 ima dinamička obilježja i katalog prikaza. Odnosi između značajki, atributa i ostalih elemenata definirani su unutar istog pojedinačnog kataloga značajki, koji je strojno čitljiv čime se pojednostavljuje ažuriranje.[125] Kao što se može opaziti S-100

[119] IHO Geospatial Information Registry (edition 3.1) [mrežna stranica], https://registry.iho.int/ (23.3.2023).
[120] General Feature Model (GFM)
[121] eXtensible Markup Language (XML) za definiranje, prijenos, provjeru i tumačenje podataka. Paninan, Željko. Informatički enciklopedijski rječnik. 2005.
[122] Ibid. Geography Markup Language (GML)
[123] Hierarchical Data Format version 5, prenosivi format za pohranu i organizaciju raznovrsnih tipova podataka. Izvor: HDF5: Introduction to HDF5 [mrežni dokument], 2023. https://web.archive.org/web/20230323095237/https://docs.hdfgroup.org/hdf5/develop/_intro_h_d_f5.html (3.3.2023.).
[124] ISO - ISO/TC 211 - Geographic information/Geomatics [mrežni dokument], https://web.archive.org/web/20230323105536/https://www.iso.org/committee/54904/x/catalogue/p/1/u/0/w/0/d/0 (23.3.2023.).
[125] Powell, J., 2011. The new electronic chart product specification S-101: An overview. TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation 5, 167–171.

standardi imaju značajniju fleksibilnost i mogućnosti za korištenje podataka u različitim domenama osim navigacijske. Također veće su mogućnosti korištenja različitih tipova podataka podržane s raznovrsnim mogućnosti i u navigacijskom aspektu.

2.3.3. Struktura elektroničke navigacijske karte

Opće značajke teorijskog podatkovnog modela i načela te opća pravila strukturiranja i kodiranja ENC-a predstavljena su u potpoglavlju 2.3.1. u prikazu S-57 standarda, dok se u nastavku prikazuje neposredna struktura ENC-a.

Skup za razmjenu podataka (engl. exchange set) sadrži dva tipa datoteka. To je isključivo jedna kataloška datoteka (engl. *catalogue file*) i jedna ili više datoteka skupova podataka (engl. *dataset files*) koja mora sadržavati barem jednu ćeliju. Skup za razmjenu podataka može sadržavati dodatne tekstualne i slikovne datoteke.[126] Strukturu datoteka unutar mape u kojoj se nalazi osnovna ćelija s ažuriranjima i tekstualnim datotekama s informacijama možemo vidjeti na Slici 9.

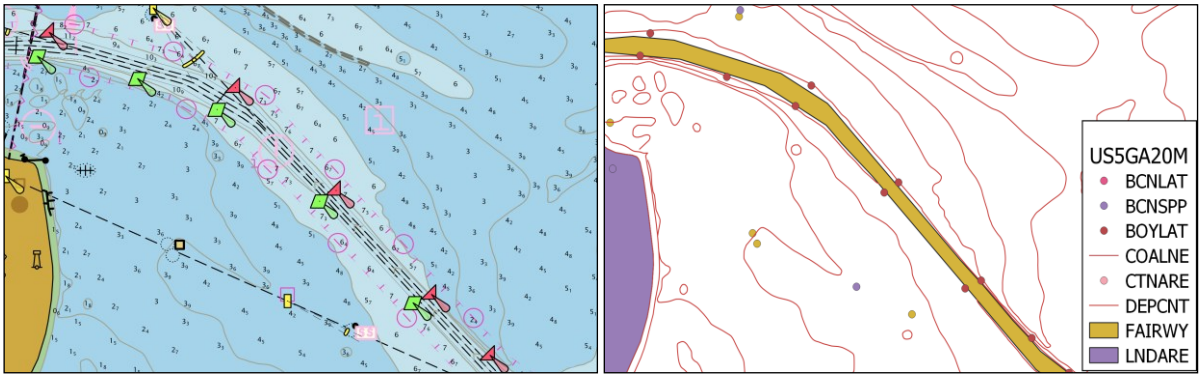
```
09.02.2023.  11:13    <DIR>          .
09.02.2023.  11:13    <DIR>          ..
02.02.2023.  09:21             5.505 US5GA20A.TXT
02.02.2023.  09:21               422 US5GA20B.TXT
02.02.2023.  09:21             1.000 US5GA20C.TXT
02.02.2023.  09:21               362 US5GA20D.TXT
02.02.2023.  09:21               393 US5GA20E.TXT
02.02.2023.  09:21             1.365 US5GA20F.TXT
02.02.2023.  09:21           816.871 US5GA20M.000
02.02.2023.  09:21             5.462 US5GA20M.001
02.02.2023.  09:21             4.515 US5GA20M.002
02.02.2023.  09:21             2.234 US5GA20M.003
               10 File(s)        838.129 bytes
```

Slika 9. Struktura mape u kojoj se nalaze datoteke skupova podataka za ENC US5GA20M

Sama ENC datoteka sadrži značajke iz stvarnoga svijeta s geografskim položajem te predstavlja jednu ćeliju koja neprekinuto obuhvaća određeno područje. Naziv datoteke određen je dvoznamenkastim kodom proizvođača (CC) dostupnim u IHO S-62 standardu, oznakom namjenskog raspona (P), nazivom/kodom ćelije (XXXXX) i nastavkom (EEE) koji označava broj ažuriranja.[127] Primjer imena ENC-a možemo dati za ENC *US5GA20M.000* koji obuhvaća područje prilaska rijeci Savannah. Kod proizvođača *US* odnosi se na *Office of Coast Survey, National Ocean Service, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOS)*. Namjenski

[126] IHO, 2000. IHO S-57, Appendix B.1 - ENC Product Specification, 5.4.
[127] Ibid., 5.6.3.

raspon je *5,* naziv ćelije je *GA20M.* Vrijednost nastavka je .000 što govori da je riječ o osnovnoj datoteci, dok bi ažuriranja nosila nastavke rednih brojeva 001, 002, i nadalje. Usporedni prikaz podataka sa i bez S-52 simbola vidljiv je na Slici 10. Lijeva slika prikazuje ENC sa svim simbolima, dok su na desnoj slici prikazani slojevi s odgovarajućom legendom i nazivima sloja odnosno klasa objekata.



Slika 10. Prikaz US5GA20M ENC-a (lijevo) i reducirani prikaz bez S-52 simbola (desno)

Slojevi odnosno klase objekata bez simbola prikazani su osnovnim geometrijskim elementima kao točke, linije i poligoni koji mogu biti pojedinačni ili skupni pa se uz navedene pojmove koriste prefiksi *multi (multitočka, multilinija ili multipoligon).*

```
<S57File>
  [valid: true]
  <#010 - Data Set Identification records: 1>
  <#020 - Data Set Geographic Reference records: 1>
  <#030 - Data Set History records: 0>
  <#040 - Data Set Accuracy records: 0>
  <#050 - Catalogue Directory records: 0>
  <#060 - Catalogue Cross Reference records: 0>
  <#070 - Data Dictionary Definition records: 0>
  <#080 - Data Dictionary Domain records: 0>
  <#090 - Data Dictionary Schema records: 0>
  <#100 - Feature records: 1443>
  <#110 - Isolated Node records: 268>
  <#120 - Connected Node records: 1239>
  <#130 - Edge records: 1612>
  <#140 - Face records: 0>
```

```
<0001>
    [name: ISO/IEC 8211 Record Identifier]
    [valid: true]
    <id: 1640>
  <VRID>
    [name: Vector Record Identifier]
    [valid: true]
    <RCNM - Record Name: 130(Edge)>
    <RCID - Record Identification Number: 152>
    <RVER - Record Version: 1>
    <RUIN - Record Update Instruction: 1(Insert)>
  <ATTV>
    [name: Vector Record Attribute]
    [valid: true]
    <ATTL(Attribute Label Code)/ATVL(Attribute Value):
0/0 elements>
```

Slika 11. Prikaz strukture US5GA20M ENC S-57 datoteke (lijevo) i obilježja pod rednim brojem 0001

Uz grafički prikaz objekata i njihovog geometrijskog prikaza strukturu datoteke i kodnog zapisa za obilježje možemo vidjeti na Slici 11. Kao što se može vidjeti, za datoteku se može vidjeti broj elemenata, dok za obilježje možemo vidjeti osnovne podatke i identifikaciju. U ovoj datoteci nalazi se 1611 obilježja koja su kodirana na sličan način kao što je prikazano na

prethodnoj slici. Prikaz je napravljen *ENC X* programom koji je dio *Pydro* distribucije za hidrografiju i kartografiju NOAA-e.[128]

Iz ovog kratkog osvrta vidljivo je da korištenje ENC-ova za GPP predstavlja izazov. ENC-ovi su primarno razvijani za korištenje u navigacijske svrhe i samim time ograničeni za napredniju uporabu izvan neposrednog navigacijskog odnosno interpretacijskog okružja. Također, to se i odrazilo i na moguću primjenu bilo za GPP ili druge svrhe, što će biti kasnije prikazano u kratkome pregledu istraživanja o korištenju ENC-ova za GPP i modeliranje okružja.

2.3.4. Generalizacija prikaza podataka na elektroničkim navigacijskim kartama

Uz zadovoljavanje uvjeta pouzdanosti i točnosti podataka, navigacijska karta mora biti i razumljiva. U tu svrhu postavljena su ograničenja čitljivosti, sigurnosti, topologije i morfologije osiguravajući ispravnu interpretaciju podataka. Ograničenjem čitljivosti osigurava se da informacije na karti budu jasne i razumljive. U tu svrhu nužno je odabrati samo najvažnije informacije. Ograničenjem sigurnosti osigurava se da prikazani podatci i njihovo tumačenje ne dovedu plovilo u opasnost. Primjerice, dubine prikazane na karti nikada ne smiju biti veće od izmjerenih. Topološkim ograničenjem osigurava se da prikazani objekti budu ispravno prikazani, kao što se uvjetuje da se izobate ne sijeku ili da su dubine usklađene s izobatama. Konačno morfološkim ograničenjem osigurava se da detalji, odnosno prikaz npr. obilježja dna bude što je više moguće bliži stvarnosti. Zadovoljenje ograničenja predstavlja izazov, pogotovo na različitim mjerilima karte. Sukladno tome, uobičajeni je postupak da se generaliziraju podatci na krupnijim mjerilima, da bi se osigurala topološka konzistentnost na sitnijim mjerilima.[129]

Da bi se uskladili zahtjevi i uvjeti vezani uz generalizaciju, IHO u nekoliko svojih standarda određuje pristup izradi karata odnosno ENC-ova. Jedan od tih uvjeta nalazi se u *Smjernicama za pripremu i održavanju međunarodnih karata, ENC shema i kataloga međunarodnih karata* (IHO S-11).[130] Između ostaloga navodi se šest prikladnih raspona mjerila za različite

---

[128] NOAA, 2023. Software Distributed within Pydro — Pydro documentation [mrežni dokument]. https://svn.pydro.noaa.gov/Docs/html/_Globals/index.html# (17.04.2023.).

[129] Skopeliti, A., Stamou, L., Tsoulos, L., Pe'eri, S., 2020. Generalization of Soundings across Scales: From DTM to Harbour and Approach Nautical Charts. ISPRS International Journal of Geo-Information 9, 693. https://doi.org/10.3390/ijgi9110693

[130] IHO, 2018. S-11 Guidance for the Preparation and Maintenance of International (INT) Chart and ENC Schemes and Catalogue of International (INT) Charts, Part A – Guidance for the Preparation and Maintenance of International (INT) Chart and ENC Schemes (Edition 3.1.0).

navigacijske primjene, odnosno namjenske raspone, s osnovnim obilježjima vidljivim u Tablici 7.

Tablica 7. Prikaz navigacijskih primjena karata s pripadajućim namjenskim rasponima, mjerilima i osnovnim obilježjima

Namjenski raspon i navigacijska primjena	Raspon mjerila	Osnovna obilježja
(1) Pregledna	1:1500000 do 1:3000000	Područje oceanske navigacije
(2) Opća	1:350000 do 1:700000	Izvan oceanskih područja i primicanje kopnu
(3) Obalna	1:90000 do 1:180000	Obalna navigacija, poželjno isto mjerilo ENC-ova
(4) Prilaz lukama	1:22000 do 1:89999	Često navigacijski zahtjevna područja i prilaz lukama
(5) Lučka	1:4000 do 1:21999	Ulaz i plovidba u lukama, kanalima ili prilaz sidrištima
(6) Pristajanje	1:4000 ili veće	Vrlo velika mjerila s detaljnim prikazom obilježja pristana

Također se navode opće smjernice o odabiru i prikazu važnih luka, terminala ili drugih važnih pomorskih objekata na kartama najkrupnijeg mjerila. Preporučuje se određivanja i prikaz važnih plovidbenih pravaca, između ostalog, analizom AIS (engl. *Automatic Identification System,* AIS) podataka. Navodi se i važnost prikaza sustava usmjeravanja i nadzora pomorske plovidbe, odnosno lučkih operativnih postupaka, gdje je to moguće.

Generalizacija je izričito navedena i objašnjena u IHO S-4 publikaciji *Propisi IHO-a za međunarodne karte i IHO specifikacija karata.*[131] Kao što je prethodno navedeno, IHO S-4 povezan je i sa IHO S-57 B.1 prilogom A, koji se odnosi na korištenje kataloga ENC objekata. Generalizacija se navodi u dijelu B koji se tiče IHO karata srednjeg i krupnog mjerila, u odjeljku B-400 koji se odnosi na hidrografiju i plovidbene oznake. Ponajprije se navodi cilj potpunog ili što je više moguće detaljnijeg prikaza na kartama najkrupnijeg mjerila. Načelno, potpuni prikaz nije moguće ostvariti radi ograničenja simbolizacije, kartografskih postupaka i konačno mjerila karte. Međutim velik dio bitnih informacija moguće je prikazati. To je tzv. *potpuni prikaz* informacija (engl. *full depiction*). Nastavno se generalizacija spominje u pododjeljku B-401.2 gdje se navodi da je to postupak uklanjanja manje bitnih informacija izglađivanjem linija, uklanjanjem suvišnih dubina ili pojednostavljivanjem informacija o plovidbenim oznakama. Slijedi pododjeljak B-401.3 gdje se navodi minimalni prikaz (engl. *minimal depiction*) kao krajnji slučaj generalizacije gdje većina obilježja nije prikazana iako ih je moguće djelomično opisati. Ovakav pristup primjenjuje se u područjima poput riječnih ušća, luka i na kartama sitnijeg mjerila, gdje se moraju primjenjivati dostupne karte krupnijeg mjerila umjesto karata

[131] IHO, 2021. S-4 Regulations of the IHO for International (INT) Charts and Chart Specifications of the IHO (Edition 4.9.0 – March 2021).

sitnijeg mjerila. U odjeljku B-402 nadalje se razmatra generalizacija te se navodi da bi pri generalizaciji trebalo zadržati obalnu crtu, generalizirane izobate i orijentaciju plovidbenih kanala. Rizici i razmatranja o generalizaciji koje bi kartograf morao predvidjeti i razmotriti, navode se u pododjeljku B-402.3. Navedeno uključuje razmatranje korištenja karata sitnijeg mjerila u svrhu zakloništa pri vremenskim nepogodama, prikaza plovidbenih oznaka ili obilježja područja, gdje bi njihovo izostavljanje moglo dovesti u zabunu pri korištenju plovnih putova. Iznimno važna pojašnjenja o generalizaciji dubina navode se u odjeljku B-403, gdje se navodi da se veće dubine uklanjaju odnosno brišu, dok se manje zadržavaju radi sigurnosti. Broj prikazanih dubina mora biti dovoljan da se vjerodostojno prikaže raspone dubina u promatranome području kako bi se mogle usporediti s izmjerama određenim dubinomjerom. Također, uz dubine pojašnjava se da bi trebalo prikazati i pličine koje se pružaju od obale te izgladiti izražene odnosno izbočene izobate u smjeru od obale. Ipak, potrebno je to učiniti oprezno, naročito kod pličina koje se uzdižu strmo u odnosu na okolne dubine. Tumačenje takvog prikaza na karti uz korištenje dubinomjera može biti opasno pri prilasku takovome strmome i plitkome području jer promjena dubine može biti naglija nego li se to može zaključiti tumačenjem generaliziranog prikaza. Uz olakšavanje tumačenja prikaza, generalizacija i prethodno navedeno objedinjavanje detalja donosi i izazove pri prikazu najvećih dubina, primjerice u kanalima zbog ograničenog prostora za prikaz. Slično razmatranje i izazovi odnosi se na otočiće i hridi u obalnome području. Sljedeći odjeljak, B-404, govori o minimalnoj razini prikaza odnosno detalja. U prvome pododjeljku, B-404.1, navodi se da bi razina prikaza trebala odgovarati obilježjima, granicama odnosno promjenama obilježja područja koje se prikazuje ili uvjetno rečeno prirodnim obilježjima. Kao takve prirodne granice ili prijelaze možemo navesti prilaze lukama, vanjske rubove skupina otoka ili riječnih ušća. Nerijetko su u takvim područjima prilaza razgraničenja te mjesta za ukrcaj peljara. Uz te uvjetno rečene prirodne granice određenja prikaza, moguće je napraviti i proizvoljna područja prikaza, najčešće u svrhu prikaza isječka područja krupnijeg mjerila. Slično, ponekad se ne prikazuju sve dubine, podrtine ili opasnosti nakon određene izobate. Tada je potrebno posebno naglasiti, odnosno postaviti napomenu da se u područjima nakon određene izobate mora koristiti karta prikladnijeg mjerila, odnosno da prikaz nije dovoljan za sigurnu plovidbu. Drugi pododjeljak B-404.2 tiče se prethodno navedene razine detalja u područjima minimalnog prikaza. Kao najvažnije obilježje navodi se obalna crta koja pruža opći prikaz područja. Sukladno važnosti, obalna crta se može jedino ukloniti ako nije moguće prikazati ostale važne informacije poput podataka o karti, napomena ili upozorenja na drugim područjima. U područjima minimalnog prikaza, obalne objekte poput manjih privezišta ili gatova ne bi trebalo prikazati, ali uz generalizirani prikaz

obrisa objekata poput značajnijih lukobrana ili pristana. Svjetla i navigacijske oznaka velikog dometa također bi trebalo zadržati radi korištenja u području plovidbe koje se nalazi u rubnim dijelovima karte. Posljednji odlomak u odjeljku odnosi se na prikaz izobata u područjima minimalnog prikaza, koje su važne ne samo radi tumačenja dubine nego i pružanja plovidbenih kanala, mogućih plovidbenih uvjeta ili očekivanog pomorskog prometa. Kako se navodi da se izobate trebaju prikladno generalizirati, za očekivati je da se neće toliko često mijenjati, odnosno ažurirati njihov prikaz. U posljednjem pododjeljku, B-404.3 razmatraju se detalji koji se uklanjaju iz područja minimalnog prikaza. Za takva obilježja i detalje očekuje se da će se njihov prikaz češće mijenjati, odnosno da će se češće ažurirati. U njih spadaju dubine, podrtine, plutače i pomorske oznake manjeg dometa.

Konačno, valja napomenuti da se kod ENC-ova može koristiti SCAMIN atribut (engl. *Scale Minimum*) kojim se može postaviti granično mjerilo nakon kojega se pojedini ENC objekt više neće prikazivati. SCAMIN atribut utječe isključivo na prikaz objekta, a ne na njegovo postojanje ili razinu detalja kojom je opisan odnosno prikazan u ENC-u. Navedenim atributom povećava se prikaz i čitljivost obilježja prikaza ENC područja krupnijeg mjerila pri sitnijim mjerilima. Međutim, potrebno je razmotriti važnost pojedine klase objekata i usklađenost SCAMIN vrijednosti između ENC-ova različitih navigacijskih namjena.[132]

Iz prikazanog možemo zaključiti da razina detalja ovisi o mjerilu karte, obilježjima područja i vrsti objekata koji se prikazuje. Iako su opisani i razrađeni opći postupci generalizacije, način interpretacije jednim dijelom je subjektivan. Generalizirani odnosno pojednostavljeni prikaz omogućava jednostavniju interpretaciju prikazanih podataka navigatoru. Međutim, neosporno je da se time javljaju poteškoće pri razvoju tehnoloških pristupa kojima se prikaz područja pretvara u oblik prikladan za računala. Generalizaciju nažalost ne možemo jednostavno kvantificirati, no pouzdanost podataka u određenoj mjeri možemo, kao što će biti prikazano u sljedećem potpoglavlju.

2.3.5. Pouzdanost korištenih podataka

Neodređenost, odnosno pouzdanost podataka ENC-a proizlazi iz nekoliko izvora. Kao što je ukratko navedeno u pregledu istraživanja, tijekom samog prikupljanja podataka korišteni uređaji i načini kako se podatci prikupljaju nose u sebi pogrešku, odnosno neodređenost.

---

[132] IHO, 2022. S-57 Appendix B.1: ENC Product Specification Annex A: Use of the Object Catalogue for ENC Edition 4.3.0., op. cit. A.12–2.2.7.

Također, kako nije moguće detaljno premjeriti svaki djelić područja plovidbe i morskog dna, područja između izmjera se interpoliraju, što opet unosi neodređenost ovisno o metodi i učestalosti kojom se obilježja, npr. dna, mijenjaju. Nastavno, ENC kao pojednostavljeni prikaz stvarnosti generaliziran je prema uvjetima čitljivosti, sigurnosti, topologije i morfologije. Sukladno tome, postoji klasa metapodataka odnosno metaobjekta M_QUAL s jednim od atributa *Zones Of Confidence*, CATZOC kojim se kvantificira neodređenost odnosno navodi kvaliteta hidrografskih podataka.

U IHO S-57 dodatku A, poglavlju 1, nalazi se nekoliko klasa meta-objekata koji opisuju podatke. Kvaliteta podataka opisana je klasom objekta M_QUAL. U napomenama se navodi da se ova klasa razlikuje od točnosti podataka (engl. *accuracy of data,* M_ACCY) i pouzdanosti hidrografskih izmjera (engl. *survey reliability,* M_SREL).[133] Opće značajke navedenih klasa možemo vidjeti u Tablici 8.

Tablica 8. Klase objekata i atributi točnosti podataka, kvalitete podataka i pouzdanosti izmjera navedeni u IHO S-57 katalogu objekata

Klasa objekta, kratica i kod	Točnost podataka, M_ACCY, 300	Kvaliteta podataka, M_QUAL, 308	Pouzdanost izmjera, M_SREL, 310
Atribut_A	~~HORACC~~*; POSACC; ~~SOUACC~~*; ~~VERACC~~*;	~~CATQUA~~*; CATZOC; DRVAL1; DRVAL2; POSACC; SOUACC; SUREND; SURSTA; TECSOU; ~~VERDAT~~*;	QUAPOS; QUASOU; SCVAL1; SCVAL2; SDISMN; SDISMX; SURATH; SUREND; SURSTA; SURTYP; ~~TECSOU~~*;
Atribut_B	INFORM; NINFOM; NTXTDS; TXTDSC;	INFORM; NINFOM; NTXTDS; TXTDSC;	INFORM; NINFOM; NTXTDS; TXTDSC;
Atribut_C	RECDAT; RECIND; SORDAT; SORIND;	RECDAT; RECIND; SORDAT; SORIND;	RECDAT; RECIND; SORDAT; SORIND;
Reference	Nema	Nema	M-4: 170.2; 178;

* Nije dopušteno (engl. *prohibited*) prema IHO S-57 Appendix B.1 - Prilog A, izdanje 4.3.0 iz listopada 2022.

Točnost podataka prikazana klasom objekata M_ACCY definira područje ukupne točnosti ravnomjerno raspoređenih podataka koji nisu batimetrijski. Ukupna točnost između ostalog uključuje točnost izvora podataka, mjerila karte ili digitalizacije. Klasa pouzdanosti hidrografskih izmjera M_SREL odnosi se na ocjenu pouzdanosti izvora hidrografskih izmjera.

U IHO S-4 specifikacijama kvaliteta hidrografskih podataka određena je s pet kategorija označenih slovima A1, A2, B, C i D, dok se u slučaju kada kategorija nije određena dodjeljuje

[133] IHO, 2000. S-57 Transfer Standard for Digital Hydrographic Data (Edition 3.1.0, November 2000) – Appendix A, Chapter 1, p. 230.

slovo U (engl. *unassessed*). Određivanje kvalitete podataka temelji se na elementima položajne točnosti, točnosti dubina te sveobuhvatnosti premjeravanja i određivanja značajki morskoga dna. Prikaz kategorija i njihovih obilježja možemo vidjeti u Tablici 9. dok će se u nastavku opisati njihove opće značajke.

Tablica 9. Klase meta objekata točnosti podataka, kvalitete i pouzdanosti izmjera[134, 135]

ZOC	Položajna točnost	Točnost dubina		Premjerenost morskoga dna	Uobičajena obilježja metoda izmjere
A1	± 5 m + 5 % dubine	= 0.50 + 1 %d		Sveobuhvatno premjeravanje područja. Značajna obilježja morskoga dna i dubine izmjerene.	Nadzirana i sustavna izmjera visoke položajne točnosti i dubine postignuta korištenjem DGPS-a ili najmanje tri stajnice visoke točnosti i višesnopnih, višekanalnih ili mehaničkih sustavima premjera.
		Dubina (m)	Točnost (m)		
		10	± 0.6		
		30	± 0.8		
		100	± 1.5		
		1000	± 10.5		
A2	± 20 m	= 1.00 + 2 %d		Potpuno premjeravanje područja. Značajna obilježja područja otkrivena i dubine izmjerene.	Nadzirana i sustavna izmjera položajne i točnosti dubina manje od ZOC A1 napravljena modernim ultrazvučnim dubinomjerima namijenjenim za izmjere, sonarom ili mehaničkim sustavima premjera.
		Dubina (m)	Točnost (m)		
		10	± 1.2		
		30	± 1.6		
		100	± 3.0		
		1000	± 21.0		
B	± 50 m	= 1.00 + 2 %d		Potpuno premjeravanje područja nije postignuto. Postojanje obilježja opasnih za površinsku navigaciju koja nisu ucrtana na karti je moguće, ali se ne očekuje.	Nadzirana i sustavna izmjera iste točnosti dubina, ali manje položajne točnosti od ZOC A2, napravljena modernim ultrazvučnim dubinomjerima namijenjenim za izmjere, no bez sonara ili mehaničkim sustavima premjera.
		Dubina (m)	Točnost (m)		
		10	± 1.2		
		30	± 1.6		
		100	± 3.0		
		1000	± 21.0		
C	± 500 m	= 2.00 + 5 %d		Potpuno premjeravanje područja nije postignuto. Mogu se očekivati nepravilnosti dubina.	Izmjera niske točnosti ili korištenje podataka koji nisu prikupljeni sustavno nego primjerice određivanjem dubina tijekom plovidbe.
		Dubina (m)	Točnost (m)		
		10	± 2.5		
		30	± 3.5		
		100	± 7.0		
		1000	± 52.0		
D	Lošije od ZOC C	Lošije od ZOC C		Potpuno premjeravanje područja nije postignuto. Mogu se očekivati velike nepravilnosti dubina.	Loša kvaliteta podataka ili se kvaliteta podataka ne može odrediti radi nedostatnih informacija.
U	Neodređeno - kvaliteta batimetrijskih podataka tek se treba odrediti				

Najviše kategorije A1 i A2 zahtijevaju temeljito određivanje značajki dna, tehnologijom koja je postala dostupna tek u 1980-ima, čime pojedine temeljite izmjere koje su napravljene prije toga razdoblja, radi ograničenja tadašnje tehnologije, ne mogu biti označene najvišim kategorijama. Moderno provedene izmjere u područjima od značaja i sukladno zahtijevanim metodama često će nositi oznaku A2. Načelno, najviša kategorija dodjeljuje se u područjima gdje je provedeno premjeravanje u iznimno strogim uvjetima i metodama visoke točnosti.[134, 135]

Ukratko, ZOC kategorizacija prema predstavljenim kriterijima u Tablici 9. odnosi se na kartografski standard, ali i standard hidrografskih izmjera. Pogreške u vrijednosti dubina uključuju neposredne pogreške izmjera i ostale pogreške tijekom postupka izrade karte. Položajna točnost dubina određena je s 95 % razinom pouzdanosti ($\sigma = 2.45$). Točnost dubina izražava se sa 95 % razinom pouzdanosti ($\sigma = 2.00$). Za detaljnu razradu položajne i točnosti dubina, značenja ali i ostalih postupaka izmjera, potrebno je razmotriti sadržaje IHO S-44 standarda[136] čiji kratak pregled slijedi nakon završetka opisa kategorizacije podataka. Značajna obilježja morskoga dna definiraju se ako se izdižu više od 2 m pri dubini manjoj od 40 m te 10 % veće na dubinama većim od 40 m u odnosu na okolno područje. Potpuno premjeravanje morskoga dna znači da je načinjeno koristeći zahtijevanu opremu, postupke i osoblje. Međutim, navodi se da ne postoji jamstvo da će sva značajna obilježja biti opažena i da postoji mogućnost njihove pojave nakon premjeravanja. Konačno, kao moderni ultrazvučni dubinomjeri definiraju se oni napravljeni od 1970-ih nadalje.[137]

Prethodni odjeljak odnosi se na točnost i pouzdanost papirnatih i elektroničkih navigacijskih karata. Dodatni opis koji slijedi nadovezuje se na prethodnu tablicu, no isključivo na klase objekata ENC-ova. Uz prikaz kategorija, M_QUAL može se između ostaloga opisati podatributima položajne točnost (POSACC) i točnosti hidrografskih izmjera (SOUACC) radi označavanja veće položajne ili točnosti dubina nego što je dodijeljena kategorija. To se može dogoditi kada npr. nije napravljena sustavna i potpuna izmjera te je dodijeljena kategorija B, no položajna točnost je viša od te kategorije. Slično se odnosi i na slučaj dubina kada je dubina o određenom području točno poznata odnosno pretražena hidrografskim dubinomjerom, no

[134] IHO, 2021. S-4, Section 200 – Chart framework, B-297, op. cit., str. 6–10.
[135] IHO, 2014. S-57, Supplementary information for the Encoding of S-57 Edition 3.1 ENC data (S-57 Supplement No. 3, June 2014).
[136] IHO, 2020. Standards for Hydrographic Surveys, 6th ed., Special Publication No. 44.
[137] Ibid., str. 13, 14.

ostatak područja nije premjeren prema zahtjevima najviših kategorija. Području visoke točnosti može se dodijeliti atribut raspona dubina (DRVAL1) i ograničiti ga sukladno granicama pretraženog odnosno premjerenog područja. Posljednji atributi koji se mogu dodijeliti su datum početka izmjere (SURSTA), završetka izmjere (SUREND) i način izmjere (TECSOU). Način izmjere sadrži 14 identifikacijskih oznaka korištenih uređaja i metoda uz njihove opise uz bilješke na dodatna pojašnjenja koja se nalaze u ostalih IHO publikacijama.[138]

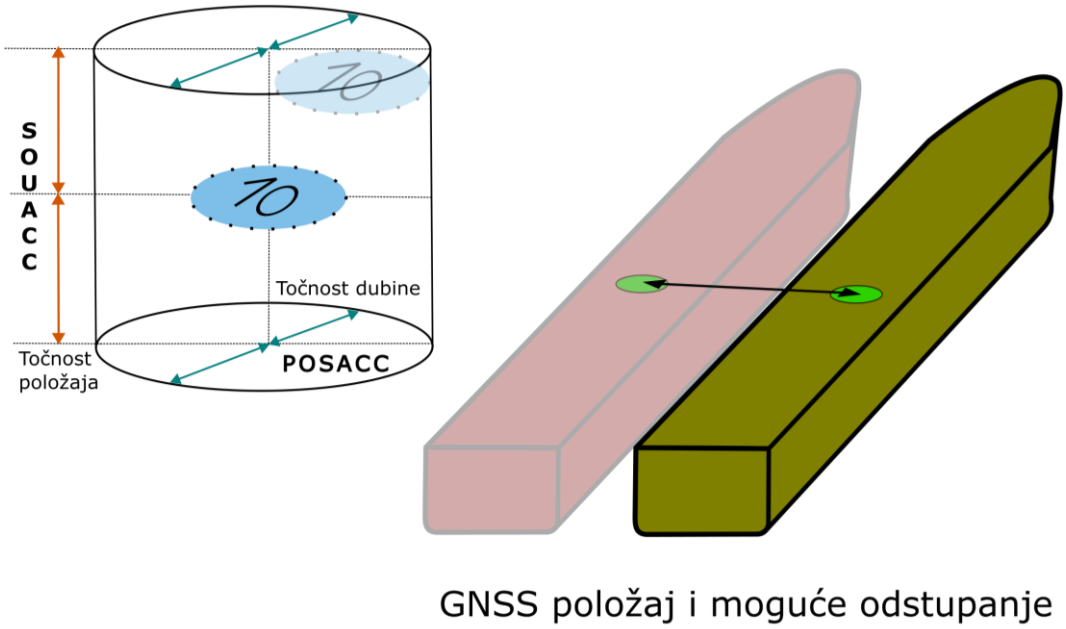
Konačno, u svrhu detaljnog razmatranja i razrade uvjeta provedbe izmjera potrebno je navesti IHO S-44 publikaciju. Ovdje se, između ostalog, pobliže klasificira sigurnost navigacijskih izmjera, minimalni standardi, određivanje položaja, pouzdanost, dubina, obilježja dna i niz drugih obilježja važnih za provođenje izmjera. Vrijedi istaknuti da se ukupna neodređenost (engl. *Total Propagated Uncertainty,* TPU) razmatra u terminima horizontalne (engl. *Total Horizontal Uncertainty*, THU) i vertikalne neodređenosti (engl. *Total Vertical Uncertainty*, TVU). Izračuni pojedinačnih komponenti moraju se izračunati za cjelokupnu izmjeru i uključiti sve izvore neodređenosti: uređaje i instrumente, mjerenje i okolišne uvjete odnosno vremenske prilike. Konačne vrijednosti neodređenosti dakle moraju obuhvatiti vrijednosti prije i nakon izmjere.[136] Kao što se može primijetiti u dosadašnjem razmatranju pouzdanosti, neodređenosti i točnosti podataka riječ je o složenome procesu koji proizlazi iz stavki i zahtjeva niza IHO standarda.

U svrhu pojednostavljivanja interpretacije IHO je izdao IHO S-67 smjernice o tumačenju podataka o dubini na ENC-ovima (engl. *Mariners' Guide to Accuracy of Depth Information in Electronic Navigational Charts*).[139] Uz sažeti prikaz objašnjenja pojmova i obilježja pojedine kategorije podataka dodatno se pojašnjavaju mogući izazovi pri tumačenju podataka, ali i korištenju pri planiranju putovanja. Također, radi pojednostavljivanja tumačenja podataka, podatke se grupira u tri opće kategorije: visoka točnost (ZOC A1 i A2, pet ili više zvjezdica), srednja točnost (ZOC B, četiri zvjezdice) i niska točnost (ZOC C, D i U odnosno tri ili manje zvjezdica). Prema IHO S-67 publikaciji oko 40 % obalnih područja kategorizirano je kao CATZOC B, 30 % CATZOC C, 10 % CATZOC D dok je približno 15 % područja svrstano u CATZOC U. Preostalo se može svrstati u najviše kategorije, i one se odnose na neposredna područja oko luka ili prilaza.[140] Radi ispravnog tumačenja točnosti i kategorija podataka,

---

[138] IHO, 2000. S-57, Appendix A Chapter 2 – Attributes, 2.201, 2.202, 2.206.
[139] IHO, 2020. Mariners' guide to accuracy of depth information in ENC. Publication S-67. (1.0.0).
[140] Ibid., str. 4.

potrebno je uz prikaz CATZOC kategorija koristiti i informacijsku funkciju ECDIS-a, da bi se moglo provjeriti kada je izmjera izvršena i sukladno tome dodatno razmotrilo kolika je očekivana točnost. Konačno, do sada je razmatrana točnost i neodređenost podataka navigacijske karte, međutim potrebno je razmotriti i očekivanu položajnu točnost elektroničkih navigacijskih sustava, odnosno (engl. *Global Navigation Satellite Systems*, GNSS) sustava kao primarnog izvora položaja u sustavu ECDIS. Neodređenost primarnog izvora položaja valja razmotriti u odnosu na neodređenost samog objekta, koju prikazujemo kao položajnu točnost (POSACC) i točnost dubina (SOUACC) odnosno prostor u kojem se objekt može nalaziti kao što je prikazano na Slici 12.



Slika 12. Prikaz položajne i točnosti dubina odabranog objekta i mogućeg odstupanja položaja broda. Priredio autor

U publikaciji IHO S-67 također se ističu zapreke (engl. *obstruction,* OBSTRN), hridi (engl. *underwater rock*, UWTROC), podrtine (engl. *wreck,* WRECKS) i izmjere dubina (engl. *sounding*, SOUNDG) jer mogu imati dodatne informacije povezane s kvalitetom. Dodatne informacije uključuju dubinu zapreka u odnosu na okolne dubine (engl. e*xposition of sounding*, EXPSOU), kvalitetu izmjere (engl. *quality of sounding* QUASOU), prethodno već spomenute točnosti izmjera (SOUACC) i tehniku odnosno metodu kojom su napravljene izmjere (engl. *technique of sounding measurement,* TECSOU). Nastavno, u preostalome dijelu publikacije detaljno se opisuju elementi koji utječu na točnost i kategorizaciju podataka, tijekom njihovog prikupljanja, ali i tumačenja.

Konačno u prilogu B, opisuju se opasnosti kod pretjeranog povećavanja mjerila (engl. *over-scale*), naročito kada su vidljivi simboli usamljene opasnosti koji su jednake veličine pri svakome mjerilu (7 mm). Navedeno za posljedicu ima da simbol pri prevelikome povećanju mjerila postaje manji od opasnosti koju prikazuje jer objekt koji je zbog veličine sveden na točku na sitnijim mjerilima, na krupnijim mjerilima postaje poligon te ima svoju površinu. Takvim, pogrešnim korištenjem mogućnosti ENC-a, odnosno ECDIS-a, brod se može dovesti u opasnost.[141] U kontekstu sažetog prikaza prethodno razmotrenih općih značajki generalizacije, ograničenja i točnosti podataka pri njihovom tumačenju vrijedi istaknuti IHO publikaciju *Informacije o ENC generalizaciji, prekomjernom povećavanju mjerila i sigurnosnih funkcija provjere u ECDIS-u*[142] u kojoj se uz opise značajki, predstavljaju i moguće dvojbene situacije koje mogu nastati pri provjeri plana putovanja i ucrtane rute ovisno o tome jesu li uz kartografske podatke razmotrene pripadajuće CATZOC vrijednosti područja.[143] Primjena CATZOC-a nastavit će se u unaprijeđenom obliku prema IHO S-101 standardu kao kvaliteta batimetrijskih podataka (engl. *Quality of Bathymetric Data*, QoBD). Unaprijeđenim prikazom i kategorizacijom otklonit će se neki od nedostataka u prikazu CATZOC simbola.[144]

Konačno, potrebno je navesti određene nedostatke pri korištenju CATZOC kategorizacije koji nisu odmah očiti pri njihovome tumačenju. Kako je i prethodno opisano, nekoliko je izvora neodređenosti. Prvi izvor neodređenosti nastaje radi obilježja samih mjerenja. U njih između ostalog spadaju obilježja objekta, npr. zrakoplova ili plovila koji su korišteni tijekom mjerenja, zatim položaj senzora i uređaja te njihovih pogrešaka i ograničenja. Na mjerenja utječu i okolišni uvjeti u kojima su napravljeni kao i integracija te kalibracija podataka iz različitih izvora. Sukladno tome i pozivajući se na prethodno opisanu IHO S-44 publikaciju, za ovaj izvor neodređenosti možemo razložiti vertikalnu i horizontalnu komponentu. Drugi opći izvor neodređenosti proizlazi iz modela kojima se podaci opisuju ili interpoliraju. Iako CATZOC kategorizacija pomaže u tumačenju neodređenosti, pouzdanosti i kvalitete podataka nedostatak je da zapravo opisuje metode prikupljanja podataka, a ne sve što je poznato ili još važnije što nije poznato o području na koje se odnosi.[145] Detaljno razmatranje prethodnog opisa i izazova

---

[141] Ibid., str. 21.
[142] IHO, 2020. Information on ENC Generalization, Over-Scaling and Safety Checking Functions in ECDIS.IHO.
[143] Ibid., str. 6.
[144] Kastrisios, C., Ware, C., 2022. Textures for coding bathymetric data quality sectors on electronic navigational chart displays: design and evaluation. Cartography and Geographic Information Science 0, 1–20.
[145] Hare, R., Eakins, B., Amante, C., 2011. Modelling Bathymetric Uncertainty. The International Hydrographic Review.

prikaza neodređenosti ukazuje na moguća dvojbena tumačenja neodređenosti i cjelovitosti podataka, odnosno mogućih navigacijskih rizika.[146]

2.3.6. Položajna točnost

Pri planiranju puta za bilo koji plovni objekt iznimno je važno predvidjeti ili odrediti položajnu točnost. Time se određuje moguća neodređenost u odnosu na statičke prepreke kako je prethodno prikazano. Položajna točnost je od iznimne važnosti tijekom plovidbe broda u fazi izvršenja i potrebna je redovita provjera raznovrsnim metodama. Na konvencionalnim brodovima je to zadatak navigatora. Kod autonomnih plovnih objekata, određivanje položaja i pripadajuća točnost spada u dio modula za planiranje i nadzora tijekom izvršenja. Ako razmotrimo konvencionalne brodove, u fazi planiranja mora se uzeti u obzir metode kojima se može odrediti položaj broda. Klasične metode iz terestričke i astronomske navigacije i dalje su neophodne, unatoč manjoj točnosti u usporedbi s modernim sustavima za određivanje položaja, ponajprije satelitskim. Zadržavanje navigacijskih vještina, poznavanje metoda određivanja položaja i uočavanje mogućih pogrešaka položaja i nadalje je iznimno važno. Naročito danas, kada je položaj dobiven satelitskim sustavima neprekidno prikazan na ENC-u, vidljiv u ECDIS-u ili na zasebnom prijamniku. Nažalost, klasične metode, u skladu sa zahtijevanom točnosti za pojedine faze navigacije, kao takve ne mogu zadovoljiti uvjete propisane IMO rezolucijama. Međutim, i dalje će u doglednoj budućnosti biti potrebna provjera točnosti položaja određenog satelitskim sustavima, terestričkim i astronomskim metodama ili radarom. Neposredna provjera točnosti može biti diskutabilna, ako razmotrimo točnost klasičnih metoda u odnosu na satelitsku navigaciju u normalnim uvjetima rada. Međutim, to ne umanjuje njihovu važnost kao način uočavanja značajnih pogrešaka satelitskih sustava ili njihove nedostupnosti, bilo radi nenamjernih uzroka ili namjerne nedostupnosti i ometanja. Također valja napomenuti da satelitski sustavi nemaju zemaljske ekvivalente kao što je bio *LORAN* sustav (engl. *Long Range Navigation)* koji bi ih mogao zamijeniti. Uz prethodni opis, očekivanu točnost stajnica i položaja dobivenih pojedinom metodom možemo vidjeti u Tablici 10.

---

[146] Calder, B.R., 2015. On Risk-Based Expression of Hydrographic Uncertainty. Marine Geodesy 38, 99–127.

Tablica 10. Točnost stajnica određenih kompasima, radarom i položaja elektroničkih navigacijskih sustava. Prilagođeno prema[147]

Postupak	Očekivana točnost (95 % vjerojatnost)	Točnost na 1 NM
Azimut određen magnetskim kompasom na kopneni objekt	±3º (može se pogoršati u visokim geografskim širinama)	93 m
Azimut određen žirokompasom na kopneni objekt	0.75º sec(φ) do φ = 60º	< 62 m
Radiogoniometriranje	±3º to ±10º	93 – 310 m
Radarski azimut	±1º (pretpostavlja se stabilizirani prikaz i ustaljeno kretanje plovila.	32 m
Radarska udaljenosti	1 % trenutnog dometa ili 30 metara, uzima se veća vrijednost	
LORAN-C / CHAYKA	Ovisno o uvjetima. Hiperbolički Loran C, 477 m na rubu područja pokrivenosti poboljšavajući se približavanjem prema stanicama	
eLORAN	8-10 m, diferencijalnim Loranom (prilazak lukama), približno na 30 do 50 km od diferencijalne referentne stanice	
GNSS	Načelno, 3-5 m za GPS	
DGNSS (ITU-R M.823/1)	1-3 m	
Zbrojeni položaj	Približno 1 NM za svaki sat plovidbe	
Astronomske metode*	±0.4 NM[148] do ±2 NM[149]	

* Prilagodio i dodao autor prema navedenim izvorima

Određivanje položaja samo je jedna od triju važnih usluga uz navigaciju i određivanje vremena (engl. *Position, Navigation and Timing*, PNT) kao dijela jedne šire arhitekture čiji su važni elementi upravo satelitski sustavi.[150] Trenutno su dostupna četiri globalna navigacijska satelitska sustava. To su *Global Positioning System* (GPS) SAD-a, ruski *Global Navigation Satellite System* (GLONASS), kineski *BeiDou Navigation Satellite System* (*BeiDou*) i *Galileo* EU-a. Uz njih je dostupno nekoliko regionalnih sustava (engl. *Regional Satellite Navigation Systems*, RNNS). Osnovna točnost položaja može se poboljšati korištenjem zemaljskih i satelitskih usluga poboljšanja. U zemaljske usluge (engl. *Ground Based Augmentation Services*, GBAS) spada diferencijski GPS (engl. *Differential GPS*, DGPS) ili općenitije DGNSS. U satelitske (engl. *Satellite Based Augmented services,* SBAS) spadaju sustavi kao što su *Wide Area Augmentation System* (WAAS) GPS-a i europski *European Geostationary Navigation*

[147] IALA, 2018. NAVGUIDE 2018 Marine Aids to Navigation Manual, 8th ed. International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities, 10 rue des Gaudines, Saint Germain en Laye, France.
[148] Hohenkerk, C., Kemp, J., Nibbs, B., 2012. Astro Navigation Remembered. J. Navigation 65, 381–395. https://doi.org/10.1017/S0373463312000033
[149] Malkin, R., 2014. Understanding the Accuracy of Astro Navigation. J. Navigation 67, 63–81. https://doi.org/10.1017/S0373463313000520
[150] Morton, Y.J., Diggelen, F. van, Jr, J.J.S., Parkinson, B.W., Lo, S., Gao, G., 2021. Position, Navigation, and Timing Technologies in the 21st Century: Integrated Satellite Navigation, Sensor Systems, and Civil Applications, Volume 1. John Wiley & Sons.

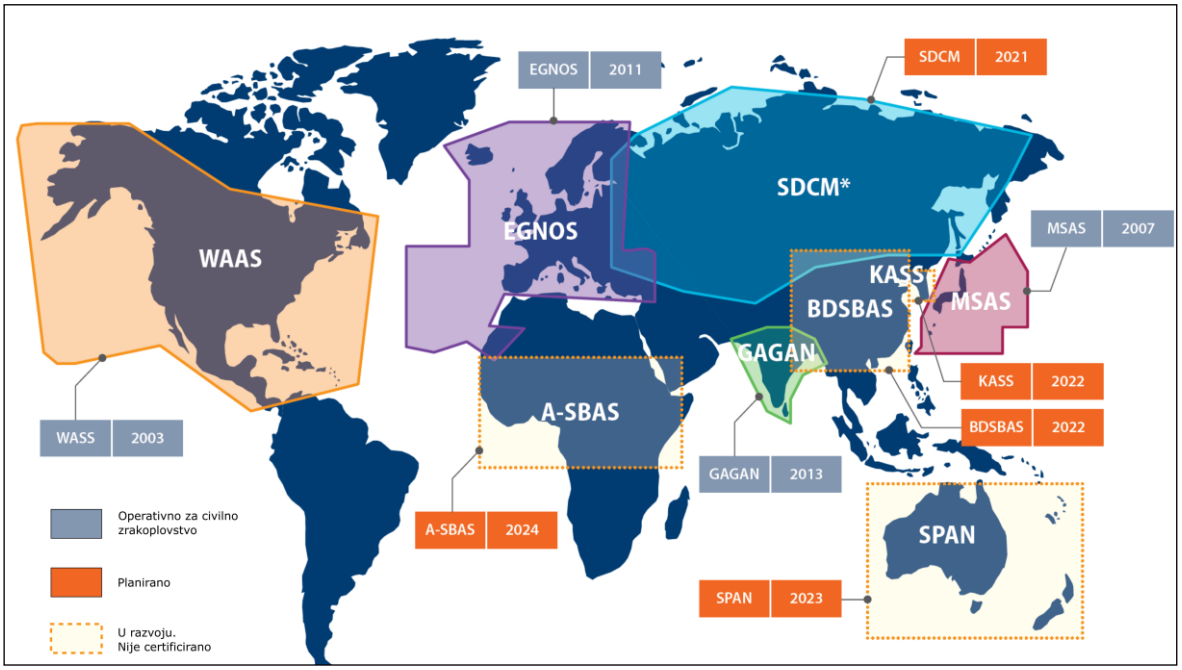
Overlay Service (EGNOS). Nadalje, sam integritet satelitskih signala određuje se RAIM algoritmom (engl. *Receiver Autonomous Integrity Monitoring,* RAIM) koji koristi dodate signale, osim onih koji se koriste za određivanje položaja.[151]

Prijamnik načelno može koristiti pojedinačne GNSS sustave (engl. *single-constellation,* SC) ili više sustava istovremeno (engl. *multi-constellation,* MC), i koristiti jednu (engl. *single frequency,* SF), dvije (engl. *dual frequency,* DF) ili više frekvencija (engl. *multiple frequency,* MF).[152] S ovako raznovrsnim mogućnostima, i radi određivanja granične vrijednosti položajne točnosti u istraživanju, razmotreno je koji se uređaji mogu očekivati na većini brodova. Iz znanstvenih i ostalih izvora, na brodovima su najzastupljeniji GNSS jednofrekvencijski GPS prijamnici s mogućnostima diferencijskih ispravaka[153] te u ponešto manjoj mjeri sa SBAS mogućnostima.[154] Slično je utvrđeno i na istraživanju iz 2016. u kojemu su ispitane SBAS mogućnosti 45 različitih modela prijamnika (SOLAS, izvan-SOLAS-a) u intervjuima s dvanaest proizvođača. Nekoliko izvan-SOLAS uređaja imalo je mogućnost višefrekvencijskog prijama i MC-a. Samo 30 % SOLAS SBAS uređaja imalo je mogućnost prijama drugih signala osim GPS-a, uglavnom bez mogućnosti višestrukog prijama. Većina je imala DGNSS i RAIM mogućnosti.[155] Općenito govoreći, za GPS prijamnike očekivana prosječna korisnička horizontalna točnost se kretala između 10 i 15 m, dok se za WAAS kretala u vrijednostima od 3-5 m.[156] Prema drugim autorima, osnovna točnost za korisnike može i bolja (manja) od 10 m, dok za DGPS može biti između 1 i 3 m.[157] Nastavno, i za ostale GNSS sustave osnovna horizontalna točnost može se kretati u rasponu od 1 do 10 m. Također, za naprednije metode preciznog određivanja položaja (engl. *Precise Point Positioning*, PPP) točnost dosiže vrijednost

---

[151] Šakan, D., Žuškin, S., Brčić, D., Valčić, S., 2019. Analysis of Primary Position Validation in ECDIS System, in: Advances in Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. CRC Press, pp. 5–16.
[152] Montenbruck, O., Steigenberger, P., Hauschild, A., 2020. Comparing the 'Big 4' - A User's View on GNSS Performance, in: 2020 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS). Presented at the 2020 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS), pp. 407–418. https://doi.org/10.1109/PLANS46316.2020.9110208
[153] Glomsvoll, O., Bonenberg, L.K., 2017. GNSS Jamming Resilience for Close to Shore Navigation in the Northern Sea. J. Navigation 70, 33–48. https://doi.org/10.1017/S0373463316000473
[154] Januszewski, J., 2014. Shipborne satellite navigation systems receivers, exploitation remarks. Zeszyty Naukowe/Akademia Morska w Szczecinie.
[155] EUSPA, 2021. Report on Maritime and Inland Waterways User Needs and Requirements Outcome of the EUSPA User Consultation Platform Issue/Revision: 3.0 (No. GSA-MKD-MAR-UREQ-229399). European Union Agency for the Space Programme.
[156] Arnold, L.L., Zandbergen, P.A., 2011. Positional accuracy of the wide area augmentation system in consumer-grade GPS units. Computers & Geosciences 37, 883–892. https://doi.org/10.1016/j.cageo.2010.12.011
[157] Specht, C., Pawelski, J., Smolarek, L., Specht, M., Dabrowski, P., 2019. Assessment of the Positioning Accuracy of DGPS and EGNOS Systems in the Bay of Gdansk using Maritime Dynamic Measurements. The Journal of Navigation 72, 575–587. https://doi.org/10.1017/S0373463318000838

od nekoliko do desetaka cm.[158] Vrijedi spomenuti da se kod korištenja MC GNSS konfiguracija načelno postižu i bolji rezultati.[159] Također, ako razmotrimo točnost i mogućnost da se SBAS može koristiti kao zamjena za DGNSS,[160] njegova horizontalna točnost je bolja od 5 m.[161] Općenito, SBAS pokrivenost (2020.), planirana područja s očekivanim terminom implementacije i područjima koja se tek razmatraju možemo vidjeti na Slici 13.



Slika 13. Prikaz SBAS postojećih područja, planiranih termina početka rada i planiranih područja. Prilagođeno prema izvoru[162]

U kontekstu vertikalne točnosti (95 %), za GNSS možemo očekivati 4 do 20 m, DGNSS 0,5 do 7,5 m te za SBAS 3 do 12 m. Valja spomenuti da će zahtjevi za iznimno točno određivanje položaja biti sve viši u svim segmentima transporta, pa tako i pomorstva, naročito u segmentu korištenja prijamnika visoke razine sigurnosti (engl. *safety-critical*). Navedeno se odnosi na konvencionalne brodove, različite vrste specijaliziranih brodova, autonomne plovne objekte i autonomne brodove, pa se kao imperativ nameće korištenje DFMC (engl. *dual frequency multi-constellation*) prijamnika ili čak korištenja više frekvencija.

---

[158] Montenbruck i dr., 2020., op. cit.
[159] Kos, S., Pongračić, B., Brčić, D., 2019. A study on multi-constellation GNSS positioning performance in terms of maritime requirements.
[160] IALA, 2019. G1152 SBAS Maritime Service Edition 1.1, July 2022.
[161] IALA, 2015. G1112 Performance and Monitoring of DGNSS Services in the Frequency Band 283.5-325kHz Edition 1.1. July 2022.

Naravno, da bi se navedeno provelo potrebno je razriješiti standardizacijske izazove između različitih GNSS i RNSS-ova i izrade odgovarajućih uređaja. Slično vrijedi i za autonomne plovne objekte i brodove koji zahtijevaju iznimno točno određivanje položaja obzirom na postavljene zahtjeve autonomije i ograničenja plovidbenog područja.[162] Također, uz prethodno opisane mogućnosti i zahtjeve GNSS sustava valja spomenuti i rezolucije koje se odnose na opću navigacijsku točnost po pojedinim fazama navigacije.

IMO A.1046(27) rezolucija iz 2011.[163] odnosi se na svjetski radionavigacijski sustav (engl. *Worldwide Radionavigation System*) čije su osnovne vrijednosti navigacijske točnosti za pojedinu fazu navigacije vidljive su u prvome stupcu Tablice 11. Točnost se kreće od 100 m u oceanskoj navigaciji, odnosno do 10 m u ostalim fazama navigacije pri 95 % pouzdanosti i najduljim intervalom između dva određena položaja od 2 sekunde. Dostupnost signala bi trebala prelaziti 99,8 % u svim fazama, dok se za ostale faze osim oceanske navodi zahtjev dostupnosti i neprekinutosti, tj. kontinuitet usluge (engl. *service continuity*), od 99,7 % u periodu od 15 minuta. Za te faze naveden je i zahtjev o uzbunjivanju kada usluga nije dostupna (nakon 10 sekunda), odnosno kada nastupi prekid.

Tablica 11. Opći zahtjevi navigacijske točnosti prema rezolucijama IMO rezolucijama A.1046(27) i A.915(22)

Navigacijska faza	IMO rezolucija A.1046(27)	IMO rezolucija A.915(22)
Oceanska	100 m	10 m
Obalna	10 m	10 m
Prilaz luci	10 m	10 m
Ulaz u luku	10 m	10 m
Luka	*	1 m
Unutarnji plovni putovi	*	10 m

* nije navedeno

Detaljnija razrada o budućem korištenju GNSS usluga u pomorsku navigaciji i točnosti položaja navedena je u rezoluciji A.915(22) iz 2001.[164] U rezoluciji su opći navigacijski zahtjevi za pomorske korisnike i pripadajuća točnost navedeni u Dodatku 2 rezolucije, vidljivi u drugome stupcu Tablice 11. Uz osnovne navigacijske faze navedene kao i u rezoluciji A.1046(27) dodani

[162] European GNSS Supervisory Authority, 2020. GNSS user technology report. Issue 3, 2020. Publications Office, LU.
[163] IMO, 2011. Resolution A.1046(27). Worldwide Radionavigation System.
[164] IMO, 2001. Resolution A.915(22). Revised Maritime Policy and Requirements for a Future Global Navigation Satellite System (GNSS).

su zahtjevi za luke te unutarnje plovne putove. Vidljivo je da su zahtjevi točnosti ujednačeni na 10 m za većinu faza, osim lučke koja ima vrijednost od 1 m dok interval između određivanja položaja iznosi 1 sekundu. Također su navedene vrijednosti odstupanja od 25 m koje će aktivirati uzbunjivanje s vremenom uzbunjivanja od 10 sekunda. Dostupnost usluge određena je prema intervalu od 30 dana i trebala bi biti 99,8 %. Neprekidnost usluge tijekom 3 sata ne zahtijeva se za oceansku i obalnu fazu, dok za ostale iznosi 99,7 %. Nadalje, pokrivenost uslugom je globalna za oceansku i obalnu fazu, regionalna za prilaz lukama, ograničenim područjima plovidbe i unutarnjim plovnim putovima, dok je lokalna za luke. Konačno valja napomenuti da se u ostalim dodatcima rezolucije nalaze zahtjevi za ostale korisnike i usluge poput tegljenja, nadzora pomorske plovidbe, traganja i spašavanja, hidrografskih, oceanografskih i ostalih usluga sa zahtijevanom točnosti jednakom ili boljom od općih navigacijskih usluga.

Konačno valja napomenuti, da iz ovog osnovnog prikaza, proizlazi niz povezanih tema koje zaslužuju istraživačku pozornost poput integriteta, dostupnosti, pokrivenosti GNSS sustavima[165] odnosno razvoja i implementacije GNSS i RNSS standarda u pomorstvu.[166] Međutim, radi njihovog opsega kao i prikladnog prikaza odnosne razrade, značajno bi se proširilo osnovno razmatranje položaja u kontekstu GPP-a u okviru planiranja putovanja. Spomenute teme neosporno upućuju na nove smjerove u budućim istraživanjima.

2.3.7. Informacijski sustav i prikaz elektroničkih karata (ECDIS)

Završetkom postupka implementacije i tranzicije ECDIS sustav je postao primarno sredstvo za planiranje i izvedbu putovanja. Kroz prethodno prikazana razmatranja ENC-ova kao osnovnog elementa sustava potrebno je razmotriti i ostale dijelove koji su dio ECDIS-a i koriste se pri planiranju i izvedbi putovanja.

ECDIS sustav neosporno je pridonio sigurnosti plovidbe i olakšao postupak planiranja putovanja smanjujući radno opterećenje u raznim dijelova procesa pripreme, korištenja i interpretacije navigacijski važnih podataka. Kao i kod ENC-ova, pri razvoju i primjeni odredbi uključeni su IMO, IHO i IEC. Međutim uz niz prednosti, uočen je i niz izazova pri korištenju

---

[165] Zalewski, P., 2020. Integrity Concept for Maritime Autonomous Surface Ships' Position Sensors. Sensors 20, 2075. https://doi.org/10.3390/s20072075

[166] Zalewski, P., Bąk, A., Bergmann, M., 2022. Evolution of Maritime GNSS and RNSS Performance Standards. Remote Sensing 14, 5291. https://doi.org/10.3390/rs14215291

ECDIS-a, prikazu ENC simbola, anomalija ili znatnom broja alarma radi postavljenih ograničenja sukladno sigurnosti plovidbe, ali i same izvedbe sustava.[167] Također, pojedine odrednice samog sustava i njegove primjene dvosmislene su ili nedovoljno razrađene.[168] Nastavno. kada se još razmotre i izazovi prikladnog određivanja i postavljanja sigurnosnih postavki poput sigurnosne izobate ili dubine mogu se pojmiti moguće dvojbe koje krajnji korisnik ima na brodu prilikom planiranja i izvedbe putovanja.[169]

Prethodno je prikazana opća povezanost ENC-a i ECDIS, prvenstveno preko relevantnih standarda. U tekstu koji slijedi ukratko će se prikazati osnovna obilježja ECDIS sustava i bitni elementi planiranja putovanja.

Opći zahtjevi ECDIS sustava određeni su u nekoliko rezolucija i okružnica. Uz SOLAS koji predstavlja polazište za prihvaćanje ECDIS sustava kao zamjene za posjedovanje papirnatih karata, mogu se izdvojiti IMO rezolucije i okružnice koje se tiču ECDIS sustava, pripadajućih senzora, odnosno zahtjeva o uzbudama. Prva rezolucija je IMO MSC 232(82)[170] u kojoj se opisuju izvedbeni standardi ECDIS-a, navode se osnovni pojmovi i definicije, značajke i načela ažuriranja karata. Opisuju se osnovni zahtjevi i podatci SENC-a i ostalih informacija koji moraju biti prikazani, korištene boje, opća točnost pojedinih funkcija te provjere, alarmi i indikacije sustava. Također se navode osnovni zahtjevi veličine i značajki zaslona uz sigurnosne zahtjeve u slučaju kvara pojedinih elemenata sustava te povezivanje s drugim uređajima i sustavima. Planiranju rute, izvedbi i bilježenju putovanja, posvećeno je cijelo poglavlje u kojem se između ostalog navodi nekoliko bitnih obilježja. Za sigurnosnu izobatu i ulazak u područja zabrane, alarmi i indikacije odnose se na SENC najvećega mjerila. Planiranje i izvedba putovanja bi trebalo biti jednostavno uz mogućnosti stvaranja ravnih i zakrivljenih segmenta te grafičko i numeričko uređivanje međutočaka. Također bi se trebalo prikazati ako predviđena ruta prelazi preko sigurnosne izobate ili područjima kojima nije dopušteno proći, za koje postoje posebne odredbe ili se smatraju opasnim za navigaciju. Uz navedeno mora postojati mogućnost postavljanja niza alarma poput bočnog odstupanja od rute (XTE), prolaska

---

[167] Brčić, D., Žuškin, S., Valčić, S., Rudan, I., 2019. ECDIS transitional period completion: analyses, observations, and findings. WMU Journal of Maritime Affairs 18, 359–377.
[168] Brčić, D., Žuškin, S., Valčić, S., Frančić, V., 2018. Implementation of the ECDIS system: An OOW perspective as an integral part of educational improvement. AGA 2018 - 19th Annual General Assembly (AGA) of the International Association of Maritime Universities (IAMU) 121.
[169] Žuškin, S., Brčić, D. Kos, S., 2016. Partial structural analysis of the ECDIS EHO research: The safety contour. In 7th International Conference on Maritime Transport (pp. 27-29).
[170] IMO, 2006. Resolution MSC.232(82), adopted on 5 December 2006. Adoption of The Revised Performance Standards for Electronic Chart Display and Information Systems (ECDIS).

preblizu opasnostima ili odstupanja između vrijednosti položaja primarnog i sekundarnog izvora položaja. Također, mora postajati mogućnost prikaza alternativnih ruta, prikaza vremenskih oznaka uz prevaljeni put, određivanja geografskih koordinata objekata, unosa položaja i stvaranja zapisa cjelokupnog putovanja. Konačno, u dodacima se navode relevantne IMO, IHO, IEC i ostale publikacije, zahtijevane SENC informacije pri izvedbi i nadzoru putovanja, navigacijski elementi i parametri, područja s posebnim zahtjevima, načela sigurnosne kopije odnosno zalihosti sustava te korištenju ECDIS-a u RCDS načinu rada.

Vrijedi spomenuti i IMO MSC.1/Circ.1503 okružnicu[171] u kojoj se navode najvažniji zahtjevi prema SOLAS-u, održavanje ECDIS-a, opažene anomalije pri korištenju ECDIS-a te razlike između RCDS-a i ECDIS-a. Također se navode i bitne značajke izobrazbe, načela prelaska s tradicionalnih metoda navigacije korištenjem papirnatih karata na navigaciju ECDIS-om i smjernice za ECDIS izobrazbu i provjeru korištenja uz primjenu simulatora. Vrijedi istaknuti i reference na IMO izvedbene standarde ECDIS-a te ostale okružnice koje se odnose na ECDIS. Okružnice između ostalog uključuju smjernice i pojašnjenja o ergonomskim kriterijima, ažuriranju ECDIS-a, skraćenicama i simbolima, točnosti položaja na kartama i integriranim sustavima.

Razmatrajući prikaz navigacijskih podataka ECDIS-a potrebno je spomenuti IMO MSC.191(79) rezoluciju[172] koja se odnosi na izvedbene standarde koji se tiču prikaza navigacijskih informacija na zaslonima. Ukratko, cilj ove rezolucije je usklađivanje i ujednačenost izvedbe uređaja koji se koriste za navigaciju. Opisuje se razmještaj informacija na zaslonu, čitljivost, boje, intenzitet te korišteni simboli koji su navedeni i opisani u IMO okružnici SN/Circ.243.[173] Također se opisuju simboli, načela kodiranja informacija npr. alarma i odgovarajućih boja, integritet informacija i alarmi. Naveden je i prikaz vlastitog broda, praćenih objekata, podataka karte, radarske, AIS informacije te obilježja ECDIS zaslona.

U kontekstu pojašnjenja pojmova ENC-ova i ostalih tipova elektroničkih karata, njihovog korištenja za navigaciju i načina rada ECDIS-a koji je usklađen s prethodno opisanim zahtjevima prvenstveno prema SOLAS-u, vrijedi spomenuti IHO S-66 publikaciju.[174] U

---

[171] IMO, 2017. MSC.1/Circular.1503/Rev.1 - ECDIS - Guidance for Good Practice.
[172] IMO, 2004. Resolution MSC.191(79), adopted on 6 December 2004. Performance Standards for The Presentation of Navigation-Related Information on Shipborne Navigational Displays. London, 6 December 2004
[173] IMO, 2014. SN.1/Circ 243/Rev. 1. Amended Guidelines for the Presentation of Navigational-Related Symbols, Terms and Abbreviations. International Maritime Organization.
[174] IHO, 2018. IHO Publication S-66 edition 1.1.0. Facts about Electronic Charts and Carriage Requirements. IHO.

publikaciji se navode i opisuju pojmovi službenih karata, ENC-a, RNC-a, odnosno ECS-ova i njihovog statusa prema propisima. U kontekstu ECDIS-a navodi se što je ECDIS, tko ga tipski odobrava, obveze posjedovanja ECDIS-a i načela rada odnosno korištenja zamjenskih uređaja ili papirnatih karata. Bitan element odnosi se na korištenje ECDIS-a pri planiranju putovanja u kojem se navode prednosti pri planiranju poput raznovrsnih mogućnosti pripreme, ucrtavanja, označavanja i provjere opasnosti. Međutim, navode se opasnosti poput pretjeranog pouzdavanja u elektroničke sustave, a naročito ENC-ove pošto se mogu temeljiti na nepouzdanim, odnosno na podacima niže kategorije kvalitete. Nastavno, opisuju se obilježja prikaza podataka ENC-a i korištenja u različitim uvjetima osvjetljenja i pri različitim mjerilima. Uz opća obilježja ECDIS izobrazbe također se navode i obilježja neslužbenih odnosno privatnih karata koje se mogu razlikovati od proizvođača do proizvođača, te se ne mogu koristiti kao zamjena za ENC.[175]

2.4. Obilježja broda i zahtjevi pri planiranju putovanja

Razmatrajući povezanost obilježja broda i okružja te zahtjeve planiranja putovanja u kojem se nalazi, ograničenja se mogu promatrati u odrednicama prostora, vremena ili u funkciji prostora i vremena.[176] Početne vrijednosti su statička prostorna ograničenja određena geometrijom broda. No, kako se brod kreće odnosno plovi potrebno je osnovne vrijednosti prilagoditi dinamičkim rasponima. Okružje također nije nepromjenjivo, pa se uz statička ograničenja mora također uključiti dinamičke i vremenski promjenjive vrijednosti, koje je potrebno zajedno razmotriti uz neodređenosti u svrhu cjelokupne pripreme i plovidbe. Međutim kod takvog, cjelokupnog razmatranja bilo bi potrebno uključiti i modelirati ne samo kretanje broda već i međudjelovanja broda i sila u okružju.

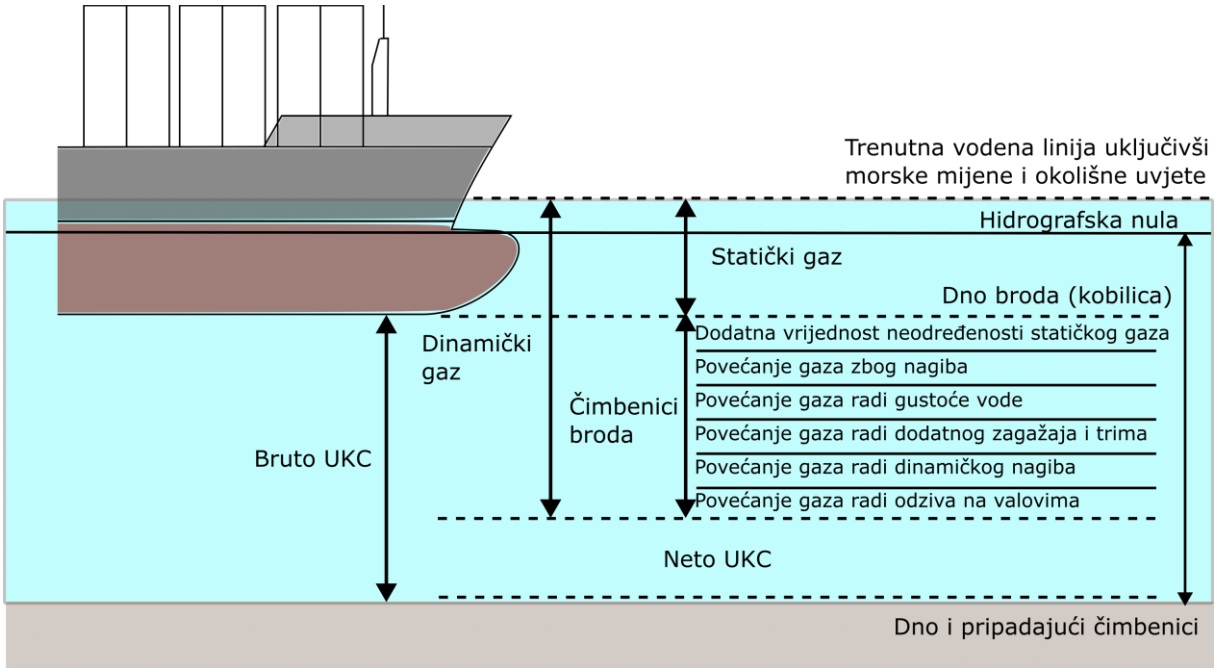
2.4.1. Značajni parametri broda korišteni pri planiranju putovanja

Prethodno opisane smjernice navode elemente koje je potrebno razmotriti pri planiranju putovanja. Prema njima, duljina i širina broda određuju osnovna horizontalna, a gaz osnovna vertikalna ograničenja. Tim osnovnim statičkim geometrijskim vrijednostima mora se pridodati raspon koji se mijenja ovisno o manevarskim sposobnostima i brzini broda. Naravno, moraju se uzeti u obzir obilježja okoliša i sila koje djeluju na brod. Tako će se na temelju pripadajućih

---

[175] Ibid., str. 38.
[176] Calder, B.R., 2015. On Risk-Based Expression of Hydrographic Uncertainty. Marine Geodesy 38, 99–127.

parametara odrediti preostala dubina ispod kobilice broda odnosno UKC (engl. *Under Keel Clearance*), polumjer kružnice okreta broda i sigurnosna brzina u odnosu na navigacijske opasnosti i dubinu, plovidbena ograničenja i uvjete koje utječu na sigurnosti plovidbe poput doba dana, plime i oseke, dodatnog zagažaja ili nagiba tijekom okretanja broda. Često korištena razrada odnosa obilježja broda, razine vode i obilježja s raščlambom elementa može se vidjeti na Slici 14.



Slika 14. Određivanje potrebne dubine ispod kobilice. Priredio i prilagodio autor prema[177]

Čimbenici koji se odnose na razinu vode uključuju vrijednost hidrografske nule odnosno načina kako se određuje. Često je to najniža razina vode pri prosječnim meteorološkim i bilo kojoj kombinaciji astronomskih uvjeta kao što je najniža astronomska voda (NNAV, engl. *Lowest Astronomical Tide,* LAT) ili kao srednja razina nižih niskih voda živih morskih mijena (SNŽV, engl. *Mean Low Water Spring*, MLWS). Naravno, u područjima gdje je radi obilježja razina drugačija od NNAV, mogu se koristiti i druge dopuštene razine.[178] Uz utjecaj plime i oseke, visina vode ovisi i o meteorološkim uvjetima koji je mogu sniziti ili povećati, primjerice pri promjeni tlaka zraka ili pri puhanju dugotrajnog i snažnog vjetra.

Kada razmatramo čimbenike broda, na temelju gaza broda i drugih vrijednosti određuje se potrebna dubina ispod kobilice, odnosno UKC. Kako je vidljivo, UKC se dobiva kao zbroj

[177] Žuškin i dr., 2016., op. cit.
[178] IHO, 2021., S-4, Section 400 – Hydrography and Aids to Navigation, B-405.2 i B-405.3, op. cit., str. 5.

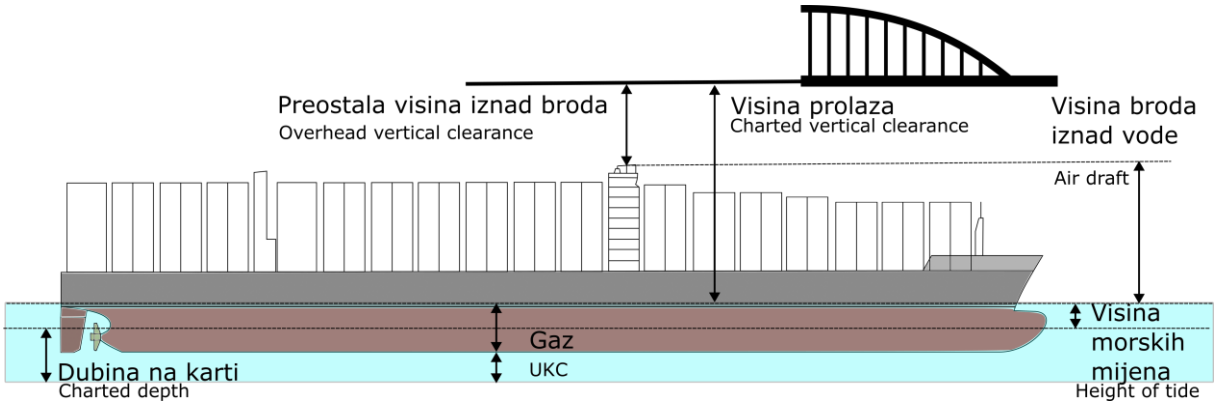
vrijednosti određene najvećim (statičkim) gazom broda obzirom na gustoću vode, promjenu gaza radi utjecaja valova, dodatnog zagažaja, promjene trima i bočnog nagiba. Također je potrebno uzeti u obzir meteorološke i oceanološke uvjete te promjene u razini dna koje uključuju zamuljivanje između dvaju jaružanja i promjene u mjerenju dubine. Pošto je riječ o nizu elemenata koji doprinose i mijenjaju vrijednost potrebne dubine ispod kobilice nužno ih je ukratko razmotriti i opisati započevši sa statičkim gazom. Početnu vrijednost statičkog gaza brod će imati nakon završetka ukrcaja ili iskrcaja tereta, odnosno nakon bilo kojih drugih radnji kojima se mijenja deplasman broda. Njegova vrijednost može se mijenjati tijekom plovidbe radi promjene gustoće vode, trošenja goriva ili radi balastiranja, između ostalog. Statički gaz je vrijednost izmjerena od površine vode do najnižeg dijela broda. Na statički gaz potrebno je dodati bruto UKC vrijednost (engl. *Gross UKC*) u koju ulazi nekoliko čimbenika. Prvi se odnosi na dodatne vrijednosti za statički gaz. Zatim slijedi neposredna promjena gaza radi promjene gustoće mora odnosno vode, dodatnog zagažaja, dinamičkog nagiba broda pri okretu ili djelovanju vjetra, odziva na valovima i konačno neto UKC (engl. *Net UKC*). Neto UKC označava minimalnu vrijednost od kobilice broda do dna pri najnepovoljnijim uvjetima koji utječu na gaz broda. Jednostavnije rečeno, neto UKC predstavlja preostalu sigurnosnu vrijednost dubine kada se oduzmu preostali čimbenici broda koji ulaze u bruto UKC. Neto UKC bi se trebao odrediti ovisno o vrsti broda, i prema pojedinim preporučenim vrijednostima ovisno o vrsti dna može se kretati u rasponu od 0,5 do 1 m, za primjerice kamenita dna.[179]

Općenite minimalne vrijednosti bruto UKC-a mogu se pojednostavljeno odrediti za različita plovidbena područja prema sljedećim vrijednostima.[180] U otvorenim morskim područjima, izloženim valovima pri velikoj brzini broda u vrijednosti iznosi 30 % najvećega gaza broda. U kanalima izloženim valovima u vrijednosti 25 % najvećega gaza. Za područja manevriranja i pristajanja izloženim valovima u vrijednosti od 20 % i konačno 15 %, ako su ta područja zaštićena.

Dosadašnje razmatranje odnosilo se na sigurnosne vrijednosti ispod kobilice broda, pa je potrebno ukratko prikazati odrednice za vertikalne prepreke iznad broda, odnosno razine mora. U tu svrhu određuje se vrijednost visine broda iznad vode (engl. *air draft*). Slično, kao i kod određivanja UKC-a i čimbenika razine voda i ovdje se treba uzeti u obzir najnepovoljnije

[179] PIANC, 2014. Harbour Approach Channels - Design Guidelines, MarCom Working Group 121.
[180] Kos, S., Zorović, D., Vranić, D. 2010. Terestrička i elektronička navigacija. Rijeka. Pomorski fakultet u Rijeci.

vrijednosti odnosno, stanje nakrcanosti broda i kretanje broda pri kojem će imati najveću visinu pri najvišoj mogućoj ili srednjoj razini najviših voda i prema utjecaju meteoroloških i oceanoloških prilika. Slično kao i kod UKC-a, može se primijeniti izraz najmanje potrebne preostale visine iznad broda odnosno visine iznad najviše točke broda, kako je vidljivo na Slici 15. Taj pojam je poznat pod nekoliko kratica, ADC (engl. *Air Draught Clearance*)[181] ili OVC (engl. *Overhead Vertical Clearance*).



Slika 15. Vrijednosti potrebne visine iznad broda. Priredio autor prema[169]

Kao razinu vode za visine na kartama uobičajeno se uzimaju vrijednosti visokih voda (VV ili engl. *High Water,* HW), odnosno srednja visoka voda živih morskih mijena (SVVŽ ili engl. *Mean High Water Springs,* MHWS), srednja viša visoka voda (SRVV, engl. *Mean Higher High Water*, MHHW) ili najviša astronomska voda (NVAV ili engl. *Highest Astronomical Tide,* HAT).[182]

Vrijedi spomenuti da je u okviru IHO S-100 obitelji standarda napravljen IHO S-129 standard. On se odnosi na upravljanje UKC-om (engl. *UKC Management*, UKCM) i prikazom slojeva koji pokazuju područja kojima nije moguće (engl. *non-navigable*) ili skoro nije moguće ploviti (engl. *almost non-navigable*) tj. blizu je granične vrijednosti UKC-a za plovidbeno područje. Standard se ne odnosi samo na navigacijske sustave i prikazan je kao dodatni sloj podataka ENC-a. Vrijednosti se određuju na temelju inicijalnog plana putovanja broda i podataka koje priprema pružatelj usluga odnosno nadzorno tijelo u području upravljanja UKC-om.[183]

[181] PIANC, 2014. op. cit., str. 37.
[182] IHO, 2021. S-4, Section 300 – Topography, B-302.2, op. cit., str. 4.
[183] IHO, 2019. S-129 Under Keel Clearance Management Information Product Specification (Edition 1.0.0 – June 2019).

Dodatni zagažaj predstavlja promjenu u vertikalnom položaju broda tijekom plovidbe i očituje se kao dodatan uron i dinamička promjena trima pod utjecajem brzine broda.[184] Ovisi ponajviše o brzini i UKC-u te o obilježjima plovidbenog područja (otvoreno, ograničeno, kanal) odnosno o obilježjima broda, obliku trupa tj. o njegovom koeficijentu punoće istisnine i relativnoj brzini broda V_S. Potrebno je naglasiti da se vrijednost dodatnog zagažaja mijenja s kvadratom brzine ili čak više, pa za dvostruko povećanje brzine dodatni zagažaj raste četverostruko.[185] Prema navedenome, važno je odrediti sigurnu brzinu kojom će se brod kretati tijekom putovanja.

Općenito, odabir brzine za pojedine dijelove rute pri planiranju i izvedbi putovanja ovisi o nekoliko čimbenika. Prva skupina tiče se sigurnosnih ograničenja vlastitoga broda i statičkih prepreka, bilo horizontalnih ili vertikalnih u različitim plovnim područjima. Druga skupina odnosi se na sigurnosne čimbenike pri izbjegavanju dinamičkih objekata poput drugih brodova ili plovnih objekata tijekom plovidbe. Treća skupina predstavlja ograničenja i zahtjeve o brzini vezanih uz operativni aspekt korištenja broda u koje možemo uvrstiti ugovornu brzinu plovidbe broda, smanjivanje troškova, smanjenje onečišćenja okoliša ili njegove zaštite. Poteškoća je što pri određivanju *sigurne brzine* nije moguće jednostavno unificirati prethodno navedena ograničenja. U *Međunarodnim pravilima za izbjegavanje sudara na moru* (MPISM*, engl. Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea,* COLREGs) spominje se sigurna brzina (engl. *safe speed*) koja se odnosi na izbjegavanje površinskih brodova odnosno plovila i objekata pri kojoj se može sigurno i pravovremeno izbjeći sudarna situacija.[186] U literaturi se brzina spominje i u drugim aspektima, primjerice ekonomskim, pa joj se pridružuju dodatni pojmovi poput *optimalna* ili *preporučena*, no temeljni pojam se odnosi na prethodnu brzinu kojom se brod sigurno kreće tijekom cijele plovidbe. Ako uz brzinu proširimo razmatranje i na pojam sigurnosne domene (engl. *safety domain*) kojom se opisuje sigurno područje oko broda u dvije ili tri dimenzije dolazimo do sličnog pojmovnog opažanja i višestruke interpretacije. Tako se i domena temelji na različitim interpretacijama sigurnosti ili navigacijske opasnosti, čime većinu koncepata domene možemo smatrati subjektivnima.[187] Unatoč tome, vrijedi spomenuti potencijalno rješenje određivanja brzine u okviru

---

[184] Gourlay, T.P., 2011. A brief history of mathematical ship-squat prediction, focussing on the contributions of E.O. Tuck. J Eng Math 70, 5–16.
[185] PIANC, 2014. op. cit., str. 37.
[186] Rutkowski, G., 2016. Determining Ship's Safe Speed and Best Possible Speed for Sea Voyage Legs. TransNav 10, 425–430.
[187] Rutkowski, G., 2020. Determining the Best Possible Speed of the Ship in Shallow Waters Estimated Based on the Adopted Model for Calculation of the Ship's Domain Depth. Polish Maritime Research 27, 140–148.

pojednostavljene 3D domene broda na temelju koje se sigurna brzina određuje za sve tri osi kretanja.[188] Tako se u osi *x,* odnosno za kretanje naprijed/natrag, sigurna brzina V_X određuje prema mogućnostima zaustavljanja broda, kao funkcija duljine broda odnosno duljine njegove domene, i manevarskih obilježja broda. Os *y,* oko koje se brod zakreće i pripadajuća brzina V_Y odnosi se na utjecaj vanjskih poremećaja i ograničenja plovnog područja, odnosno puta i načelno je povezana sa sposobnosti održavanja kursa i širine domene. Za vertikalnu os *z,* pripadajuća sigurna brzina V_Z odnosi se na vrijednost UKC-a, ali i potrebne visine iznad broda ADC odnosno istovjetnog pojma OHC-a (engl. *Over Head Clearance*, OHC) te ovisi o vrijednosti sigurne dubine i visine broda navedene pojednostavljene 3D domene. Vrijedi spomenuti da korištenje prethodno opisanih razina vode kojima se prikazuje visina prolaza (engl. *Charted vertical clearance*) i sigurna visina prolaza (engl. *safe vertical clearance*) nije ujednačeno ne samo između karata različitih, već i istih izdavača.[189]

Kao što je i prikazano, neposredne statičke vrijednosti dimenzija broda prilagođavaju se sukladno promjenama brzine kretanja pripadajućim vrijednostima za pojedinačno putovanje, vodeći računa o prostornim ograničenjima i obilježjima. Za cjelovito razmatranje i postavljanje sigurnosnih vrijednosti neophodno je razmotriti i manevarska obilježja broda.

2.4.2. Propisi, odluke i smjernice o manevarskim svojstvima brodova

U svrhu prikladnog određivanja vrijednosti sigurnosnih postavki pri planiranju putovanja potrebno je razmotriti manevarska obilježja broda, odnosno kriterije upravljivosti brodom. Nekoliko je općih izvora kojima se opisuju ispitivanja i određuju manevarske značajke brodova ili se navode preporuke kojima se one mogu približno odrediti. Navedeno se prvenstveno odnosi na standarde i kriterije IMO-a, kako će biti opisano neposredno u nastavku. Opisi i razrada manevarskih obilježja i upravljivosti broda mogu biti cjelovito opisani u smjernicama pojedinih klasifikacijskih društava.[190] Također, razrada i opisi nalaze se u izdanjima nacionalnih[191] i

---

[188] Ibid.
[189] Rutkowski, G., 2021. Analysis of a practical method for estimating the ship's best possible speed when passing under bridges or other suspended obstacles. Ocean Engineering 225, 108790.
[190] ABS, 2006. American Bureau of Shipping. Guide for Vessel Maneuverability 2006 (Updated February 2017).
[191] Puertos Del Estado, 1999. Recommendations for Maritime Works (Spain) ROM 3.1-99: Designing Maritime Configuration of Ports. Approach Channels and Floatation Areas, Spain: CEDEX.

međunarodnih tijela kojima su manevarska obilježja važna za npr. određivanje značajki plovnih putova[192] ili modela brodova odnosno njihovog testiranja.[193]

Osnovna obilježja određivanja manevarskih sposobnosti, navedena su u IMO MSC.137(76) rezoluciji[194] iz 2002. koja se načelno odnosi na brodove s uobičajenim porivom, odnosno vijkom, osovinom i kormilom. Navedena obilježja trebala bi se odnositi na brodove dulje od 100 m, bez obzira na poriv i kormilo, tankere za prijevoz kemikalija te tankere za prijevoz ukapljenog plina, bez obzira na duljinu. Zadovoljenje kriterija prema zahtijevanim standardima određuje se pokusima manevriranja odnosno ispitivanjima. Usklađenost sa standardima može se ispitati na fizičkim modelima ili računalno, uz validaciju na probnoj vožnji. U tom slučaju smatrat će se da brod zadovoljava standarde bez obzira na rezultate ispitivanja, osim u slučaju kada se validacijom pokaže da prethodna provjera nije na razini zahtijevanih standarda ili da brod ima značajnije drugačija manevarska obilježja nego prema standardima. Uz definiranje dimenzija odnosno geometrije broda, definirani su standardni pokusi manevriranja i njihovi nazivi. Također su opisana obilježja kojima se ispituje upravljivost broda odnosno manevarske sposobnosti poput brzine kojom se odvija provjera, obilježja okreta broda i izmjena otklona kormila prema zahtijevanom pokusu odnosno testu. Uz obilježja pokusa navode se i uvjeti pri kojima se pokus izvršava. Upravljivost broda testira se za okrete u lijevo i desno, u dubokome moru i neograničenom plovnom području pri mirnim okolišnim uvjetima i potpuno nakrcanim brodom na ravnoj kobilici. Također, kretanje broda mora biti ustaljeno (engl. *steady motion*) i s prethodno navedenom pokusnom brzinom broda tijekom ispitivanja. Da bi se smatralo da su manevarska obilježja broda sukladna standardima, moraju se zadovoljiti kriteriji prikazani u Tablici 12.

[192] PIANC, 2014. Harbour Approach Channels - Design Guidelines, MarCom Working Group 121.
[193] ITTC, 2021. Procedure Full Scale Manoeuvring Trials.
[194] IMO, 2002. Resolution MSC.137(76) Standards for Ship Manoeuvrability.

Tablica 12. Kriteriji upravljivosti broda prema IMO standardima manevarskih sposobnosti. Prilagođeno prema izvoru[195]

Okretljivost	Pri pokusu okretanja broda napredovanje ne smije prijeći 4,5 duljina broda dok taktički promjer ne smije prijeći 5 duljina broda		
Početna okretljivost	Pri otklonu kormila od 10° u lijevo ili desno, brod ne smije prevaliti više od 2,5 duljine broda do trenutka kada se kurs broda promijeni za 10° od početne vrijednosti		
Zaošijavanje i sposobnost održavanja kursa	Vrijednost prvog kuta prekoračenja* ne bi trebala prijeći: 10° ako je L/V < 10 s 20° ako je L/V > 30 s (5 + 1/2(L/V))° ako je L/V > 10 s < 30 s	Vrijednost drugog kuta prekoračenja* ne bi trebala prijeći: 25° ako je L/V < 10 s 40° ako je L/V > 30 s (17,5 + 0,75(L/V))° ako je L/V > 10 s < 30 s	Vrijednost prvog kuta prekoračenja** ne bi smjela prijeći ne bi trebala prijeći: 25° **L** – duljina broda **V** – brzina broda
Sposobnost zaustavljanja	Pri pokusu zaustavljanja korištenjem strojeva vožnjom svom snagom krmom zaustavni put ne bi trebao prijeći 15 duljina broda. Za brodove na kojima je ovaj kriterij zahtjevno primijeniti, poput brodova sa velikom istisninom vrijednost se može prilagoditi, ali u bilo kojem slučaju ne smije prijeći 20 duljina broda.		

* Z-test s promjenom kuta otklona kormila 10°/10° , ** Z-test s promjenom kuta otklona kormila 20°/20°

Konačno, u slučaju da rezultati testiranja nisu zadovoljavajući, potrebno je izvršiti korekcije sukladno objašnjenjima koje nalaze u okružnici IMO MSC/Circ.1053[196] koja se odnosi na IMO MSC.137(76) rezoluciju. Uz opće obrazloženje razloga donošenja standarda i načela manevarskih sposobnosti navodi se osnovni cilj, odnosno konstrukcija broda koji će imati zadovoljavajuće manevarske sposobnosti. Usklađenosti sa standardima postiže da se njihov nedostatak neće otklanjati upravljačkom vještinom osoba, što je nekada bio slučaj. Uz ciljeve, u okružnici se navode opća manevarska obilježja broda poput ustaljenog kretanja pri određenoj snazi stroja i kutu otklona kormila δ. Takvo kružno kretanje ima konstantni kut zaošijavanja ψ, brzinu V i kut zanosa β. Sukladno tome promjer kružnice okreta može se definirati po sljedećem izrazu:

$$R = \frac{V}{\psi} \tag{1}$$

Praktično se može smatrati da je brod u ravnome odnosno ustaljenome kursu zapravo na dijelu kružnice polumjera beskonačne vrijednosti, odnosno s nultom vrijednosti kuta zaošijavanja. Ovako postavljena konfiguracija broda i otklona kormila naziva se dinamički stabilna. Dinamička stabilnost pri držanju kursa postiže se otklonom kormila od približno 1° u desno za brodove s desnokretnim vijkom dok dinamički nestabilni brodovi zadržavaju kurs neprekidnom promjenom kuta otklona kormila u lijevo i desno. Nastavno se može smatrati da je kretanje

[195] Ibid., str. 6.
[196] IMO, 2002. MSC.1/Circ.1053 Explanatory Notes to The Standards for Ship Manoeuvrability.

broda određeno porivom, hidrodinamičkim silama i masom koja djeluje na trup. Iako mala, bočna sila koja nastaje zbog djelovanja kormila odnosno rezultanti moment je uglavnom dovoljan da uravnoteži ili nadvlada ostale momente. U ustaljenome okretu navedeni su momenti posve ujednačeni. Ukoliko je dinamički stabilan, nakon djelovanja sila koje mijenjaju uravnoteženost momenata, brod se vraća se u prvobitni kurs odnosno kretanje, bilo pravocrtno ili okret.[197] U smjernicama se navode uvjeti pri kojima se provjerava upravljivost broda uz napomenu da standardi i kriteriji upravljivosti nisu primjenjivi za evaluaciju pri stvarnim uvjetima. Sukladno tome, standardi se primjenjuju za stanje nakrcanosti na konstrukcijskoj vodenoj liniji odnosno ljetnoj vodenoj liniji i na ravnoj kobilici. Navedeni odabir se tumači općenitom pretpostavkom da su manevarska obilježja broda tada najlošija. Ukoliko nije moguće provesti ispitivanja prema prethodnim zahtjevima trebalo bih ih provesti na što je moguće bližem gazu odnosno nakrcanosti i s najmanjim mogućim trimom, odnosno s 5 % odstupanja.[198] Naročito se treba voditi računa o dostatnoj uronjenosti vijka. Kada se provjere manevarskih sposobnosti ne izvedu pri punoj nakrcanosti i na ravnoj kobilici, manevarska obilježja trebaju se izvesti iz podataka određenim na modelima ili simulacijama kojima se zadovoljavajuće mogu prikazati zahtijevani rezultati za punu nakrcanost i na ravnoj kobilici. Nastavno, opisi uvjeta i provjera manevarskih sposobnosti može se vidjeti u Tablici 13.

Tablica 13. Uvjeti pri kojima se vrše provjere manevarskih obilježja broda[196]

Dubina	Ukoliko je moguće u dubokome, neograničenome i zaštićenome području. Dubina četiri puta veća od srednjega gaza broda.
Nakrcanost i trim	Brod na konstrukcijskoj vodenoj liniji, posve nakrcan i na ravnoj kobilici. Kada to nije praktično, ispitivanje se može provesti i na manjem gazu, što je moguće bliže prethodno navedenim uvjetima ili uz veća odstupanja uz moguće korištenje modela i simulacija kojima će se ekstrapolirati rezultati
Metacentarska visina	Odgovarajuća i primjenjiva vrijednost metacentarske visine za posve nakrcan brod. Ukoliko je potrebno, dobivene vrijednosti tijekom provjera potrebno je ispraviti.
Vremenski uvjeti	Provjere bi se trebale provesti pri što je više moguće mirnijim vremenskim uvjetima. Vremenske uvjete potrebno je zabilježiti na početku i nakon završetka provjera, te po potrebi izvršiti korekcije radi utjecaja vremenskih prilika. Vjetar bi trebao biti slabiji od pet Beauforta, dok bi stanje mora trebalo biti manje od 4 pri stalnoj struji.
Kretanje i prilaz broda	Brzina prilaza minimalno 90 % brzine broda pri 85 % najveće snage glavnoga stroja, kurs broda usmjeren u vjetar. Postavke stroja ne bi se trebale mijenjati tijekom izvedbe. Pri prilazu kretanje u najmanjem trajanju od dvije minute s minimalnim korištenjem kormila radi održavanja kursa.

Uz prethodna navedena obilježja, i u SOLAS konvenciji postoje odrednice koje se odnose na manevarske sposobnosti. Tiču se vožnje krmom i obilježjima kormilarskih uređaja brodova s

[197] Ibid., str. 5.
[198] Ibid., str. 9.

tradicionalnim porivom i kormilom. Međutim, izričito su navedeni zahtjevi za brodove koji imaju porive i kormila drugačija od tradicionalnih.[199]

U prethodnim odjeljcima djelomično su prikazane odrednice koje se odnose na manevarske sposobnosti i upravljivost brodom. Vrijedi istaknuti da se unatoč ujednačenosti primjene standarda utjecaj ljudskog elementa ne može isključiti, bilo pri tumačenju podataka o manevarskim sposobnostima broda ili tijekom plovidbe pri upravljanju, naročito u ograničenim područjima plovidbe ili neposrednom manevriranju. Iskustvo, poznavanja obilježja pojedinog broda ili klase brodova, ali i obilježja pojedinca odnosno njegovog znanja i vještina neupitno utječu na planiranje i izvedbu manevra. Međutim, određivanje utjecaja čovjeka i njegovog doprinosa u odnosu na cjelokupne manevarske sposobnosti broda nije jednostavno odrediti.[200] Spomenuto se odnosi ne samo na neposrednu izvedbu nego i na prethodno donošenje odluka o odabranim vrijednostima značajki plana putovanja i odrednica puta koji će se ucrtati. Slično razmatranje može se primijeniti i na poznavanje odnosno interpretaciju značajki dinamičkih uvjeta okoliša ili odnosno područja plovidbe.

Kako je prikazano, predviđanje i izvedba manevra broda nosi raspon neodređenosti. Testiranje i dostupni podatci dovoljni su za razumno i razmjerno sigurno planiranje ponašanja broda pri promjeni u novi kurs, međutim uz dosljedno postavljene granične vrijednosti koje ne bi trebale dovesti brod u moguću opasnost. To je naročito bitno u zahtjevnim meteorološkim i oceanološkim uvjetima. Slično se može razmotriti i pri planiranju puta kod autonomnih plovila, naročito kada se uspoređuje razlika između metoda iz teorije upravljanja i automatike na temelju kojih su razvijeni neki pristupi autonomne plovidbe. Navigacijska ili uvjetno rečeno „nautička“ perspektiva u kojoj čovjek odlučuje i određuje put sa samo nekoliko parametara je fleksibilna. Međutim, takve metode i postavke mogu se smatrati konzervativnima, čak i nedostatnima u odnosu na „autonomnu“ perspektivu, obzirom na buduće zahtjeve takvih plovila. Međutim, unatoč nerijetkom spominjanju tzv. ljudskog faktora ili izravnije rečeno pogreške, kako u manevriranju tako i u ostalim navigacijskim postupcima, ljudsku fleksibilnost

[199] IMO, 2019. MSC.1/Circ.1416/Rev.1 - Unified Interpretations of SOLAS Regulations II-1/28, II-1/29, and II-1/30.
[200] Sutulo, S., Guedes Soares, C., 2021. Review on Ship Manoeuvrability Criteria and Standards. Journal of Marine Science and Engineering 9, 904.

i snalažljivost u izvanrednim situacijama, te interpretaciju informacija i dalje nije jednostavno zamijeniti algoritmima ili umjetnim entitetima.[201]

2.4.3. Korištenje podataka o manevarskim svojstvima broda pri planiranju putovanja

Neposredno tumačenje podataka i njihovo korištenje za planiranje putovanja, dostupno je iz nekoliko izvora: peljarskog obrasca (engl. *pilot card*), manevarskog priručnika (engl. *manoeuvring booklet*) i postera u kormilarnici (engl. *wheelhouse poster*) vidljivog za razmatrani brod u istraživanju na Slici 16.

WHEELHOUSE POSTER

Ship's name Container ship 29 (9300 TEU) 3.0.3.0 , Call sign 9HA3731 ,
Gross tonnage N/A , Net tonnage N/A , Load Condition LC2 (LOAD 06) , Displacement 119410 tons , Deadweight 112619 tons

DRAFTS IN PRESENT CONDITION	
Forward	12.37 m
Forward extreme	12.37 m
After	12.61 m
After extreme	12.61 m

STEERING PARTICULARS	
Type of rudder	Normal balance rudder
Maximum rudder angle	35 degrees
Hard-over to hard-over(1/2 pumps)	30 sec/15 sec
Neutral effect angle	0.23 degrees
Flanking Rudders	0

ANCHORS INFO	
Anchor(s) (No./types)	2 (PortBow / StbdBow)
No. of shackles	14 / 14
Max. rate of heaving, m/min	9.48 / 9.48
(1 shackle =27.5 m / 15 fathoms)	

PROPULSION PARTICULARS			
Type of Main Engine	Low speed diesel	Number of propellers	1
No. of Main Engines	1	Propeller rotation	Right
Max. power per shaft	1 x 47430 kW	Propeller type	FPP
Astern power	43.16 % ahead	Min. RPM	10
Time limit astern	N/A	Emergency FAH to FAS	123.6 seconds

Engine Telegraph Table

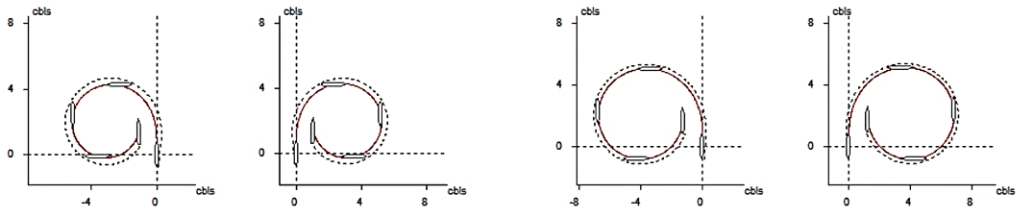
Engine Order	Speed, knots	Engine power, kW	RPM	Pitch ratio
"FSAH"	22.8	41195	78	1.08
"FAH"	18.5	20893	62	1.08
"HAH"	14.9	11278	50	1.08
"SAH"	10.2	4176	35	1.08
"DSAH"	6.6	1177	22	1.08
"DSAS"	-4.4	1116	-22	1.08
"SAS"	-7	3830	-34.9	1.08
"HAS"	-10	10438	-49.9	1.08
"FAS"	-12.4	19457	-61.8	1.08

THRUSTER EFFECT						
Thruster (s)	No. of units	Power (kW)	Time delay for full thrust(s)	Turning rate at zero speed(degrees/min)	Time delay to reverse full thrust(s)	Not effective above speed (knots)
Bow	1	3200	9.5	16.85	19	6
Stern	N/A					
Combined	N/A					

Auxiliary Steering Device(s): N/A

DRAFT INCREASE IN PRESENT CONDITION					
	Squat effect			Heel effect	
Under keel clearance	Ship's speed	Bow squat	Stern squat	Heel angle	Draft increase
3m	20.53 knots	-0.59 m	1.83 m	2 deg	0.67 m
	16.94 knots	0.7 m	1 m	4 deg	1.3 m
	13.81 knots	0.62 m	0.57 m	8 deg	2.49 m
2 m	20.26 knots	-0.82 m	1.95 m	12 deg	3.58 m
	16.76 knots	0.66 m	1.07 m	16 deg	4.56 m

Deep Water TURNING CIRCLES Shallow Water*



Eng.	Rudd.	Advance	Transfer	Tact. D	Final RoT	Final speed	Final time
100	35	4.26 cbls	2.32 cbls	5.18 cbls	41 deg/min	9 knots	457.6 s
100	-35	4.23 cbls	-2.29 cbls	-5.12 cbls	-42 deg/min	9 knots	451.6 s

Eng.	Rudd.	Advance	Transfer	Tact. D	Final RoT	Final speed	Final time
100	35	5.1 cbls	3.42 cbls	6.83 cbls	32 deg/min	9 knots	625.6 s
100	-35	5.05 cbls	-3.41 cbls	-6.74 cbls	-33 deg/min	9 knots	615.6 s

Slika 16. Prikaz dijela postera u kormilarnici za model korištenog broda iz navigacijskog simulatora. Izvor iz popisa brodova Wärtsilä NTPRO 5000 navigacijskog simulatora

Informacijama s postera mogu se interpretirati osnovna manevarska obilježja. Za podrobnije razmatranje potrebno je koristiti manevarski priručnik koji sadrži detaljnija manevarska

[201] Köckritz, O., Kurowski, M., Grunert, D., Korte, H., Hahn, A., 2016. From Nautical Path Planning in ECDIS to Their Realisation Applied for Fully Actuated Ships. IFAC-PapersOnLine 49, 115–120. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.10.330

obilježja za duboku vodu uključivši zaustavljanje i kontrolu brzine, plitku vodu, pri vjetru i maloj brzini.[202]

Sukladno manevarskim obilježjima i očekivanim uvjetima predstojećeg putovanja, potrebno je odrediti postavke koje ulaze u plan putovanja uključivši promjer kružnice okreta, brzinu zakretanja broda, točku kada će se započeti s okretanjem broda ili brzinu broda između pojedinih međutočaka. Iako se u istraživanju razmatraju statički uvjeti, potrebno je u okviru statičkih ograničenja razmotriti primjerice neposredni utjecaj brzine koja je dinamička na dodatni zagažaj ili zaustavni put. Sukladno tome brzina, kao što je slučaj pri planiranju putovanja, uvjetuje određene granične vrijednosti između pojedinih međutočaka koje se ne smije prijeći. U ovome istraživanju, brzina nije dinamički parametar koji se uzima i računa za svaku promjenu stanja sustava kojeg se promatra tj. referentnih okvira broda i prostora, već utječe na statičke granične vrijednosti. Kako se u okviru istraživanja nisu razmatrali dinamički uvjeti plovidbe i modeli brodova, time se nastojalo u razumnoj mjeri ponuditi statička rješenja koja su bila razmjerno bliska stvarnim proračunima. Kao što je djelomično prikazano do sada, a bit će više riječi u sljedećim poglavljima, cilj je postaviti temeljne sigurne vrijednosti pri planiranju i korištenju algoritama, kao što se čini danas na brodu, ali od strane časnika. Valja naglasiti da sama razina razrade pojedinih parametara varira o brodaru i vrsti broda odnosno o načinu koliko su opširno razrađene u pojedinim SMS-ovima brodara i dostupnoj opremi na brodu.[203]

Kako je prethodno prikazano, probne vožnje i ispitivanja daju određene manevarske vrijednosti koje se mogu očekivati, međutim stvarno ponašanje i odziv broda ovisit će o nizu čimbenika i uvjeta od kojih se dio može kontrolirati, dok drugima valja prilagoditi, odnosno predvidjeti ih da bi se spriječio gubitak mogućnosti upravljanja. Sukladno tome, moraju se koristiti dostupni podatci s postera u kormilarnici i opći izrazi za granične vrijednosti pri planiranju.

2.5. Sigurnosne postavke pri određivanju puta i planiranju putovanja

Prikladne sigurnosne postavke osiguravaju da su brod, posada, putnici i teret sigurni u redovitim plovidbenim uvjetima. Uz osnovne vrijednosti, mora postojati i određena zalihost, koja osigurava da se i u zahtjevnijim uvjetima plovidbe brod ne dovede u opasnost. Prema tome,

---

[202] IMO, 1987. Resolution A.601(15) Provision and Display of Manoeuvring Information on Board Ships.
[203] Šakan i dr., 2019. op. cit.

potrebno je razmotriti što sve određuje sigurnosne postavke i koje su njihove dostatne vrijednosti.

2.5.1. Sigurna izobata i dubina

U ECDIS sustavu potrebno je unijeti određene vrijednosti temeljem kojih će se aktivirati upozorenja i alarmi. Razmatrajući vertikalna ograničenja broda, to su vrijednosti sigurne dubine (SD) i sigurne izobate (SC), izobate duboke vode (engl. *deep contour,* DC) i izobate plitke vode (engl. *shallow contour,* SH). Primarna vrijednost kojom se aktiviraju alarmi je sigurna izobata. Ona predstavlja granicu između područja sigurnog za plovidbu i područja koje to nije. Idealno, postavljena vrijednost bi trebala odgovarati dostupnoj izobati. Međutim to nije slučaj, jer karte moraju zadovoljiti prethodno navedene uvjete generalizacije i čitljivosti, pa izobate u intervalima od 1 m nisu dostupne na određenim mjerilima. Nastavno, kako se mnogi ENC-ovi temelje na podatcima koji nisu metrički, tada i slijed izobata ne odgovara potrebnim intervalima. Prema tome, ako nije dostupna postavljena vrijednost sigurne izobate označava se prva sljedeća vrijednost, čime vizualno razgraničenje sigurne i duboke vode nije jednostavno razlučivo. U svrhu poboljšanja interpretacije opasnog i sigurnog područja plovidbe predviđeno je korištenje vrijednosti sigurnosne dubine. Ona se odnosi se na pojedinačne dubine (engl. *spot soundings*) te se postavljenjem SD-a podebljavaju dubine koje su manje od postavljene vrijednosti. Nažalost, u pristupu i izvedbi pojedinih ECDIS proizvođača ove se vrijednosti mogu postavljati pojedinačno ili kao jedinstvena vrijednost, čime mogu nastati dvojbe pri njihovom postavljanju. Vrijedi ponoviti da ukoliko se ne postavi sigurna izobata, sustav ostaje na početnoj vrijednosti od 30 m. Uobičajene vrijednosti izobata na pomorskim kartama kreću se od 0 m u područjima gdje je značajna vrijednost plime i oseke zatim 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 200, 300, 400, 500, 1000 i 2000 m. Ukoliko nisu značajne, izobate od 2 i 5 m mogu se ukloniti. Mogu se koristiti i dodatne izobate od 3, 8, 15, 25, 40 i 75 m te višekratne vrijednosti broja 10 ili 1000 m.[204] Vrijednosti SD i SC nisu propisane, ali se uglavnom primjenjuju slični načini njihovog određivanja. Određuju se prema naputcima i preporukama države pripadnosti broda, tvrtke odnosno brodara, usvojenih spoznaja iz obrazovanja ili odrednica iz priručnika sustava ECDIS. Iako postupci određivanja mogu varirati, općenito sigurnosnu dubinu možemo odrediti prema sljedećem izrazu:[169]

---

[204] IHO, 2021., S-4, Section 400 – Hydrography and Aids to Navigation, B-297, op. cit., str. 3.

$$SD = T + d_g + d_n + d_{dz} + d_{sm} + d_p + d_{ZOC} \quad (2)$$

U prethodnome izrazu kratice i oznake označavaju sljedeće: T - statički gaz broda, d_g– korekcija za gustoću, d_n – korekcija radi mogućeg kuta nagiba broda, d_{dz} – korekcija za dodatni zagažaj, d_{sm} – korekcija za sigurnosnu marginu, d_p – korekcija za morske mijene, d_{ZOC} – korekcija za ZOC kategoriju.

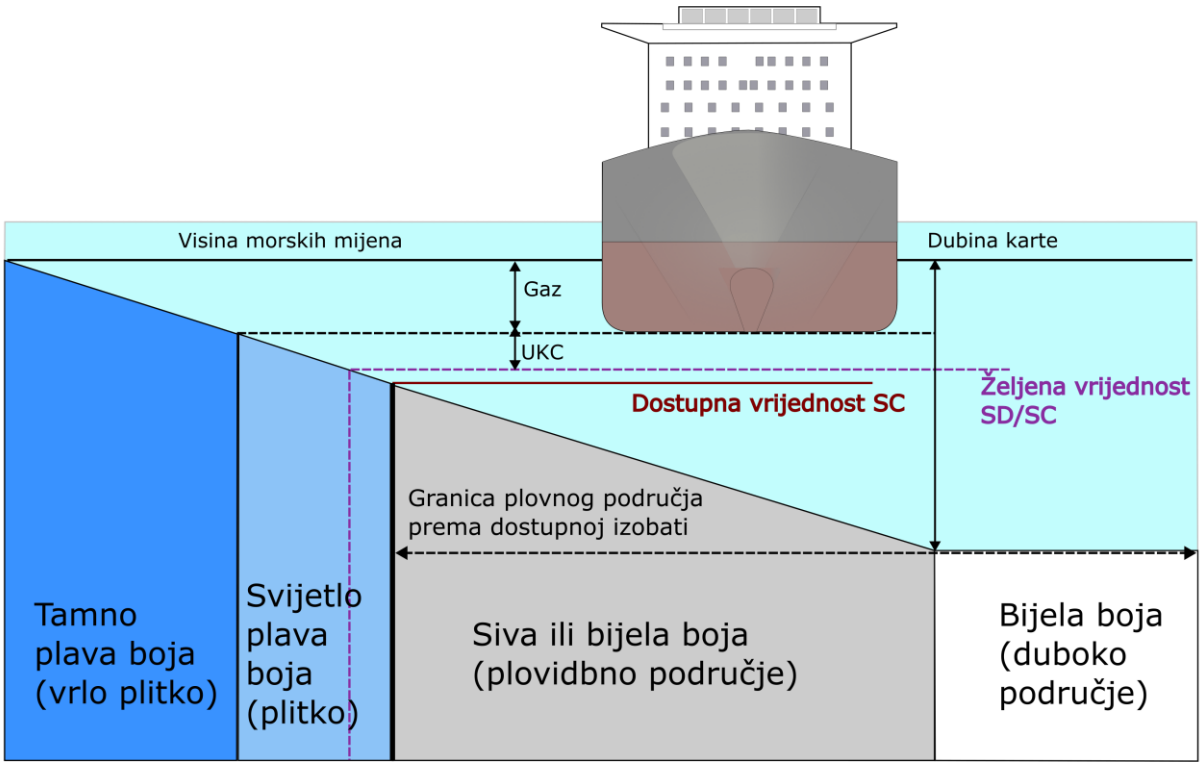
Prvi član izraza odnosi se na statički gaz broda kojeg će imati brod kada još nije zaplovio i bez utjecaja vode i valova. Korekcija za gustoću unosi se kada brod prelazi iz jednog područja gustoće u drugo. Korekciju za nagib potrebno je uzeti u obzir prema predviđenim uvjetima u kojima će se brod naginjati prilikom okreta ili radi utjecaja vremenskih uvjeta. Dodatni zagažaj i razmjerna promjena trima određuje se prema najvećoj brzini za određeni plovidbeni dio puta, odnosno između pojedinih međutočaka. Korekciju za plimu i oseku potrebno je oduzeti prema vertikalnom datumu ENC-a, koji može varirati ovisno o području i karti od kojih se najčešće koristi NNAV odnosno LAT. Konačno, korekciju za ZOC kategoriju potrebno je unijeti ovisno o kategorizaciji područja.[169] Uz prethodno navedeni, opći izraz za određivanje vrijednosti sigurne izobate i sigurne dubine je jednak i glasi prema izvoru:[205]

$$SC = (T + UKC_{min}) - h_p \quad (3)$$

gdje su: T – statički gaz broda, UKC_{min} – minimalna vrijednost preostale dubine ispod kobilice s dodatnim zagažajom i sigurnosnom marginom, h_p – visina plime odnosno izvorno HoT(engl. *Height of Tide)*.

Kako bi se ipak omogućilo prikladno alarmiranje, obzirom da nisu dostupne izobate za svaki metar dubine, moguće je dodati korisničke objekte (engl. *Mariner Added Objects,* MAO) poput linija kojima se mogu označiti granica između sigurnog i područja opasnog za plovidbu isprekidanom linijom okomitom na željenu vrijednost SC/SD kao što je vidljivo na Slici 17.

[205] Witherby Publishing Group Ltd (Ed.), 2022. ECDIS Passage Planning and Watchkeeping, 8th edition, 2022 edition. Witherbys, Livingston, Scotland.



Slika 17. Prikaz izobate plitke vode, sigurne izobata i izobate duboke vode. Priredio i prilagodio autor prema[205]

Konačno, potrebno je navesti kako se određuje izobate plitke i duboke vode. Izobata plitke vode može se uzeti kao vrijednost statičkog gaza ili kao sljedeća izobata manja od sigurne izobate, ovisno o tome kako je zahtijevano npr. prema SMS-u brodara. Za izobatu duboke vode uzima se najčešće dvostruka vrijednost statičkog gaza. Uz postavke koje će određivati prikaz dubine potrebno je ukratko razmotriti i prikaz usamljenih opasnosti i mogućnosti njihovog prikaza.

Usamljene opasnosti uključuju između ostalog hridi, podrtine, zapreke ili druge opasnosti. Ovisno o postavljenoj vrijednosti sigurnosne izobate, takvi objekti, ukoliko im je dubina manja od sigurnosne izobate ili je nepoznata, bit će označeni simbolom usamljene opasnosti veličine 7 mm neovisno o mjerilu karte i vidljivi na karti u području sigurnom za plovidbu odnosno do granice sigurne izobate. Za plitko područje, prikaz usamljenih opasnosti potrebno je uključiti.

Prikazani izazovi postavljanja, odnosno ograničenja ENC-a i sigurnosnih vrijednosti razmatrali su različiti pomorski dionici, te su čak i predložena rješenja za pojedine opažene poteškoće. Tako se u okružnici iz 2017. koju je pripremila *Međunarodna udruga neovisnih vlasnika brodova za tekuće terete* (engl. *International Association of Independent Tanker Owners,*

INTERTANKO) za IHO,[206] navode prethodno navedena ograničenja i prijedlozi. U okružnici se navodi da je prvo potrebno pristupiti prilagodbi prikaza ENC-ova u pogledu izobata i dubina, jer mogućnosti ENC-a, pogotovo ECDIS-a, omogućavaju prikaz većeg broja izobata i dubina obzirom na tehnologiju. Kako je prethodno opisano, jedan od mogućih pristupa označavanja je iscrtavanje područja korisničkim objektima, kao i na papirnatoj karti s tzv. isključenim područjima opasnima za plovidbu (engl. *no–go area*). Međutim, takav postupak je dugotrajan, zahtijeva pojedinačnu provjeru dubina uz stvaranje linija i područja razgraničenja uz povećanu mogućnost pogreške. Prema INTERTANKO prijedlogu, u prvoj bi se fazi ECDIS mogao prilagoditi da iscrta opasna područja te čak interpolira vrijednosti između dubina koje nisu prikazane. U drugoj fazi bi se trebali koristiti dostupni podaci hidrografskih ureda najviše rezolucije koji se već koriste u npr. navigacijskim sustavima peljara. Ovdje valja naglasiti da nije riječ o batimetrijskim podatcima visoke rezolucije pripremljenih prema IHO S-102 standardu.[207]

Ako se razmatraju mogućnosti korištenja podataka visoke rezolucije potrebno je navesti da se opća obilježja HD ENC-ova (engl. *High Density ENC*, HD ENC) nalaze u IHO S-65 Dodatku A. U njemu se opisuju opće značajke HD ENC-ova pri kojoj ukupna horizontalna neodređenost iznosi ± 2 m, dok vertikalna neodređenost iznosi ± 0,26 m i ± 0,29 m za dubine od 10 m i 20 m pri 95 % pouzdanosti. Također, moraju se detektirati obilježja veća od 1 m^3 pri premjeravanju. Područja koja su od značaja za korištenje HD ENC uključuju područja poput plovidbenih kanala, sidrišta, područja manevriranja i pristane.[208] U prethodnome razdoblju aktivno su se razvijali i testirali HD ENC-ovi koji imaju izobate u metarskoj ili čak višoj rezoluciji pri mjerilu od 1:4000 ili krupnijem koji se temelje na S-44 izmjerama prve (engl. *Order 1*) i posebne razine (engl. *Special order*).[209]

2.5.2. Sigurna udaljenost i kurs

Slično kao i u razmatranju o sigurnoj brzini, sigurna udaljenost je pojam čije se vrijednosti i ograničenja raznovrsno interpretiraju. Možemo je promatrati kao vrijednost kojom se osigurava siguran prolazak od statičkih prepreka poput pličina, hridi, usamljenih opasnosti ili obale.

---

[206] INTERTANKO, 2017. HSSC9-05.2D. End users' perspective on ENC and ECDIS (INTERTANKO).
[207] IHO, 2022. S-102 Bathymetric Surface Product Specification Edition 2.1.0 – October 2022.
[208] IHO, 2020. S-65 Annex A High Density (HD) ENC Production and Maintenance Guidance Edition 1.0.0 – January 2020.
[209] Sanchez, A., Bosselmann-Borsos, V., Lieto, A.D., 2019. A practical approach to the production of ENC with high density bathymetric content. The International Hydrographic Review.

Također, može se odnositi i na izbjegavanje sudarne opasnosti od drugih brodova i dinamičkih objekata. U nastavku će se razmotriti formulacija sigurne udaljenosti od statičkih objekata i nastavno, određivanje sigurnoga kursa.

Sigurnu udaljenost od statičkih objekata možemo definirati kao najmanju horizontalnu udaljenost koja omogućava sigurnu plovidbu u okviru postavljenih obveznih sigurnosnih ograničenja plovidbe.[210] Mnogi elementi utječu na moguće određivanje vrijednosti sigurne udaljenosti. To su između ostalog obilježja broda, teret koji se prevozi, obilježja i ograničenja plovidbenog područja, gustoća prometa, uobičajeni klimatološki ali i neposredni oceanološki odnosno meteorološki uvjeti. Prema tome veličina, gaz broda, gustoća pomorskog prometa ili teret koji se prevozi mogu neposredno udaljiti brod od primjerice obale radi postojanja obveznih plovidbenih smjerova ili sustava odijeljenog prometa, određenih propisima ili odredbama. Na okvirne vrijednosti sigurne udaljenosti utječu preporuke i radni postupci navedeni u SMS-u brodara prema kojima se može zahtijevati udaljavanje od opasnosti veće od onog koje bi se načelno moglo odrediti prema općim načelima planiranja putovanja i plovidbe. Konačno, znanja, vještine i interpretacija dostupnih podataka odnosno subjektivnost osobe koja određuje vrijednosti neosporno utječu na konačnu vrijednost sigurne udaljenosti.

Ukoliko se slijede opća načela određivanja sigurne udaljenosti i kursa brod bi trebao sigurno doći na odabranu međutočku. Ukoliko je moguće, međutočka je odabrana tako da se mogu jednostavno identificirati markantni obalni objekti koji će služiti za određivanje položaja ili kao referentne točke pri promjeni kursa odnosno okretu broda. Kolika će biti udaljenost od pojedinih objekata ovisi o plovidbenim uvjetima, ali i pouzdanosti položaja objekta odnosno opasnosti. Tako se navodi da bi od plutača i brodova svjetionika trebalo ploviti na udaljenosti većoj od 0,5 NM, dok bi od navigacijskih opasnosti trebalo ploviti na bar 1 NM ili više pri nepovoljnim vremenskim uvjetima.[211] Prema istraživanju i rezultatima iz prethodnoga izvora predložene su i dodatne preporuke za ucrtavanje kursova u obalnoj navigaciji za brodove tonaže 3000 BT i veće pri normalnim uvjetima plovidbe. Prema navedenome, ne bi trebalo prilaziti obali bliže od 3 NM, trebalo bi odvojiti nasuprotne plovidbene tokove i formirati zone plovidbe s lijeve i desne strane. Također, kod dvosmjernog prometa bi se trebalo držati desne strane u

[210] Šakan, D., Žuškin, S., Valčić, M., Pavletić, D., 2019. Challenges of adaptive coastal voyage planning, in: Proceedings of the 13th Annual Baška GNSS Conference. Presented at the 13th Annual Baška GNSS Conference, Sveučilište u Rijeci Pomorski fakultet, Baška, Hrvatska, pp. 87–106.
[211] Lušić, Z., Kos, S., 2010. Plotting courses in coastal navigation. Pomorstvo 24, 115–128.

vrijednosti od 5 % do 10 % širine od središnjeg dijela, označiti sredinu kanala uz ucrtavanje kružnica sigurnih udaljenosti.[212]

Opća formulacija sigurne udaljenosti odnosi se na plovidbu u područjima gdje je markantnih objekata malo ili su izobate nepravilne, pa se sigurnom udaljenošću plovi dalje od opasnosti. Nerijetko je ta udaljenost bočna, odnosno bočna u odnosu na planirani kurs, pa sa na taj način definiraju, sigurna odnosno bočna udaljenost i siguran kurs. Ova udaljenost predstavlja tangentu na kružnicu čiji je polumjer bočna udaljenost unutar koje se nalaze opasnosti.[213]

Sigurna udaljenost ne odnosi se samo na plovidbu u blizini opasnosti već i na udaljenost pri kojoj treba ploviti pri okretu i promjeni kursa broda. Prema navedenomu, potrebno je odrediti prikladan broj međutočaka i pripadajućih kursova ili pramčanih kutova kojima će se na sigurnoj udaljenosti obići rt, hrid ili druga opasnost i dovesti brod u novi planirani kurs. To se može postići pomoću kružnice sigurne udaljenosti čije je središte na markantnome objektu. Kursovi su tangente na kružnicu, pri stalnoj sigurnoj udaljenosti te jednakoj razlici kursova.[214]

Dosadašnji prikaz sigurne udaljenosti i kursa proizlazi iz općih metoda za sigurnu plovidbu u navigacijski zahtjevnim područjima. Ako uzmemo u obzir ECDIS i ENC potrebno je razmotriti sigurnu udaljenost u kontekstu postavke ograničenja bočnog odstupanja od planiranog kursa.

Nekoliko pojmova opisuje odstupanje od planiranog kursa. To je ponajprije vrijednost bočne granične udaljenosti, odnosno XTL, koja se odnosi na minimalnu sigurnu bočnu udaljenost od planiranog kursa. Za pojedinačne segmente rute između međutočaka na planiranome putovanju uobičajeno se definiraju vrijednosti bočne granične udaljenosti. Prema postavljenim ograničenjima, ukoliko brod prijeđe graničnu vrijednost XTL-a, aktivira se i odgovarajući alarm. Navedene granične vrijednosti nisu regulirane međunarodnim propisima, već se mogu pronaći u SMS postupcima i uputama brodara, ukoliko postoje. Kao kod postavljanja vrijednosti sigurnosne dubine i izobate, potrebno je uzeti u obzir neodređenost i pouzdanost podataka ENC-a. Vrijednosti ograničenja ne smiju biti manje od najmanje sigurnosne vrijednosti, no raspon treba biti tako određen da se smanji prekomjerna aktivacija alarma i spriječi mogućnost da se opasnost previdi. Uz obilježja broda odnosno područja, pri određivanju XTL-a, valjalo bi uzeti u obzir i moguće izbjegavanje sudara kao dodatni vanjski

---

[212] Ibid., str. 125.
[213] Benković, F., 1986. Terestrička i elektronska navigacija. op. cit., str. 350 i 352.
[214] Ibid., str. 354.

faktor. Primjer preporučenih XTL vrijednosti za VLCC tankere u različitim plovidbenim područjima slijedi u nastavku. XTL vrijednosti za obje strane trebale bi biti barem 1 NM na otvorenome moru, 0,5 NM u obalnome području i 0,25 NM za ograničena i lučka područja. Iako u primjeru jednake, XTL vrijednosti mogu se i trebaju neovisno podešavati za lijevu i desnu stranu. Također, konačne vrijednosti XTL-a moraju biti prilagođene zahtjevima pojedinačnog putovanja i prethodno navedenim obilježjima područja i broda.[215] Prema tome, vrijednosti će se mijenjati ovisno o putovanju i različitim vrstama brodova. Nadalje, bez detaljne prilagodbe XTL vrijednosti, brod načelno ne bi mogao ploviti jer bi prelazio zadane XTL vrijednosti, što naravno ne odgovara stvarnosti.

Konačno, izračun XTL vrijednosti prikazan je sljedećim izrazom:[215]

$$XTL = d_{ZOC} + d_b + d_{pol} + d_{pp} + d_{so} \text{ (m)} \tag{4}$$

gdje je d_{ZOC} – položajna točnost prema CATZOC kategorizaciji, d_b – širina broda, d_{pol} – pogreška položaja GNSS sustava na brodu, d_{pp}– vrijednost dopuštenog odstupanja u plovidbenom području i d_{so}– dopušteno odstupanje zbog orijentacije odnosno kretanja broda. Prema navedenome izvoru, za točnost GNSS sustava navedena je vrijednost $d_{pol} = 15$ m, iako točnost sustava može biti bolja. Vrijednost d_{pp} određuje se prema dostupnim vrijednostima u SMS-u ili osobnom procjenom zapovjednika. Posljednja vrijednost, d_{so} određuje prema sljedećem izrazu[216] koji je izveden prema:[217]

$$d_{so} = \frac{LOA \times \sin\alpha}{2} \ (m) \tag{5}$$

gdje je LOA duljina preko svega, a $\sin\alpha$ kut zanošenja.

Prema prikazanome može se zaključiti da će se postupanjem prema preporučenim sigurnosnim horizontalnim vrijednostima plovidba broda odvijati sigurno, međutim uz te vrijednosti valja razmotriti i kako odrediti promjenu kursa između dvaju kursova i prikladan otklon kormila ili kut zakretanja porivnika.

---

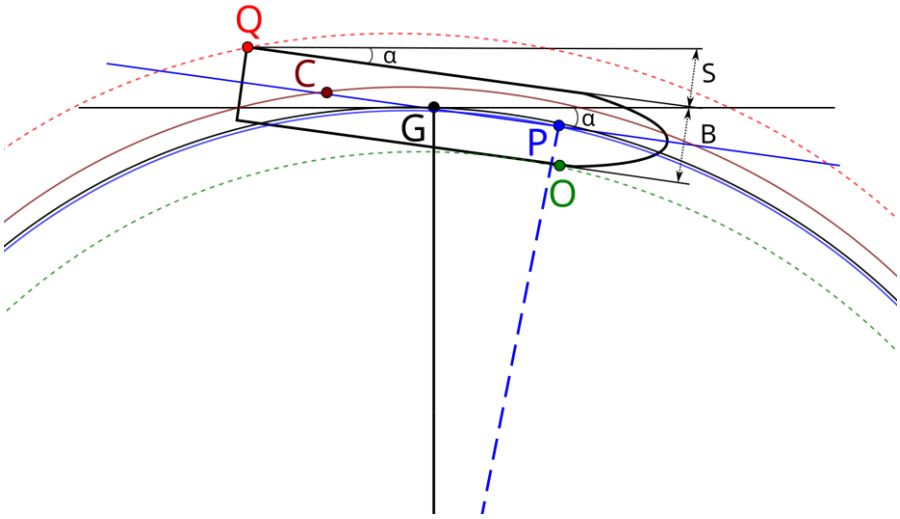
[215] Kristić, M., Žuškin, S., Brčić, D., Valčić, S., 2020. Zone of Confidence Impact on Cross Track Limit Determination in ECDIS Passage Planning. Journal of Marine Science and Engineering 2020, Vol. 8, Page 566 8, 566.
[216] Ibid., str. 9.
[217] Vujičić, S., Mohović, R., Tomaš, I.Đ., 2018. Methodology for Controlling the Ship's Path during the Turn in Confined Waterways. Pomorstvo 32, 28–35.

2.5.3. Promjena kursa i brzina zakretanja broda

Pri pripremi neposrednih elemenata rute, odnosno određivanja međutočaka i pripadajućih kursova iznimno je važno odrediti kada će se izvršiti okret broda i dovesti brod na novi kurs. Nekoliko je uvjeta koji će odrediti kada je potrebno započeti okret. Prvenstveno, to su horizontalna i vertikalna ograničenja odnosno prisustvo prepreka i dostupna dubina mora. U dubokoj vodi i područjima gdje se ne plovi blizu opasnosti okret će se započeti na određenoj udaljenosti prije međutočke. Okret se može izvršiti ručnim kormilarenjem ili korištenjem funkcija autopilota. U svakom slučaju, prethodno je potrebno razmotriti kada će se započeti s okretom, koliki će biti polumjer kružnice okretanja i brzina zakretanja broda (engl. *Rate of Turn*, ROT), naročito jer brod u neograničenim plovidbenim područjima plovi najčešće najvećom ili najpovoljnijom brzinom. Preveliki otklon kormila i prebrzi okret može uzrokovati veliki nagib i opterećenje na kormilarski uređaj te prekoračenje preko vrijednosti kursa u kojeg se okretalo. Također može doći do opterećenja učvršćenja tereta ili čak do pomicanja tereta, dok na putničkome brodu preveliki otklon može izazvati nelagodu ili čak opasnost za putnike. Uz geometrijska, manevarska, geografska i hidrografska ograničenja, određivanje točke započinjanja okreta (engl. *Wheel over point/position,* WOP) može se u određenoj mjeri prilagoditi i dinamičkim faktorima. Hidrološki i meteorološki podatci odnosno predviđena ili očekivana gustoća prometa moraju se uzeti u obzir, međutim samo izvršenje će ipak ovisiti o neposrednim uvjetima u kojima će se brod naći prilikom prilaska međutočki. U otvorenijim plovidbenim područjima mogućnosti prilagodbe trenutka započinjanja okreta radi trenutnih plovidbenih uvjeta ili ispravljanja mogućih pogrešaka pri prijevremenom odnosno zakašnjelom okretu veće su nego u plitkim područjima. U plitkim područjima i ograničenim područjima plovidbe uz prethodne opće uvjete javljaju se dodatni izazovi. Manevarska obilježja broda u plitkome području postaju nepovoljnija, polumjer kružnice okreta broda raste, javlja se dodatni zagažaj, interakcija broda s dnom i okolnom obalom te je izraženiji utjecaj morskih mijena i struja na plovidbu. Spomenuto zahtijeva dodatnu pripremu i razmatranje kako bi okret bio kontroliran i siguran koliko je to moguće. Sukladno tome ograničenja i uvjeti moraju se temeljito razmotriti i unijeti u plan putovanja kroz sigurnosne vrijednosti, napomene i dodatne mjere opreza. Razmatrajući neposredni okret potrebno je ukratko prikazati opća obilježja broda pri okretu.

Okret broda možemo razdvojiti u tri faze: manevriranje, rotacija i okret. Faza manevriranja započinje nakon otklona kormila i djelovanja sila na kormilo dok trajanje ovisi o inerciji i kutu otklona kormila. Što je otklon manji, a inercija veća, faza dulje traje. Ovu fazu karakteriziraju

bočni pomak broda u suprotnu stranu okreta, nagib u stranu okreta, smanjenje brzine i povećanje brzine zakretanja. Kod vrlo velikih brodova nagib može biti jedva primjetan. Faza rotacije započinje kada se brod počne okretati, odnosno kada se nadvlada inercija broda. U ovoj fazi brzina zakretanja raste, dok se brzina broda i dalje smanjuje. Povećava se djelovanje centrifugalne sile i bočni pomak, dok se promjer kružnice zakretanja smanjuje. Posljednja faza, okret, započinje nakon približnog okreta više od 90°.[218] Brod započinje okretanje koje se nastavlja ujednačenom brzinom po kružnici, ukoliko na brod ne utječu sile vjetra i struje. Tijekom okreta broda mora se uzeti u obzir gdje se nalaze osnovne karakteristične točke broda pri okretanju; točka zakretanja *P* i sustavno težište *G*. Također je potrebno razmotriti i karakteristične točke na trupu broda kojima se pobliže opisuje kretanje tijekom okretanja i kojima se određuje koliki je prostor kojim će brod kretati tijekom okreta. To su krajnje točke na pramčanom dijelu broda u stranu okreta te točka subočice na krmi. Uz navedeno, potrebno je uzeti u obzir i zajedničku referentnu točku (engl. *Consistent Common Reference Point*, CCRP) odnosno upravljački položaj na zapovjedničkom mostu radi usklađenosti s mjerenjima i vrijednostima određenim elektroničkim uređajima i sustavima. Sukladno opisanome, karakteristične točke pri okretu broda možemo vidjeti na Slici 18.



Slika 18. Karakteristične točke pri okretu broda i prostor kojim brod prolazi tijekom okreta. Priredio autor na temelju[217]

[218] Baudu, H., 2018. Ship handling, 2nd edition. ed, Library of the French Institute for Professional Maritime Training. DOKMAR, Vlissingen.

Koristeći na slici prikazane odnose, ukupna vrijednost prostora kojim će se brod kretati ili jednostavnije staze može se dobiti po sljedećem izrazu:[219]

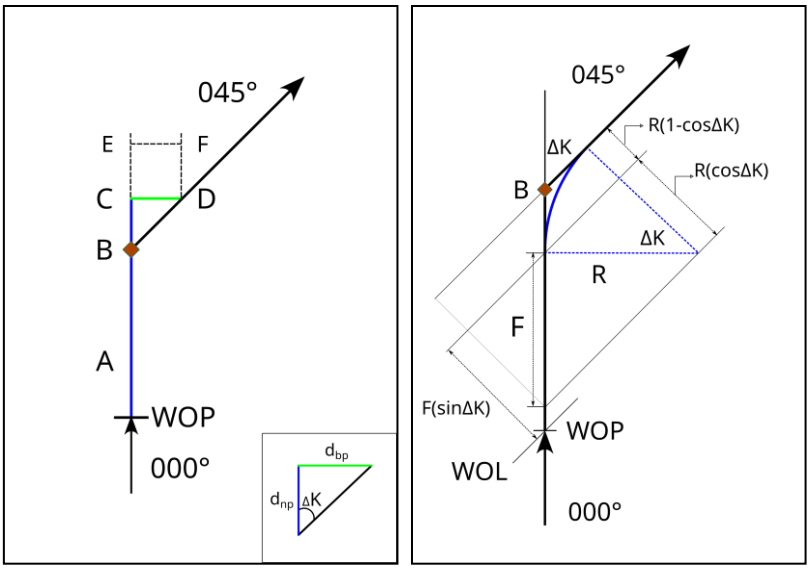
$$SB = B + LOA \times \sin\alpha \tag{6}$$

Konačno, potrebno je naglasiti da izazovi predviđanja postaju još veći obzirom na prisustvo peljara na brodu, što je posebno izraženo kod prilaska lukama koje se nalaze u riječnim ušćima ili su kanalima povezane s morem i udaljenije od obale. Bez obzira na konačnu odgovornost zapovjednika i članova posade koji se nalaze na zapovjedničkome mostu pri peljarenju, peljar izdaje naredbe koje određuju kako će brod ploviti kroz određeno plovidbeno područje. Iako je razmjena informacija između zapovjednika i peljara obvezna, detalji koji su poznati peljaru, te njegovo iskustvo odnosno poznavanje područja sigurno utječu na to da će započinjanje okreta, vrijednosti otklona kormila za pojedine dijelove rute ili brzina biti djelomično drugačije od onih planiranih na brodu.

Općenito govoreći, nekoliko je općih pristupa kojima je moguće odrediti točku započinjanja otklona kormila. Ti pristupi uključuju određivanje pomoću vrijednosti ROT-a, konstantnim kutom otklona kormila ili polumjerom kružnice okreta broda te korištenjem funkcija ARPA radara i ECDIS-a.[220] Pri primjeni bilo koje metode po kojoj će se odrediti početak okreta broda potrebno je uz opće podatke o putovanju razmotriti stanje nakrcanosti broda, brzinu kojom će se brod kretati, razliku između početnog i završnog kursa uz odgovarajući otklon kormila te mogući nagib koji će nastati okretanjem. Navedeno je potrebno razmotriti prema kružnici okreta i ostalih dostupnih manevarskih podataka. Važno je razmotriti i udaljenost od opasnosti i granične vrijednosti kojima će se osigurati da brod ne dođe u opasan položaj. Konačno, sve navedeno potrebno je razmotriti sukladno horizontalnim i vertikalnim ograničenjima neposrednog plovidbenog područja u kojem će se okret izvršiti i okolišne uvjete koji će utjecati na promjenu oblika i vrijednosti kružnice okretanja. U tu svrhu u nastavku će se prikazati opće osobine nekoliko metoda. Prve dvije metode su metoda napredovanja[221] i metoda konstantnog polumjera kružnice okretanja[222] koje možemo vidjeti na Slici 19.

---

[219] Vujičić i dr., 2018. op. cit., str. 33.
[220] Kamis, A.S., Fuad, A.F.A., Anwar, A.Q., 2022. Systematic Literature Review on Wheel-over Point Techniques for Efficient Ship Manoeuvre. Transactions on Maritime Science 11.
[221] Anwar, N., 2006. Navigation advanced for mates/masters. Lanarkshire, str. 37. UK: Seamanship International Ltd.
[222] Vujičić i dr., 2018. op. cit., str. 32.



Slika 19. Određivanje točke započinjanja okreta broda, metoda napredovanja i bočnog pomaka (lijevo)[221] i konstantnog polumjera kružnice okreta broda (desno).[222] Priredio autor prema prethodnim izvorima

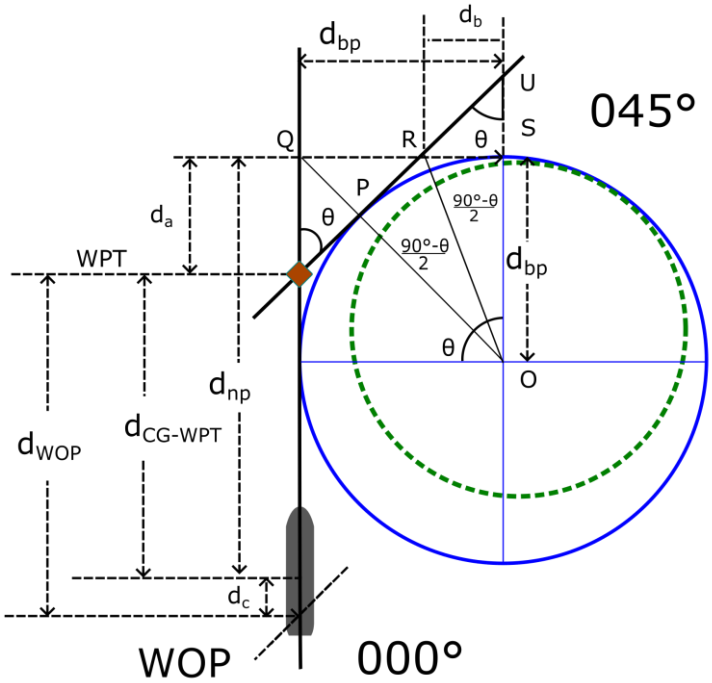
Prema prvoj metodi, točka započinjanja otklona kormila određuje se tako da se u produžetku linije početnog kursa nanese vrijednost bočnog pomaka broda (točke E i F) koja se paralelno prenosi dok ne presiječe novi kurs (točka D). Spuštanjem okomice na produžetak početnog kursa (točka D) nanosi se vrijednost napredovanja broda u smjeru početnog kursa. Navedena vrijednost može se izraziti formulom:

$$d_{WOP} = d_{nap} - \frac{d_{bp}}{tan\,\Delta K} \tag{7}$$

gdje je d_{WOP} – udaljenost točke započinjanja okreta od međutočke, d_{nap} – vrijednost napredovanja a d_{bp} – vrijednost bočnog pomaka. Vrijednost ΔK predstavlja razliku kursova. Valja naglasiti da se pri ovoj metodi ne uzimaju u obzir utjecaji okolišnih uvjeta i sila koje djeluju na brod. Također se ne određuje vrijednost protukormila kojom bi se zaustavilo okretanje broda. Kako je u izvoru navedeno, nedostatak ove metode je što se izračunava za bočni pomak kada se vrijednost kursa broda razlikuje za 90° od početnog. Za manje promjene kursova vrijednost okreta mora se prilagoditi jer bi inače brod premašio željenu vrijednost završnog kursa. U tu svrhu postoje i tablice kojima se može prilagoditi WOP vrijednost ili se može odrediti iz kružnice okreta.

Druga metoda vidljiva na Slici 19. desno je metoda konstantnog radijusa pri kojoj se drži zadani polumjer broda kontrolirajući okretanje broda otklonom kormila i/ili brzinom broda. Kako

brzina broda tijekom okretanja pada, do stabilizacije u trećoj fazi okreta potrebno ju je kontrolirati da bi se zadržao polumjer kružnice okretanja. Točka zakretanja određuje se tako da se nanese vrijednost odnosno duljina koja je potrebna da brod započne fazu rotacije i okret. Načelno kod ove tehnike poželjno je započeti s većim otklonom kormila koji se po potrebi smanjuje da bi se zadržao željeni polumjer. Također, mogu se označiti paralelne linije kojima se kontrolira napredovanje po željenoj kružnici okreta. Prema svojim obilježjima ova metoda se još naziva i ATT (engl. *Advanced Transfer Technique*) i vidljiva je na Slici 20. Nedavno je i unaprijeđena, jer nije prikladna za promjene kursova manje od 20° i izvorno je napravljena kao grafička metoda na papirnatoj karti.[223]



Slika 20. Unaprijeđena metoda napredovanja i bočnog pomaka primjenjiva za sve vrijednosti promjene kursa. Izradio i prilagodio autor prema[223]

Prema unaprijeđenoj metodi trigonometrijski se određuje vrijednost početka točke okreta koja će se odrediti u odnosu na položaj GNSS prijamnika i ispraviti za razliku od težišta sustava prema sljedećim izrazima:[223]

[223] Kamis, A.S., Fuad, A.F.A., Ashaari, A., Noor, C.W.M., 2021. Wheel over point mathematical model. Ocean Systems Engineering 11, 203–216. https://doi.org/10.12989/ose.2021.11.3.203

$$d_{wop} = d_{np} - d_a + d_c \tag{8}$$

gdje su vrijednosti

$$d_a = (d_{bp} - d_b)/\, tan\theta,\ d_b = d_{bp} \times tan\left(\frac{90° - \theta}{2}\right), d_c = Lm - LCG \tag{9}$$

i konačno gdje su: d_{wop} – udaljenost točke započinjanja okreta kormila od međutočke, d_{np} – vrijednost napredovanja broda, d_{bp} – vrijednost bočnog pomaka, d_{CG} – udaljenost zapovjedničkog mosta od uzdužnog sustavnog težišta broda.

Valja naglasiti da je u navedenoj formuli vrijednost težišta sustava pribrojena, jer se antena nalazi na zapovjedničkome mostu iznad nadgrađa koje je na krmi. Kod drugačijih položaja nadgrađa, kao što su izvedeni najveći kontejnerski brodovi danas ili druge vrste brodova poput ro-ro ili putničkih vrijednost treba oduzeti, što nije navedeno u izvornome radu.

Tehnika određivanja WOP-a putem konstantnog ROT-a može se koristiti u povoljnim i nepovoljnim uvjetima plovidbe pri smanjenoj, slaboj vidljivosti i uvjetima kada se izvodi slijepa pilotaža (engl. *blind pilotage*). Pri izvedbi okreta, kormilar mora biti vješt da bi održavao konstantnu vrijednost ROT-a.

Brzina zakretanja broda ili ROT ovisna je o brzini broda (v) i polumjeru kružnice (r) po kojoj se brod kreće. Izražava se najčešće kao promjena kutne vrijednosti u stupnjevima u jednoj minuti.

$$ROT = \frac{360°}{\frac{2r\pi \times 60}{v}} = \frac{3° \times v}{r\pi} \approx 0{,}955\frac{v}{r} \approx \frac{v}{r} \tag{10}$$

Brzina kojom brod ulazi u okret ne utječe na polumjer kružnice okretanja, ali utječe na brzinu zakretanja. Kako je prethodno prikazano, tijekom okreta, brzina broda pada za približno 25 % kod promjene kursa za približno 60° i nastavlja padati tijekom okreta sve dok se u fazi rotacije brzina broda ne stabilizira na približno 60 % početne. Stoga se nakon promjene kursa broda od približno 90° povećavanjem ili smanjivanjem brzine stroja može regulirati polumjer kružnice okreta.[224]

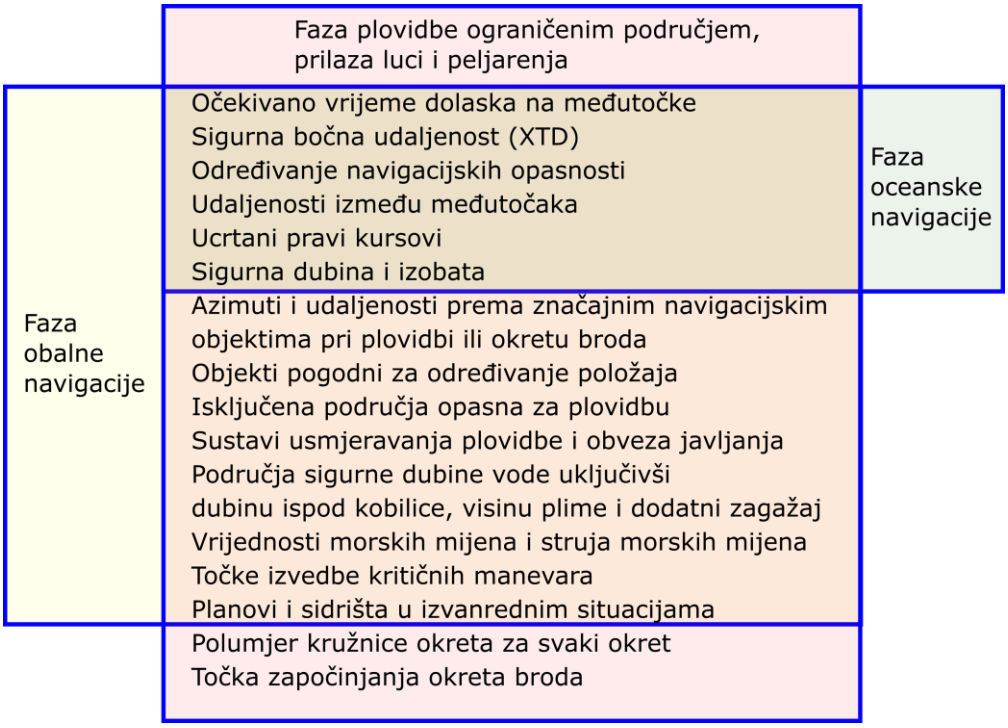
[224] Baudu, H., 2018., op. cit., str. 163.

2.6. Čimbenici i ograničenja planiranja puta u različitim područjima plovidbe

Ovisno o navigacijskoj fazi plovidbe javljaju se različiti izazovi i ograničenja, ali i mogućnosti optimizacije i ostvarivanja zadanih funkcija cilja. Od uvjetno rečeno posve neograničene plovidbe u oceanskoj fazi navigacije, izbor i modifikacija rute smanjuje se do konačno posve ograničenog prilaza luci. U nastavku će biti razmotreni osnovni čimbenici i ograničenja u pojedinoj fazi navigacije, dok će se u narednome potpoglavlju opisati osnovni izazovi plovidbe u polarnim područjima, koja su zbog svojih osobitosti izdvojena.

2.6.1. Oceanska, obalna i plovidba ograničenim plovnim područjima

Općenito, plovidbu možemo podijeliti u nekoliko karakterističnih faza. To su faza oceanske plovidbe, faza obalne plovidbe te plovidbe ograničenim plovnim područjima. Faza ograničene plovidbe može se nadalje podijeliti na fazu prilaska lukama te plovidbu lučkim i unutarnjim plovnim putovima, što se može smatrati različitim aspektima ograničene faze plovidbe. Skupni prikaz bitnih elemenata na koje treba naročito obratiti pozornost po pojedinoj fazi obuhvaćen je pripadajućim okvirima kao što se može vidjeti na Slici 21.



Slika 21. Navigacijske faze s pripadajućim elementima planiranja putovanja. Prilagodio i priredio autor prema izvoru[84]

Oceanska faza obično je izvan područja kontinentalnog šelfa s dubinama većim od 200 m i udaljenosti od obale 50 ili više nautičkih milja (NM). U ovome području vizualno ili radarsko

opažanje i određivanje položaja nije praktično ili moguće pa su dostupne metode astronomske navigacije ili određivanja položaja satelitskim navigacijskim sustavima. Obalna faza navigacije odnosi se na područja koja su udaljena do 50 NM od obale ili se nalaze na granici epikontinentalnog pojasa dubine manje od 200 m. U ovome području moguće je opažati obalne objekte vizualno ili primjerice radarom te odrediti položaj. U obalnoj navigaciji dolazi do konvergencije plovnih putova i veće gustoće pomorskog prometa kojeg često nadziru službe nadzora pomorskog prometa. Područje ograničene plovidbe odnosi se na prilaz lukama gdje se očekivano povećava opseg pomorskog prometa, stroži su zahtjevi za slijeđenje isplaniranih kursova i pripadajućih putova te povećani izazovi pri manevriranju i rukovanju brodom. Također, povećana je prisutnost plovidbenih oznaka odnosno svjetala i plutača. Osim prethodno navedenih aspekata, ograničena područja plovidbe mogu se pojaviti i u obalnoj fazi, primjerice u tjesnacima.[225] Iz perspektive planiranja putovanja i pripadajućih elemenata, faza plovidbe ograničenim područjem sadrži i fazu peljarenja kao što je prethodno prikazano. Za tu fazu potrebno je razraditi detaljno sve potrebne elemente i postupanje bilo da je riječ o neposrednom prisustvu peljara na brodu ili drugim mogućnostima peljarenja.

U oceanskoj fazi navigacije, uz najkraći put prvenstveno se moraju razmotriti utjecaji meteoroloških i oceanoloških prilika koje će uvjetovati odabir i izmjenu rute odnosno plana putovanja. Navedeno naročito uključuje utjecaj oceanskih struja, očekivanih vjetrova, valova ili pojavnosti odnosno opasnosti od leda. Načelno, ograničenja u ovoj fazi plovidbe odnose se na utjecaj okolišnih uvjeta u sprezi s obilježjima broda i zahtjevima putovanja odnosno sigurnosti broda, osoba i tereta tijekom plovidbe. Važni su i optimizacijski zahtjevi koji se odnose na smanjenje potrošnje goriva, održavanje zahtijevane brzine i procijenjenog vremena dolaska. Iako je sigurno jedan od važnih elemenata određivanje najkraćeg puta, takav put nije nužno i najbrži. U tu svrhu razvijen je niz metoda za meteorološko usmjeravanje plovidbe (engl. *weather routing*) kojima se u kontekstu optimizacije putovanja pridružuje jedan ili više ciljeva. Kada se razmatra optimizacija putovanja s jednim ciljem onda je to najčešće najkraće vrijeme putovanja ili potrošnje goriva. Najkorištenija metoda s jednim ciljem temelji se na izokronama, koje predstavljaju vremenske fronte, linije (*ovojnice, envelope*) nastale povezivanjem položaja do kojih plovilo može doći nakon polaska u određenom vremenu. Ostale uobičajene metode uključuju izopone (energetske fronte), diferencijalni račun varijacije ili 3D dinamičko programiranje. Međutim, nedavno su razvijeni i korišteni više-objektni pristupi koji se temelje

[225] IALA 2018. NAVGUIDE op. cit., str. 13.

na evolucijskim algoritmima.[226] Također, dostupan je i niz dostupnih usluga optimizacije putovanja i meteorološkog usmjeravanja plovidbe,[227] različitih struktura korištenih sustava i korištenih algoritama.[228] Valja naglasiti da će mogućnosti postavljanja većih ograničenja i udaljavanja od opasnosti u ovome području biti veća nego u područjima bliže obali.

U fazi obalne navigacije mogućnosti promjene dijelova plana putovanja radi optimizacijskih zahtjeva se značajno smanjuju. Samim time i moguća optimizacijska nastojanja se smanjuju, bilo u pogledu istraživačkih interesa ili dostupnih komercijalnih rješenja.[229] U ovoj fazi ograničenja neposrednog okružja utječu na odabir puta tijekom planiranja i izvedbe putovanja. Također, povećava se gustoća pomorskoga prometa što će neposredno utjecati i na potencijalno izbjegavanje sudara i moguće opasne situacije. U ovome području potrebno je razmotriti neposredni utjecaj hidro-meteoroloških prilika, plime i oseke, struja te utjecaja kretanja broda na postavljena sigurnosna vertikalna i horizontalna ograničenja te neposredno manevriranje.

U području ograničene plovidbe, uključivši prilazak lukama i unutarnje plovne putove, odnosno peljarenja, vertikalna i horizontalna prostorna ograničenja još više ograničavaju moguće kretanje broda. Naročito pri prilasku, mogući ili dostupan put nerijetko je sveden na prilazni plovni kanal, uz minimalna moguća odstupanja. U tu svrhu potrebno je razmotriti mjere za izvanredne situacije poput mjesta za sidrenje u nuždi ili odustajanja od manevra. Također, kod većine brodova peljar će se ukrcati na brod, bilo u ranijoj ili kasnijoj fazi prilaska, ovisno o zahtjevnosti područja ili lokalnim propisima. U tu se svrhu potrebno pripremiti za prihvat peljara i razmjenu informacija. Također, moguća je pratnja ili neposredni prihvat tegljača za pojedine kategorije ili veličine brodova tijekom plovidbe unutarnjim plovnim putovima. Konačno za neposrednu fazu prilaska i pristajanja, potrebno je razmotriti prilaz i obilježja pristana, uzimajući u obzir manevarske sposobnosti broda i korištenje tegljača.

---

[226] Walther, L., Rizvanolli, A., Wendebourg, M., Jahn, C., 2016. Modeling and Optimization Algorithms in Ship Weather Routing. International Journal of e-Navigation and Maritime Economy 4, 31–45. https://doi.org/10.1016/j.enavi.2016.06.004

[227] Lu, R., Turan, O., Boulougouris, E., Banks, C., Incecik, A., 2015. A semi-empirical ship operational performance prediction model for voyage optimization towards energy efficient shipping. Ocean Engineering 110, 18–28. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.07.042

[228] Simonsen, M.H., Larsson, E., Mao, W., Ringsberg, J.W., 2015. State-of-the-Art Within Ship Weather Routing, in: Volume 3: Structures, Safety and Reliability. Presented at the ASME 2015 34th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, American Society of Mechanical Engineers, St. John's, Newfoundland, Canada, p. V003T02A053. https://doi.org/10.1115/OMAE2015-41939

[229] Šakan i dr., 2019., op. cit.

2.6.2. Polarna područja

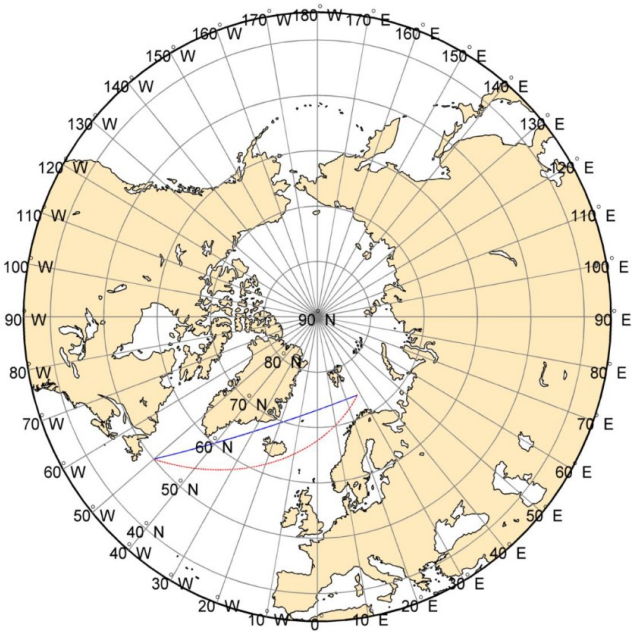
Konačno, valja napomenuti i plovidbu u polarnim područjima. U općoj literaturi planiranja putovanja ne izdvaja se kao posebna faza plovidbe, već se navode osobitosti plovidbe u ledu ili općenito izazovi plovidbe u visokim geografskim širinama. Unatoč tome, izdvojit će se ona obilježja koja se mogu smatrati značajnima u kontekstu pomorskog planiranja putovanja ali i globalnog planiranja puta. Iako definicije polarnih područja mogu varirati ovisno o kontekstu, načelno podrazumijevamo geografska područja iznad 67,5° sjeverne i južne geografske širine. U navigacijskom smislu, sjeverno, arktičko područje pruža se od geografskog pola do 75° geografske širine,[230] dok se za južno antarktičko područje pruža južnije od 60° geografske širine. Kako se povećao pomorski promet u polarnim područjima, IMO je usvojio *Međunarodni pravilnik za brodove koji plove u polarnim područjima* (engl. *Polar code*). Njime se za brodove u polarnom području između ostalog određuje izvedba, konstrukcija, oprema i mjere zaštite okoliša. Općenito, nekoliko je izazova plovidbe u visokim geografskim širinama i polarnim područjima. Uz ekstremne okolišne i meteorološke uvjete, vrlo je značajan utjecaj visokih geografskih širina na navigaciju zbog primjerice konvergencije meridijana prema polovima. Između ostalog javljaju se poteškoće pri prikazu azimuta u odnosu na niže geografske širine, računanja lokalnog vremena ili podjele vremenskih zona.[231]

U kontekstu navigacijskih uređaja valja spomenuti da se javljaju ograničenja i izazovi pri korištenju magnetskog kompasa dok je žirokompas načelno pouzdan do približno 75° N i moguće ga je koristiti do 85° N. Također, i GNSS sustavi imaju ograničenja u polarnome području. Radi kutova nagiba orbita po kojima sateliti kruže, visina im je niža, što utječe na broj dostupnih satelita kojima je moguće odrediti položaj. Navedeno se odražava i na komponente razdiobe točnosti, točnost horizontalne razdiobe (engl. *Horizontal Dilution of Precision,* HDOP) se povećava, dok točnost vertikalne komponente (engl. *Vertical Dilution of Precision*, VDOP) pada. Također, smanjuje se točnost određivanja visine, povećava šum u opažanjima i utjecaj ionosferske pogreške pri nižim kutovima elevacije. Mogućnosti

[230] Bowditch, N., National Geospatial-Intelligence Agency, 2019. American Practical Navigator an Epitome of Navigation Originally by Nathaniel Bowditch, Volume I, updated to June 2021. National Geospatial-Intelligence Agency, Springfield, Virginia, USA.
[231] Ibid., str. 541-542.

poboljšanja određivanja položaja korištenjem zemaljskih i satelitskih usluga također su ograničene.[232]

Valja spomenuti i problem kartografskog prikaza u visokim geografskim širinama zbog korištenja Merkatorove projekcije, naročito iznad 70° paralele radi iznimnog povećavanja pogreške loksodromskog prikaza azimuta. Također javljaju se velika izobličenja prikaza i pogreške pri određivanju udaljenosti radi velike promjene mjerila čak i na samo jednoj karti. Umjesto Merkatorove, često se koriste Lambertova konformna, gnomonska, stereografska ili azimutalna ekvidistantna projekcija. Valja naglasiti da se uz izazove prikaza javljaju i poteškoće zbog oskudnosti i netočnosti podataka te općenito manjeg broja dostupnih karata te korištenja lokalnih datuma.[233] Prikaz jedne od korištenih projekcija, azimutalne ekvidistantne polarne projekcije možemo vidjeti na Slici 22.



Slika 22. Prikaz polarnog područja u azimutalnoj ekvidistantnoj polarnoj projekciji. Preuzeto iz izvornika[168]

Konačno, valja naglasiti da nije propisana projekcija koja će se koristi za ENC-ove u polarnome području.[234] Sukladno tome projekcija za ENC-ove u polarnim područjima ovisit će o

[232] Ibid., str. 546 i 547.
[233] Ibid., str. 544.
[234] Ibid., str. 543.

implementaciji proizvođača ECDIS-a te se često koristi azimutalna stereografska projekcija.[235] Obzirom na dosadašnja razmatranja i kako će biti prikazano u nastavku, provedeno istraživanje odnosilo se na područja u umjerenim geografskih širinama gdje prikazana navigacijska i kartografska ograničenja polarnih područja neće imati utjecaj.

[235] Skopeliti, A., Tsoulos, L., 2013. Choosing a Suitable Projection for Navigation in the Arctic. Marine Geodesy 36, 234–259. https://doi.org/10.1080/01490419.2013.781087

3. OPTIMIZIRANI DISKRETNI ALGORITAM GLOBALNOG PLANIRANJA PUTA

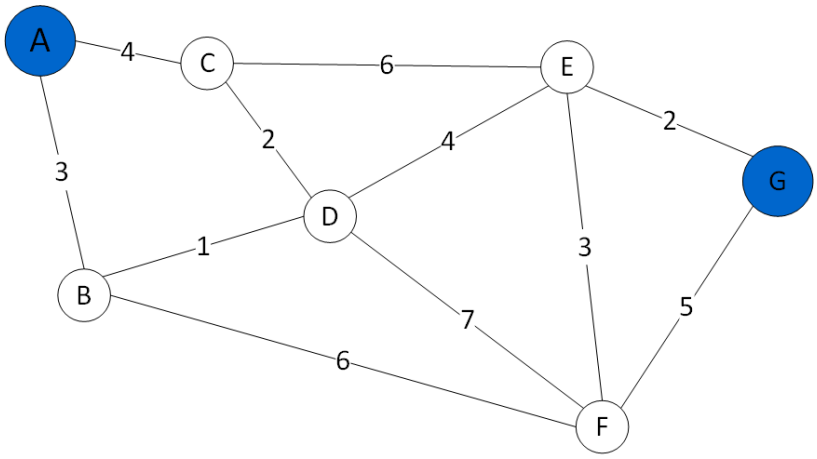
U prethodnome poglavlju prikazani su važni čimbenici koji utječu na planiranje puta i putovanja. U poglavlju koje slijedi potrebno je razmotriti kako se definiraju problemi i pristupi odabira algoritma kojim će se odrediti globalni put u statičkome okružju. Također, potrebno je prikazati i način odabira područja za koje će se put odrediti, stvoriti ograničenja i model prostora te konačno usporediti put sa stvarnim podatcima o kretanju brodova. U tu svrhu mora se razmotriti i prikazati način kako će se ENC-ovi iz izvornog navigacijskog okružja prilagoditi za korištenje u planiranju puta.

3.1. Obilježja i ograničenja globalnog planiranja puta u kontekstu statičkog okružja

Opća obilježja i metode globalnog planiranja puta razmotrena su u uvodnome poglavlju, dok će se u ovome poglavlju razmotriti moguća primjena GPP-a u statičkome okružju, naročito u kontekstu ENC-ova koji će poslužiti kao osnova za stvaranje okružja. Općenito govoreći, cilj planiranja puta ili GPP-a je pronaći put u okviru postavljenih ograničenja u poznatom statičkom okruženju. Ukoliko je cilj planiranja određivanje najkraćeg puta, tada se problem planiranja može razložiti na još nekoliko specifičnih problema. Takva izražena artikulacija problema omogućava pravilan odabir algoritma ili pristupa za njegovo rješavanje. Ako govorimo o statičkome okružju tada određivanje najkraćega puta može biti između jednoga (engl. *single source*) ili više parova (engl. *all pairs*) izvora i isto tako jednog više ili parova odredišta. Nadalje, najkraći put može se odrediti predviđanjem udaljenosti (engl. *distance oracle*) koje može biti egzaktno ili približno, jednostavnim ili naprednim usmjerenim pretraživanjem (engl. *goal directed*) i konačno, hijerarhijskim pretraživanjem.[236] Ako je riječ o drugim kriterijima može se razmatrati cjelovitost, učinkovitost ili neosjetljivost pretraživanja na složenost prostora. Također se mogu razmatrati drugi vremenski i prostorni kriteriji poput duljine puta ili izglađenosti. Iako su korišteni brojni algoritmi i pristupi valja istaknuti Dijkstrin i A* algoritam kao najkorištenije algoritme za statička okružja.

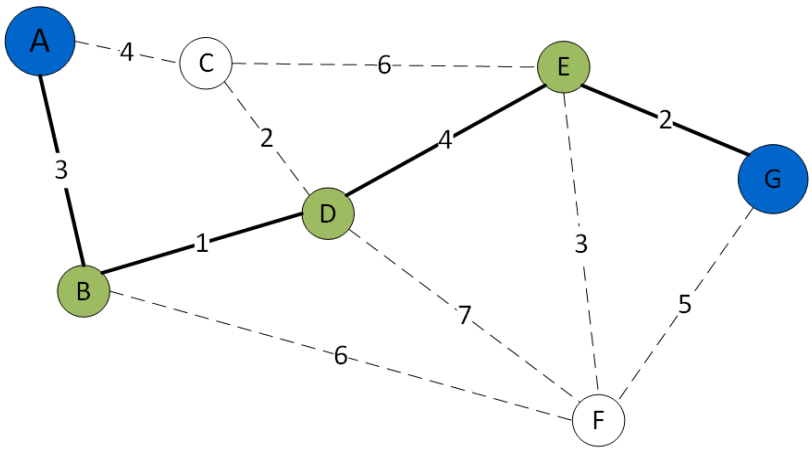
[236] Madkour, A., Aref, W.G., Rehman, F.U., Rahman, M.A., Basalamah, S., 2017. A Survey of Shortest-Path Algorithms. arXiv preprint arXiv:1705.02044.

Dijkstrinim algoritmom određuje se najkraći put između početnog vrha (A) i ciljnog vrha (G). Kada se inicijalizira, stvaraju se dva skupa vrhova. Na početku, skup pretraženih vrhova je bez članova odnosno vrhova, dok svi ostali vrhovi idu u skup nepretraženih vrhova. Početna vrijednost prvoga vrha postavlja se na 0, dok ostali vrhovi imaju beskonačnu vrijednost. Veza, odnosno brid između vrhova može predstavljati duljinu puta, potrošnju goriva ili vrijeme potrebno za njegov prelazak. Potrebno je naglasiti da vrijednosti između bridova ne mogu biti negativne.[229] U nastavku će biti pojašnjen način rada algoritma, čiji je pojednostavljeni prikaz vidljiv na Slici 23. Graf koji se pretražuje je težinski, odnosno svakome bridu je pridružena vrijednost odnosno „težina“ koja se u ovome slučaju odnosi na duljinu puta.



Slika 23. Dijkstrin algoritam. Priredio autor[229]

Nakon inicijalizacije, početni vrh A s vrijednosti 0 prelazi u skup posjećenih vrhova. Algoritam zatim odabire susjedne neposjećene vrhove, B i C, odabirući najprije vrh s najmanjom duljinom puta, odnosno vrh B. Iz vrha B ispituju se susjedni vrhovi D i F te se određuje ukupna duljina puta odabranih vrhova preko vrha B (D = 4 i F = 9). Nakon određivanja, vrh B dodaje se u skup posjećenih vrhova. Postupak se zatim ponavlja za vrh C i susjedne vrhove D i E (D = 6 i E = 10). Vrijednost puta za vrh D preko vrha C nije manja pa se ukupna udaljenost za vrh D ne ažurira. Zatim se vrh C dodaje u skup posjećenih vrhova. Potom se bira vrh D koji ima najmanju težinu, odnosno duljinu puta i postupak se ponavlja za susjedne neposjećene vrhove tj. vrhove E i F (E = 8 i F = 11). Prethodna duljina puta za vrh E preko vrha C veća je od one određene preko vrha D, pa se vrijednost duljine puta za vrh E ažurira s 10 na 8. Vrh D dodaje se u posjećene vrhove. Postupak i slijed se ponavlja za preostale vrhove E, F i konačno G, odnosno dokle god u skupu neposjećenih vrhova ima članova. Konačni, određeni najkraći put tj. put s najmanjom duljinom nalazi se između vrhova A, B, D, E i G čija duljina iznosi 10. Određeni put s pripadajućim vrijednostima mogu se vidjeti na Slici 24.



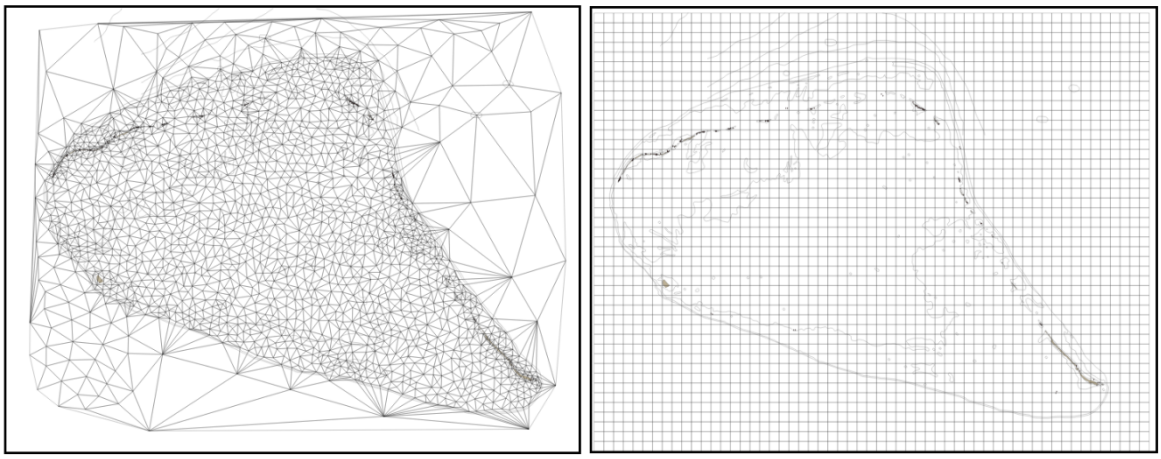
Slika 24. Određeni put nakon prelaska vrhova. Priredio autor [229]

Drugi algoritam koji se često koristi je A* algoritam, koji se razlikuje od Dijkstrinog po heurističkoj funkciji kojom se procjenjuje udaljenost do odredišnog vrha tako da se minimizira:

$$f(n) = g(n) + h(n) \tag{11}$$

gdje je $g(n)$ trošak odnosno duljina prevaljenog puta do trenutnog vrha dok je $h(n)$ heuristička funkcija. Za određivanje udaljenosti često se koristi Euklidska udaljenost, ali to ne mora biti slučaj jer se mogu koristi i druge, poput Manhattan ili Chebysheve udaljenosti.

Da bi se GPP metode mogle koristiti za pretraživanje grafova, prostor treba diskretizirati za što se koriste mnogi pristupi, no u kontekstu istraživanja mogu se istaknuti pravilne i nepravilne mreže, rešetke, poligoni ili grafovi. Kao što je prethodno navedeno, izuzev mreža, prostor se može pretvoriti u grafikon pomoću četvornih stabala ili primjerice Voronojevih dijagrama. Kao primjer nepravilne mreže možemo prikazati Delaunayevu triangulaciju temeljenu na ENC dubinama. Usporedno je na slici prikazana pravilna rešetka postavljena iznad izobata i obale kao što se može vidjeti na Slici 25.



Slika 25. Prikaz modela prostora, temeljen na Delaunayevoj triangulaciji i dubinama (lijevo) i pravilnoj rešetki (desno). Priredio autor[237]

Za potrebe istraživanja napravljenja je analiza radova i pristupa koji su koristili GPP i ENC-ove za modeliranje statičkog okružja. Prema rezultatima istraživanja, vrlo mali broj istraživača koristio je ENC-ove za modeliranje. Nadalje, većina je koristila jedan ENC i vrlo mali broj atributa i uglavnom nisu navedena mjerila ENC-ova. Većina istraživača koja je primijenila ENC-ove koristila je pravilne rešetke za statički prikaz prostora, nakon čega slijede triangulacijske nepravilne mreže (TIN-ovi), trapezne mreže i potencijalna polja. I u ovome kontekstu su A* i Dijkstrin algoritam najkorišteniji za GPP. Istraženi GPP pristupi koristili su za različite vrste plovila i brodova počevši od manjih USV-ova, naprednih i autonomnih brodova.[237]

Uz rešetke, česti pristupi uključuju i Voronojeve dijagrame te četvorna stabla. Prednost diskretizacije Voronojevim dijagramima je da dijeli prostor prema najvećoj mogućoj međusobnoj udaljenosti između objekata. Za određene slučajeve, primjerice kada je cilj najsigurniji put, to je prednost jer se maksimizira sigurnosna udaljenost od prepreke. Nadalje, prednost četvornih stabala je što uvijek se istovrsno dijele u sve manje ćelije (4) kao što možemo vidjeti na Slici 26.

[237] Šakan, D., Žuškin, S., Rudan, I., Brčić, D., 2022. Static maritime environment representation of electronic navigational charts in global path planning, in: Maritime Transport Conference. Presented at the International Conference on Maritime Transport, Universitat Politècnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politècnica. https://doi.org/10.5821/mt.11019

Slika 26. Diskretizacija Voronojevim dijagramima i četvornim stablima. Priredio autor

Nadalje, kako put dobiven GPP-om nije uvijek prikladan za izvedbu mora mu se najčešće smanjiti broj vrhova te ga pojednostaviti i često izgladiti. U tu se svrhu koristi simplifikacija ili pojednostavljivanje. Poznati su mnogi algoritmi za tu svrhu, od kojih se često navode Ramer, Douglas i Peucker (RDP) te Visvalingam i Whatt (VEA).[238] RDP smanjuje broj vrhova koji se nalaze dalje od osnovnih hijerarhijskih vrijednosti koje čine vrhovi obilježja (npr. linije). Pojednostavljivanje se odvija hijerarhijski. Njegova je prednost što zadržava izvorne koordinate pri svakome stupnju pojednostavljivanja. VEA algoritmom nastoji se smanjiti ukupna površina između točaka, stvarajući trokute između trojki slijednih vrhova, uklanjajući središnje točke.[239]

Za izglađivanje postoji niz metoda kojima se poboljšava zakrivljenost krivulja i omogućava, ako govorimo o kretanju, prijelaz iz jednog stanja kretanja u drugo ili promjena brzine. Od metoda izglađivanja često se koriste Bézierove krivulje i B-splajnovi. Bézierove krivulje su parametarske krivulje s kontrolnim točkama kojima se može mijenjati, odnosno definirati oblik krivulje. Prednost Bézierove krivulje je da ima nizak računalni trošak za izračunavanje, kontrolnim točkama mogu se generirati krivulje željenih karakteristika te se mogu spajati da bi se dobio željeni oblik. Nedostatak je da se računalni trošak povećava sa stupnjem krivulje i da globalne točke utječu na cjelokupni oblik krivulje. Bézierove krivulje mogu se generalizirati krivuljama koje se nazivaju splajnovima (engl. *Basis spline, B-spline).* Splajn općenito predstavlja funkciju definiranu prema dijelovima polinoma,[240] dok izvor samog pojma dolazi od dugih savitljivih elemenata kojima su se crtale neprekinute krivulje.[241] Prednost B-splajnova

[238] Kronenfeld, B., Stanislawski, L., Buttenfield, B., Brockmeyer, T., 2019. Simplification of Polylines by Segment Collapse: Minimizing Areal Displacement While Preserving Area, International Journal of Cartography 6, 1–25. https://doi.org/10.1080/23729333.2019.1631535
[239] Ibid.
[240] Frančula, N., Lapaine, M., 2008., op. cit. str. 366.
[241] Soanes, C., Stevenson, A. (Eds.), 2005. Oxford dictionary of English, 2nd ed., rev. ed. Oxford University Press, Oxford, New York.

je da se mogu generirati za razne stupnjeve krivulje i konfiguracija prepreka. Također imaju nizak računalni trošak, mogu jednostavno doseći C^2 kontinuitet, te se čvorovima može jednostavno kontrolirati oblik splajna. Nedostatak je da se može dogoditi da je teško postići ravnotežu između željenog oblika i kontinuiteta.[7]

3.2. Ulazni podatci i ograničenja GPP diskretnog algoritma

Kao što će se prikazati u nastavku, potrebno je pretvoriti izvorna obilježja stvarnosti, odnosno statičkog okružja u oblik koji je prikladan za korištenje algoritama. Također je potrebno unijeti ulazne podatke o brodu i sukladno tome prilagoditi algoritam za korištenje. Uz svrhu pripreme područja za primjenu GPP algoritma i naknadne provjere korištenjem AIS podataka bilo je potrebno zadovoljiti nekoliko međusobno povezanih uvjeta koji su odredili odabir područja, podataka te konačno broda prema kojem će se postaviti ograničenja. Prvi uvjet je odnosio se na dostupnost ENC-ova kojima će se stvoriti model okružja za korišteni algoritam. Također, za odabrano područje morali su biti dostupni AIS podatci kojima se moglo provjeriti uspješnost GPP algoritma usporedbom sa stvarnim putovanjima brodova u području. Konačno, bilo je potrebno odabrati brod ili vrstu brodova za koje se moglo razmjerno dosljedno odrediti putovanja za usporedbu. Također, tijekom razrade metodologije nametnuo se i izazov mogućeg dijeljenja i reprodukcije dijela ili cijelog istraživanja, što je u konačnici usmjerilo metodologiju prema besplatnim i rješenjima otvorenog koda, osim kod provjere rješenja u završnoj fazi gdje se koristio ECDIS navigacijskog simulatora. Prednost otvorenih rješenja ne očituje se samo u mogućoj cijeni pojedinih elemenata koji se koriste u istraživanju već i u mogućim ograničenjima u licencama samih proizvođača komercijalnih platformi.

U nastavku će biti detaljno prikazana metodologija odabira ENC-ova, odnosno područja i vrste brodova, dok će detaljna razrada usporedbe rezultata dobivenih algoritmom i ostvarenih putovanja biti prikazana u sljedećem poglavlju.

3.2.1. Odabir područja, pripadajućih ENC-ova i podataka o brodovima

Kako je prethodno navedeno, bilo je potrebno odabrati prikladne izvore ENC-ova i AIS podataka. Nažalost, većina država nema javno dostupne ENC-ove niti AIS podatke. Od dostupnih, najznačajniji je doprinos Sjedinjenih Američkih Država, odnosno nadležne agencije, *Nacionalne uprave za oceane i atmosferu* (engl. *National Oceanic and Atmospheric*

Administration Office, NOAA).[242] NOAA javno pruža cjelokupan katalog ENC-ova, drugih navigacijskih publikacija te ostalih podataka koji se odnose na djelatnost agencije. Za pružanje AIS usluga valja spomenuti i *Ured za upravljanje oceanskom energijom* (engl. *Bureau of Ocean Energy Management*, BOEM). NOAA i BOEM su u suradnji s drugim nacionalnim partnerima stvorili pomorski katastar, odnosno *MarineCadastre* portal, preko kojega je moguće preuzeti više od 300 različitih slojeva podataka uključivši AIS.[243]

Kao što je prethodno prikazano, korištenje ENC-ova u okružju izvan ECDIS-a je izazovno. Poteškoće se odnose na samu pretvorbu ENC-ova iz izvornog formata u oblik pogodan za korištenje bilo za GPP ili neku drugu namjenu izvan izvorno navigacijskog okružja. Dostupne aplikacije za rad sa S-57 formatom poput *ArcGIS maritime extension*[244] ili *CARIS Composer*[245] koriste se prvenstveno za pripremu, odnosno izradu ENC-ova te posredno u istraživačke svrhe. Također, dostupna su i rješenja otvorenog koda koje se često temelje na GDAL geoprostornoj podatkovnoj apstrakcijskoj biblioteci (engl. *Geospatial Data Abstraction Library,* GDAL).[246] Pri rješenjima otvorenog koda u GDAL-u koristi se *IHO S-57 (ENC)* upravljački program kojim se iz izvorne *.000 ENC datoteke stvaraju strukture podataka prema objektima i obilježjima ENC-a, koji se po potrebi mogu putem GDAL-a pretvarati u druge formate ili mijenjati sukladno dostupnim funkcijama. Potrebno je naglasiti da se S-52 ENC simboli nakon pretvaranja ne prikazuju, već ih je potrebno ručno stvoriti odnosno dodijeliti u odgovarajućoj aplikaciji ili pripremiti posebne skripte za njihov sveobuhvatni prikaz. Kako je riječ o geoprostornim podatcima, moralo se uz, neposredne zapise, razmotriti učinkovit način kojim će ENC S-57 podatci moći pretvoriti u univerzalni oblik koji će omogućavati primjenu različitih pristupa, nadomještajući ograničenja S-57 formata i nemogućnost neposrednog istraživanja i

---

[242] Kastrisios, C., Dyer, N., Nada, T., Contarinis, S., Cordero, J., 2023. Increasing Efficiency of Nautical Chart Production and Accessibility to Marine Environment Data through an Open-Science Compilation Workflow. ISPRS International Journal of Geo-Information 12, 116. https://doi.org/10.3390/ijgi12030116

[243] MarineCadastre.gov [mrežna stranica], 2023. MarineCadastre.gov. https://web.archive.org/web/20230317182422/https://marinecadastre.gov/about/ (17.3.2023.).

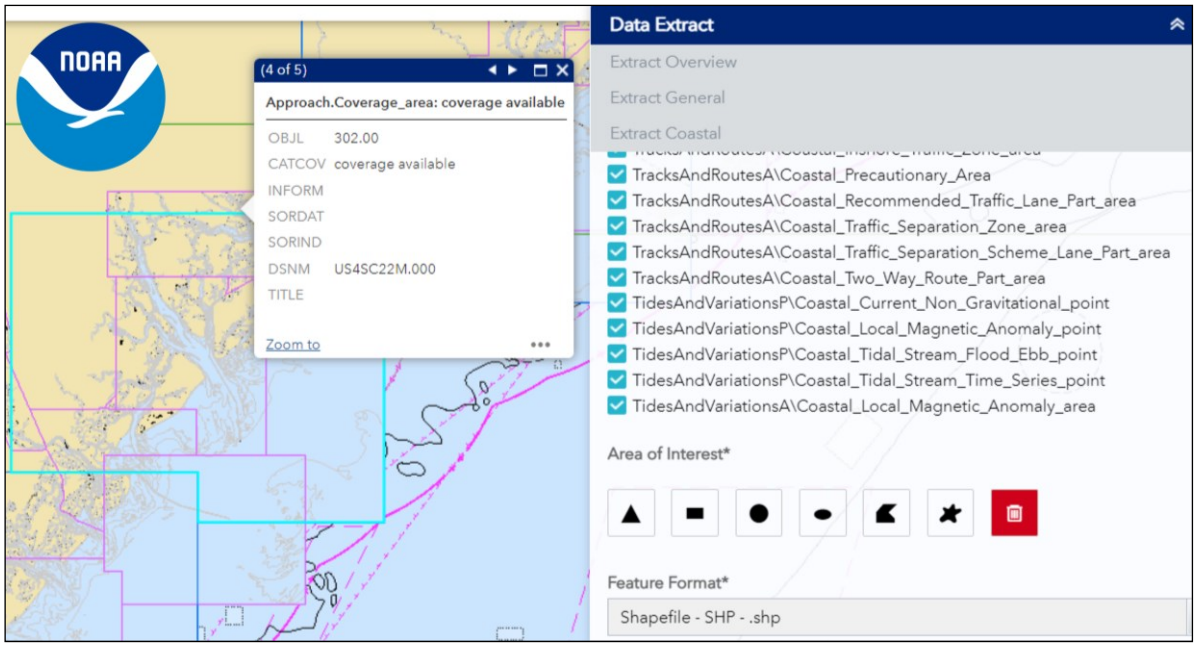
[244] Electronic Charts | IHO S-57 & S-100 Maritime Navigational Charting [mrežni dokument], https://web.archive.org/web/20221210004357/https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-maritime/overview (16.3.2023.).

[245] CARIS S-57 Composer: S-57 ENC Production | Teledyne Geospatial [mrežni dokument], https://web.archive.org/web/20220812094026/http://www.teledynecaris.com/en/support/training/training-courses/caris-s-57-composer-s-57-enc-production (16.3.2023.).

[246] Warmerdam, F., 2008. The Geospatial Data Abstraction Library, Open Source Approaches in Spatial Data Handling. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, str. 87–104. https://doi.org/10.1007/978-3-540-74831-1_5.

razvoja korištenjem ECDIS-a. U tu svrhu, prikladnim se pokazalo korištenje zamjenskih formata i relacijskih sustava upravljanja bazama podataka.

Kako postoji značajan interes za korištenje ENC objekata i obilježja u druge svrhe osim navigacijskih, NOAA omogućava javno preuzimanje podataka putem portala *NOAA ENC Direct*[247] preko kojeg se mogu preuzeti podatci za odabrano područje u nekoliko formata prikladnih za korištenje u GIS ili CAD aplikacijama. Podatke je moguće odabrati prema ENC ćelijama, odnosno preuzeti ENC ili se oni mogu odabirati po NP-u, slobodnim odabirom i po odabranim slojevima. Podatci se mogu preuzeti u *shapefile* (*.shp), *geodatabase* (*.gdb), *AutoCAD DXF_R2007* (*.dxf), *AutoCAD DWG_R2007* (*.dwg) i *Bentley Microstation design DGN_V8* (*.dgn) formatima. Od navedenih, ukratko će biti prikazan *shp* kao odabrani format za unos u bazu podataka.



*Slika 27. Prikaz odabira US4SC22M ENC-a putem s pripadajućim slojevima u *.shp formatu. Izvor NOAA ENC Direct to GIS portal*[247]

Shapefile je vektorski format tvrtke ESRI (engl. *Environmental Systems Research Institute, Inc.*) koji služi za pohranu geografskih koordinata, atributa, projekcija, indeksa i dodatnih podataka. Podržava pohranu točaka, linija i površinskih obilježja poput poligona. Zapravo je riječ o nekoliko datoteka s različitim nastavcima i namjenama. Nastao je u začetcima GIS-a i dalje je najkorišteniji format za razmjenu GIS podataka. Sukladno tome, većina GIS aplikacija

[247] Office of Coast Survey [mrežna stranica], 2023. NOAA ENC Direct. https://encdirect.noaa.gov/ (16.3.2023.).

ga podržava, među kojima su i one kojima ih je moguće prenijeti u bazu podataka.[248] Struktura *shapefile* datoteka prikazana je u Tablici 14ž.

Tablica 14. Opis shapefile datoteka. Izvor[248]

Datoteka	Opis	Namjena
*.shp	Glavna datoteka	Sadrži geografske podatke
*.shx	Datoteka indeksa	Indeks tj. pomak zapisa u odnosu na početak glavne datoteke
*.dbf	Tablica	Datoteka formatirana prema dBase sustavu upravljanja baza podataka Sadrži atribute obilježja ili ključeve za povezivanje s drugim tablicama
*.prj	Projekcija	Podaci o projekciji
*.cpg, *.ldif	Kodiranje	Podaci o kodiranju *.dbf datoteke

Također, neposrednim korištenjem *shp* ili ostalih formata preuzetih s NOAA portala *ENC Direct to GIS,* osigurava se konzistencija konverzije korištenih podataka u odnosu na moguću korisničku konverziju. Načelno, odabir formata je od važnosti, radi prethodnih mogućnosti pretvorbe i neposrednog unosa u bazu podataka. Međutim, jednom preneseni u bazu, podatci više nisu u svome izvornome formatu, već postaju uobličeni i strukturirani kao tablice ili drugi objekti koji se kao takvi mogu koristiti u bazi i neposredno prikazivati u primjerice GIS sustavima ili izvoziti u niz drugih formata osim izvornog.

Field	Type	Length	Precision
OBJL	Integer64	11	0
CATWRK	String	30	0
CONRAD	Integer64	11	0
CONVIS	Integer64	11	0
EXPSOU	Integer64	11	0
HEIGHT	Real	18	15
OBJNAM	String	254	0
QUASOU	String	254	0
SOUACC	Real	18	15
TECSOU	String	254	0
VALSOU	Real	18	15
VERACC	Real	18	15
VERDAT	Integer64	11	0
VERLEN	Real	18	15
WATLEV	Integer64	11	0
INFORM	String	254	0
SCAMIN	Integer64	11	0
SORDAT	String	254	0
SORIND	String	254	0
DSNM	String	12	0

	sordat character varying (254)	sorind character varying (254)	dsnm character varying (12)
1	20181006	US,US,graph,H-12979	US2EC02M.000
2	201104	US,US,graph,Chart 11009	US2EC02M.000
3	201104	US,US,graph,Chart 11009	US2EC02M.000
4	20041006	US,US,reprt,L-1527/04	US2EC02M.000
5	20160819	US,US,graph,H-12894	US2EC02M.000
6	201104	US,US,graph,Chart 11009	US2EC02M.000
7	20100909	US,US,graph,DD-22317	US2EC02M.000
8	201104	US,US,graph,Chart 11009	US2EC02M.000
9	201104	US,US,graph,Chart 11009	US2EC02M.000
10	201104	US,US,graph,Chart 11009	US2EC02M.000
11	201104	US,US,graph,Chart 11009	US2EC02M.000
12	201104	US,US,graph,Chart 11009	US2EC02M.000
13	201104	US,US,graph,Chart 11009	US2EC02M.000
14	201104	US,US,graph,Chart 11009	US2EC02M.000
15	201104	US,US,graph,Chart 11009	US2EC02M.000
16	20140802	US,US,graph,W00290	US2EC02M.000
17	201104	US,US,graph,Chart 11009	US2EC02M.000

Slika 28. Polja s atributima, tipovima podataka, duljinom i preciznosti podataka (lijevo) i izvatka zapisa u bazi podataka (desno). Priredio autor prema ENC-u US2EC02M (WRECKS/ wreck_point)

Prije konačnog prikaza odabranih karata, valja opisati način kako se odabralo područje razmatranja. Na odabir područja utjecala je dostupnost AIS podataka, pripadajućih kategorija brodova i geografska, odnosno prometna obilježja područja. U tu svrhu, ponajprije će se ukratko

[248] Obe, R.O., Hsu, L.S., 2021. PostGIS in action, 3rd ed. Manning Publications, Shelter Island.

opisati značajke AIS sustava, zatim dostupne kategorije brodova u AIS sustavu i konačno, razlozi odabira vrste brodova. Nakon toga slijedi opis obilježja područja i razmatranih luka.

AIS je digitalni sustav automatske razmjene podataka kratkog dometa (načelno 30 do 40 NM) koji radi na vrlo visokom frekvencijskom (VHF) pojasu. Izvorno osmišljen kao zemaljski sustav, AIS signale mogu primati i sateliti. Njegova uporaba obvezna je za sve brodove prema zahtjevima SOLAS-a. Iako se primarno upotrebljavaju za identifikaciju broda, pomoć pri izbjegavanju sudara ili praćenje prometa,[249] dostupni AIS podatci vrijedan su izvor za brojne raznovrsne istraživačke interese poput estimacije rute, utvrđivanja mogućih sudarnih situacija ili planiranja puta.[250] Razlikujemo statičke AIS podatke (npr. identifikacija broda, osnovne dimenzije, tip), dinamičke (položaj, brzina preko dna, kurs, itd.), podatke o putovanju (navigacijski status, gaz, vrsta tereta, itd.) ili kratke poruke sigurnosnog sadržaja. Primopredajnici AIS klase A, obvezujući za SOLAS brodove, odašilju svoje dinamičke podatke u intervalima koji ovise o brzini broda i promjeni kursa. Duljine intervala započinju od 2 do 12 s, kada je brod u plovidbi, odnosno do 3 min kada je usidren ili privezan.[251] Nadalje, AIS pruža nekoliko identifikatora za posebna plovila (npr. peljarska plovila i tegljače) te brodove kao što su vrlo brzi brodovi (engl. *High Speed Craft*, HSC), teretni brodovi, tankeri, putnički brodovi i brodovi iz kategorije ostalih brodova.[252] Iako korisna za analizu općih kategorija brodova, nedostatak standardne AIS kategorizacije pojavljuje se kada se želi istražiti potkategorije brodova, kao što su brodovi za opći teret i kontejnerski brodovi koji prema AIS-u spadaju u teretne brodove. To otežava, na primjer, usporedbu pojedinačnih ili višestrukih flota brodova te analizu između prethodno navedenih različitih klasa teretnih brodova. Također, govoreći o dostupnosti, AIS podatci s *AccessAIS*[253] portala ograničeni su na obalno područje u dometu obalnih stanica koje mogu primati AIS signale. Sukladno tome, prvo ograničenje koje je odredilo usporedbu generiranog puta i usporedbe s AIS podatcima odnosno mogućih luka i

---

[249] Šakan, D., Rudan, I., Žuškin, S., Brčić, D., 2018. Near Real-time S-AIS: Recent Developments and Implementation Possibilities for Global Maritime Stakeholders. Pomorstvo 32, 211–218. https://doi.org/10.31217/p.31.2.6

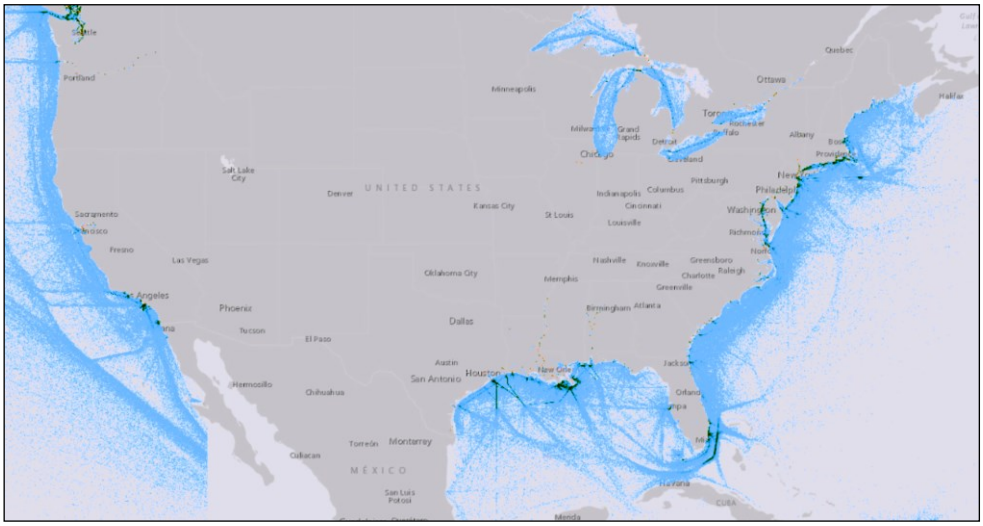
[250] Tu, E., Zhang, G., Rachmawati, L., Rajabally, E., Huang, G.B., 2018. Exploiting AIS Data for Intelligent Maritime Navigation: A Comprehensive Survey from Data to Methodology. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 19, 1559–1582. https://doi.org/10.1109/TITS.2017.2724551

[251] IMO, 2015. Resolution A.1106(29): Revised guidelines for the onboard operational use of shipborne automatic identification systems (AIS). International Maritime Organization, London. (7.8.2022).

[252] ITU-R, 2014. Technical characteristics for an automatic identification system using time division multiple access in the VHF maritime mobile frequency band M Series Mobile, radiodetermination, amateur and related satellite services.

[253] Bureau of Ocean Energy Management (BOEM), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 2023. MarineCadastre. AccessAIS. https://marinecadastre.gov/accessais/ (2.2.2023.).

područja određeno je dometom AIS terestričkih podataka, jer oceanski podatci primljeni preko satelita nisu bili dostupni. Sukladno navedenome, razmatralo se plovidbeno područje u dometu AIS stanica te koje je dovoljno raznovrsno i pokriveno s nekoliko različitih ENC namjenskih raspona. Dostupnost AIS podataka na kontinentalnome području SAD-a, i prikaz zapisa za 2019. može se vidjeti na Slici 29.

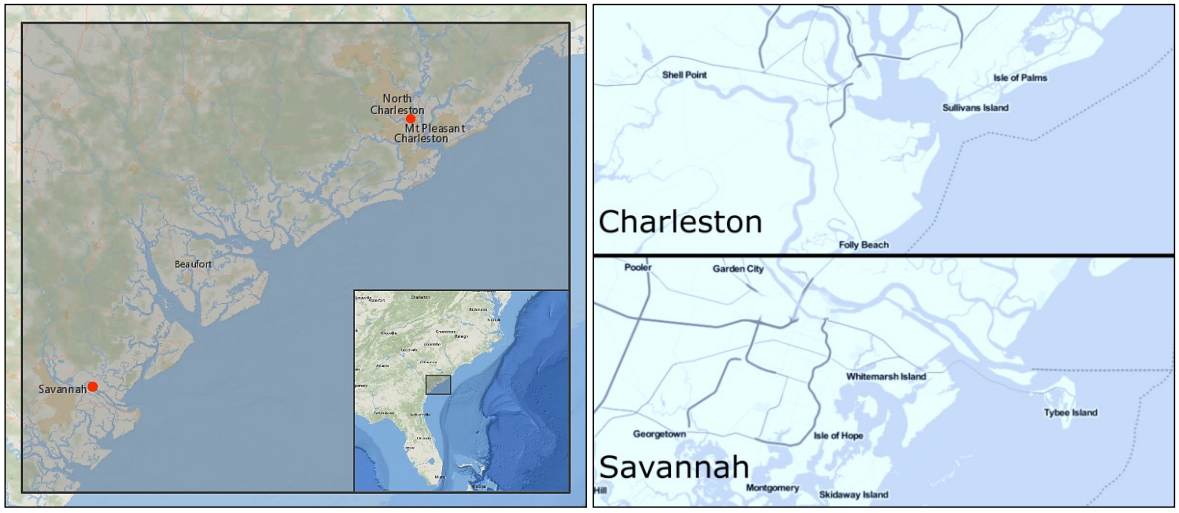


Slika 29. Dostupni AIS podatci na području SAD-a (2019.). Izvor AccesAIS portal[253]

Nastavno, moralo se razmotriti koja bi vrsta brodova bila prikladna za usporedbu s rezultatima algoritma. Kao moguće rješenje nameću se brodovi koji će imati redovitost prema lukama ticanja i razmjerno sličnu prostornu distribuciju putova između luka. U tu svrhu prikladnim možemo smatrati putničke i kontejnerske brodove, odnosno brodove koji plove u linijskoj plovidbi. Sljedeći uvjet odnosi se na dostupnost podataka o linijama i brodovima koji na njima plove, što jedni i drugi brodovi imaju, no i mogućoj detaljnijoj dobavljivosti podataka samih brodara. Kako je taj uvjet zadovoljen s podatcima jednog kontejnerskog broda i brodara, u istraživanju su odabrani kontejnerski brodovi. Sljedeći uvjet odnosno nastojanje bilo je odrediti način analize što je više moguće putovanja sličnih, sestrinskih ili brodova flote jednoga kontejnerskog brodara.

Od općih značajki važnosti kontejnerskih brodova, vrijedi spomenuti da od cjelokupne svjetske flote, prema nosivosti kontejnerski brodovi čine 13,34 %. To je treća najveća vrsta brodova po

ukupnoj nosivosti, nakon brodova za rasuti teret i tankera za prijevoz sirove nafte.[254] Nadalje, usporedba ruta i putova kontejnerskih brodova ima nekoliko mogućih prednosti u odnosu na razmatranje drugih glavnih vrsta brodova. U redovnoj plovidbi, brodovi pristaju u iste luke servisa na kojem su raspoređeni, čime se omogućuje usporedba ruta u prostornoj i vremenskoj domeni. Nadalje, na tržištu dominiraju 4 velika brodara[255] (MSC, APM-Maersk, CMA CGM i grupa COSCO), koji imaju više od 50 % kapaciteta, olakšavajući prikupljanje značajnih podataka o putovanjima i rutama ili usporedbe brodova obzirom na brojnost u pojedinoj klasi. Također, dobiveni rezultati mogu se interpretirati kao značajni u odnosu na cjelokupnu flotu. Govoreći o prostornoj komponenti istraživanja, luke i područje interesa trebale su biti razmještene u odnosu jedne prema drugoj tako da osigurava određena varijabilnost izbora putova, unutar donekle ograničenog područja. Nadalje, brodovi najvećih brodara bi trebali redovito ticati luke kako bi uzorak brodova bio prikladan. Između nekoliko parova mogućih luka odabrane su luke Savannah i Charleston prikazane na Slici 30.



Slika 30. Odabrano plovidbeno područje na istočnoj obali SAD-a između luka Savannah i Charleston (lijevo dolje). Zasjenjeni okvir prikazuje granice odabranog AIS područja i luke (lijevo). Neposredni prilaz lukama (desno). Priredio autor

Luke su smještene unutar riječnih ušća, dok se na prilazima nalaze područja s prirodnim i umjetnim ograničenjima koje čine navigaciju zahtjevnom, naročito za kontejnerske brodove koji pristaju u te luke. Opće značajke luka i njihove uloge u ukupnome pomorskome značaju

[254] United Nations, 2022. UNCTAD Review of Maritime Transport 2022; Review of Maritime Transport/United Nations Conference on Trade and Development, Geneva; United Nations: Geneva, Switzerland, ISBN 978-92-1-002147-0.
[255] Ibid., str. 159.

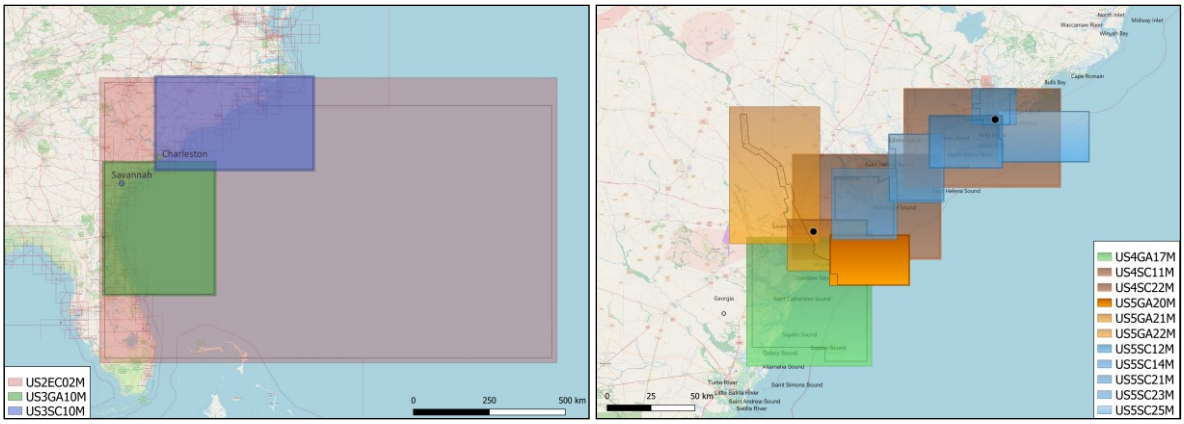
bit će prikazani u nastavku dok će detalji prilaza lukama i obalnog područja biti prikazani u sljedećem potpoglavlju i u okviru razmatranja validacije podataka.

Tijekom fiskalne godine 2019. (koja završava 30. lipnja 2019.), 1848 brodova pristalo je na *Garden City Terminal* u luci Savannah te je prekrcano 4,48 milijuna TEU-a. Uz njega se u luci nalazi i *Ocean Terminal*. Za ovu vrlo prometnu luku predviđa se daljnji rast od čak 48 % u 2030.[256] U luci Charleston, nalaze se terminali *Wando Welch* i *North Charleston* na kojima je prekrcano 2,93 milijuna TEU-a. Na svim terminalima u Charlestonu u fiskalnoj godini 2019. ukupno je pristalo 1696 brodova.[257] Važno je naglasiti da su obje luke uključene u redovite servise najvećih kontejnerskih brodara.

Osnovna udaljenost od Savannaha do Charlestona iznosi 104 NM.[258] Međutim, ovo je najkraća udaljenost kojom mogu ploviti plovila manjih dimenzija i gazova, za razliku od kontejnerskih brodova koji se u istraživanju razmatraju. Osim važnosti pojedinih luka i značajnog pomorskog prometa koji se prema i između njih odvija, potrebno je naglasiti da je obalno područje dio sjevernoatlantskog područja zaštite kitova (engl. *North Atlantic right whale Seasonal Management Areas,* SMA). Sva plovila najveće duljine od 65 stopa (19,81 m) ili veće i pod nadzorom Sjedinjenih Američkih Država ograničena su na brzine od 10 čvorova ili manje u SMA području 20 NM polazeći od obale od 1.11. do 30.4. svake godine.[259] Područja su uspostavljena kako bi se spriječili sudari plovila s ugroženim kitovima. Valja napomenuti da se u području nalaze i uzgajališta riba, druge prepreke i pličine koje uz navedeno područje zaštite kitova utječu na udaljavanje brodova od obale, izvan područja zaštite. Uz udaljavanje, nerijetko će i sama brzina brodova biti manja nego što bi se očekivalo, kao što će biti prikazano kasnije u analizi AIS rezultata. Prema opisanome, riječ je o navigacijski izazovnom području, kojim se može vjerodostojno ispitati mogućnosti modeliranja prostora, algoritama i dostupnih objekata odabranih ENC-ova koje možemo vidjeti na Slici 31.

---

[256] GPA Finance Department, 2019. Georgia Ports Authority Comprehensive Annual Financial Report for the Fiscal Years Ended June 30, 2019 and 2018. Georgia Ports Authority (Authority), Savannah, GA 31402 USA.
[257] Comprehensive annual financial report for fiscal year ended June 30, 2019, 2019. South Carolina State Ports Authority, Mount Pleasant, South Carolina 29464, USA.
[258] NOAA, 2019. Distances Between United States Ports 2019 - 13th edition. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).
[259] Raimondo, G.M., Spinrad, R.W., Leboeuf, N.R., 2022. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) National Ocean Service Coast Pilot 4. Atlantic Coast: Cape Henry, Virginia to Key West, Florida 53rd ed.



Slika 31. ENC-ovi korišteni u istraživanju, opće i obalne navigacijske primjene (lijevo) te navigacijske primjene prilaska lukama i za lučko područje (desno). Priredio autor koristeći QGIS aplikaciju

U lijevome okviru Slike 31., nalaze se ENC-ovi nižih raspona i sitnijih mjerila, dok su ENC-ovi viših raspona i krupnijeg mjerila prikazani u desnome okviru.

Konačno, njihov popis i opća obilježja možemo vidjeti u Tablici 15, kako slijedi. ENC-ovi pokrivaju nekoliko namjenskih raspona, od kojih onih NP 6, namijenjenih pristajanju, nema.

Tablica 15. Prikaz korištenih ENC-ova navigacijskih karata s pripadajućim navigacijskim primjenama, mjerilima i osnovnim obilježjima

ENC oznaka	Naslov	Mjerilo	Navigacijska primjena
US2EC02M	Cape Hatteras to Straits of Florida	1:1200000	Opća
US3GA10M	Charleston Light to Cape Canaveral	1:449659	Obalna
US3SC10M	Cape Hatteras to Charleston	1:432720	Obalna
US4GA17M	Tybee Island to Doboy Sound	1:80000	Prilaz lukama
US4SC11M	Charleston Harbor and Approaches	1:80000	Prilaz lukama
US4SC22M	Saint Helena Sound to Savannah River	1:80000	Prilaz lukama
US5GA20M	Savannah River Approach	1:40000	Lučka
US5GA21M	Savannah River, Bull River and Calibogue Sound	1:40000	Lučka
US5GA22M	Savannah River Savannah to Brier Creek	1:20000	Lučka
US5SC12M	Stono and North Edisto Rivers	1:40000	Lučka
US5SC14M	Charleston Harbor	1:20000	Lučka
US5SC21M	Port Royal Sound and Inland Passages	1:40000	Lučka
US5SC23M	Saint Helena Sound	1:40000	Lučka
US5SC25M	Charleston Harbor Entrance and Approach	1:40000	Lučka

Razmatrajući raznovrsnost područja i dostupnost ENC-ova, može se zaključiti da se odabir može smatrati vjerodostojnim uzorkom za razmatranje zahtjeva stvaranja modela okružja i primjene GPP algoritma. U nastavku valja prikazati način kako su ENC-ovi prikupljeni i pretvoreni u oblik pogodan za izradu modela okružja.

3.2.2. Odabir načina stvaranja modela okružja

Nekoliko je mogućih načina kako se prikupljene podatke može pohraniti, pristupati im, po potrebi ih uređivati, mijenjati, te konačno, upotrijebiti za predviđenu namjenu, u ovome slučaju za globalno planiranje puta. Kako nije moguće prikazati sve raznolike pristupe korištenja podataka, prikazat će se dva opća pristupa. U prvome pristupu, prikupljene i zapisane podatke u datotekama načelno koristimo neposredno korištenjem računalnih programa ili aplikacija. Podatkovne cjeline pohranjujemo privremeno u radnu memoriju računala, iz koje se podatci i eventualne izvršene promjene po potrebi brišu ili zadržavaju do kraja rada. Iako je zapis privremen, može se iznova stvoriti neposrednim ponavljanjem slijeda unosa i izvršenja naredbi ili pozivanjem iz zapisa u skripti programskog jezika. Uz privremeni zapis u radnoj memoriji, izmijenjene podatke možemo trajno zapisati u izvornome ili drugom prikladnom formatu na podatkovnom disku. Valja naglasiti da se podatkovni postupci i pohranjivanje mogu odvijati na mjesnim ili umreženim udaljenim računalima, uz raznovrsne mogućnosti korištenja radne memorije i procesora. Govoreći o radu na mjesnome računalu, nerijetko su ograničenja korištenja veličina radne memorije, brzina i obilježja procesora, te veličina i brzina pristupa disku važan faktor pri neposrednom radu s podatcima kako njihov obim ili zahtjevnost korištenja raste.

Drugi opći način je unijeti podatke u sustav za upravljanje podatcima, odnosno u bazu podataka te ih dovesti na viši stupanj apstrakcije. Ovime odvajamo neposrednu fizičku razinu pristupa podatcima te im pristupamo posredno iz baze preko postavljenih upita. Neke od općih prednosti uključuju mogućnost istovremenog pristupa višestrukih korisnika s različitim sigurnosnim razinama korištenja. Također, baze podataka pružaju neovisnost od aplikacija koje ih koriste, konzistentnost i integritet podataka, smanjivanje redundantnosti te pohranu iznimno velikih količina podataka kojima se može pristupati brzo i učinkovito, vrlo složenim upitima. Međutim, prikazane mogućnosti nose i značajnije veću kompleksnost ne samo pri korištenju već i pri kreiranju baza podataka. Kompleksnost se odražava u poznavanju pristupa učinkovitog modeliranja, strukturiranja i logičnog povezivanja podataka prema odrednicama korištene baze podataka. Navedeno može predstavljati prepreku ili prevagu pri odabiru ovog pristupa u odnosu na neposredni rad s podatcima u datotekama, primjerice kada ih namjerava koristiti pojedinac ili je uvjetno rečeno kada je riječ o projektu manjeg obima.

U svrhu učinkovitog korištenja baza podataka razvijeni su sustavi za upravljanje bazama podataka (engl. *Database Management System,* DBMS) i logički modeli strukturiranja

podataka. Od najvažnijih modela valja izdvojiti mrežni i hijerarhijski model koji su primjenjivani 60-ih i 70-ih godina 20. stoljeća, relacijski koji dominira od 80-ih godina, te objektni model, koji još uvijek nije toliko značajno primijenjen. Relacijski model zasniva se na pojmu *relacije* i načelno je predstavljen tablicama sačinjenim od redaka i stupaca koje opisuju podatke i veze. Objektni model inspiriran je objektno orijentiranim programskim jezicima i sačinjen je od *objekata* koje čine *interni atributi* odnosno podaci i *metode* tj. operacije koje opisuju rad s podatcima.[260] Relacijski model kojeg je predstavio Edgar F. Codd 1970. omogućio je da se podatcima pristupa razmjerno jednostavno za korisnika koji ne treba razmatrati unutarnju strukturu i mjesto pohrane podataka.[261] Razvoj i primjena relacijskog modela doprinijela je i razvoju strukturiranog upitnog jezika (engl. *Structured Query Language*, SQL), standardnog za postavljanje upita. Međutim, povećana količina podataka i njihova raznovrsnost, usporedno s razvojem interneta i naročito u proteklome desetljeću dovela je do pojave tzv. *NoSQL* baza podataka kojima se nadomještaju ograničenja relacijskih baza podataka. One se ne zasnivaju na relacijskom modelu, jednostavnije su i mogu prihvatiti iznimno velike količine raznovrsnih podataka poput slika, video sadržaja ili tekstualnih zapisa.[262] Potrebno je naglasiti da mnogi moderni DMBS-ovi zapravo podržavaju više modela osim osnovnog koji ih definira. Relacijski model je i dalje vrlo zastupljen tako su relacijski sustavi za upravljanje bazama podataka (engl. *Relational* DMBS) u ožujku 2023. činili 71.9 % od ukupnog broja svih DMBS-ova, dok su objektno-orijentirani sustavi za upravljanje bazama podataka (engl. *Object-Oriented* DMBS) činili 0,3 %. Prikazani poredak prenesen je iz često korištene ljestvice *DB-engines* koju priprema austrijska konzultantska tvrtka *Solid IT*.[263] Potrebno je napomenuti prednosti OOMDBS-ova u odnosu na RDMBS-ove, poput podrške za kompleksnije objekte, tipove podataka, mogućnost nasljeđivanja i model objekata koji se zasniva na objektima iz stvarnog svijeta. Međutim, dugogodišnja primjena RDBMS-a, nedostatak teorijske podloge, kompleksnost kada se modeliraju jednostavniji objekti, ali ponajviše nedostatak standardizacije i kompatibilnosti između različitih OODMBS-ove može

[260] Manger, R., 2012. Baze podataka, 2.izdanje. Element d.o.o.
[261] Kelleher, J.D., Tierney, B., 2021. Znanost o podacima. 1. izdanje Mate d.o.o.
[262] Ibid.
[263] DB-Engines Ranking per database model category [mrežna stranica], 2023. https://web.archive.org/web/20230319183104/https://db-engines.com/en/ranking_categories (19.3.2023.).

objasniti njihovu manju primjenu.[264] Kao rješenje između dvaju različitih pristupa nameće se korištenje objektno-relacijskih DMBS-ova (ORDMBS) kao što je *PostgreSQL*.

PostgreSQL je ORDMBS otvorenog koda, nastao na POSTGRES sustavu kojeg je 1980-ih razvijao prof. Michael Stonebraker sa Sveučilišta u Kaliforniji, Berkeley. Između ostalog podržava stvaranje kompleksnih upita, pogleda, integriteta transakcija, korištenja različitih tipova podataka, uz mogućnost korisničkog stvaranja funkcija, operatora i indeksa. Podržava korištenje nekoliko programskih jezika i sučelja te se može koristiti na većini operativnih sustava. Važno je naglasiti da ima mogućnost korištenja proširenja od kojih valja izdvojiti PostGIS prostorno proširenje.[265]

PostGIS je općenito najsveobuhvatnije prostorno proširenje, iako razvijeno za PostgreSQL bazu podataka otvorenog koda. Sadrži više od 400 funkcija za različite vrste prostornih podataka. Funkcije su usklađene sa standardima *Otvorenog geoprostornog konzorcija* (engl. *Open Geospatial Consortium*, OGC) odnosno ISO standardima. OGC je razvio standard *Jednostavnog pristupa značajkama* (engl. *Simple Features Access standard,* SFA) koji definira model za geoprostorne podatke i geometriju koji su implementirani kroz geometrijske i geografske tipove podataka. PostGIS je usklađen i sa *SQL Multimedia spatial* (SQL/MM)[266] standardom odnosno prostornim funkcijama koje se nalaze i u drugim bazama podataka s prostornim proširenjima.[267] Od ostalih relacijskih baza podataka koji imaju prostorne mogućnosti možemo izdvojiti IBM DB2 *Spatial Extender*, SQL *Server Spatial*, *Oracle Spatial*.[268]

Prema prethodnome, dana je prednost izboru pohrane podataka u bazu podataka i rada s njima u odnosu na neposredni rad s datotekama. Time se osigurala konzistentnost i sigurnost podataka te mogućnosti poput indeksiranja ili stvaranja naprednih upita. Također, unatoč nastojanjima primjene objektnog pristupa, vidljivo je da je relacijski model i dalje iznimno zastupljen uz

---

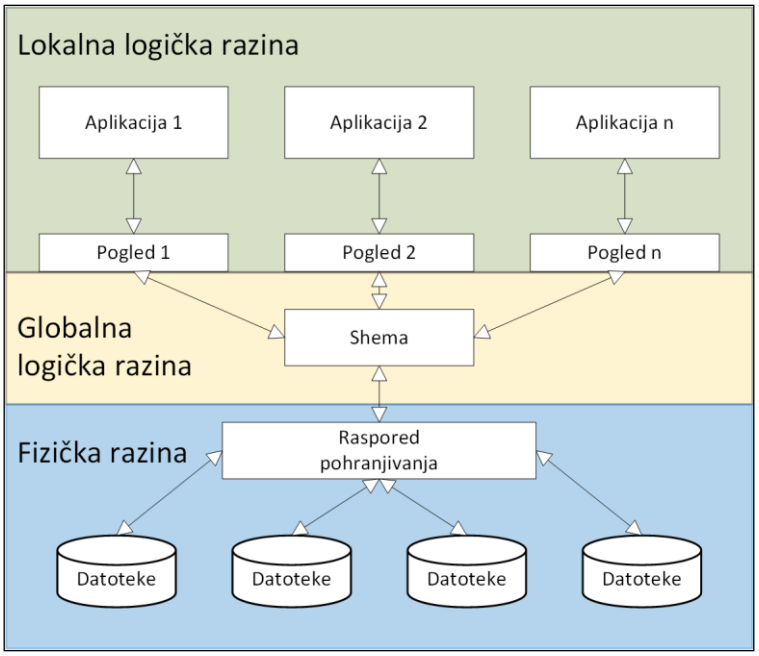
[264] Ogunlere, S., Idowu, S., 2015. Comparison Analysis of Object-Based Databases, Object-Oriented Databases, and Object Relational Databases. Asian Journal of Computer and Information Systems 3.
[265] Silberschatz, A., Korth, H.F., Sudarshan, S., 2020. Database system concepts, 7th edition. McGraw-Hill, New York, NY. Poglavlje 32: PostgreSQL, dostupno isključivo na mrežnoj stranci, https://www.db-book.com/online-chapters-dir/32.pdf. (20.3.2023.)
[266] ISO/IEC 13249-3:2016 Information technology — Database languages — SQL multimedia and application packages — Part 3: Spatial [mrežna stranica], 2023. ISO. https://www.iso.org/standard/60343.html (21.3.2023).
[267] Obe i Hsu, 2021. PostGIS in action, op. cit.
[268] Xie, J. et al. 2022. Ganos: a multidimensional, dynamic, and scene-oriented cloud-native spatial database engine', Proceedings of the VLDB Endowment, 15(12), pp. 3483–3495. https://doi.org/10.14778/3554821.3554838.

mogućnosti primjene i drugih modela uključivši objektno-relacijski. Ako u prikazani kontekst postavimo podatke ENC-ova govorimo o objektnome modelu podataka s atributima i obilježjima koje proizvođači ECDIS-a pohranjuju kao SENC-ove u datoteke, od kojih dio koristi relacijske baze podataka.[269] Obzirom da svaki objekt ima niz različitih atributa, prikladnije bi bilo koristiti objektno-orijentirane baze podataka.[270] No, kako je njihova primjena ograničena, kao logično rješenje se nameće ORDMBS poput PostgreSQL koji ima prostorno proširenje poput PostGIS-a kao što je učinjeno u ovome istraživanju. Zasigurno bi bilo prikladnije koristiti ECDIS sustav otvorenog koda, pa makar i znatno ograničenih mogućnosti, međutim to nažalost nije moguće jer takvih sustava nema. Prema tome, kao mogućnost preostaje ili razvijanje vlastitog rješenja što je iznimno zahtjevno ili koristiti ORDMBS i prostorna proširenja poput PostGIS-a. Time, unatoč ograničenjima, ostvarujemo mogućnost naprednije obrade i strukturiranja podataka koje unosimo nakon stvaranja baze. Kako je osnovna struktura baze standardizirana i strukturirana, stvaranje nove baze je jednostavno uz naknadnu prilagodbu potrebama korisnika i zahtjevima projekta.

Općenito, bazu podataka možemo načelno podijeliti u tri razine: fizičku, globalnu logičku razinu i lokalnu fizičku razinu. Fizička razina odnosi se na fizički prikaz i raspored podataka na vanjskim memorijama. Vidljiva je samo razvojnim programerima DMBS-a. Globalna fizička struktura predstavlja logičku strukturu baze. On je vidljiva administratoru, odnosno osobi koja je bazu oblikovala. Zapisana je u obliku sheme (engl. *schema*) koja definira logičku strukturu prema zadanome modelu. Prema njoj se definiraju tipovi podataka i njihove veze, postavljaju se ograničenja i osigurava integritet. Konačno, korisnik ima pristup lokalnoj logičnoj razini u obliku zapisa koji se nazivaju pogledima (engl. *view*) ili podshema.[260] Osnovni prikaz razina prikazan je na Slici 32.

---

[269] Park, D., Park, J., Kwon, D., Kwon, H.-C., Park, S., 2013. Design of Data Structure for System ENC Kernel, in: 2013 International Conference on IT Convergence and Security (ICITCS). Presented at the 2013 International Conference on IT Convergence and Security (ICITCS), pp. 1–3. https://doi.org/10.1109/ICITCS.2013.6717821.
[270] Park, D., Park, S., 2015. E-Navigation-supporting data management system for variant S-100-based data. Multimed Tools Appl 74, 6573–6588. https://doi.org/10.1007/s11042-014-2242-5

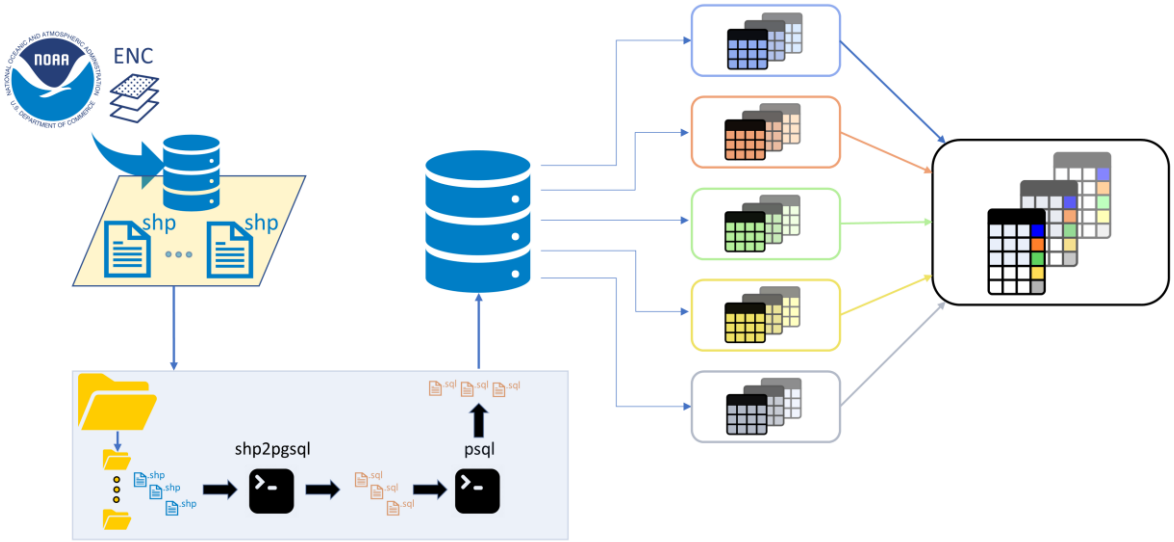


Slika 32. Prikaz opće arhitekture baze podataka. Priredio autor prema[260]

U shemama se nalaze *relacije* (engl. *relation*) odnosno općenitije *tablice* iako ti pojmovi nisu istovjetni jer formalno, relacija ne mora biti tablica. U tablicama se nalaze stupci koji sadrže određene vrijednosti *atributa* (engl. *attribute),* odnosno skupova istovjetnih podataka. Stoga se atributi poistovjećuju sa stupcima. Konačno, u svakome se retku nalazi jedna vrijednost atributa koji se naziva *n-torka* (engl. *tuple*). Nadalje, potrebno je odrediti primarni ključ (engl. *primary key*, PK) koji predstavlja podskup atributa određene relacije (tablice) koji jednoznačno određuje n-torku (redak). Uz primarni ključ, u relaciju se često dodaje i *strani ključ* (engl. *foreign key,* FK) kojim se predstavlja ključ iz druge tablice.[260] Kako se i u samoj primjeni vrlo često pojmovi relacija, atributa i n-torki koriste usporedno s tablicama, stupcima i redcima, tako će se i u ovome istraživanju ovi pojmovi koristiti kao sinonimi, jer je ponegdje prikladnije za razmatranje. Nakon ovoga kratkoga uvoda, potrebno je daljnje razraditi osnovne relacijske pojmove i značajke, uključivši i samu strukturu baze.

Da bi se stvorilo konzistentnu i učinkovitu bazu potrebno ju je modelirati *entitetima* i *vezama*. Entiteti se odnose na objekte modeliranja, veze određuju njihove odnose, dok se atributima opisuju obilježja objekata i veza. Taj postupak se naziva ER modeliranje (engl. *Entity-Relationship Modelling,* ERD). Ukratko, entiteti su u ovom slučaju S-57 objekti koji imaju određene atribute koji su njihova obilježja. Obilježja S-57 objekata, atributa i njihovih veza u bazi podataka bit će opisane u nastavku. Prethodno je potrebno opisati postupak pripreme ulaznih podataka u obliku *shp* datoteka i njihovog unosa u osnovne sheme.

Podatci su uneseni u bazu podataka korištenjem *shp2pgsql* skupa naredbi kojima se pristupa iz naredbenog retka te se *shp* datoteke konvertiraju u *sql* datoteke SQL programskog jezika koje se zatim unose u bazu podataka kao što je vidljivo na Slici 33.

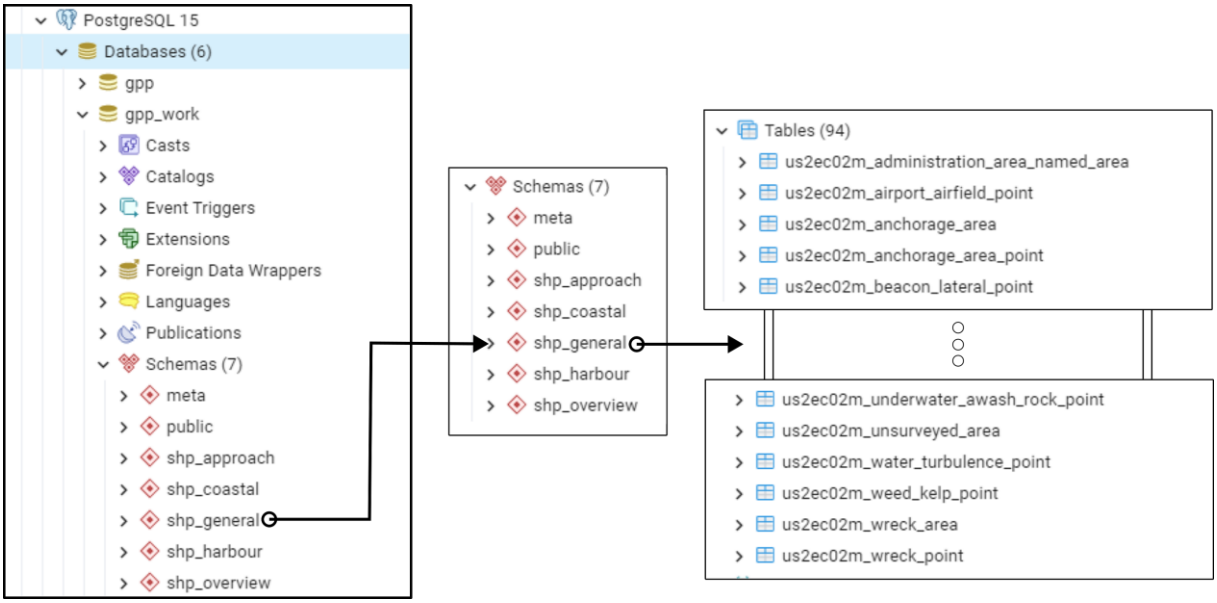


*Slika 33. Postupak pretvaranja ENC-a iz *.shp formata u *.sql datoteke i unos u bazu podataka. Povezivanje tablica iz pojedinačnih shema u zajedničke tablice u jedinstvenoj shemi. Priredio autor*

Pripremljene *sql* datoteke zatim su pokrenute kroz naredbeni redak korištenjem tzv. *psql* klijenta. Iako je datoteke moguće uvoziti pomoću grafičkih sučelja kroz npr. *PGAdmin,*[271] priprema skripti i njihovo pokretanje putem naredbenog retka, izvedba i ponovljivost određenog koraka je ubrzana i olakšana. Nadalje, u samoj bazi podataka je za svaki NP napravljena posebna shema iz kojih su se tablice individualnih objekata iz pojedinačnih shema spojile u jedinstvenu tablicu u shemi. Za navedeno područje, kako je prethodno i prikazano u Tablici 15. korištene su opće, obalne, prilazne i lučke navigacijske primjene odnosno namjenski rasponi. Svaki objekt bilo kojeg ENC-a ima isti naziv, bilo za S-57 (npr. WRECKS) ili shapefile ekvivalent (*coastal_wreck_point*) format. Tako je svakom objektu (tablici u bazi podataka) prije unosa priložen prefiks koji označava ENC (npr. *us2ec02m_coastal_wreck_point*, *us4sc22m_ coastal_wreck_point*). Na taj način se moglo unijeti tablice više ENC-ova, odnosno S-57 objekata i stvoriti početnu opću strukturu baze sa shemama prikazanim su na Slici 34. Za svaki NP napravljena je pripadajuća shema (na slici nije prikazana shema za NP pristajanja jer ENC-ova tog namjenskog raspona nije bilo u području). Početna arhitektura svih shema nalazi

[271] pgAdmin 4, 2023., https://github.com/pgadmin-org/pgadmin4 (26.5.2023.).

se u osnovnoj, *public* shemi. Također, vidljiva je struktura sheme za opći NP (*shp_general*) u kojoj se nalaze 94 tablice koje pripadaju objektima US2E02M ENC-a, jedinog u ovome NP-u.



Slika 34. Osnovna struktura baze podataka sa shemama razdvojenim po navigacijskim primjenama uz prikaz strukture sheme opće navigacijske primjene (shp_general) s pripadajućim tablicama. Priredio autor koristeći PGAdmin zapise

Shema obalnog NP-a (*shp_coastal*) sadrži 282 tablice, prilaska (*shp_approach*) 423 i konačno lučka shema (*shp_harbour*) 1421 tablicu.

Uz prethodno korišteni *psql* klijent i *shp2pgsql* korišteno je još nekoliko aplikacija i proširenja čije osnovne značajke i verzije možemo vidjeti u Tablici 16.

Tablica 16. Osnovni softver i proširenja korišteni za unos u bazu i rad s podacima

Softver	Verzija	Datum izlaska	Namjena
PostgreSQL	15.2.	9.2.2023.	ORDMBS otvorenog koda. ISO/IEC 9075:2016 (SQL:2016)
PostGIS	3.3.2.	11.12.2022.	Besplatno i otvoreno prostorno proširenje za PostgreSQL
PGAdmin	6.19.	17.1.2023.	Besplatna i otvorena platforma za upravljanje PostgreSQL-om
QGIS	3.28.	21.10.2022.	Besplatan i otvoren GIS sustav s nizom proširenja

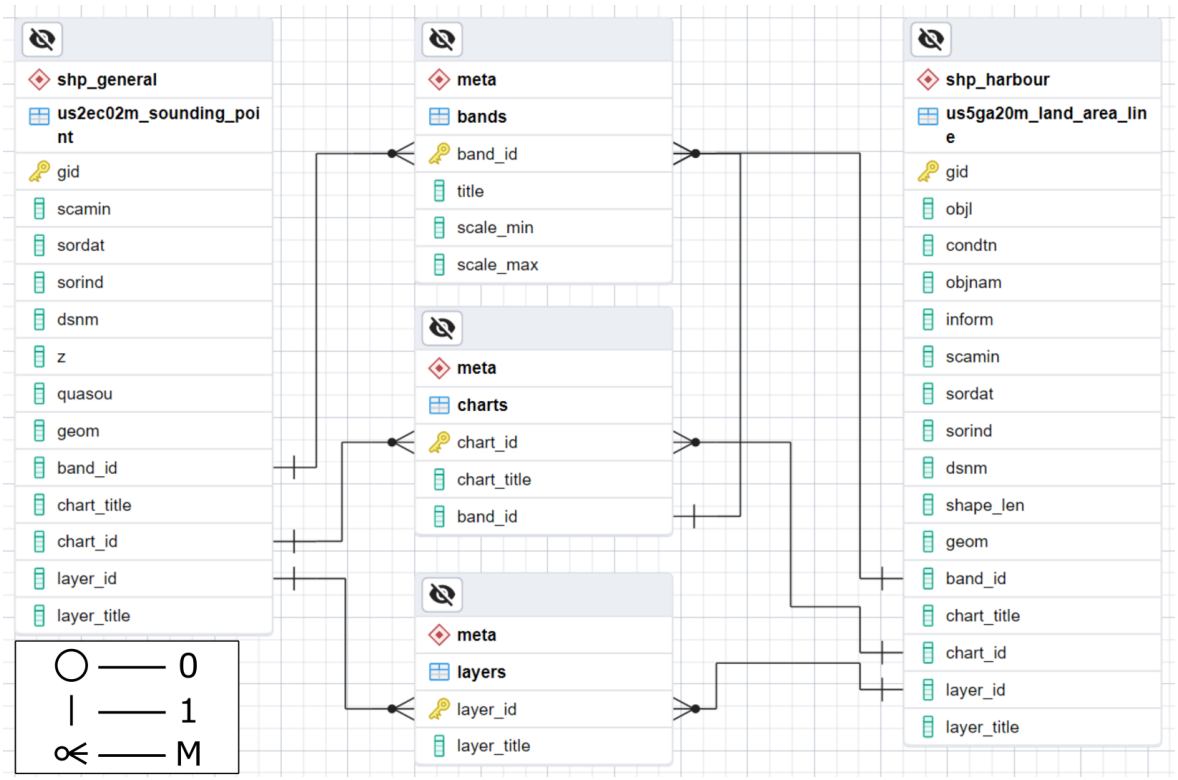
Kako je prethodno opisano, jedan od važnijih zadataka bilo je modelirati bazu podataka. Kako su osnovni objekti već određeni prema IHO S-57 i struktura tablica, odnosno ENC objekata je prethodno definirana, obilježja modela nisu značajno mijenjana. Radi lakšeg povezivanja objekata iz različitih NP-ova dodano je nekoliko relacija u odvojenu shemu (*meta*) te su dodani atributi koji će biti prikazani u nastavku. Prethodno je važno ukratko opisati pojam veza i normalizacije koji određuju načela povezivanja, ali i formiranja adekvatne strukture relacija, odnosno tablica.

Pojam normalizacije odnosi se na tzv. normalne forme (engl. *normal forms*) koje je definirao Edgar Codd. U prvoj normalnoj formi (1NF) zahtijeva se da atributi u relaciji budu jednostavni i jednostruki, odnosno nije ih moguće dalje dijeliti i ne ponavljaju se. U drugoj normalnoj formi (2NF), relacija mora biti u 1NF te svi ne-primarni atributi moraju ovisiti o primarnome ključu. To je slučaj kada je primarni atribut složen i kada neki od ne-primarnih atributa ima parcijalnu ovisnost o primarnom ključu.[272] Ako je primarni ključ jednostavan, onda je relacija u 2NF. Konačno, relacija je u trećoj normalnoj formi (3NF) kada je u 2NF i kada nema tranzitivne funkcionalne ovisnosti, npr. kada atribut A ima ovisnost o atributu B koji je ovisan o atributu C. Tada je i atribut A tranzitivno ovisan o atributu C. 2NF i 3NF postiže se razdvajanjem osnovnih relacija na dvije ili više relacija kojima se onemogućava parcijalna i tranzitivna ovisnost. Uz ove osnovne forme, postoje i više normalne forme koje se u kontekstu opisane baze podataka neće razmatrati. U praksi, 3NF zadovoljava zahtjeve normalizacije.[273]

Konačno valja spomenuti i veze između relacija odnosno entiteta koje mogu biti jedan naprama jedan (1:1), jedan naprama mnogo (1:M), mnogo naprama jedan (M:1) i mnogo naprama mnogo (M:M). Veze se izražavaju pojmom kardinalnosti, koja se utvrđuje u oba smjera.[260] Prikaz veza, struktura i kardinalnosti veza relacija, odnosno tablica nalazi se na Slici 35. Za prikaz kardinalnosti koristio se tzv. *Martinov prikaz* (u engleskoj literaturi poznatiji pod pojmom *crow's foot notation*) uz koji se još koristi i *Chenov prikaz.*[274] U prikazu se koriste binarne veze u kojima se donja i gornja granica veze označavaju simbolima prikazanim na legendi Slike 35. Kao što se može vidjeti, tri se tablice nalaze u *meta* shemi. One predstavljaju popis ENC-ova ili pojednostavljeno *karata* (engl. *charts*), *namjenskih raspona* (engl. *bands*) i *slojeva* (engl. *layers*). Kako nije moguće prikazati veze sa svim ostalim tablicama (ukupno 2200) odabrane su dvije tablice iz dviju različitih shema NP-a. Iz sheme općeg NP-a odabrana je tablica dubine (*us2ec02m_sounding_point*) dok je iz lučke sheme izabrana tablica linija obalnih površina (*us5ga20m_land_area_line*). Razmatrajući veze, tablica *bands* povezana je 1:M vezom s tablicom *charts* u shemi *meta* i svim ostalim tablicama u preostalim shemama. Tablica, odnosno relacija *layers* također je povezana 1:M sa svim ostalim tablicama.

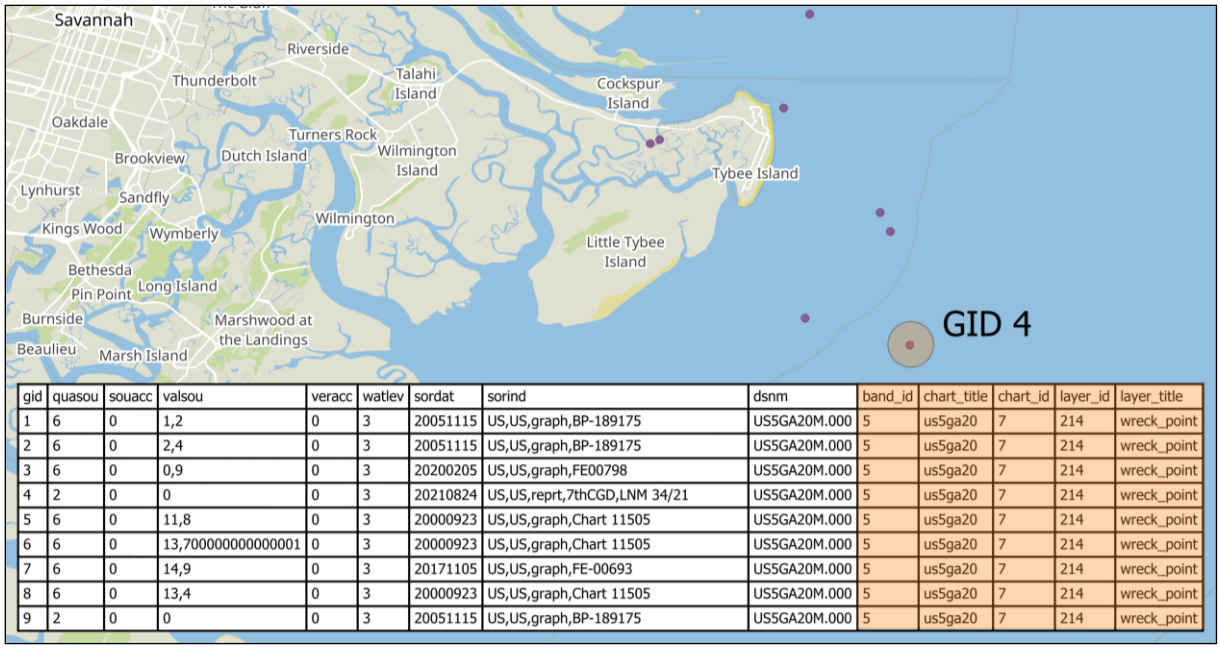
---

[272] Manger, R., 2012., op. cit.
[273] Ibid.
[274] Varga, M., 2020. Baze podataka: Konceptualno, logičko i fizičko modeliranje podataka. Mladen Varga.



Slika 35. Prikaz struktura veza između tablica shema namjenskih raspona. Priredio autor koristeći PGAdmin ERD alat

Govoreći o normalnim formama tablice *meta* sheme su u 3NF. Načelno se to može zaključiti i za ostale tablice, međutim zbog velikog broja objekata i atributa po relaciji, nije bilo praktično provjeriti tranzitivne ovisnosti za svaku pojedinu relaciju. Također, obzirom na atribute i kontekst 2NF i 3NF moglo bi se raspravljati o odabiru primarnih ključeva, kompozitnih ključeva ili kandidata za ključeve. Kako fokus istraživanja nije na određivanju i optimizaciji strukture baze podataka i razlika u stupnju normalizacije ne utječe na daljnje istraživačke korake, zadržat će prethodna formulacija. Konačno, u sve tablice dodani su atributi *band_id, chart_id, layer_id* kao strani ključevi. Također su dodani atributi *chart_title* i *layer_title.* Korištenjem tih atributa omogućavaju se raznovrsne mogućnosti povezivanja ili uklanjanja objekata, bilo po vrsti objekta, NP-u ili ENC-u. Prikaz osnovnih i dodanih atributa može se vidjeti na Slici 36. Nekoliko osnovnih atributa nije prikazano na slici radi preglednosti.



gid	quasou	souacc	valsou	veracc	watlev	sordat	sorind	dsnm	band_id	chart_title	chart_id	layer_id	layer_title
1	6	0	1,2	0	3	20051115	US,US,graph,BP-189175	US5GA20M.000	5	us5ga20	7	214	wreck_point
2	6	0	2,4	0	3	20051115	US,US,graph,BP-189175	US5GA20M.000	5	us5ga20	7	214	wreck_point
3	6	0	0,9	0	3	20200205	US,US,graph,FE00798	US5GA20M.000	5	us5ga20	7	214	wreck_point
4	2	0	0	0	3	20210824	US,US,reprt,7thCGD,LNM 34/21	US5GA20M.000	5	us5ga20	7	214	wreck_point
5	6	0	11,8	0	3	20000923	US,US,graph,Chart 11505	US5GA20M.000	5	us5ga20	7	214	wreck_point
6	6	0	13,700000000000001	0	3	20000923	US,US,graph,Chart 11505	US5GA20M.000	5	us5ga20	7	214	wreck_point
7	6	0	14,9	0	3	20171105	US,US,graph,FE-00693	US5GA20M.000	5	us5ga20	7	214	wreck_point
8	6	0	13,4	0	3	20000923	US,US,graph,Chart 11505	US5GA20M.000	5	us5ga20	7	214	wreck_point
9	2	0	0	0	3	20051115	US,US,graph,BP-189175	US5GA20M.000	5	us5ga20	7	214	wreck_point

Slika 36. Prikaz osnovnih i dodanih (okvir u desnome dijelu tablice) atributa tablice US5GA02M_wreck_point s istaknutim retkom (n-torkom) GID 4. Priredio autor

U nastavku će se prikazati postupak spajanja tablica iz pojedinačnih shema koje pripadaju pojedinom ENC-u, u shemu gdje će se objediniti pojedinačne u jedinstvene relacije, odnosno tablice, po pojedinome objektu.

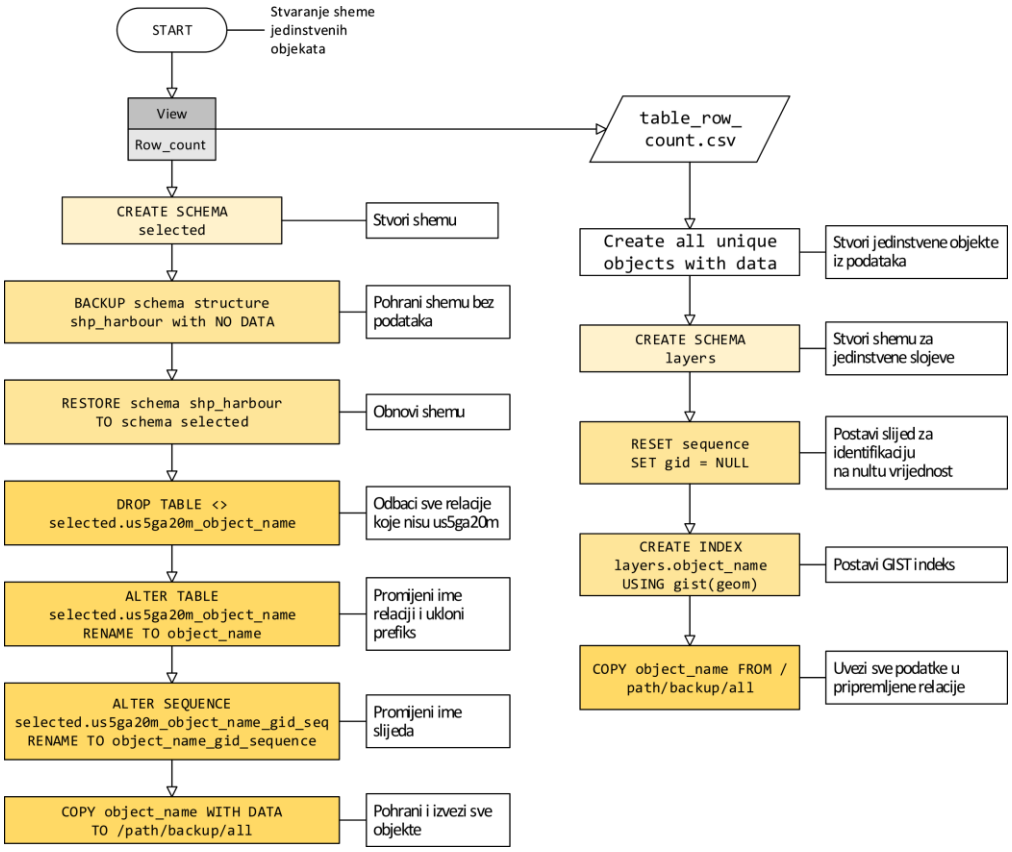
3.2.3. Stvaranje jedinstvenih relacija za plovidbeno područje

Jedinstvene relacije objekata su stvorene na sljedeći način. Tablice odnosno relacije koje predstavljaju jedan objekt ENC-a ponavljaju se za svaki uneseni ENC po pojedinom NP-u. Međutim ENC-ovi se razlikuju po broju objekata koji se kreću od prethodno navedenih 94 za ENC NP-a 2, do preko 200 za NP-a 5. Za navedeno, stvorena je jedna shema za koju se moralo pripremiti relacije u koje će se unijeti svi podatci odnosno objekti. U tu svrhu je napravljen zapis koji se naziva pogled (engl. *view*). Običan pogled ne sadrži podatke kao relacija,[260] već je to zapisani upit (engl. *query*) koji će iznova prikupiti i prikazati podatke iz jedne ili više relacija nakon pokretanja, odnosno pozivanja. No ukoliko se *materijalizira (engl. materialized view)* onda ih sadrži, slično poput tablice. Općenito, pogledi predstavljaju imenovane, odnosno zabilježene upite koji se često koriste. Upitom se pristupilo tzv. *informacijskoj shemi* koja u arhitekturi PostgreSQL-a sadrži sve podatke o objektima koji se u bazi nalaze. Na temelju materijaliziranog upita u pogledu su prikupljeni nazivi svih relacija u bazi i shemama. Materijalizirani pogled s pripadajućim programskim kodom možemo vidjeti u okviru Upita 1.

```
CREATE MATERIALIZED VIEW meta.table_row_count AS
  SELECT n.nspname AS table_schema
   , c.relname AS table_name
   , c.reltuples AS row_count
  FROM pg_class c
  JOIN pg_namespace n
   ON n.oid = c.relnamespace
  WHERE 1=1
  AND c.relkind = 'r'
  AND n.nspname not IN ('information_schema', 'pg_catalog')
 ORDER BY row_count ASC
WITH
  DATA;
```

Upit 1. Stvaranje materijaliziranog pogleda za prikaz popisa svih relacija, njihovih naziva i broja n-torki u relaciji

Nastavno, stvorena je shema naziva *selected* na temelju sheme za NP 5, odnosno lučke navigacijske primjene iz koje su uklonjene sve relacije osim onih za ENC-a US5GA20M, koje su poslužile kao osnovna struktura bez podataka u koju će se unijeti podatci iz svih ostalih relacija za pojedini objekt. Slijed koraka vidljiv je na Slici 37.

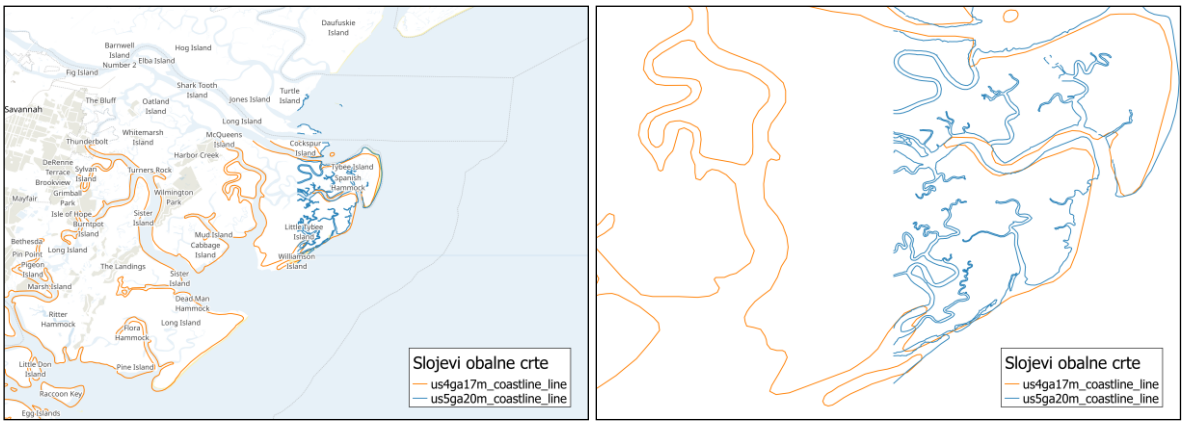


Slika 37. Stvaranje sheme sa jedinstvenim relacijama. Priredio autor

U nazivu relacija uklonjen je prefiks s oznakom ENC-a (us5ga20M), te su preimenovani nazivi njihovih cjelobrojnih indeksa (*_gid_seq*). Nakon toga, izvezene su sve relacije iz svih shema

u tekstualne datoteke *(*.csv)* koje su pripremljene na temelju podataka materijalnog pogleda. U sljedećem koraku stvorena je nova shema (*layers*) isključivo za jedinstvene relacije koje imaju podatke (ukupno 118) da bi se ubrzalo pretraživanje. Načelno se moglo ostaviti prazne relacije, no kako se u istraživanju ne razmatra ažuriranje podataka, one su radi praktičnosti izostavljene. Kao predložak korištene su relacije iz pripadajućih shema jer kao što je prikazano ovisno o namjenskom rasponu mijenja se i broj objekata, odnosno relacija u bazi ili jednostavnije slojeva kada bi smo govorili o ENC-u. Nadalje, da bi se stvorio jedinstveni slijed, indeksi su podešeni na nultu vrijednost, te je stvoren GiST (engl. *Generalized Search Tree*) indeks na geometrijski atribut tipa podataka. To je najčešći i najfleksibilniji prostorni indeks kojim se ubrzavaju pretraživanja i računske operacije s podatcima.[275] Konačno, u posljednjem koraku unesene su sve relacije po pojedinom objektu iz izvornih shema namjenskih raspona.

Da bi se moglo jednoznačno povezati objekte odnosno tablice pojedinog ENC-a, morala su se razdvojiti područja u kojima se podaci preklapaju. Na Slici 38., možemo uočiti kako je obalna crta generalizirana na nižem namjenskom rasponu (US4GA17M, prilazak lukama, narančasta boja) u odnosu na prikaz na višemu rasponu (US5GA20M, lučki, plava boja).



Slika 38. Prikaz preklapanja dvaju slojeva obalne crte ENC-ova različitih namjenskih raspona. Priredio autor koristeći QGIS

Za uklanjanje objekata koji se prostorno preklapaju korištene su dostupne PostGIS geometrijske funkcije i razmotreni objekti kojima bi se moglo obuhvatiti ili odvojiti područja preklapanja. U tu svrhu razmotreni su objekti M_COVR (*coverage_area*) i M_NPUB (*nautical_publication_information_area)* čija se osnovna obilježja i atributi mogu vidjeti u Tablici 17.

[275] PostGIS 3.3.3dev Manual, 2023. str. 53.

Tablica 17. Prikaz objekata obuhvata geografskog područja i dodatnih informacija s pripadajućim atributima

Skupovi atributa	Naziv objekta	
	M_COVR	M_NPUB
Skup atributa A	CATCOV	
Skup atributa B	INFORM, NINFOM	INFORM, NINFOM, NTXTDS, PICREP, PUBREF, TXTDSC,
Skup atributa C	RECDAT, RECIND, SORDAT, SORIND,	RECDAT, RECIND, SORDAT, SORIND,
Definicija	Geografsko područje koje opisuje obuhvat i pružanje prostornih objekata	Služi za povezivanje dodatnih nautičkih informacija i podataka

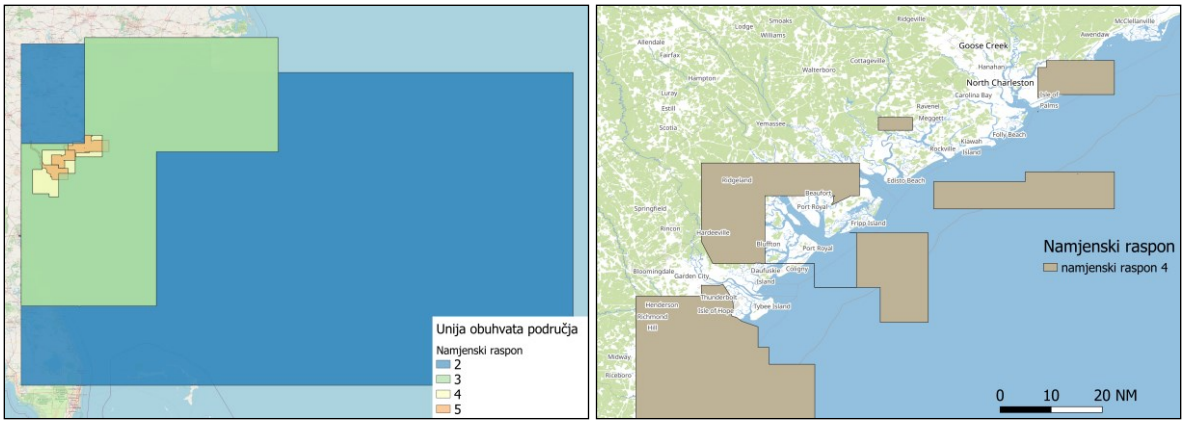
Kako su poligoni navedenih područja identični (područje koje obuhvaćaju), i njihov odabir za međukorak uklanjanja područja preklapanja ne mijenja metodologiju, izabran je M_NPUB objekt jer načelno obuhvaća obje namjene (obuhvat i dodatne informacije) bez obzira što je M_COVR bazičniji i primarni objekt, barem što se obuhvata područja tiče. Ovaj zahtjevan dio procesa stvaranja zahtijevao je pripremu i izvedbu niza SQL upita. Jedan od njih možemo vidjeti u okviru Upita 2.

```
INSERT INTO merged.naut_publ_area
 ( title
 , band_id
 , layer_id
 , geom
  )
VALUES
  ('npi_4', '4'
  , '117'
  , (SELECT ST_Union(geom)
   FROM (SELECT geom
     FROM shp_approach.us4ga17m_nautical_publication_information_area AS
npi_ga_417
     UNION
    SELECT geom
     FROM shp_approach.us4sc11m_nautical_publication_information_area AS
npi_sc_411
     UNION
    SELECT geom
     FROM shp_approach.us4sc22m_nautical_publication_information_area AS
npi_sc_422) AS npi_4)
    ) RETURNING id;
```

Upit 2. PostgreSQL kod za stvaranje unije pojedinačnih M_PUB objekata u namjenskom rasponu prilaska lukama (nautical_publication_information_area) u jedinstvenu relaciju.

Kako bi se napravila jedinstvena relacija odnosno tablica koja obuhvaća sve pojedinačne objekte po korisničkim rasponima, najprije se napravila unija pojedinačnih objekata po shemama namjenskih raspona. Pomoću tih objekata zatim su se napravili presjeci ostalih objekata i stvorili neprekinuti slojevi po pojedinim namjenskim rasponima. Za stvaranje unije i ostalih operacija korištene su funkcije PostGIS prostornog proširenja koje započinju s

prefiksom i nastavljaju se s imenom funkcije (*ST_ImeFunkcije).* Unija je napravljena *ST_Union*[276] funkcijom, kojom se na temelju standardnog SQL jezika stvara unija odabranih objekata, u ovome slučaju tri objekta istoga namjenskog raspona. Nakon stvaranja unije, napravljeni su presjeci po pojedinim korisničkim rasponima koristeći *ST_Difference* funkciju koja kao rezultat daje ostatak presjeka dvaju ili više objekata. Valja napomenuti da se pri prostornim relacijskim operacijama uz standardne SQL naredbe koristi i atribut *geometrije* koji se u relaciji DMBS-a najčešće imenuje kao *geom* ili *the_geom.* On predstavlja zapise za prostorne objekte koji mogu biti zapisani u *Well-Known Text* (WKT) ili *Well-Known Binary* (WKB) obliku. Oba oblika zapisa sadrže podatke o vrsti objekta i koordinatama. Točnije, PostGIS ima implementiran prošireni (engl. *Extended*), EWKT i EWKB format koji uz osnovne sadrži i dodatne podatke (npr. koordinatni sustav).[277] Na Slici 39. desno prikazana je unija pojedinih namjenskih raspona, dok lijevi okvir prikazuje razliku dvaju namjenskih raspona.



Slika 39. Prikaz unija pojedinih namjenskih raspona (lijevo) i razlike namjenskog raspona prilaska lukama (desno) dobivenog presjekom s lučkim namjenskim rasponom. Priredio autor

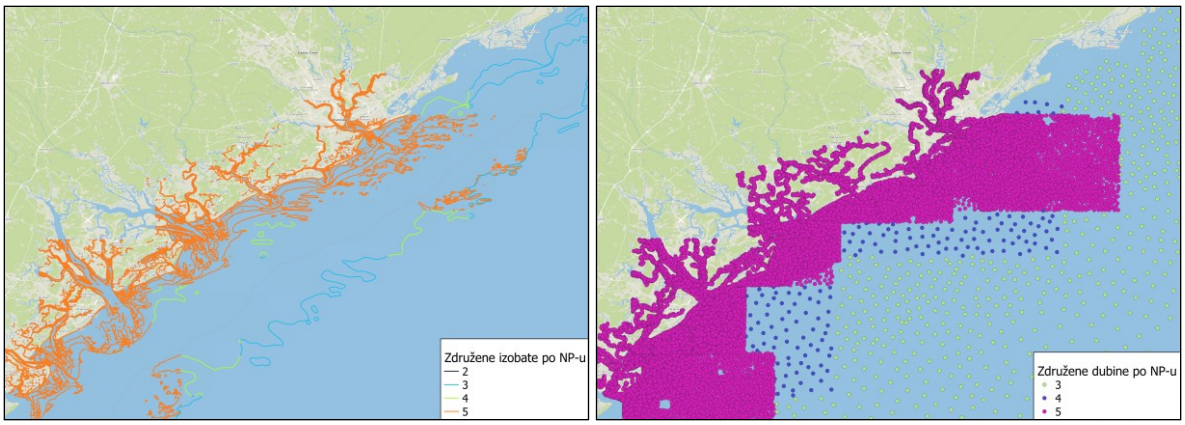
Prikaz neposredne operacije stvaranja razlike između dvaju namjenskih raspona vidljivi su u prikazu Upita 3. gdje je prikazan način kako se određuje razlika korištenjem pripadajuće funkcije i usporedbe geometrija. Preostali poligoni su povezani u tzv. tipu podataka kolekcije poligona (engl. MULTIPOLYGON). Time se može izbjeći preklapanje podataka iz različitih namjenskih raspona ENC-ova ili kod ograničavanja područja pretraživanja algoritmima, primjerice korištenjem hijerarhijskog pristupa s nižih namjenskih raspona kao početnih vrijednosti na više namjenske raspone.

[276] PostGIS 3.3.3dev Manual, 2023., str. 693.
[277] PostGIS 3.3.3dev Manual, 2023., str. 66.

```
INSERT INTO merged.naut_publ_area
 ( title
 , band_id
 , layer_id
 , geom
  )
VALUES
  ('npi_4_clip', '4'
  , '117'
  , (SELECT ST_Difference( (SELECT geom
         FROM merged.naut_publ_area
        WHERE 1=1
         AND band_id = '4'
        ) , (SELECT geom
          FROM merged.naut_publ_area
         WHERE 1=1
          AND band_id = '5'
         )))
  ) RETURNING id;
```

Upit 3. Operacija stvaranja razlike između objekata unije lučkog namjenskog raspona i prilaska lukama

Kako raste broj detalja, sukladno tome raste broj objekata, linija ili točaka koje se mora uzeti u obzir kod stvaranja modela područja, bridova i čvorova koje valja prijeći. Konačno, rezultate razdjeljivanja podataka po granicama područja možemo vidjeti na Slici 40.



Slika 40. Prikaz rezultata združivanja ENC podataka nakon odvajanja po namjenskim rasponima (NP). Lijevi okvir prikazuje izobate, desni dubine. Priredio autor koristeći QGIS

Valja napomenuti da se po potrebi mogu pozivati, odnosno prikazivati isključivo pojedini objekti po pojedinom namjenskom rasponu ili području ENC-a, što se na slici može opaziti gledajući granicu područja dubina na desnome okviru slike. Također, u mogućoj primjeni bi se moralo uzeti obzir razlike u generalizaciji pojedinih elementa na granicama namjenskih pojasa poput izobata ili obale čime bi se osigurala neprekinutost elemenata i objekata pri različitim mjerilima. Nakon prikazanog stvaranja strukture za stvaranje modela područje potrebno je

prikazati osnovne značajke broda koji će se koristiti za razmatranje u primjeni algoritma i bitnih ograničenja plovidbenog područja.

3.2.4. Opis broda i ograničenja plovidbenog područja

Kako je prethodno opisano i razrađeno, kriteriji odabira brodova uključivali su dostupnost AIS podataka o brodovima, moguću prostornu ponovljivost putovanja i eventualno postojanje modela u navigacijskom simulatoru, radi što je više moguće usklađene provjere puta u planiranju putovanja. Prema navedenim kriterijima odabran je kontejnerski brod čije su osnovne značajke prikazane u Tablici 18.

Tablica 18. Osnovna obilježja razmatranoga kontejnerskog broda

Obilježje	Oznaka	Vrijednost
Duljina preko svega	L	299,95 m
Duljina između okomica	L_{pp}	286 m
Širina	B	48,2 m
Ljetni gaz	T	14,8 m
Visina broda od osnovice sa spuštenom antenom	H	57,6 m
Visina broda od osnovice do vrha antene*	H_{max}	61,25 m
Koeficijent punoće istisnine	C_b	0,7
Najveća snaga pogonskog stroja	P_{max}	47430 kW
Broj okretaja u minuti	RPM	78
Minimalni broj okretaja	RPM_{min}	11
Brzina	V	22 čv
Najveći kut otklona (balansnog) kormila	δ_k	35°
Pramčani porivnik (1)	P_{pp}	3200 kW
Vijak, desnokretni, nepromjenjivi uspon	FPP_{rh}	1
Omjer uspona vijka (engl. *Pitch ratio*)	P/D	1,08
Kapacitet kontejnera	TEU_{cap}	9300

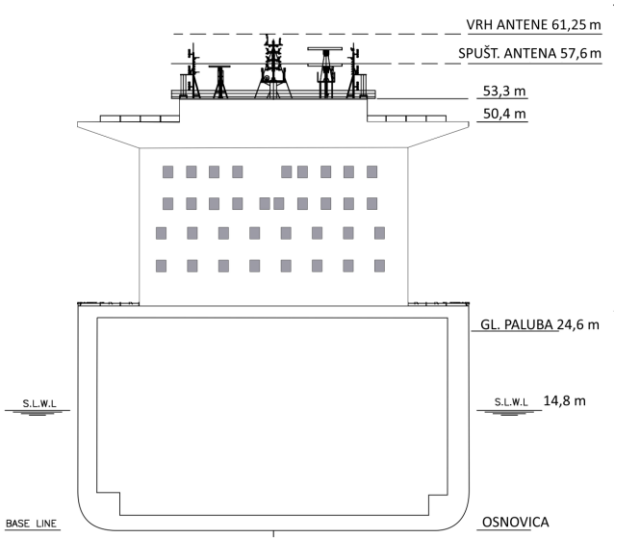
* Simulirani model i podatci za neke od brodova u klasi navode vrijednost H = 64,15 m

Riječ je o klasi kontejnerskih brodova kapaciteta 9300 TEU (engl. *Twenty Feet Equivalent Unit*) kontejnera, izgrađenih sredinom 2010-ih. Osnovne značajke prikazane su u nastavku. Duljina preko svega je nešto manja od 300 m, širina je 48,2 m, dok je ljetni gaz 14,8 m s pripadajućim koeficijentom punoće istisnine od 0,7. Ovaj brod spada u skupinu u tzv. manjih *Neo-Panamax* brodova s kapacitetom manjim od 10000 TEU-a,[278] odnosno brodove koji mogu proći novim ustavama Panamskog kanala. Iako finije forme ($C_b = 0{,}7$) u odnosu na brodove punije forme

[278] Ocean Container Fleet Dashboard | Open Ag Transport Data [mrežni dokument], 2022. https://web.archive.org/web/20220402215816/https://agtransport.usda.gov/stories/s/Ocean-Container-Fleet-Dashboard/pjaw-nxa9/ (27.5.2023).

kao što su brodovi za prijevoz rasutih ili tekućih tereta, forma razmatranog broda je nešto punija u odnosu na kontejnerske brodove manjih dimenzija ili prethodnih generacija ($C_b = 0{,}56$ do $0{,}60$).[279]

Nadgrađe i zapovjednički brod smješteni su približno na ⅓ udaljenosti od pramca, dok se strojarnica nalazi približno na ¾ udaljenosti od pramca. Brod ima sedam skladišta za teret te ukupnu nosivost od približno 113000 tona. Osnovne dimenzije prikazane su na Slici 41.



Slika 41. Poprečni presjek i osnovne dimenzije širine i visine razmatranog broda. Priredio autor

Općenito govoreći, riječ je o konvencionalnome brodu koji odgovara opisu u prethodno navedenoj IMO MSC.137(76) rezoluciji. Razmatrani kontejnerski brodovi zahtjevni su za manevriranje obzirom na dimenzije i veliku nadvodnu površinu, naročito pri djelovanju vjetra. Nadalje, statička ograničenja samoga broda bit će vidljiva kod razrade prilaza razmatranim lukama, naročito luci Savannah, gdje brodovi prilaze s vrlo malom preostalom dubinom ispod kobilice, uskim kanalima i ispod mostova.

Luka Savannah nalazi se na istoimenoj rijeci i granici saveznih država Južne Karoline i Georgije. Za veće, oceanske brodove, rijeka je plovna približno 19 NM od otvorenog mora u prilaznom kanalu, dok se sama luka nalazi na približno 15 NM od prilaza. Od markantnih objekata možemo izdvojiti svjetionik Tybee Light (32°01'20" N, 80°50'44" W), koji je osmerokutna zidana kula crno bijele boje visine 44 m. Prilaz luci sastoji se od jaružanog

[279] Kemp, J.F., Young, P., Barrass, C.B., 2001. Ship stability notes & examples, 3rd ed. Butterworth-Heinemann, Oxford; Boston.

prilaznog kanala koji prolazi kroz vanjsko sidrište Tybee i nastavlja se do bazena za okretanje King's Island. Kanal je dobro označen svjetlećim oznakama i plutačama. Održavanje kanala i izmjere su u nadležnosti *U.S. Army Corps of Engineers* (USACE). Uz dostupne podatke o dubinama na pomorskim kartama i publikacijama, rezultati izmjera su dostupni i na službenim stranicama. Od vertikalnih prepreka, na prilazu luci valja istaknuti energetski kabel na visini 67,6 m (222 stope) u blizini otoka Fig Island, približno 10 NM od riječnog ušća. Također, valja spomenuti i most The Eugene Talmadge Memorial Highway s visinom prolaza od 56,4 m (185 stopa) u središnjem dijelu luka raspona 152,4 m (500 stopa).[280] Od prilaza do luke, struja oseke može biti od 2,2 do 3,1 čv, dok je brzina struje plime od 1,6 do 3,1 čv. Brzina vjetra može prijeći i 35 čvorova pri jakim olujama, dok se magla javlja nekoliko dana godišnje tijekom jeseni i zime. Unutar područja luke, brzina je ograničena na 4 čvora plovidbom uz struju i 6 čvorova niz struju. Prema podatcima iz peljara, Garden City Terminal na pojedinim pristanima ima dubinu 12,8 m (42 stope). Valja napomenuti da je u 2019. pokrenut opsežan projekt produbljivanja dubina u luci i pristanima na 14,32 m (47 stopa) i prilaznog kanala na 14,93 m (49 stopa). Valja naglasiti da iako u peljaru još nisu službeno navedene veće dubine na pristanima u luci, podaci o dubinama preko 14 m, točnije 14,6 m pri SNV odnosno MLW (pristani 1, 2, 3 i 7, 8, 9) su dostupni za pojedine pristane na službenim stranicama od 2020.[281] Navedene vrijednosti mogu se provjeriti i preko javno dostupnih USACE izmjera za 2019.[282] U 2022. i 2023. to su i nadalje pristani 2 i 3, te 8 i 9. Ovi podatci navedeni su radi razmatranja moguće plovidbe i ograničenja. Naime, analizirani AIS podatci odnose se na 2019. dok su ENC-ovi iz 2023. Razmatrani brod koji će se koristio u analizi i na navigacijskom simulatoru plovio je tim područjem u 2019. i obrađen je u AIS podatcima. Također, u samom SMS-u brodara nalazi se detaljan opis područja i dubina, ali i uvjeta kada je moguće pristati u luku radi morskih mijena i razine vode, te upute za brodove još većih dimenzija i klasa od razmatranog. Ukratko, i prema tadašnjim podatcima, odabrani brod je uplovljavao od 2019. i nadalje s odabranim gazom ($T_p = 12{,}7$ i $T_k = 12{,}8$ m). Ovo detaljno razmatranje bilo je potrebno da bi se pokazala usklađenost pristupa analize prikupljenih AIS podataka i provjere u simulatoru. Za simulirani brod dostupno je samo nekoliko stanja nakrcanosti i pripadajućih gazova, od kojih je odabrano

[280] Raimondo i dr., 2022. op. cit.
[281] Garden City Terminal - Georgia Ports Authority [mrežni dokument], 2020. https://web.archive.org/web/20200407085301/https://gaports.com/facilities/port-of-savannah/garden-city-terminal/ (28.3.2023.).
[282] USACE Hydrographic Surveys powered by eHydro, GA_01_SAV_20190815_CS. 2019. https://www.arcgis.com/apps/dashboards/4b8f2ba307684cf597617bf1b6d2f85d 28.5.2023.

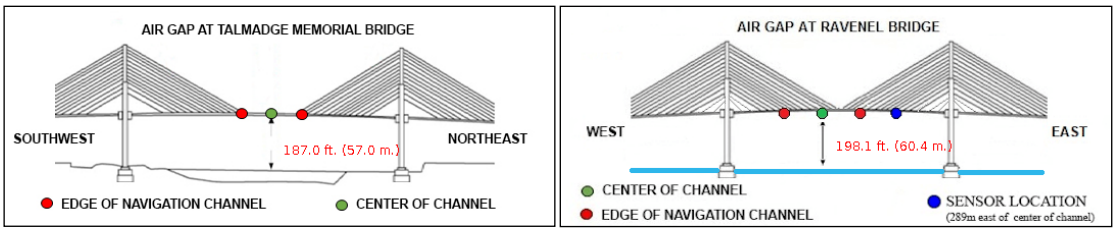
upravo prethodno. Valja podsjetiti da su gazovi prethodno prikazani na Slici 15. kao dio postera u kormilarnici.

Od ostalih obilježja luke Savannah valja spomenuti gustoću vode. U luci je voda uglavnom slatkovodna na površini, dok se gustoća pri dnu kreće od 1,007 t/m^3 za vrijeme niske vode do 1,012 t/m^3 za vrijeme visoke vode.[283] Gustoća vode se kreće približno 1,019 t/m^3 na prilazu, odnosno u kanalu za vrijeme visoke vode. Nastavno, u SMS dokumentaciji brodara navodi se da je voda slatka (1,000 t/m^3) te će se u nastavku tako i razmatrati. Prema SMS opisu brodara, bez plime moguće je isploviti s gazom od 12,8 m pri SNV-u. U opisu jednog uplovljenja, za brod na ravnoj kobilici UKC tijekom cijelog prilaska nije bio manji od 2 m. Isplovljenje tijekom visoke vode bila je uobičajena praksa u luci Savannah i prije produbljivanja, jer visina visoke vode može doseći i do 2,4 m. Vanjski kanal (engl. *Outer Channel*) otvoren je i neograničen te širine 185 m. Prije produbljivanja imao je dubinu od 13,2 m. Unutarnji kanal je širok 152 m, te je do produbljivanja bio dubine 12,8 metara i nije izložen valovima.[284] Sadašnje dubine vanjskog kanala su 14,93 m (49 stopa) i unutarnjeg 14,3 m (47 stopa).

Za razliku od luke Savannah, prilaz luci Charleston je nešto kraći i jednostavniji. Luci se prilazi kroz prilazni kanal omeđen gatovima koji nisu označeni svjetlima, od kojih je sjeverni skoro posve potopljen za vrijeme SVV. Udaljenost od prilaza do pristana u južnim dijelovima luke je približno 7 NM. Dubine u luci se službeno kreću između 13,72 i 14,33 m (45 i 47 stopa). Prema zahtjevima peljara, vrijednost UKC-a je 7 % gaza pri uobičajenim brzinama kretanja u luci. Nerijetko, vidljivost u luci može biti slaba radi prolaska frontalnih sustava. Na ulazu u luku kružne struje imaju brzinu od 1 čv, dok u drugim dijelovima mogu dosizati vrijednosti od 1,2 do 2,8 čv. Na prilazu se nalazi most Ravanel s rasponom od 304,8 m (1000 stopa) i visinom prolaza 56,7 m. Prema podatcima iz peljara, dubine uz Wando Welch terminal iznosile su 13,71 m (45 stopa). Širina prilaznoga kanala kreće se od 152 m na najužem dijelu, do 304 m na najširemu. Gustoća vode se kreće od 1,015 do 1,025 t/m^3. Za obje luke dostupni su javni podatci i slike visine iznad morske površine obaju mostova kao što se može vidjeti na Slici 42.

---

[283] Guide to port entry: 2011-2012, 21st ed., 2010. Shipping Guides, Reigate.
[284] Briggs, M., Kopp, P.J., Silver, A.L., Wiggins, W., 2015. Probabilistic model for predicting deep-draught channel design: Savannah, GA entrance channel. Ocean Engineering 108, 276–286. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.07.047



Slika 42. Općeniti prikaz preostale visine iznad vode za mostove Talamadge memorial i Ravanel, Izvor NOAA[285]

Prije prikaza rezultata osnovnih graničnih vrijednosti, u Tablici 19. prikazane su osnovne kratice i korištene formule za njihovo određivanje.

Tablica 19. Osnovne korištene granične vrijednosti i njihovo određivanje

Hrvatski naziv	Engleski naziv	Kratica	Određivanje
Statički gaz	Static draught	T	Najveći statički gaz broda
Dodatni zagažaj	Squat	s^*	$s_c = \frac{C_b V^2}{50}, s_o = \frac{C_b V^2}{100}$
Preostala dubina ispod kobilice broda	Under keel clearance	UKC^{**}	$UKC_{br} = T + 1\,m$ $UKC_{pt} = T + \mathrm{T}(10\,\%)$ $UKC_{fw} = T + \mathrm{T}(15\,\%)$ $UKC_{cs} = T + \mathrm{T}(20\,\%)$
Izobata duboke vode	Deep contour	DC	$2 \times \mathrm{T}$
Sigurna izobata	Safety depth	SC	$T + s + UKC_{min}$ (područje)
Sigurna dubina	Safety depth	SD	$SD = SC$
Izobata plitke vode	Shallow contour	SH	$SH = T$
Visina broda iznad vodene linije	Air draught	AD	$H - T$
Visina prolaza	Charted vertical clearance	CVC	$MHW^{***}, (HAT, MSL)$
Najmanja potrebna preostala visina iznad broda	Overhead vertical clearance	OVC	$CVC - AD$ (1 m most i 3 m kablovi)
Granična vrijednost bočnog odstupanja	Cross Track Limit	XTL	$XTL_{fw} = 0.1\,NM$ $XTL_{cs} = 1\,NM$ $XTL_{os} = 4\,NM$ ili općenito $XTL = d_{ZOC} + d_b + d_{pol} + d_{pp} + d_{so}$

$*\ s_c = ograničeno\ područje, s_o = otvoreno\ područje$
$**\ br = na\ pristanu, pt = lučko\ područje, fw = prilazno\ područje, cs = obalno\ područje, os = otvoreno\ područje$
$**\ NOAA$

Vrijednost dodatnog zagažaja temelji se na pojednostavljenim Barrasovim formulama koji se koriste u SMS-u brodara, tablicama dodatnog zagažaja samoga broda i u prethodno citiranoj

[285] https://tidesandcurrents.noaa.gov/ports/ (29.5.2023.).

literaturi. Slično je i kod određivanja XTL-a gdje je uz ograničenja brodara navedena i formula iz izvora.[215]

Radi usklađivanja razmatranja povijesnih podataka kao granična vrijednost dubine koja će se uzeti pri modeliranju prostora iznosi 12,8 m uvećana za vrijednost UKC-a u luci. Sukladno tome, svi proračuni i granične vrijednosti izračunati su unutar raspona za mogući prolazak broda. Navedeno se odnosi i na stanje prije produbljivanja, s uračunatom vrijednosti visoke vode koja je omogućavala kretanje brodovima prema i iz luke Savannah. Sličan pristup se tada može primijeniti i za sadašnje uvjete kada načelno takvih ograničenja više nema, barem za razmatrani brod i stanje nakrcanosti. U luci Charleston ovih ograničenja nema pa brodovi i većega gaza mogu uplovljavati tijekom 24 sata.[286] U tablicama koje slijede prikazani su ulazni podatci za ograničenja planiranja. Prvo, izračunate vrijednosti gaza i ograničenja povezanih s gazom nalaze se u Tablici 20. Luke su označene kraticama Savannah (SAV) i Charleston (CHS), dok je gustoća vode (ρ) u t/m^3.

Tablica 20. Osnovni gazovi i parametri broda u lukama Savannah i Charleston

Luka	T_p (m)	T_k (m)	T_s (m)	$D\ (t)$	C_b	$\rho\ (t/m3)$
SAV	12,70	12,80	12,75	119415	0,68*	1,000
CHS	12,37	12,61	12,49	119410	0,675*	1,025

* izračunato za pojedine gazove u hidrostatskim tablicama broda

Usporedbom osnovnih vertikalnih ograničenja može se utvrditi da su razmjerno slična i načelno neće predstavljati poteškoću pri stvaranju modela okružja i razmatranju objekata ENC-a što možemo vidjeti u Tablici 21.

Tablica 21. Osnovna vertikalna ograničenja (m)

Luka	UKC_{br}	UKC_{pt}	UKC_{fw}	UKC_{cs}	AD	CVC	OVC
SAV	1	1,28	1,95	2,56	48,45	56,4	7,95
CHS	1	1,26	1,89	2,52	48,64	56,7	8,06

Vertikalna ograničenja i preostale visine odnose se na prethodno opisane mostove, dok energetski kabel pri prilasku luci Savannah nije naveden u tablici, jer je preostala visina još veća od one ispod mosta, pa ne predstavlja ograničenje. Ograničenje za CHS odnosi se na most

[286] Channel Specs - SC Ports Authority [mrežni dokument] https://web.archive.org/web/20230323114945/https://scspa.com/toolkit/ocean-carriers/channel-specifications/ (29.4.2023.).

Ravanel. Kako je nužno odrediti vrijednosti ograničenja gaza i dodatnog zagažaja, potrebno je prikazati osnovne značajke rada stroja s pripadajućim brzinama, kao što se može vidjeti u Tablici 22.

Tablica 22. Stupnjevi rada stroja s pripadajućim brzinama

Stupanj rada stroja	V (čv)	Snaga (kW)	RPM
FSAH	22,8	41195	78
FAH	18,5	20893	62
HAH	14,9	11278	50
SAH	10,2	4176	35
DSAH	6,6	1177	22
DSAS	-4,4	1116	-22
SAS	-7	3830	-34,9
HAS	-10	10438	-49,9
FAS	-12,4	19457	-61,8

* Iz podataka simuliranog modela NTPRO simulatora

Nadalje je bilo potrebno razmotriti vrijednosti dodatnoga zagažaja. Tablica 23. predstavlja zapis o brodu dostupan iz navigacijskog simulatora koji se odnosi na otvoreno more. Uz vrijednosti dodatnog zagažaja navedeno je i povećanje gaza pri različitim kutovima nagiba.

Tablica 23. Povećanje gaza zbog dodatnog zagažaja i nagiba

		Dodatni zagažaj (s)		Nagib	
UKC	V (čv)	Pramac (m)	Krma (m)	Kut (°)	Povećanje gaza
3 m	20,53	-0,59	1,83	2	0,67
	16,94	0,7	1	4	1,3
	13,81	0,62	0,57	8	2,49
2 m	20,26	-0,82	1,95	12	3,58
	16,76	0,66	1,07	16	4,56

* Iz podataka simuliranog modela NTPRO simulatora

Međutim, konačni korišteni podatci o dodatnome zagažaju izračunati su prema prethodno navedenim Barrasovim formulama radi usporedbe i sa širinom kanala od 150 m za ograničeno područje (s_c). Rezultati su vidljivi u Tablici 24.

Tablica 24. Izračunati dodatni zagažaj za ograničena i otvorena područja pri različitim brzinama broda

Stupanj rada stroja	V (čv)	RPM	s_o (m)	s_c (m)
FSAH	22,8	78	3,53	7,06
FAH	18,5	62	2,33	4,65
HAH	14,9	50	1,51	3,02
SAH	10,2	35	0,68	1,36
DSAH	6,6	22	0,30	0,59

Iako su brzine preuzete iz podataka simulatora, one su vrlo bliske brzinama stvarnoga broda, pa su korištene za proračune u nastavku. Izračun dodatnog zagažaja uspoređen je s tablicama dodatnog zagažaja stvarnoga broda i podatci izračuna odgovaraju stvarnim vrijednostima, te se mogu smatrati vjerodostojnima za daljnju razradu. Nastavno, ako razmatramo nagib broda, valja napomenuti da je brod uspravan, bez nagiba. Također, obzirom na sama ograničenja brzine prilaza kanalima i pristanima brzina mora biti prilagođena raspoloživoj dubini što je naročito bitno u luci Savannah. U luci su jedan ili više tegljača u pratnji ili prihvatu, načelno od Ft. Jacksona, tako da se brzina može prilagođavati i tegljačima u tome dijelu puta. U prilazu luci Charleston, tegljači se prihvaćaju nakon prolaska mosta Ravanel. Također valja napomenuti da je tijekom sezone zaštite kitova u cijelom prilaznome području brzina ograničena na 10 čv. Prema prikazanome, može se zaključiti da su prethodno postavljena vertikalna ograničenja i pripadajuće vrijednosti dostatne za prilaz luci.

Konačno se mogu izračunati vrijednosti SC-a koji je istovjetan SD-u, koje su prikazane u Tablicama 25. i 26. Valja napomenuti da je vrijednost dodatnog zagažaja određena za najveće brzine pri kojoj je brod unutar postavljenih ograničenja. Brod može i dalje ploviti područjem, ali bi trebalo smanjiti vrijednost UKC-a ili se prilagoditi kretanju morskih mijena. Kako se detaljno ne modeliraju i razmatraju njihovi međuodnosi, a cilj istraživanja je usmjeren primarno na određivanje puta, ovime se može smatrati da su ovo prihvatljive najviše granične vrijednosti.

Tablica 25. Rezultati određivanja sigurnosne izobate i dubine za luku Savannah

(m)	Pristan *(br)*	Lučko područje *(pt)*	Prilaz luci i kanali *(fw)*	Obalno područje *(cs)*
T	12,8	12,8	12,8	12,8
UKC_{min}	1	1,28	1,92	2,56
s	0	0,59 (V = 6,6 čv)	1,41 (V = 10,2 čv)	1,51 (V = 14,9čv)*
SD/SC	13,8	14,67	16,13	16,87

*za $s_o = otvoreno\ područje$

Valja podsjetiti da je vrijednost SH-a jednaka statičkome gazu broda (12,8 m) dok je vrijednost DC-a jednaka dvostrukoj vrijednosti gaza (25,6 m). Sukladno tome, najpliće područje kojim

brod može ploviti je ono koje zadovoljava minimalne vrijednosti UKC-a za pojedino područje i najmanji mogući zagažaj koji je moguć pri najnižoj brzini kojom brod može ploviti a da ima sposobnost upravljanja. Dakle, početna vrijednost za pretraživanje rješenja koja će se razmatrati u nastavku je dubina koja je jednaka statičkome gazu odnosno vrijednost izobate plitke vode označena kraticom SH. Pri njoj bi se brod sigurno nasukao bez visoke vode ili ne bi mogao boraviti na pristanu pri bilo kojim uvjetima. Međutim, postavljanjem više vrijednosti kao donje granice, algoritamsko rješenje bi odredilo da luci uopće nije moguće pristupiti. To ne bi odgovaralo stvarnosti, primjerice u luci Savannah gdje se čak i prije produbljivanja uplovljavalo pri takvim gazovima ili bilo kojoj drugoj luci sa sličnim uvjetima. Nakon luke Savannah vrijedi razmotriti ograničenja luke Charleston kako je vidljivo u tablici s podatcima o luci Charleston.

Tablica 26. Rezultati određivanja sigurnosne izobate i dubine luka Charleston

(m)	Pristan (*br*)	Lučko područje (*pt*)	Prilaz luci i kanali *(fw)*	Obalno područje (*cs*)
T	12,61	12,61	12,61	12,61
UKC_{min}	1	1,26	1,89	2,52
s	0	0,59 (V = 6,6 čv)	1,40 (V = 10,2 čv)	1,50 (V = 14,9čv)*
SD/SC	13,71	14,46	15,9	16,63

*za $s_o = otvoreno\ područje$

Kako udaljenost između dviju luka nije velika, a detaljni stvarni podatci o teretu i ostalim težinama na brodu nisu bili dostupni, minimalno je izmijenjen deplasman koji odgovara gazovima na simulaciji broda i putovanja u morskoj vodi. Iako je u luci Charleston gustoća vode varijabilna, promjena gustoće u određivanju ne bi značajnije izmijenila konačni rezultat. Kao i kod luke Savannah, donja granična vrijednost je statički gaz (12,61 m). Valja podsjetiti da se kod razmatranja GPP-a nisu uzimali u obzir dinamički uvjeti poput djelovanja vjetra i struja, već samo prostorna ograničenja područja, odnosno određenog puta. S ovim odrednicama moguće je konačno pristupiti stvaranju modela okružja, opisanom u potpoglavlju koje slijedi. Put će se odrediti korištenjem ENC objekata, zatim stvoriti model prostora i konačno upotrijebiti GPP algoritam.

3.2.5. Opis algoritma i primjena

Uz stvaranje modela okružja, još je jedna osobitost GPP-a u istraživanju. Za razliku od drugih pristupa koji razmatraju GPP cjelovito, od prve do krajnje točke, ovdje je GPP razdijeljen kao i kod klasičnog pomorskog planiranja putovanja na tri faze. Prva faza odnosi se na put od pristana u Savannahu do peljarske postaje, odnosno područja gdje bi se trebao iskrcati peljar. Druga faza je između peljarskih postaja. Treća, posljednja faza je od peljarske postaje ispred

Charlestona konačno do veza u luci Charleston. Iako je ovdje riječ o početnim točkama koje su unaprijed zadane, metodologija je primjenjiva i za druge plovidbene situacije, primjerice za dolazak na sidrište ili proizvoljni odabir točke dijela putovanja. Razdvajanjem planiranja na tri faze, nastojalo se razriješiti nekoliko čestih izazova pri GPP-u o kojima se govorilo ranije. To su problemi modeliranja okružja ovisno o mjerilu ili primjerice zahtjevnosti područja, slično kao što u klasičnoj navigaciji razmatraju razdvojeno navigacijske faze i njihova ograničenja, kao što je prethodno prikazano. Time se otvara mogućnost raznovrsnije primjene računalnih metoda i algoritama. Tako se ne moraju primjenjivati isti algoritmi za cjelokupno područje plovidbe, već se mogu odabrati različiti algoritmi, koji su možda prikladniji za određeno područje. Nadalje, dobiveni put mora se izgladiti na što znatno utječu metode izglađivanja, ako usporedimo brojnost međutočaka u prilazu ili tijekom plovidbe otvorenim morem. Naravno, ovakva razdioba ne mora uvijek biti takva, ali radi poopćavanja, možemo smatrati da je takva. Nastojalo se odgovoriti još jednom izazovu, a to su računske operacije pri primjerice stvaranju poligona, točaka rešetki ili pretraživanju rješenja. Također, korištenjem najvećih dostupnih namjenskih raspona povećala se točnost i pouzdanost određenog puta, u prilazu lukama ili obalnome području što nije slučaj kod pristupa koji uzimaju samo jedan ENC sitnijeg mjerila ili načelno manji broj slojeva. Konačno, kako je pristup utemeljen na klasičnom planiranju putovanja vrijedi razmotriti i ljudski element kojem bi takav pristup planiranju trebao biti bliži i razumljiviji pri korištenju, odnosno tumačenju.

U odjeljcima koji slijede prikazan je postupak odabira početnih točaka na kojima će se temeljiti postupak planiranja, zatim stvaranje ograničenja plovnoga područja, stvaranje modela okružja, primjena dostupnog algoritma, određivanje puta, njegovo izglađivanje i konačno razmatranje vremenske dimenzije puta.

Za odabir početnih točaka odnosno, vezova na pristanima korišten je javno dostupan *USACE* popis luka i terminala (engl. *Complete Dock List*) s pripadajućim lokacijama i ostalim općim obilježjima koja uključuju specifične kodne oznake i između ostalog opće UN/LOCODE lokacijske kodove.[287] Iako su ovakve funkcije dostupne u ECDIS sustavima, u primjeni istraživanja ovime se olakšava pretraživanje pristana i luka ili moguću buduću implementaciju. Javni popis unesen je u prethodno opisanu bazu u kojoj se već nalaze objekti ENC-a. Unosom u bazu podataka omogućilo se pretraživanje početnih točaka bez potrebe unosa koordinata iako

[287] Waterborne Commerce Statistics CenterNavigation Data Center, 2022. Complete Dock List. https://publibrary.planusace.us/#/document/c44f4907-734d-4d78-8aad-4a78216a51a9 (30.4.2023.).

su one mogle biti unesene i ručno. U mogućoj primjeni uz ove pristupe za očekivati je da će se u budućoj implementaciji koordinate moći odabrati grafički. Korištenjem početnih upita iz zapisa određene su početne koordinate čime se nastojalo prikazati mogućnost posve automatiziranog dohvaćanja informacija luke ili terminala, bilo po oznaci luke ili koordinatama. Tako je razmatrani vez u Savannahu na koji je moguće pristati označen jedinstvenim specifičnim identifikatorom (0MVS) iz izvornika i nosi atribut *dok* (engl. *dock*) uz koordinate u luci Savannah. Tim osnovnim informacijama i korištenjem atributa jednostavno je dohvatiti podatke o terminalu.

Za odabir položaja peljarske postaje korišteno je pretraživanje relacija peljarskih postaja. Riječ je o relacijama izvedenih iz S-57 objekta PILBOP koji se odnosi na točke i poligone za ukrcaj peljara. Općenito su dostupne dvije relacije, jedna za točke i jedna za područja (*pilot_boarding_point* i *pilot_boarding_area*). U razmatranome slučaju postoje obje relacije koje se pretražilo radi odabira potencijalne točke ukrcaja peljara. Kako točka ukrcaja nije pronađena, pretragom je pronađeno područje ukrcaja, te je uz osnovni objekt korišten i atribut (*chart_title, %AREA B %*). Konačno, na temelju upita stvorena je relacija koja objedinjuje točke veza u luci i peljarsku postaju. Kako je iz dostupnih informacija poznato da je korišteno područje ukrcaja peljara 'B', on je odabran za unos na način vidljiv u okviru Upita 4.

```
/* create a table with required stations with defined geometry */
CREATE TABLE other.to_pilot_2 (
 id SERIAL PRIMARY KEY,
 name VARCHAR,
 geom GEOMETRY(Point, 4326)
);

INSERT INTO other.to_pilot_2 (name, geom)
SELECT 'area B' AS name,
ST_PointFromText(ST_AsText(ST_Centroid(ST_Union(geom)))) AS geom
FROM layers.pilot_boarding_place_area
WHERE chart_title = 'us5ga20' AND objnam ILIKE ' %AREA B %';

/* add savannah container terminal */
INSERT INTO other.to_pilot_2 (name, geom)
SELECT other.published_nav_units.nav_unit_id as name,
other.published_nav_units.geom as geom
FROM other.published_nav_units
WHERE nav_unit_name ILIKE ' %garden city %'
 AND nav_unit_name ILIKE ' %container %'
 AND nav_unit_id ILIKE '0MVS';
```

Upit 4. Stvaranje relacije s unosima točaka veza i peljara

Ukratko, na temelju površine područja stvorene su točke s geometrijskim vrijednostima dok je za područje peljara određen *centroid*, odnosno položaj centra entiteta, u ovome slučaju područja

ukrcaja peljara. Također je dodan i SRID identifikator (4326) koji odgovara WGS 84 sustavu, koji jednoznačno određuje korišteni koordinatni sustav i način sferne projekcije na ravnu površinu.[288] U nastavku će, sukladno velikom broju PostGIS funkcija, bit prikazan opis samo nekih upita koje se smatralo važnim za razumijevanje metodologije. Opće korištenje bitnih elemenata opisani su ili prikazani upitima vidljivima u okvirima. Detalje i pojašnjenja *ST_* funkcija moguće je pronaći u prethodno citiranom PostGIS priručniku.[275]

Ulaznim podatcima točaka s koordinata veza na pristanu i peljarske postaje, stvoren je *okvir ograničenja* (engl. *bounding box*) koji će poslužiti za pretraživanje objekata između točaka. Za to su korištene funkcije *ST_Envelope* koja stvara okvir i *ST_Collect* koja objedinjava geometrije, u ovome slučaju točke kao što se može vidjeti u Upitu 5.

```
/* create envelope and insert the result into table */
SELECT ST_Envelope(ST_Collect(geom)) AS polygon
FROM (
 VALUES
  (1, 'area B',
'0101000020E6100000BFCC2022172C54C0CD5B292AE9F13F40'::geometry),
  (2, '0MVS',
'0101000020E610000050FBAD9D284954C0616BB6F292114040'::geometry)
) AS to_pilot(id, name, geom);

INSERT INTO
 other.bound (id, name, geom)
VALUES
 (
  '1',
  'sav_berth_to_ps',
'0103000020E6100000010000000500000050FBAD9D284954C0CD5B292AE9F13F4050FBAD
9D284954C0616BB6F292114040BFCC2022172C54C0616BB6F292114040BFCC2022172C54C
0CD5B292AE9F13F4050FBAD9D284954C0CD5B292AE9F13F40'
 );
```

Upit 5. Stvaranje okvira ograničenja kojim će se odabirati objekti u području ograničenja

Kao što se može vidjeti, zapisi *WKT* geometrije mogu biti vrlo dugi, te je ovdje on prikazan radi metodologije, dok će se u nastavku samo opisati ili prikazati upiti samo tamo gdje je to nužno potrebno. Nakon ovoga koraka, nastavilo se s procesom odabira objekata koji će kasnije biti prikazani u QGIS sustavu kao slojevi. Za tu svrhu nije stvorena relacija, već *pogled* odnosno *view*, koji je prethodno spomenut, i predstavlja zapisani upit, a ne relaciju. Razlog stvaranja upita je mogućnost generiranja novih odabranih vrijednosti, primjerice nakon promjene, kao

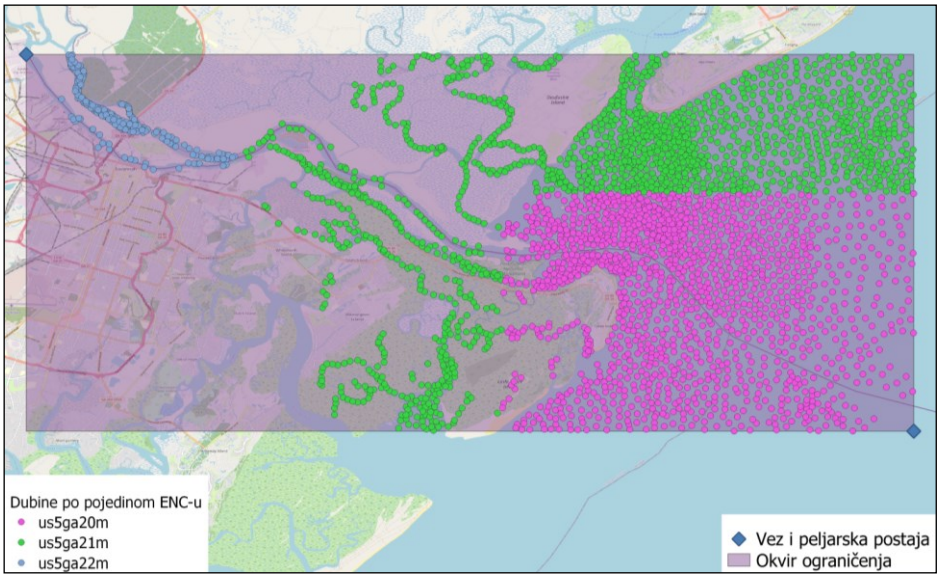
[288] Obe, R.O., Hsu, L.S., 2021. PostGIS in action, op. cit., str. 24.

što je vrijednost odabranog statičkog gaza koji je granična vrijednost za dubine i izobate. Postupak stvaranja pogleda možemo vidjeti u okviru Upita 6.

```
/* create view for the bounded sounding points */
CREATE VIEW other.sounding_bounded AS
SELECT
 sp.gid,
 sp.z,
 sp.band_id,
 sp.chart_id,
 sp.geom
FROM
 merged.sounding_points AS sp
 JOIN other.bound AS b ON ST_Intersects(b.geom, sp.geom)
WHERE
 sp.z <= 12.8;
```

Upit 6. Stvaranje pogleda dubina odabranih okvirom ograničenja

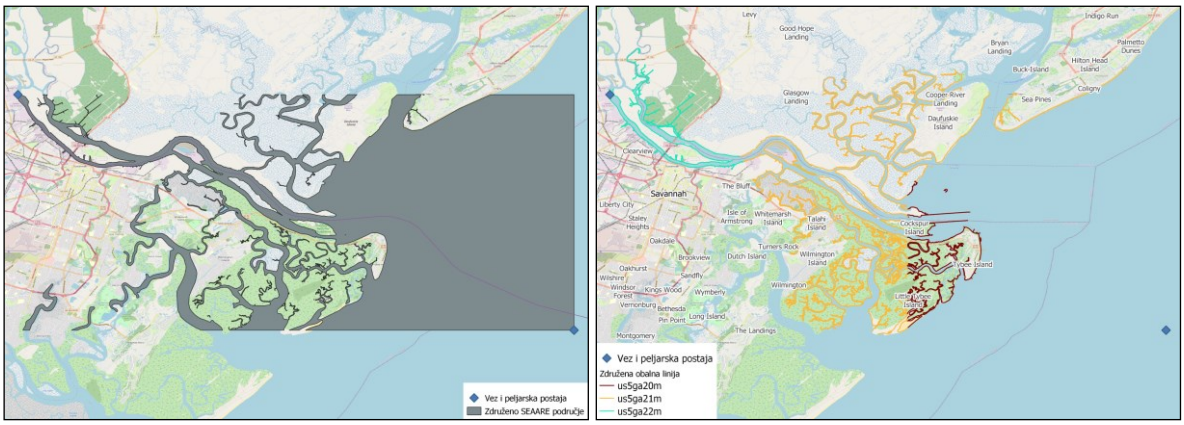
Odabir je izvršen na temelju atributa *z* koji predstavlja vrijednost dubine, te su od svih atributa relacije ostavljeni samo osnovni radi ubrzavanja radi procesa i kasnijih upita, dok se u izvornim relacije oni ne mijenjaju. Prema odabiru, sve dubine veće od navedenih neće se odabrati, iako ih je moguće pozvati drugim upitom. Za stvaranje presjeka korištena je *ST_Intersects* funkcija kojom se provjerava jesu li objekti unutar geometrije i koja kao rezultat obuhvaća objekte unutar navedenih granica. Rezultati stvaranja, početne točke, okvire ograničenja i odabrane dubina vidljivi su na Slici 43.



Slika 43. Prikaz okvira ograničenja, točaka veza, peljarske postaje i dubina različitih ENC-ova unutar okvira ograničenja. Priredio autor koristeći QGIS

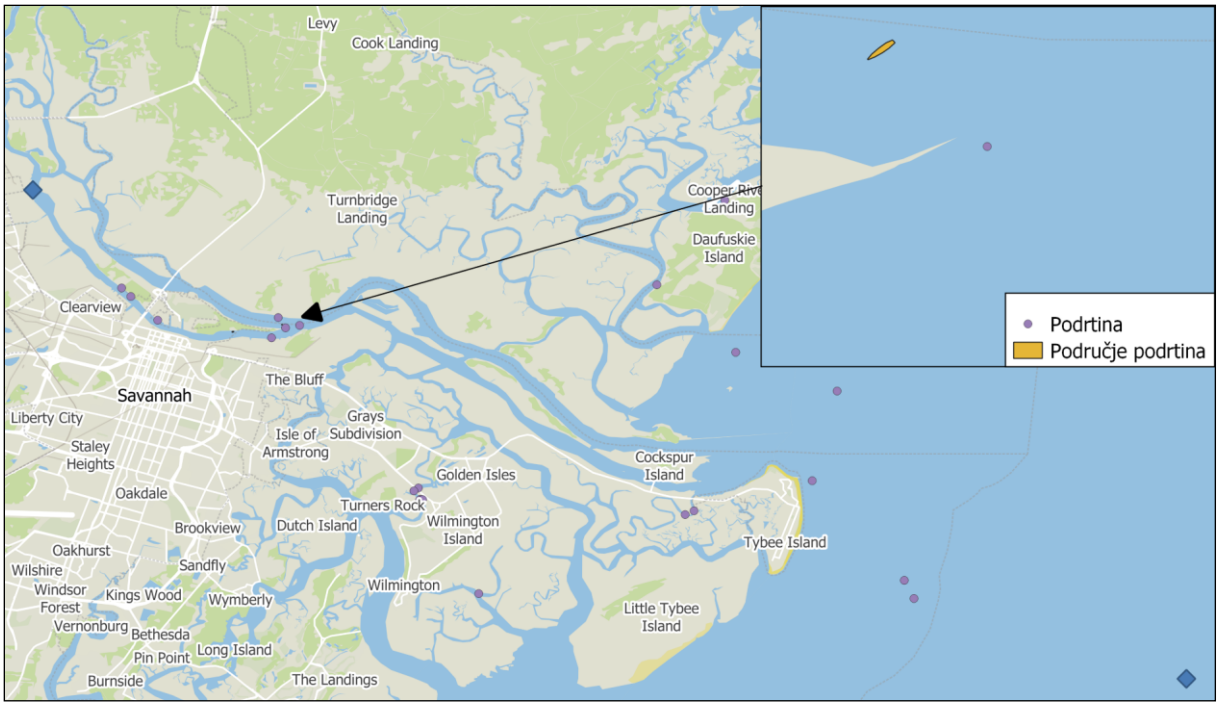
Odabrane dubine obuhvaćaju sva tri ENC-a prilaznoga područja (USGA20M, USGA21M i USGA22M koje su zapisane *chart_id* atributima 7, 8, 9) što predstavlja jedinstveni spoj svih dubina u odabranome području.

Prije nastavka opisa stvaranja modela okružja valja napomenuti da su se, kako bi se izbjegle dvosmislenosti, koristili izvorni nazivi objekata kako su zabilježeni u ENC-u, iako su oni u bazi podataka zapisani punim imenom, kao što je prethodno opisano, ili bilo vidljivo iz upita. U nastavku postupka odabrani su i stvarani pogledi ili relacije s objektima koji su poslužili za stvaranje modela prostora. To su objekti kontura obala (COALNE, engl. *Coastline*) koji predstavlja liniju gdje se susreću obala i voda te umjetno stvorene obalne linije (SLCONS, engl. *Shoreline construction*). Zatim su stvorene relacije za područje mora (SEAARE, engl. *Sea area/named water area*). Prethodno je SEAARE područje razdvojeno po namjenskim rasponima, dok je u ovome koraku združeno u neprekinuti sloj koji se pruža od veza do peljarske postaje. Upravo ovaj objekt i pripadajuće relacije su važni jer će predstavljati početno područje po kojem će se algoritmom pretraživati mogući put. Prikaz obaju objekata vidljiv je na Slici 44.



Slika 44. Određeno SEAARE područje (lijevi okvir) i združene obalne linije COALNE i SLCONS (desni okvir) po ENC-ovima. Priredio autor koristeći QGIS

Nastavno, u sljedećem koraku odabrani su objekti koji su bitni za sigurnost plovidbe. To su objekti podrtina (WRECKS) prikazani kao točke i kao površine. U toj kategoriji nisu odabrane podrtine koje nisu opasne za navigaciju po atributu kategorije podrtine (CATWRK) i dubine (VALSOU) manje od statičkog gaza. Prikaz njihovog položaja moguće je vidjeti na Slici 45.

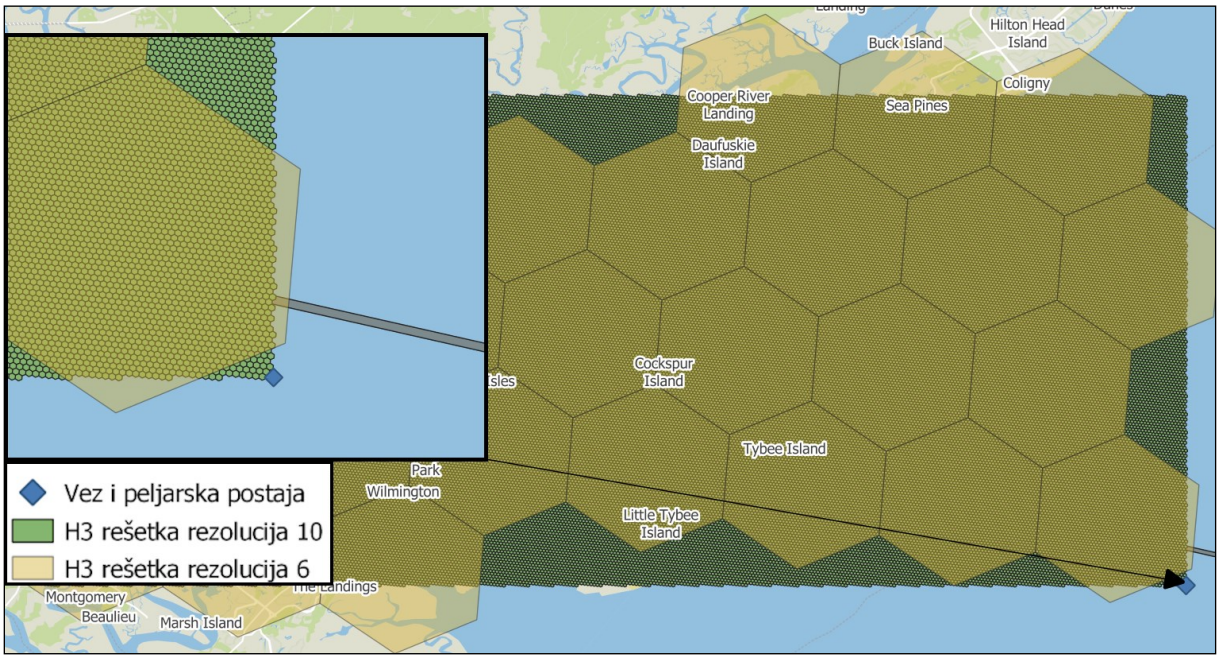


Slika 45. Prikaz podrtina WRECKS i područja podrtina VALSOU na prilazu luci Savannah. Priredio autor koristeći QGIS

Zatim su odabrani objekti plutača BOYLAT, BOYSAW, BOYSPP, te područja dubina DEPARE koristeći graničnu vrijednost DRVAL1 i DRVAL2 atributa najmanje i najveće dubine područja odnosno objekta. Na sličan način odabrane su i izobate tj. DEPCNT koristeći VALDCO atribut koji predstavlja dubinu izobate. Konačno, odabrani su mostovi, BRIDGE u području prema visini prolaza VERCCL te prilazni plovni put, FAIRWY. Prikaz dijela objekata može se vidjeti na Slici 46.

Slika 46. Prikaz plutača, područja dubina, mosta Talamadge (lijevi okvir) i prilaznog plovnog puta luci Savannah. Priredio autor koristeći QGIS

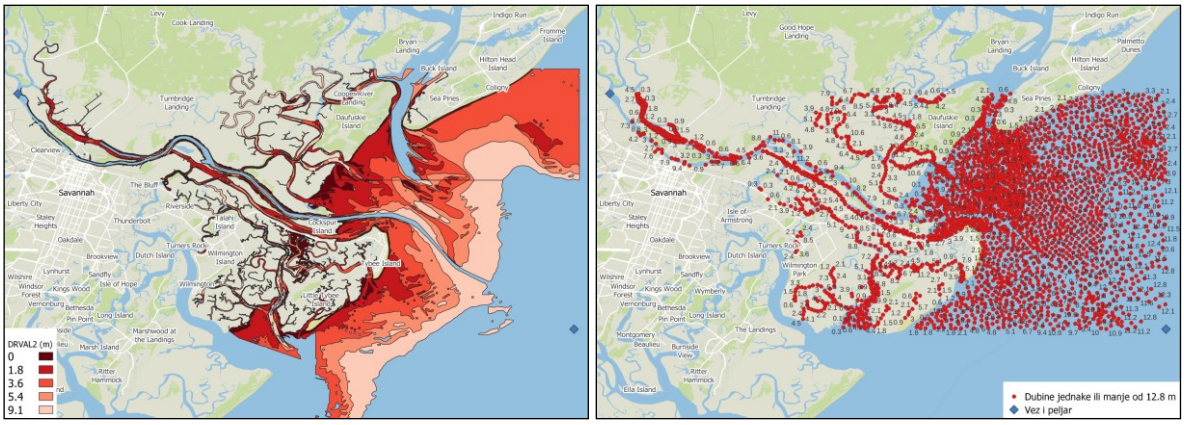
Nakon unosa objekata, pristupilo se stvaranju podloge za pretraživanje prostora. Za to je korišteno *h3* proširenje[289] i dodatak u QGIS-u, pomoću kojeg se koristi *H3* (*Uber H3: A Hexagonal Hierarchical Geospatial Indexing System)* šesterokutni sustav indeksiranja. Razvila ga je tvrtka *Uber* radi poboljšanja određivanja cijene vožnji, ali i analize iznimno velikih skupova podataka pri različitim geoprostornim rezolucijama. Prilagođen je obradi velikih skupova podataka, njihovog spajanja i primjene modela strojnog učenja.[290] Temeljni oblik je šesterokut odnosno šesterokutna rešetka. Prednosti šesterokutnih rešetki i šesterokuta odnosi se na broj susjeda. Šesterokut je najmanji mnogokut s istim brojem jednako udaljenih susjeda u odnosu na trokute ili kvadrate koji imaju različite udaljenosti od susjeda koje dodiruju. Prednosti H3 uključuju hijerarhijsku ujednačenost pri promjeni rezolucije tj. razlike između pojedinih rezolucija su uvijek iste. Međutim, nedostatci su slični kao i kod drugih rešetki, s povećanjem rezolucije raste broj računalnih operacija tj. opterećenje računala. Također, javlja se problem predstavljanja odnosno prilagodbe složenim oblicima, poput obale što nije samo osobitost šesterokuta. Nakon eksperimentiranja s različitim rezolucijama, u područjima viših namjenskih raspona odabrale su se kao pogodne rezolucije 10 i 11, kojima se stvorila H3 šesterokutna mreža veličine duljine brida od 65,91 m u veličini početnog okvira ograničenja.



Slika 47. H3 šesterokutne rešetke rezolucije 6 i 10. Priredio autor koristeći QGIS

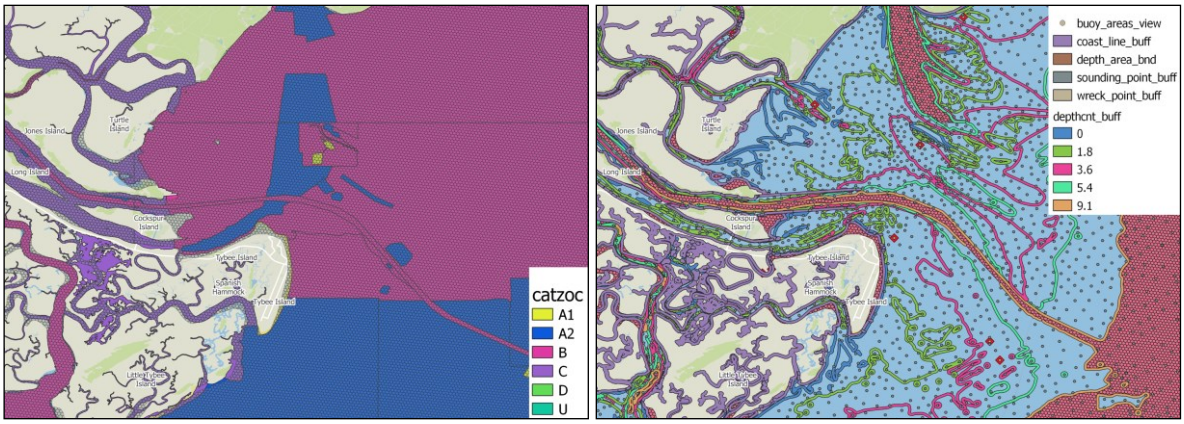
[289] Knudsen, Z., 2022. h3-pg. https://doi.org/10.5281/zenodo.6856596
[290] https://h3geo.org/ (31.4.2023.).

Na Slici 47. prikazane su rešetke rezolucije 6 i 10 radi usporedbe i prikaza razlike u veličini obiju rezolucija, iako je odabrana rezolucija 10 za osnovni prikaz područja. Zatim je napravljena pravokutna H3 rešetka veličine okvira ograničenja i morskog područja kojim se dalje ograničio prostor pretraživanja. Od H3 šesterokutne rešetke morskog područja SEAARE, oduzelo se područje kuda brod ne može ploviti radi ograničenja. U tu svrhu, u nastavku se prikazuje dio postupka na primjeru područja dubina (DEPARE) i točaka dubina (SOUNDG). Iako nije prikazan, postupak se ponovio za preostale slojeve izobata, plutača, podrtina i mostova. Na Slici 48. u lijevome okviru, crveno su označena DEPARE područja dubina. U njima, najveća dubina DRVAL2 iznosi 9,1 m, dok je vrijednost za atribut minimalne dubine DRVAL1 još i manja. U desnome okviru za objekt SOUNDG, vidljive su pojedinačne točke dubina čiji je *z* atribut jednak ili manji od 12,8 m. Već je samo po ovim atributima vidljivo koji će dio preostati od stvorene H3 rešetke za morsko područje SEAARE.



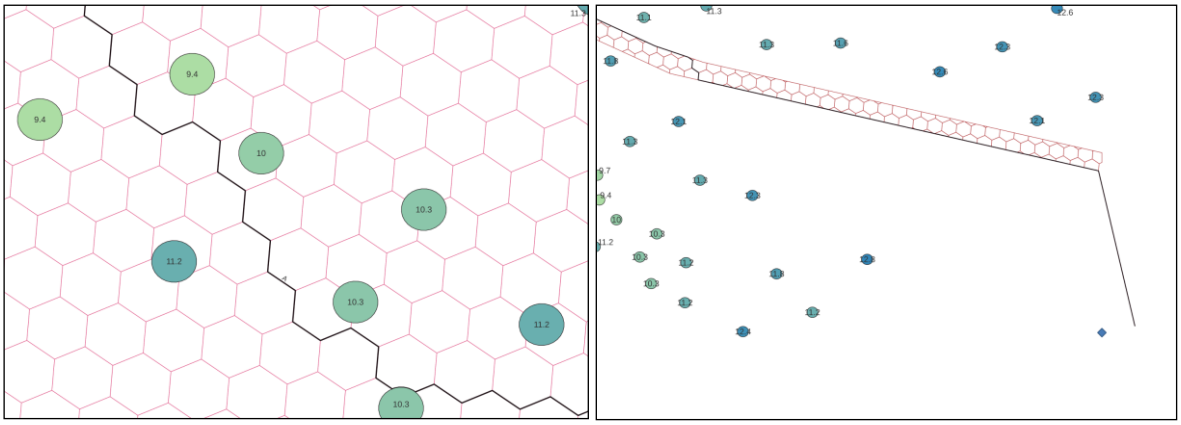
Slika 48. Objekti DEPARE (lijevo) i SOUNDG (desno) koji predstavljaju dio osnovnih graničnih područja. Priredio autor koristeći QGIS

Valja napomenuti da je najveći dio promatranog područja označen CATZOC vrijednosti atributa B, odnosno da ima položajnu neodređenost od 50 m kao što se može vidjeti na Slici 49. Prema prikazanome, neke od izmjera dubine bi tada bile čak i u prilaznome plovnome putu. Uzmemo li još u obzir izračun XTL vrijednosti, u ovome području (0,1 NM kao što je navedeno u SMS-u brodara, ili oko 100 m kao što se može izračunati općim XTL izrazom, a ne fiksnom graničnom vrijednosti), načelno, uplovljenje ne bi bilo moguće.



Slika 49. CATZOC kategorije neodređenosti područja (okvir lijevo) i područje dodanih sigurnih područja. Priredio autor koristeći QGIS

Od H3 rešetke oduzela su se i ova ograničena područja dubina. Zatim su se dodijelile sigurnosne vrijednosti pojedinim objektima, kao što su plutače ili konture obale ili plitke vode. Na njihove položaje dodana su sigurna područja (engl. *buffer*) kojim su isječeni dijelovi konačne H3 rešetke. Vrijednosti su uzete na temelju CATZOC B vrijednosti odstupanja položaja područja. Uzeta je viša vrijednost (manja pogreška) za pojedine objekte u nižoj CATZOC kategoriji npr. u kategoriji C, jer bi nepovoljnije vrijednosti bile previše restriktivne. Konačno, bilo je potrebno prilagoditi rešetku te uključiti i područje prilaznoga plovnog puta da bi se dobilo završno rješenje, a put bio unutar sigurnog područja. Inače bi put prošao kroz područje pličina kako je vidljivo na Slici 50.

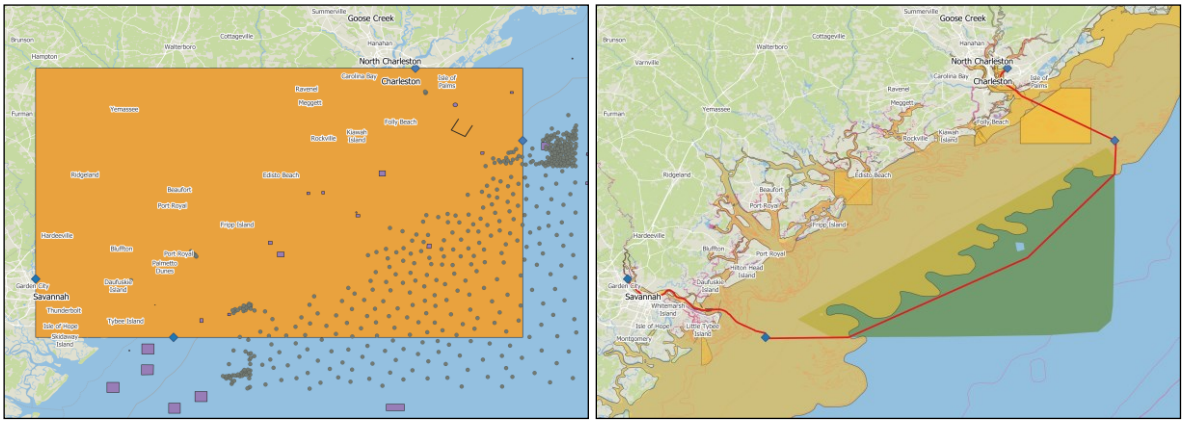


Slika 50. Prikaz dijela GPP bez uključivanja prilaznog plovnog puta (lijevo) i isključivim prilazom plovnim putom (desno) iz luke Savannah. Priredio autor koristeći QGIS

Valja napomenuti da je za primjenu algoritma potrebno H3 objekt pretvoriti iz tipa podataka *multipoligon* u tip *linija*. Linije u ovome slučaju predstavljaju granicu rešetke i ravan brid za pretraživanje rješenja za razliku od slučaja kao što je prikazano na prethodnoj slici i na Slici 47. Konačno, za pretraživanje koristila se implementacija Dijkstrinog algoritma dostupna kroz

QNEAT3 proširenje.[291] Ono je odabrano zbog vrlo brze implementacije Dijkstrinog algoritma, mogućnosti prilagodbe te mogućnosti grafičkog i korištenja putem skripti. Jedan od razloga vrlo brzog određivanja GPP-a (nekoliko sekunda za prethodni slučaj) je to što je algoritam implementiran u C++ jeziku (niža razina programske apstrakcije i viša razina optimizacije izvršenja koda), i prethodna, vrlo opsežna priprema modela okružja kojom se smanjio prostor pretraživanja. Kako je vidljivo na prethodnoj slici, rezultati nisu bili posve zadovoljavajući. U sljedećoj iteraciji stvoren je prostor s još višom razinom rezolucije (11), čime su se dobili vjerodostojni putovi, ali sa značajnije većim brojem međutočaka, što opet zahtijeva ili povećanu razinu računskog troška ili metode uklanjanja suvišnih točaka.

Za put prema luci Charleston, polazište iz Savannaha bilo je u blizini peljarske postaje u smjeru luke Charleston. Kao početnu vrijednost kojom se stvorilo područje pretraživanja odabrana je vrijednost dubina koja je jednaka vrijednosti SC-a za obalno područje uvećana za neodređenost CATZOC vrijednosti u većem dijeli područja, odnosno 20 m. Nakon toga se pristupilo stvaranju isječka dubina u rasponu područja, kao što je vidljivo na Slici 51.

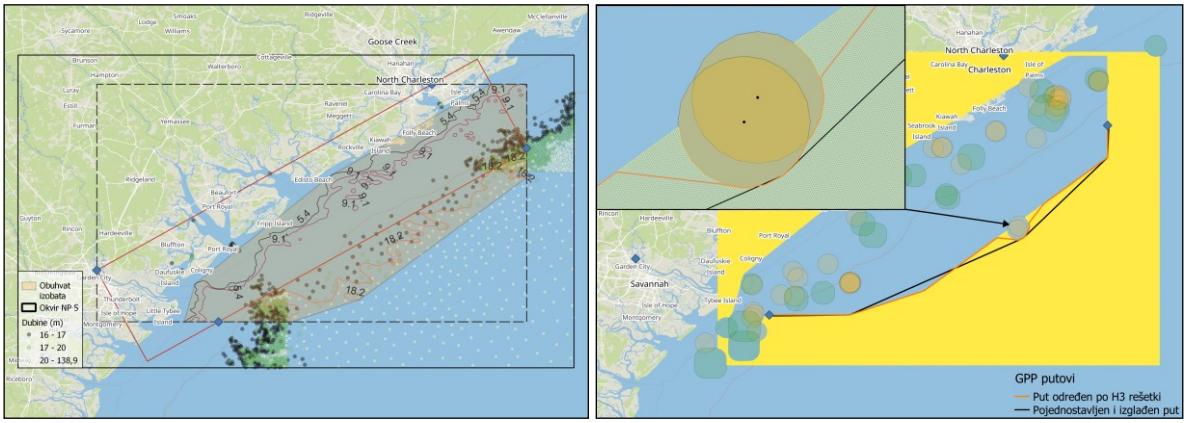


Slika 51. Stvaranje područja pretraživanja od luke Savannah do luke Charleston u obalnome pojasu. Priredio autor koristeći QGIS

Nakon početnog stvaranja područja pretraživanja rješenja, razdvajanju plovidbenog od neplovidbenog područja pristupilo se kako slijedi. Kao što je prethodno opisano, za isplovljenje iz luke Savannah, područje pretraživanja rješenja može se stvoriti presjekom H3 rešetke cjelokupnog morskog područja (SEAARE) i zapreka, plutača, umjetnih staništa riba, ostalih objekata i njihovih sigurnosnih zona. To rješenje je primjenjivo i za ovo područje, međutim

[291] Raffler, C., 2018. QNEAT3 - Qgis Network Analysis Toolbox 3., v. 1.0.1. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13042.02248 (30.3.2023.).

obzirom na brojnost objekata kojima bi se presijecala H3 rešetka valja razmotriti i druge pristupe, obzirom na povećanje područja pretraživanja i računalnog troška. Nadalje, ako razmatramo duljinu puta, najkraći mogući put bio bi spojnica između dviju peljarskih postaja, ukoliko ne bi bilo prepreka na ili u blizini puta. Sukladno tome, ako uključimo točke pristana luka polaska i dolaska dobivamo ukošeni pravokutnik kojim bi mogli pojednostaviti razgraničenje plovidbenog od neplovidbenog područja, kako je vidljivo na Slici 52. Ovakav pojednostavljeni pristup nije zadovoljavajući, jer se u blizini najkraćeg puta nalaze prepreke, područja nedostatnih dubina i ostalih objekata od kojih se potrebno udaljiti. Također, osim u blizini prilaska lukama, CATZOC kategorizacija je nepovoljnija u ostalim dijelovima obalnog područja, pa je potrebno stvoriti još veće sigurnosne zone i udaljiti brod od opasnosti.



Slika 52. Stvaranje obuhvata izobata i dubina u području pretraživanja (lijeva slika) i H3 rešetke s konačnim GPP putovima (desna slika) s uvećanim prikazom sigurnosne zone. Priredio autor koristeći QGIS

Sukladno tome, valja poboljšati razgraničenje koristeći dostupne ENC objekte, a to su prvenstveno izobate i dubine. Za razgraničenje su odabrane izobate manje od 20 m koje u obalnom području imaju vrijednosti od 5,4 m, 9,1 m i 18,2 m. Sljedeća veća dostupna vrijednost izobate je 36,5 m koja nije prikladne vrijednosti. Kako nije dostupna vrijednost izobate za 17 m ili 20 m koja bi bila najbliža prethodno određenim vrijednostima SC/SD i marginama, odabrana je vrijednost od 18,2 m kao granica između plovidbenog i neplovidbenog područja, slično kako bi se odredilo i prikazalo u sustavu ECDIS. U cjelokupni raspon dubina također su obuhvaćene dubine od 16 m i više obzirom na položaj peljarske postaje i puta prema obalnome području. Obuhvat je jednak okviru koji sadrži sve ENC-ove NP 5, kao što su prethodno prikazano na Slici 31. Dubine su zatim obuhvaćene konkavnom ljuskom (engl. *concave hull*) odnosno poligonom čiji su bridovi određeni spajanjem vanjskih točaka dubina u granicama

područja. Dubine su razdvojene po NP-ovima kao što opisano i prikazano,[292] čime se izbjeglo preklapanje dubina različitih ENC-ova. Na temelju konkavne ljuske stvorena je pravokutna H3 rešetka rezolucije 10 čiji je prostorni obuhvat jednak konkavnoj ljuski. Zatim su se napravila sigurnosna područja oko zapreka, koja su predstavljena točkama, odnosno površinama na koje su dodane sigurnosne vrijednosti od 2 NM od rubova ako je riječ o površini ili kružnice od središta ako je riječ o točki. Navedena vrijednost se pokazala prikladnom u odnosu na početnu, minimalnu (XTL = 1 NM) ili maksimalnu (XTL >= 4NM) vrijednost kojima se put početno pretraživao. Povećanim XTL vrijednostima put i brod se udaljavaju od opasnosti i obale, ali se onemogućava stvaranje rešetke plovidbenog područja, gdje su prepreke brojnije i gušće raspoređene. Konačna H3 rešetka predstavlja razliku između obuhvata izobata i područja prepreka kako je vidljivo na Slici 52. Nakon određivanja puta, put je pojednostavljen i izglađen. Korištenjem prethodno odgovarajućih raspona izobata i dubina, izglađeni put je siguran za plovidbu i u području izvan rešetke. Ovime se olakšava postupak pojednostavljivanja i izglađivanja puta, za razliku od rješenja za putove od peljara do pristana i obrnuto, gdje je granica prilaznog plovnog puta odnosno kanala uvjetovala granične vrijednosti pojednostavljivanja i izglađivanja. U ovome slučaju RDP algoritam pokazao se povoljnijim za postupak pojednostavljivanja u odnosu na VEA.

Kod pojednostavljivanja, odabrane vrijednosti tolerancije RDP i VEA algoritama utjecale su na konačni oblik puta, te ih je potrebno u nastavku razmotriti. Konačan oblik puta dobiven je eksperimentalno i odabrana je najprikladnija vrijednost kojom se pojednostavio i kasnije izgladio put. Međutim, temeljita razrada veze globalnog puta, pojednostavljivanja i izglađivanja zahtijeva proširivanje razmatranja na korištenje dodatnih ENC objekata, drugih algoritama i još značajnije, stvaranje testnih slučajeva kojima se vjerodostojno može usporediti različite konfiguracije i granične slučajeve. Nadalje, prikazana metodologija se razmatrala i u kontekstu raznovrsnih razina korisničke interakcije, počevši od različitih razina podrške odlučivanju do integracije u autonomne sustave planiranja puta za čiju je implementaciju potrebno razmotriti i ostale elemente koji ovdje nisu razmatrani. Na nižim razinama primjene, korisnik bi mogao sam eksperimentirati s postavkama pa odabrati najprikladnije rješenje, dok bi kod automatskih sustava te vrijednosti mogle biti unaprijed određene.

---

[292] Vidjeti stranicu 126.

U primijenjenoj izvedenici algoritama pojednostavljivanja tolerancija se izražava u mjernim jedinicama korištenog referentnog sustava (WGS 84, SRID:4326) odnosno u stupnjevima koja je za RDP algoritam u obalnome području iznosila 0,04°. Valja spomenuti da algoritmi za pojednostavljivanje i izglađivanje uzimaju u obzir samo put, čime se pojednostavljeni put može naći izvan rešetke, ovisno o odabiru vrijednosti tolerancije. Kako su za razgraničenje plovidbenog i neplovidbenog područja korištene izobate i raspon dubina kojima se stvara margina između određenih i graničnih vrijednosti (dubine od 16 metara i veće, izobate 18,2 i veće), dobiveni put je i nadalje siguran. Iako bi dobiveni put i bez pojednostavljivanja bio valjan, s većim brojem međutočaka bi u određenim slučajevima bio posve neostvariv, bilo zbog velikog broja međutočaka, velikih promjena kursa ili oboje. Također, za neko drugo rješenje, konačni put bi mogao doći u područje unutar sigurnosnih zona ili čak u područje opasnosti.

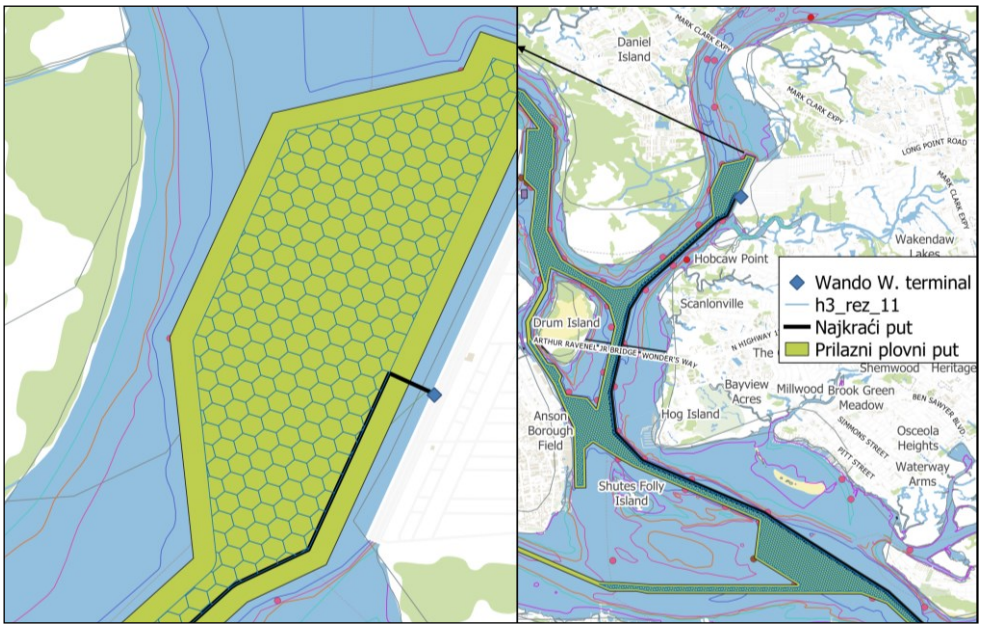
Da bi takve situacije izbjegle, nakon pojednostavljivanja i izglađivanja, kada se put više ne nalazi unutar rešetke, potrebno je provjeriti nalazi li se u području sigurnosne zone ili presijeca li neku moguću opasnost. Navedenom ograničenju može se pristupiti na više načina. Prvi je neposredno provjeriti put, nakon svake iteracije rješenja, odnosno promjene tolerancije algoritma. U tu svrhu, cjelokupni put ili njegovi segmenti mogu se provjeriti postojećim PostGIS funkcijama kojima se provjerava prelazi li put preko brida poligona, primjerice granice sigurnog područja, linije izobata ili bilo kojeg drugog korisničkog ili ENC objekta. Navedene PostGIS funkcije temelje se na DE-9IM (engl. *Dimensionally Extended 9-Intersection Model*) topološkom modelu koji predviđa moguće kombinacije odnosa između geometrijskih objekata. Kao rezultat stvara se DE9IM matrica kojom se između ostalog izražava je li objekt unutar drugog, dodiruje li ga ili ga presijeca.[293] Nadalje, mogu se primijeniti sigurnosne zone s višestrukim granicama unutar zone, kojima bi se postavilo područje raspona rješenja, umjesto pojednostavljenog, s jednim isključivim rješenjem. Također, može se razmotriti ograničavanje pojednostavljivanja i izglađivanja na granicu rešetke čime bi se osiguralo da je put sigurno unutar područja određenog kao sigurnog za plovidbu. Međutim, u tome slučaju dio puta sigurno ne bi bilo moguće pojednostaviti nakon određene vrijednosti tolerancije.

Uz navedeno, mogu se koristi i napredne mogućosti prostornog indeksiranja koje se u istraživanju koristilo za ubrzavanje pretraživanja unosa objekata kod stvaranja modela područja dostupnih u PostGIS-u poput prethodno spomenutog općeg GIST indeksa ili njegove prostorne

[293] Obe, R.O., Hsu, L.S., 2021., op. cit. poglavlje 8.

izvedenice (engl. *space-partitioned GIST*, SP-GIST).[294] Također su dostupne mogućnosti indeksiranja i hijerarhijskog razgraničenja korištenjem H3 biblioteke kojom se može detaljnije razdvojiti granice pojedinih područja i potrebnih rezolucija H3 rešetke ovisno o plovnome području.[295]

Za prilaz luci Charleston koristio se sličan pristup kao i u prethodnim fazama. Iako su šesterokutne rešetke, kao i sve pravilne rešetke problematične zbog naizmjenične izmjene smjera, mogu se omeđiti pravilnim bridom što je prednost, jer put postaje optimalan odnosno najkraći u odnosu na prevaljeni put preko šesterokutnih rešetki. Navedena izvedba postigla se udaljavanjem rešetke sigurnosnom zonom odnosno *bufferom* od bridova poligona prema središtu, koji u stvarnosti predstavlja rubove plovnoga puta kao što se može vidjeti na Slici 53.



Slika 53. Prikaz konačnog oblika H3 rešetke rezolucije 11 stvorene presjekom s poligonom prilaznog plovnog puta na lijevome okviru. Desni okvir slike prikazuje dio GPP puta prema pristanu Wando Welch terminala u Charlestonu. Priredio autor koristeći QGIS

Duljina jednog brida šesterokuta H3 rešetke na rezoluciji 11 iznosi 24,91 m, dok je na rezoluciji 15 iznosi 0,51 m. Naravno da takav proračun donosi iznimno visok računalni trošak, ali učinkovitim mijenjanjem rezolucija po potrebama područja i naprednim korištenjem tehnika

[294] PostGIS 3.3.3dev Manual, 2023. str. 55.
[295] Bousquin, J., 2021. Discrete Global Grid Systems as scalable geospatial frameworks for characterizing coastal environments. Environmental Modelling & Software 146, 105210. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105210

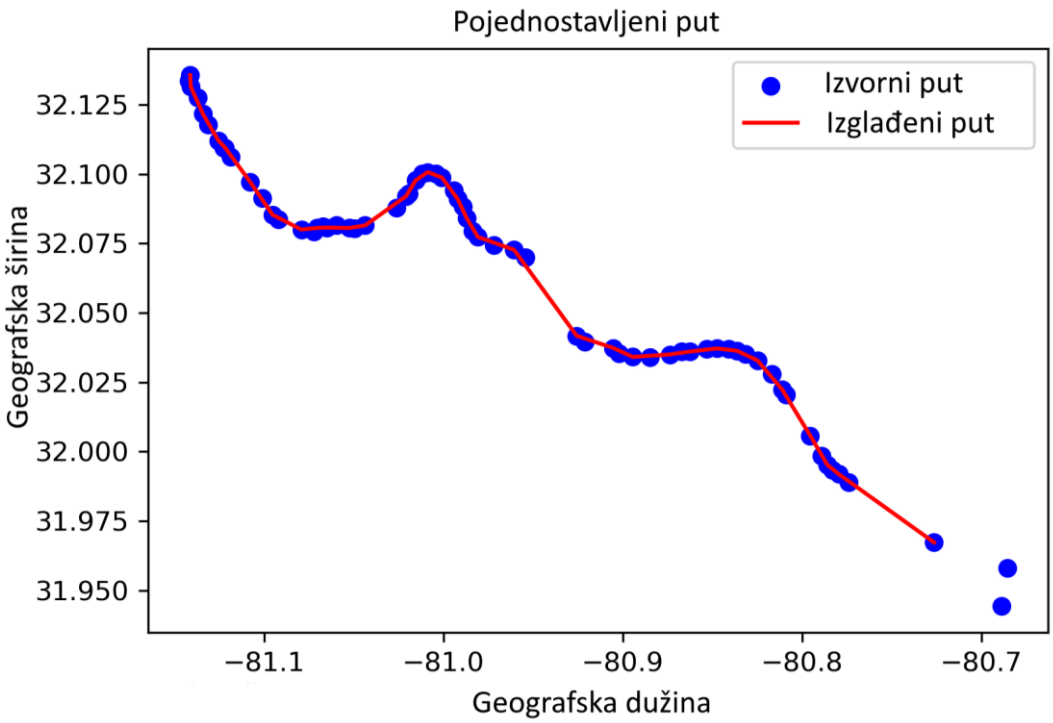
indeksiranja, i naravno naprednijim znanjem o samim mogućnostima H3 biblioteke vrlo je izgledno da se takva rješenja mogu stvoriti.

Valja napomenuti da se kod stvaranja rešetki i pretraživanja puta nisu dodjeljivali težinski koeficijenti, primjerice radi odabira strane kojom će se put odrediti, odnosno brod ploviti. Sukladno tome, ukoliko bi se početna i završna točka puta zamijenile (od pristana prema peljarskoj postaji), algoritam bi odredio najkraći put istom stranom kao što je prethodno prikazano za slučaj od peljarske postaje do pristana. Uz težinske koeficijente, navedeni izazov moguće je riješiti s još nekoliko dodatnih pristupa. Prvi pristup uključuje korištenje nejednakih vrijednosti sigurnosnih zona od granica prilaznog plovnog puta odnosno kanala ili bio kojeg graničnog objekta. Prema tome pristupu brid rešetke bi se udaljavao prema vrijednosti sigurnosne zone ovisno o tome pristaje li brod ili isplovljava. Također, vrijednosti sigurnosnih zona mogu se maksimalno udaljiti od granica kanala čime bi se bridovi lijeve i desne strane susreli na polovici i stvorili središnju liniju prilaznog plovnog puta odnosno kanala. Slično načelo i pristup može se postići korištenjem Voronojevih okosnica (engl. *Voronoi skeletonization*) kojim se poligon, primjerice kanala svodi na liniju koja približno prolazi središtem 2D prostora.[296] Između ostalog, moguće je koristiti i ENC objekte od kojih možemo izdvojiti sljedeće: središnjicu preporučene rute (engl. *Recommended route centreline*, RCRTCL), preporučeni dio prolaza pri usmjeravanju plovidbe (engl. *Recommended traffic lane part*, RCTLPT) ili preporučenu stazu (engl. *Recommended track,* RECTRC). U istraživanju se navedeni ENC objekti nisu koristili, iako se neki od njih nalaze na prilazu lukama, jer se nastojalo stvoriti opći pristup za slučajeve kada nisu dostupni. Navedena ograničenja, mogućnosti i korištenje dodatnih ENC objekata zahtijevaju sustavnu razradu koja valja razmotriti u budućim istraživanjima.

Kako je prethodno opisano dobiveni put bilo je potrebno pojednostaviti. Korišteni su RDP i VEA algoritmi, od kojih se VEA pokazao učinkovitijim za prilazno plovno područje. Nakon pojednostavljivanja, korišteni su B-splajnovi (engl. *basis spline*) za dobivanje izglađenog puta kao što je vidljivo na Slici 54.

---

[296] Ravankar, A. i dr., op. cit., str. 20.

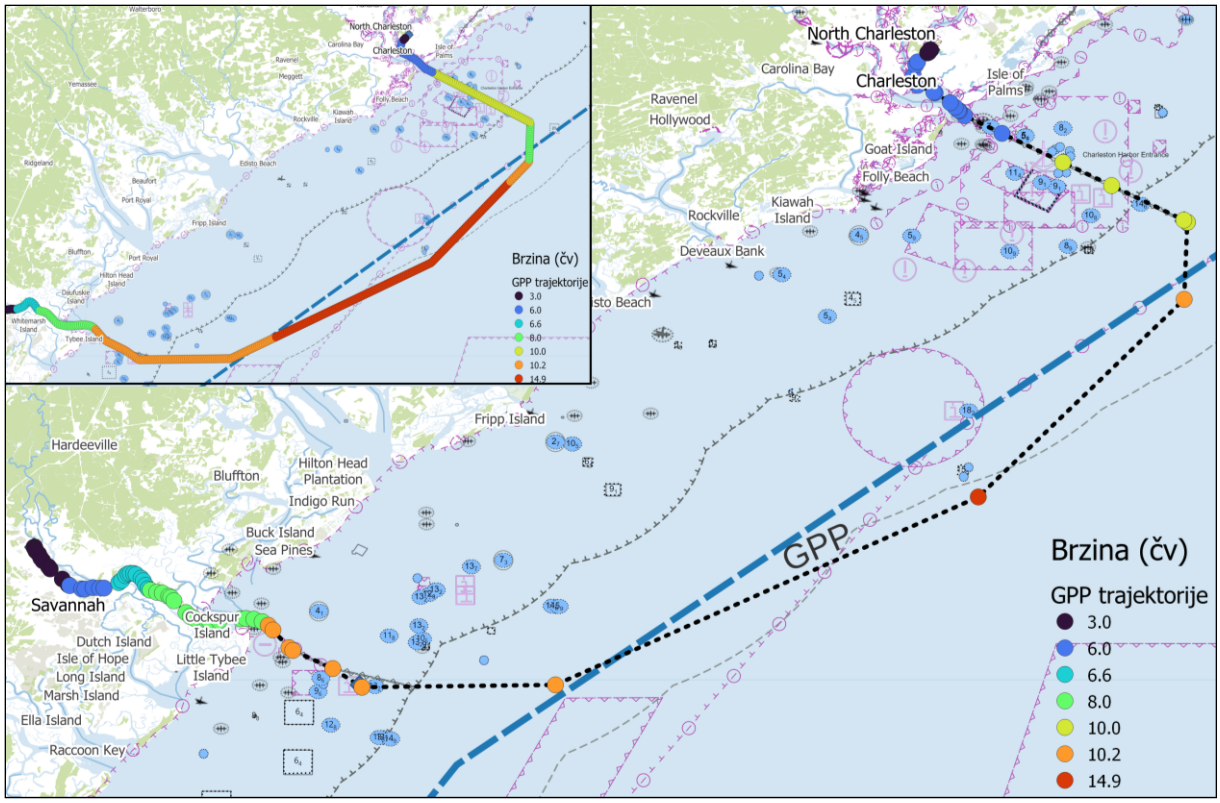


Slika 54. Prikaz pojednostavljenog i izglađenog puta od luke Savannah do peljarske stanice. Priredio autor

Nedostatak pojednostavljivanja puta vidljiv je u blizini granica plovnog puta kada se ovisno o korištenim postavkama, međutočka i dio puta mogu naći izvan prilaznog plovnog puta čime bi se brod dovelo u opasnost. Nastavno na prethodno razmatranje valja spomenuti da se navedenim pristupom u određenoj mjeri približavamo unaprijed postavljenim ograničenjima, odnosno putovima koje onda ne bi trebalo određivati na brodu, već ih samo odrediti i uvjetno rečeno objaviti. Kao primjer se može spomenuti dostupan javni servis s određenim brojem pomorskih ruta kojeg ima Norveška,[297] dok druge države u manjoj mjeri imaju također preporučene ili obvezne rute za pojedina područja. Također, neke države poput SAD-a imaju javno dostupne međutočke koje mogu poslužiti kao osnova za planiranje puta i putovanja, odnosno rute.[298]

Konačno, dobivenom putu dodijeljene su vrijednosti brzina i stvorene trajektorije prema prethodno određenim graničnim vrijednostima za pojedini dio područja plovidbe i naknadno prilagođene prema podatcima o ograničenjima u lukama. Rezultati su vidljivi na Slici 55.

[297] Digital route service for navigation [mrežni dokument], https://routeinfo.no/ (5.5.2023.).
[298] https://geodata.bts.gov/maps/usdot::navigable-waterway-network-nodes/about (4.5.2023.)



Slika 55. Prikaz trajektorija za određeni GPP put (glavni okvir) i interpoliranih vrijednosti između međutočaka (gornji okvir). Priredio autor koristeći QGIS.

Prema određenim brzinama i putu između međutočaka trajanje putovanja bi za ukupni put od 131,2 NM iznosilo 13,8 sati s prosječnom brzinom od 9,5 čvorova. Kao što je vidljivo, između pojedinih točaka, napravljena je interpolacija kako bi se moglo usporediti profile trajektorija dobivenih putem AIS podataka, prikazanih u sljedećem poglavlju.

4. ANALIZA REZULTATA GLOBALNOG PLANIRANJA PUTA

Da bi se provjerila uspješnost GPP-a, bilo je potrebno razviti pristupe kojima će se usporediti putove sličnih brodova u području razmatranja. Pristupi prikazani u nastavku uključuju pripremu i obradu AIS podataka u odabranom području te razmatranje značajki odabranih brodova u pogledu njihovog prostornog rasporeda, karakterizacije dobivenih putova i djelomično trajektorija. Nakon obrade i interpretacije dobivenih rezultata, napravljena je studija slučaja u okružju navigacijskog simulatora.

4.1. Validacija algoritma analizom podataka o plovidbi brodova

Priprema i prethodna obrada AIS podataka napravljena je pomoću programskog jezika Python, biblioteke za analizu podataka Pandas,[299] Shapely[300] biblioteke za računalnu geometriju i NumPy biblioteke za stvaranje N-dimenzionalnih nizova.[301] Za izradu putova korištena je programska biblioteka MovingPandas[302] koja se temelji na Pandas i GeoPandas, Pandas proširenju koje omogućava prostorne operacije na geometrijskim tipovima podataka, te HoloViz alatima za vizualizaciju. Odabrani su teretni brodovi prema AIS kodovima u rasponu od 70 do 79 koji se upotrebljavaju za teretne brodove. Valja napomenuti da je metodologija već objavljena s javno dostupnim programskim kodom i podacima.[303, 304]

Ukupno je prikupljeno 724 jedinstvena unosa brodova. Za stvaranje podskupa razmatranih brodova, prikupljeni su javno dostupni AIS i podatci o samim brodovima. Kontejnerska flota odabrane tvrtke odnosila se na 22 jedinstvena broda s ukupno 107.977 AIS opažanja i podatkovnih unosa iz kojih su stvorene zbirka trajektorija za 22 jedinstvena broda. Zapis trajektorije u zbirci odnosi se na sva promatranja brodova tijekom šestomjesečnog razdoblja u 2019. U samoj MovingPandas biblioteci, dostupno je nekoliko mogućnosti za stvaranje te

---

[299] Reback, J., et al., 2022. pandas-dev/pandas: Pandas 1.4.2. https://doi.org/10.5281/zenodo.6408044
[300] Gillies, S., van der Wel, C., Van den Bossche, J., Taves, M.W., Arnott, J., Ward, B.C., others, 2022. Shapely. https://doi.org/10.5281/zenodo.7215567
[301] Harris, C.R., et al., 2020. Array programming with NumPy. Nature 585, 357–362. https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2
[302] Graser, A., Bell, R., et al., 2022. anitagraser/movingpandas: v0.10. https://doi.org/10.5281/zenodo.6665185
[303] Šakan, D., Žuškin, S., Rudan, I., Brčić, D., 2023. Container Ship Fleet Route Evaluation and Similarity Measurement between Two Shipping Line Ports. Journal of Marine Science and Engineering 11, 400. https://doi.org/10.3390/jmse11020400
[304] Davor Šakan, Srđan Žuškin, Igor Rudan, David Brčić, 2023. Container ship fleet route evaluation and similarity measurement between two shipping line ports. Journal of Marine Science and Engineering. https://doi.org/10.5281/zenodo.7573544

odvajanje trajektorija i putova. Te funkcije se zasnivaju na opažanju u redovitim vremenskim intervalima, brzini, zaustavljanju i razmacima između promatranja. Za razliku od MovingPandas funkcija, pojedina putovanja moguće je podijeliti prema promjeni AIS navigacijskog statusa broda. Valja naglasiti da se promjena navigacijskog statusa broda u AIS-u mora promijeniti ručno na brodu. Ako se ne učini pravodobno, to može dovesti do pogrešnih tumačenja o zaustavljanju ili kretanju broda. Međutim, u obrađenome skupu podataka to nije bio slučaj i nije bilo značajnih nepodudarnosti između statusa broda i pojedinačnog razgraničenja putovanja. Nadalje, u usporedbi s drugim dostupnim pristupima razdvajanja iz MovingPandas, odabir prema statusu dao je bolje rezultate u razdvajanju pojedinačnih putovanja (ili trajektorija kako je to implementirano i definirano u MovingPandas). Kako bi se smanjio broj nepotrebnih razmatranja i podjela putovanja, postavljeno je nekoliko ograničenja. Razmak između dvaju promatranja postavljen je na 30 min, a minimalna duljina trajektorije postavljena na 200 km u skladu s mogućim rasponima udaljenosti ne samo između luka, nego u odnosu na obližnja područja. Time je podskup smanjen na 13 brodova s ukupno 23 pojedinačna putovanja. Konačni podskup stvoren je odabirom općeg smjera plovidbe (između 050° i 060°) od pojedinačnih točaka početka i završetka trajektorije od Savannaha do Charlestona. Konačni podskup stoga uključuje 12 putovanja odnosno 8 brodova čiji su osnovni podatci prikazani u Tablici 27. Brodovi u podskupu razvrstani su prema ukupnoj duljini i glavnim dimenzijama. Radi anonimnosti, brodovi su imenovani slovima abecede kao prvom identifikacijom i brojevima kada je riječ o putovanju istoga broda. Valja napomenuti da je brod F istovjetan odabranome brodu za plovidbena ograničenja i modelu iz simulatora.

Tablica 27. Prikaz osnovnih obilježja razmatranih kontejnerskih brodova

God. gradnje	ID	LOA (m)	B (m)	T_{maks} (m)	T_{put} (m)	DWT (t)	BT
2015	G	299,00	48,20	14,80	14,8	113800	96253
2015	F1, F2	299,95	48,20	14,80	14,8	112729	95263
2010	D	334,00	42,80	15,00	15,0	109056	89787
2005	E1, E2, E3	334,07	42,80	14,52	14,5	101779	91410
2008	A	347,00	45,20	15,50	15,5	130700	128600
2008	C	349,98	42,87	15,00	12,0	120892	111249
2008	B	359,99	42,80	15,00	15,0	120944	111249
2009	H1, H2	363,61	45,60	15,50	15,5	131292	131332

Nakon stvaranja pojedinačnih putovanja, razmotrena je duljina puta, trajanje putovanja, prosječna brzina i sličnost između pojedinih putova. Uz ove standardne podatke, nerijetko se razmatra i sličnost između putova i putovanja, pa je razmotrena mogućnost korištenja mjera

sličnosti. Među brojnim dostupnim mjerama sličnosti, često se koristi Fréchetova udaljenost (FD) ili, formalno, δ_F. Intuitivno se opisuje kao duljina uzice između osobe i psa koji hodaju po svojim krivuljama odnosno putovima koji mogu imati neovisne brzine, zaustaviti se i kretati se naprijed. Međutim, ne mogu se kretati unatrag. Stoga se δ_F može opisati kao najkraća moguća duljina uzice za dovršetak šetnje, odnosno prelaska obiju krivulja od početka do završetka. Formalno se tada može definirati krivulja kao neprekinuto preslikavanje $f : [a, b] \rightarrow V$ gdje su $a, b \in \mathbb{R}$ i $a \leq b$ u metričkome prostoru V. Tada se dvije neprekinute krivulje, $f : [a, b] \rightarrow V$ and g: $[a', b'] \rightarrow V$ i njihova δ_F mogu definirati prema:[305]

$$\delta_F(f, g) = \inf_{\alpha,\beta} \max_{t\in[0,1]} d\left(f(\alpha(t)), g(\beta(t))\right) \quad , \tag{12}$$

gdje se neprekidno rastuće funkcije α: [0,1] and β: [0,1] preslikavaju u $[a, a']$ and $[b, b']$. Neprekidne krivulje se nadalje mogu aproksimirati kao diskretne mnogokutne krivulje radi čega se može izračunati njihova približna ili *diskretna* Fréchetova udaljenost (engl. *discrete Fréchet distance*, DFD) odnosno kao udaljenost veze δ_{dF}. Mnogokutne krivulje mogu se nadalje definirati sa $P : [0, n] \rightarrow V$ and $Q : [0, n] \rightarrow V$ i pripadajućim nizovima $\sigma(P) = (u_1, \dots, u_p)$ i $\sigma(Q) = (v_1, \dots, v_q)$ i vezom *L,* koja čini niz jedinstvenih parova točaka krivulja *P* i *Q* , poštujući slijed (u_{a1}, v_{b1}), (u_{a2}, v_{b2}), …., (u_{am}, v_{bm}). Prvi i zadnji par točaka mogu biti uređeni kao $a_1 = 1, b_1 = 1, a_m = p, b_m = q$. Sve sljedeće točke $i = 1, \dots, q$, vrijedi $a_{i+1} = a_i$ or $a_{i+1} = a_i + 1$, and $b_{i+1} = b_i$ or $b_{i+1} = b_i + 1$. Najveća udaljenost $\| L \|$ između dvaju parova točaka za pojedinu vezu *L* je njihova udaljenost veze. Tada se može definirati diskretnu Fréchetovu udaljenost (DFD) kao najmanju moguću udaljenost između svih mogućih veza *P* i *Q*.[306]

$$\delta_{dF}\,(P, Q) = min\{||L||\} \tag{13}$$

Stoga, koristeći prethodnu analogiju osobe i psa u šetnji ili u ovome slučaju skakanja sa psom ili žabom, budući da razmatramo diskretno kretanje, možemo opisati podudaranje para i

[305] Eiter, T.; Mannila, H. Computing Discrete Fréchet Distance; 1994. Technical report CD-TR 94/64, Technische Universitat Wien, Wien.
[306] Ibid.

određivanja diskretne udaljenosti. Osoba i pas mogu ostati na svojim trenutnim vrhovima, dok drugi napreduje ili oboje napreduju do sljedećeg vrha na svojim pripadajućim putovima. DFD je tada najmanja udaljenost za cijeli niz skokova do posljednjih vrhova.

Prednost DFD-a u odnosu na kontinuirani FD je u smanjenim troškovima izračuna, a istovremeno je dobra aproksimacija kontinuiranog rješenja. Nadalje, osigurava se gornja granica kontinuiranog FD-a, a odstupanje nije veće od najdužeg ruba trajektorije. Naposljetku, odabrana DFD implementacija[307] koja se koristi u istraživanju temelji se na prethodno opisanome algoritmu.[308]

U usporedbi s drugim mjerama sličnosti kao što je Hausdorffova udaljenost, FD (i varijante) korisnije su za usporedbu krivulja jer se razmatra mjesto i redoslijed točaka krivulje.[309] Odabrana implementacija DFD-a dostupna je u biblioteci iz programskog jezika Python, koja uz DFD ima i druge mjere sličnosti.[310]

Osnovna implementacija biblioteke mjera sličnosti razmatra izračun sličnosti samo između dvije krivulje, pa se pristup morao proširiti na sljedeći način. Da bi se izračunale vrijednosti DFD-a, stvoreni su 2D nizovi koordinatnih parova zemljopisne širine i dužine iz pojedinačnih unosa položaja broda preuzetih iz AIS zapisa. Koordinate položaja, koje su definirane pomoću Svjetskog geodetskog sustava 84 (engl. *World Geodetic System 84*), pretvorene su u lokalne ravninski projicirane koordinate sustava univerzalne poprečne Merkatorove projekcije (engl. *Universal Transverse Mercator*, UTM) zone 17N, kako bi se poboljšala točnost implementiranog DFD pristupa. Potom je stvorena $n \times n$ kvadratna rešetka koju su činili pojedinačni nizovi putova s koordinatnim parovima. Zatim je primijenjena vektorizirana DFD metoda za dobivanje rezultata sličnosti, koji su prikazani u dijelu s rezultatima.

Prije usporedbe s razmatranim brodom i rješenjem puta dobivenim algoritmom, najprije je napravljena statistička analiza značajki osnovnih parametara putovanja razmatranih brodova te su zatim uspoređene njihove vrijednosti. Razmatrane su tri osnovne vrijednosti: duljina

---

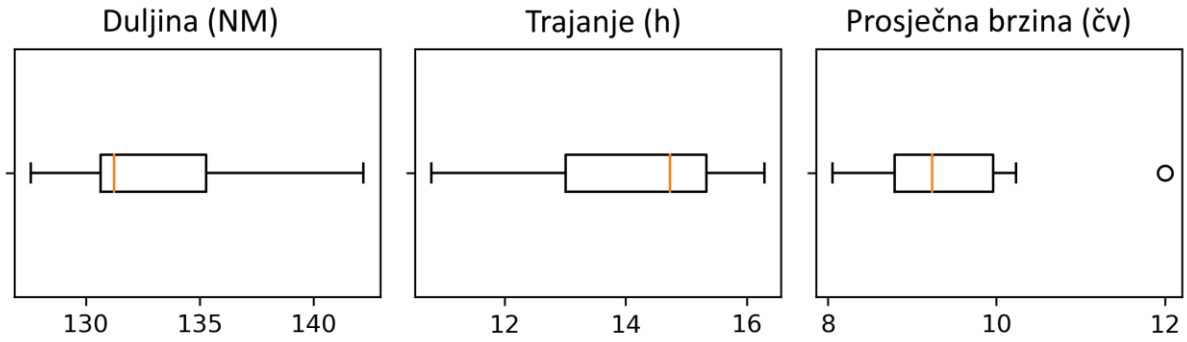
[307] Jekel, C.F.; Venter, G.; Venter, M.P.; Stander, N.; Haftka, R.T. Similarity measures for identifying material parameters from hysteresis loops using inverse analysis. Int. J. Mater. Form. 2019, 12, 355–378. https://doi.org/10.1007/s12289-018-1421-8.
[308] Eiter, T. i Mannila, H., 1994., op. cit.
[309] Agarwal, P.K., Ben Avraham, R., Kaplan, H., Sharir, M., 2013. Computing the Discrete Fréchet Distance in Subquadratic Time, in: Proceedings of the 2013 Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms (SODA), Proceedings. Society for Industrial and Applied Mathematics, pp. 156–167. https://doi.org/10.1137/1.9781611973105.12
[310] Jekel, C. F., 2022. similaritymeasures https://github.com/cjekel/similarity_measures (21.10.2022.).

putovanja u nautičkim miljama (NM), trajanje putovanja u satima i prosječna brzina u čvorovima. Prikaz statističkih značajki prikazan je u Tablici 28. Kao što je vidljivo, srednja vrijednost duljine putovanja je 132,9 NM sa standardnom devijacijom od 4,4 NM, dok je razlika između najkraćeg i najdužeg putovanja 14,6 NM. Vrijednosti prosječne i medijalne vrijednosti duljine su bliske.

Tablica 28. Statistički pregled obilježja putovanja

Ukupno (12)	Duljina (NM)	Trajanje (h)	Prosječna brzina (čv)
Prosjek	132,9	14,2	9,5
Std. devijacija	4,4	1,7	1,0
Min.	127,6	10,8	8,1
25 %	130,7	13,0	8,8
50 %	131,1	14,7	9,2
75 %	135,3	15,3	10,0
Maks.	142,2	16,3	12,0

Međutim, statistička raspodjela je umjereno pozitivno asimetrična s vrijednošću od 0,77. Vrijednost asimetrije izračunava se kao prilagođeni Fisher-Pearsonov koeficijent asimetrije s pripadajućom klasifikacijom kako slijedi: normalna (−0,5 do +0,5), umjereno asimetrična (−1,0 do −0,5 i +0,5 do +1,0) ili visoko asimetrična (<−1,0 ili >+1,0). [311]

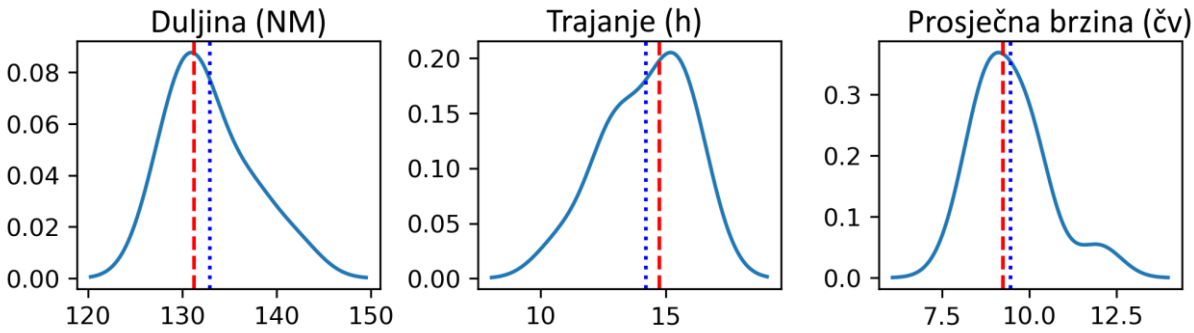


Slika 56. Kutijasti dijagrami duljine, trajanja i prosječne brzine putovanja. Priredio autor

Sljedeća promatrana vrijednost je trajanje putovanja u satima pri kojoj je razlika između najviše i najniže vrijednosti 5,2, sata dok je prosječna vrijednost 14,2 sata. Razdioba je umjereno negativno asimetrična (-0,62) kako je vidljivo na prikazima vidljivim na Slici 56. i na Slici 57.

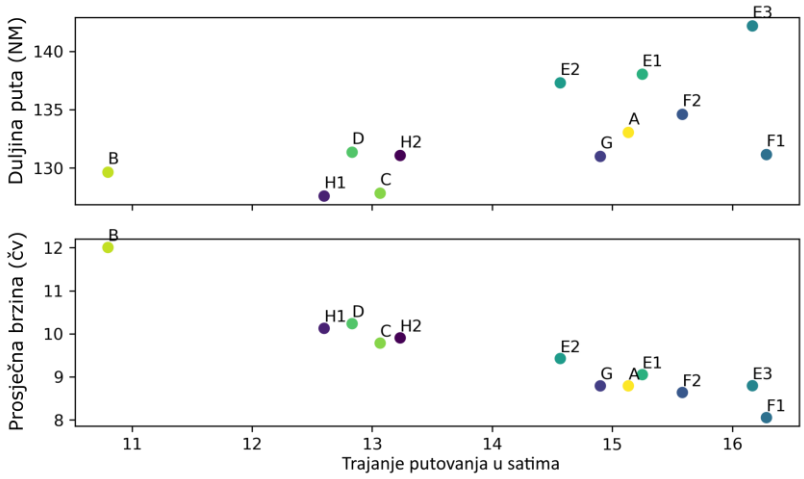
[311] Piovesana, A., Senior, G., 2018. How Small Is Big: Sample Size and Skewness. Assessment 25, 793–800. https://doi.org/10.1177/1073191116669784

Posljednja razdioba predstavlja prosječnu brzinu s razlikom između najviše i najniže vrijednosti od 3,9 čv. Valja također spomenuti da najvišu vrijednost možemo smatrati stršećom vrijednosti (engl. *outlier*) koja se nalazi izvan interkvartilnog raspona pomnoženog sa 1,5), što je opazivo na kutijastom dijagramu prethodne slike. Međutim, kako nije riječ o pogreški, nije uklonjena iz analize. Nadalje, razdioba je jako pozitivno asimetrična (1,23) što je i vidljivo na pripadajućem grafikonu na Slici 57.



Slika 57. Grafikoni razdioba duljine putovanja, trajanja i prosječne brzine. Iscrtkana linija predstavlja medijan, dok je istočkana linija prosječna vrijednost. Priredio autor

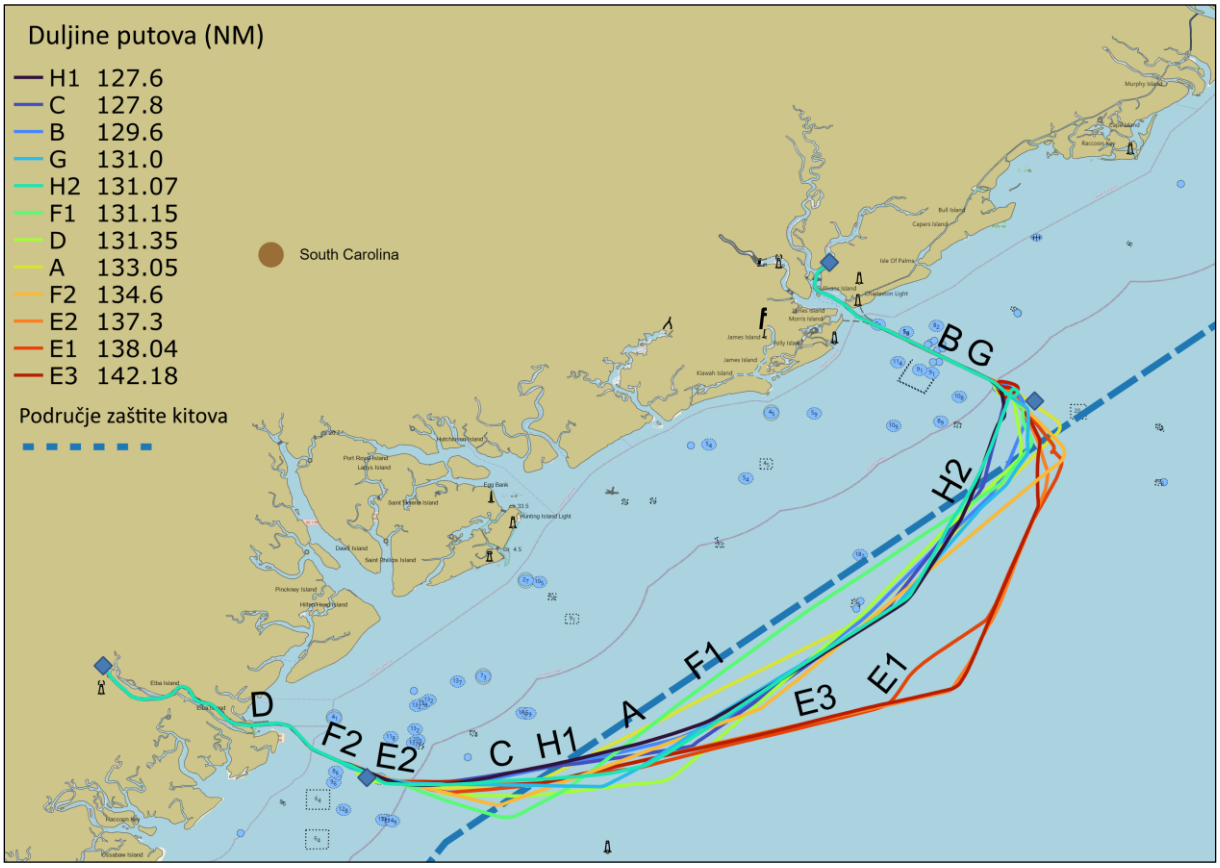
Potrebno je naglasiti da se iz ovoga ograničenog uzorka nisu izvodili daljnji zaključci ili provodili statistički testovi, već će se u budućim istraživanjima napraviti opsežnija razmatranja koja će obuhvatiti dulje periode, veći broj brodova i pojedinačnih putovanja. Prije neposrednog razmatranja trajektorija brodova potrebno je prikazati odnos duljina putova, brzina i duljina putova tijekom putovanja kako se može vidjeti na Slici 58.



Slika 58. Dijagram raspršenja duljine puta u NM (gore) i prosječne brzine (čv) i trajanja putovanja u satima. Priredio autor.

Najkraći put i trajanje putovanja vidljivi su za brod B koji je imao i najveću prosječnu brzinu. Približno trajanje putovanja od 13 sati, imali su brodovi H, D i C dok su preostali A, E, F i G brodovi imali putovanja u trajanju od 14 do 16 sati i sukladno tome najniže prosječne brzine. Prema prikazanim podatcima i razdiobama, trajektorije određene za GPP put spadaju u središnji dio razdiobe s vrijednostima od 13,8 sati plovidbe i najveću skupinu brodova s prosječnom brzinom manjom od 9,5 čvorova.

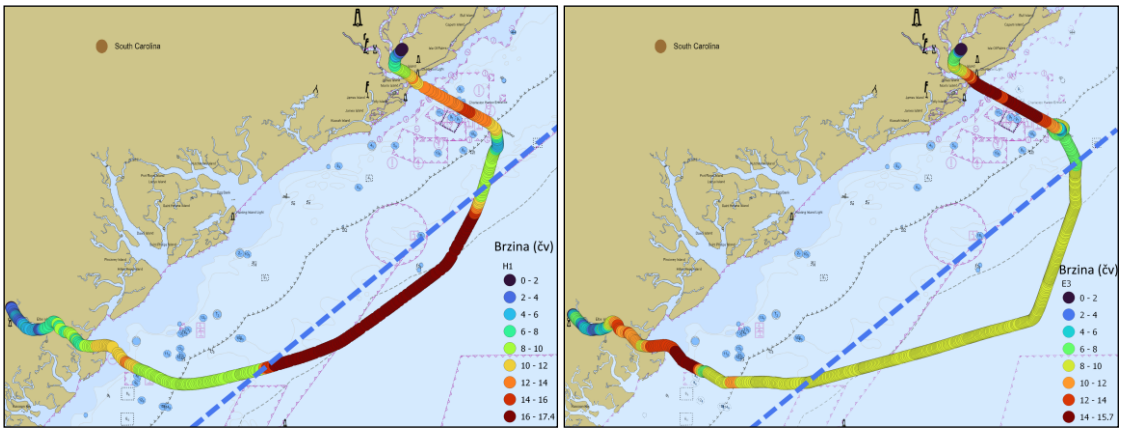
U nastavku će se prikazati putovanja i putovi razmatranih brodova i njihova prostorna distribucija vidljivi na Slici 59., gdje isprekidana linija predstavlja granice prethodno spomenutog područja sezonske zaštite kitova.



Slika 59. Duljine putova razmatranih brodova i njihova prostorna distribucija. Mjerilo karte 1:600000. Plava isprekidana linija označava granice sezonskog područja zaštite kitova. Priredio autor koristeći QGIS.

Opazivo je da su brodovi nakon izlaza i neposrednog napuštanja prilaznih plovnih putova luka Savannah i Charleston, plovili izvan područja zaštite. Nadalje, razmotreni su profili trajektorija najduljeg i najkraćeg putovanja (H1 i E3), prikazanih na Slici 60. Putovanje i pripadajući put za brod H u putovanju H1 od 27. siječnja 2019. imalo je duljinu od 129,6 NM i trajalo je 12,6 sati pri prosječnoj brzini od 10,1 čv. Kako se može opaziti, brodovi vidljivi na slici plovili su

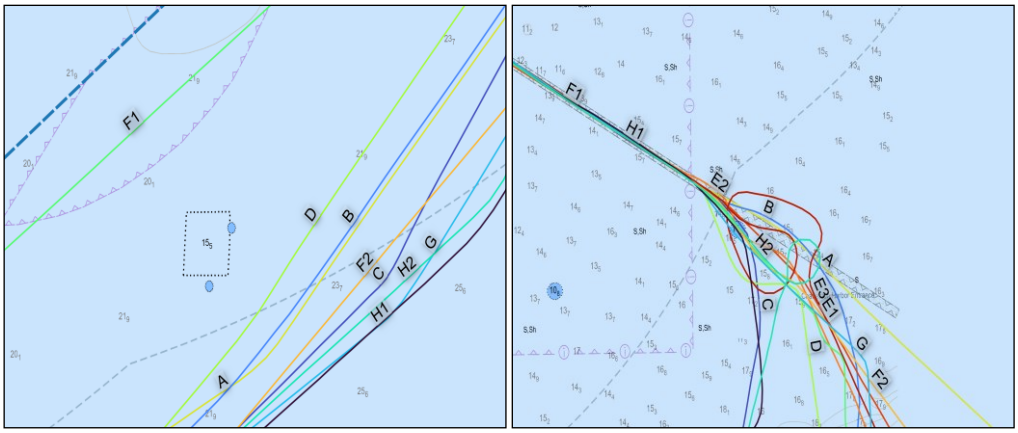
dijelom prilaznoga puta u luci Savannah brzinama ispod ili oko 6 čv, postupno povećavajući brzinu prema izlazu kanala na 10 čv ili u slučaju broda E3 i na višu od 10 čvorova.



Slika 60. Profil trajektorija za najkraće H1 (lijevi okvir) i najdulje putovanje E3 (desni okvir) s brzinom preko dna (SOG) u čvorovima za pojedina AIS opažanja (mjerilo 1:600000). Priredio autor koristeći QGIS.

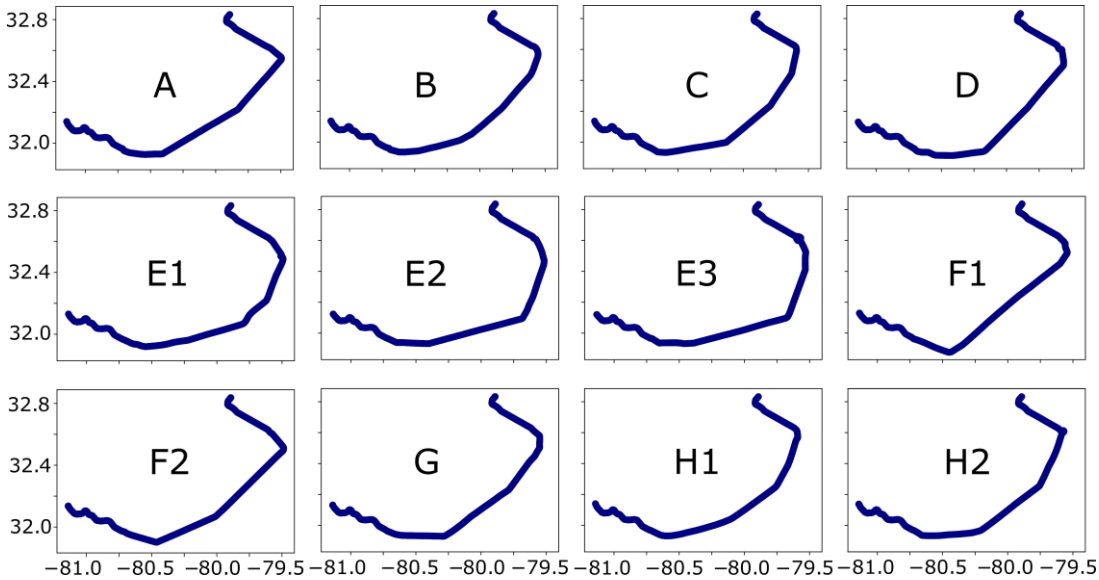
Izvan područja zaštite kitova, brod H1 je plovio brzinama od 16 do čak 17,4 čvorova. Kako su putovanja neprekinuta, brzina je vjerojatno prilagođena radi dolaska na peljarsku stanicu u predviđenom vremenu dolaska. Nadalje, putovanje s najvišom prosječnom brzinom od 12 čv, broda B imalo je put duljine od 129,6 NM i dovršeno je za 12,6 sati. Brod E, u putovanju E3 (14. do 15. travnja 2019.) dovršio je pripadajuće putovanje za 16,2 h i ukupnom duljinom od 142,2 NM te prosječnom brzinom od 8,8 čv. Putovanje s najnižom prosječnom brzinom od 8 čv, obavio je brod F u putovanju F1, s ukupnom duljinom puta od 131,1 NM. Uz duljinu i odabir plovidbena puta, postoje razlike i u profilima brzina. Brod H1 imao je značajnije višu brzinu u središnjem dijelu puta između Savannaha i prilaza Charlestonu. U putovanju H, brzina je bila viša od 16 čv, s najvišom vrijednosti od 17,4 čv, što se moglo odrediti iz AIS podataka o brzini preko dna.

Nastavno, kao što se može vidjeti u lijevome okviru Slike 61., brodovi su plovili zahtijevanim brzinama u područjima ograničenja, dalje od obale i umjetnih staništa riba. Također, kao što je vidljivo u okviru desno, valja spomenuti razlike u prilasku Charlestonu i području ukrcaja peljara. Neki brodovi pristupili su prilaznome plovnome putu, dok su dva broda (H2, E3) učinila okrete, vjerojatno radi dolaska peljara na brod.



Slika 61. Umjetna staništa riba (bez prikaza plutača u području) s dubinama od 15,5 m (lijevi okvir) i prilazno područje luci Charleston (desni okvir). Priredio autor koristeći QGIS.

Konačno, putovanja su razmotrena u kontekstu sličnosti. Prikaz pojedinačnih putova vidljiv je na Slici 62. Može se opaziti očekivana sličnost u prilaznim područjima i način odabira prolaska u odnosu na prepreke tj. je li ih se obilazilo sjevernije ili južnije.

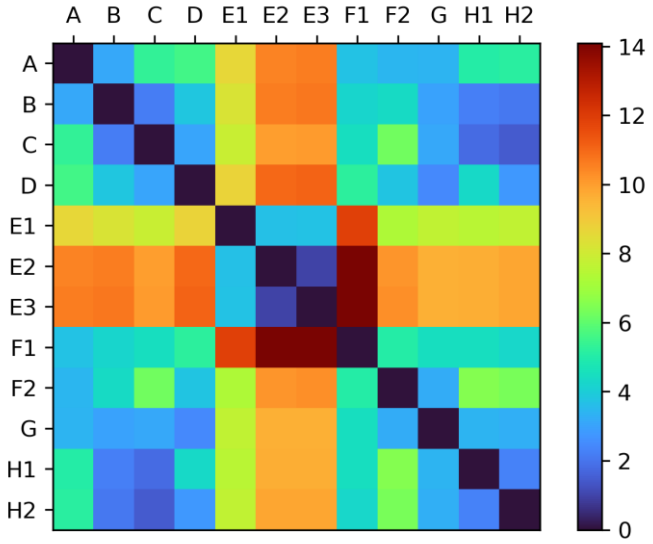


Slika 62. Usporedni prikaz putova za pojedinačna putovanja. Na osi x prikazana je geografska dužina, dok je na osi y prikazana geografska širina. Priredio autor

Može se opaziti sličnost putovanja broda E s tri zabilježena putovanja. Izvedena putovanja E2 i E3 bila su slična uz manje izmjene u pojedinim segmentima putovanja, dok se putovanje E1 razlikovalo u središnjem dijelu, vjerojatno radi obilaska odnosno izbjegavanja nekog objekta. Prema prikazanome, iako je riječ samo o jednome brodu u tri putovanja, putovanja su izvedena prema istoj međutočki između dvaju prilaznih plovnih putova prema lukama. Kod drugih brodova postoje varijacije, od nešto dulje pravocrtne plovidbe izvan prilaznog plovnog puta pa

relativno ravnog usmjeravanja prema luci Charleston ili ranijeg usmjeravanja i udaljavanjem od opasnih područja.

Nakon općeg opisa najznačajnijih obilježja svih putova, valja prikazati rezultate izračunatih DFD vrijednosti sličnosti putova za sve brodove na toplinskoj karti (engl. *heatmap*) vidljivih na Slici 63. Što je sličnost veća, to je boja u tamnijem odnosno plavome dijelu spektru (tamnoplava boja) dok je manja sličnost, odnosno veća DFD udaljenost u svjetlijem odnosno crvenom dijelu spektra (tamnocrvena boja). Sukladno, može se uočiti koji su putovi bili slični. Kao i kod prethodnih opisa, može se primijetiti veća sličnost različitih putova istih brodova (E1–E2–E3, F1–F2 i H1–H2). Najveća sličnost između različitih brodova bila je između brodova C i H, dok je najmanja sličnost bila između putova brodova E i F. Ovako određena vrijednost DFD-a i sličnosti puta, vrijedan je dodatak pri razmatranju sličnosti putovanja, uz uobičajene mjere poput duljine ili prosječne brzine, koje mogu biti iste ili slične za posve različita putovanja.

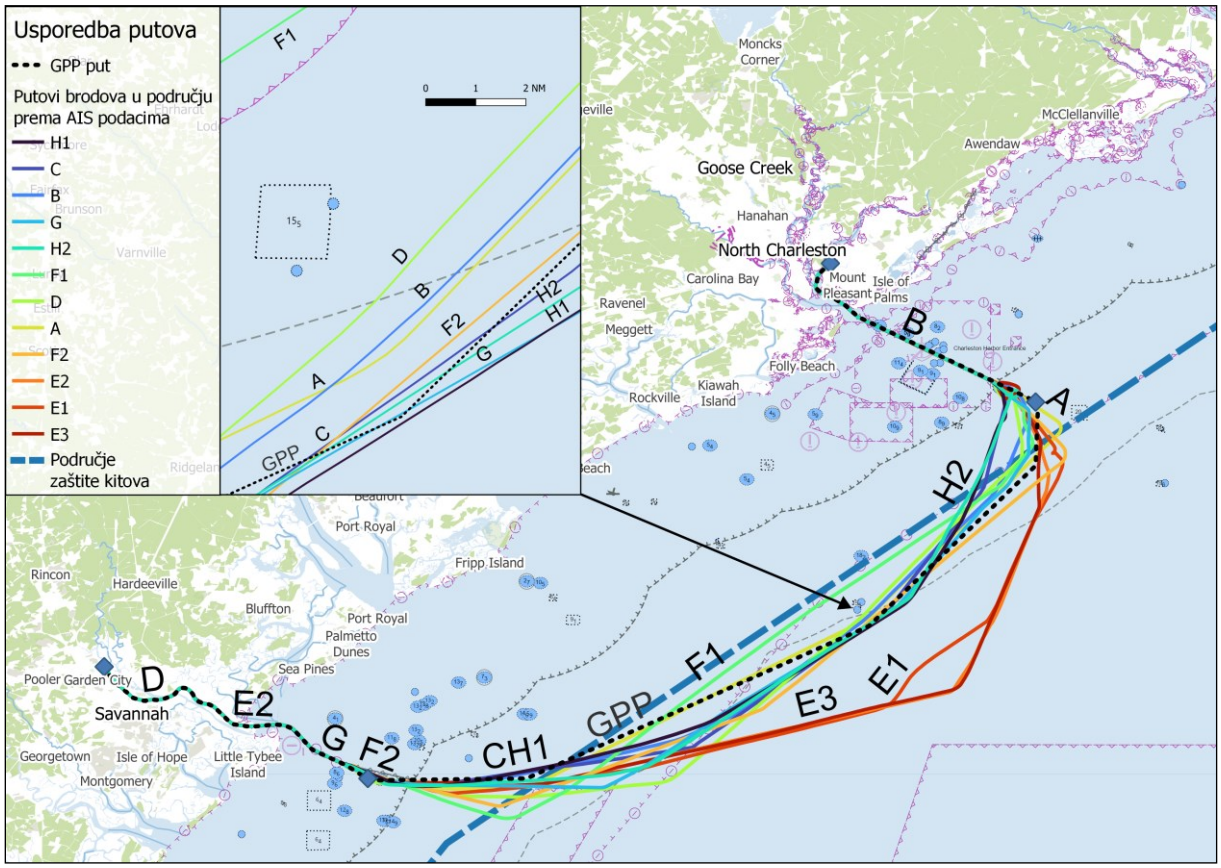


Slika 63. Toplinska karta određivanja sličnosti putova korištenjem diskretne Fréchetove udaljenosti (NM). Niža vrijednost i plavi dio spektra označavaju veću sličnost. Priredio autor

Jednostavnom usporedbom duljine puta ne može se uvijek jednoznačno usporediti obilježja putovanja, naročito za dulja putovanja u prostorno većim područjima od razmatranog. Od opaženih podataka, bitnih za razmatranje obilježja puta, valja spomenuti da su brodovi plovili izvan područja zaštite kitova i nakon isteka perioda zaštite (do kraja travnja svake godine). Također, brodovi su u svojim AIS podatcima navodili svoje najveće vrijednosti gaza, dok je samo brod C imao gaz od 12 m u putovanju. Nadalje, brodovi su plovili podalje od plitkoga obalnog područja, gdje su im preostale dubine usklađene sa zahtijevanim vrijednostima UKC-

a, te su udaljeniji od prepreka i opasnosti. Također, i prosječne brzine su relativno niske, načelno ispod 10 čvorova za većinu brodova.

Nakon razmatranja putova i putovanja dobivenih na temelju AIS zapisa i podataka, valja usporediti dobiveni algoritamski put s analiziranim vrijednostima. Ukupna duljina dobivenog algoritamskog puta iznosi 131,2 NM, što ga svrstava u središnji dio razdiobe duljina razmatranih putova. Dobivena vrijednost se nalazi unutar raspona od jedne standardne devijacije u odnosu na razdiobu duljine puta ostalih brodova. Za nastavak razmatranja potrebno je razmotriti prikaz vidljiv na Slici 64.



Slika 64. Usporedba putova razmatranih brodova i određenog globalnog puta. U okviru gore lijevo nalazi se uvećani prikaz blizine prolazaka brodova uz prepreku, umjetno stanište riba. Priredio autor koristeći QGIS

U glavnome okviru slike nalazi se usporedni prikaz putova svih brodova i GPP puta. Opažajući prostornu razdiobu putova, GPP put nalazi se u blizini većine putova ostalih brodova i vizualno je vrlo sličan putu broda A. Također, GPP put nalazi se u središnjem dijelu izvan područja zaštite kitova iako to područje nije razmatrano u modelu područja, obzirom da nije zabranjen ulazak, već se samo ograničava brzina kretanja brodova. Najmanja sličnost postoji s putovima brodova E1 i E3 koji ujedno imaju i najveću duljinu puta. Razmatrajući lijevi okvir Slike 64.

koji prikazuje uvećano područje oko umjetnih staništa riba, vidljivo je da se većina brodova udaljava približno na sličnoj udaljenosti kao što je određeno i GPP putom, odnosno 2 ili više NM od staništa. Na slici nisu vidljive plutače koje označavaju neposrednu blizinu staništa i točke iz kojih se stvorila sigurnosna zona od 2 NM kao što je prethodno prikazano tijekom opisa stvaranja modela područja i rešetke za pretraživanje.

Najzad, može se opaziti da je brod F1, čija su obilježja korištena za određivanje ograničenja i ulazne podatke algoritma, u jednome putovanju plovio neposredno uz granicu područja zaštite kitova i staništa riba, dok je u drugome plovio slično kao što je i određeno GPP putom.

Usporedbu određenih DFD udaljenosti putova brodova i GPP puta može se vidjeti u Tablici 29. Vidljiva je najveća sličnost s putom broda A, što se može potvrditi i opažanjem na prethodnoj slici. Uz brod A, najnižu DFD vrijednost i sličnost imaju brod B s vrijednosti od 2,7 NM i brod F2 s vrijednosti od 3,2 NM. Najmanju sličnost, i najvišu DFD vrijednost GPP put je imao s putovima broda E.

Tablica 29. Usporedba diskretne Fréchetove udaljenosti putova brodova u području i GPP puta (NM)

Brod	**A**	**B**	**C**	**D**	**E1**	**E2**	**E3**	**F1**	**F2**	**G**	**H1**	**H2**
GPP	2,0	2,7	3,9	6,0	8,1	9,9	10,0	4,3	3,2	4,0	4,3	4,2

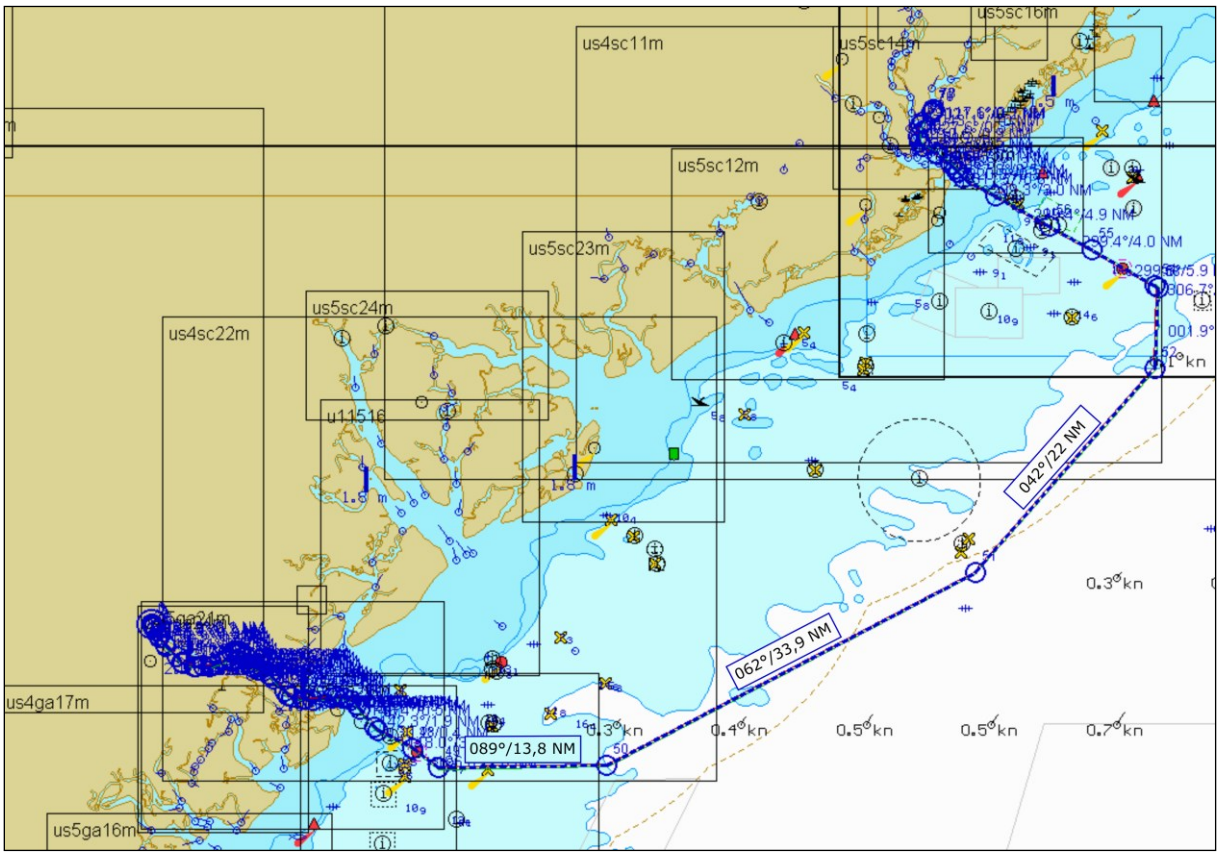
Govoreći o određivanju trajektorije određenog GPP puta, prethodno određene granične vrijednosti određene su prema najvećim mogućim brzinama plovidbe u pojedinim područjima, odnosno zahtijevanim UKC-om i izračunatim dodatnim zagažajem u pojedinim područjima.[312] Detaljno i dinamičko planiranje brzine za pojedine dijelove puta i pripadajuće trajektorije između ostalog ovise o smjeru i brzini struje, naročito u području luke Savannah, odnosno plovili se uz ili niz struju, vremenskim uvjetima, korištenju tegljača ili broju privezanih brodova radi koji se mora usporiti. Prema tome statičko određivanje brzina i trajektorija između međutočaka u prilaznom području valja smatrati načelnim, dok se stvarne brzine, kao što je prikazano na temelju AIS podataka, mogu znatno razlikovati za pojedine dijelove puta od planiranih. U svrhu generalizacije trajektorija u području opažanja, potreban je veći uzorak, jer je razmatrani broj brodova nedostatan za donošenje valjanih zaključaka o profilima trajektorija. Nadalje, da bi se sustavno karakteriziralo cjelokupna putovanja brodova, i razmotrilo moguće

[312] Vidjeti: *Tablica 25. Rezultati određivanja sigurnosne izobate i dubine za luku Savannah* i *Tablica 26. Rezultati određivanja sigurnosne izobate i dubine luka Charleston*

razloge odabira pojedinih brzina plovidbe između peljarskih postaja i luka, potrebno je razmotriti i ostale podatke. Oni uključuju javno dostupne podatke o općim meteorološkim, hidrološkim i oceanološkim uvjetima, primjerice utjecaja odabira brzine broda, sukladno raspoloživoj razini mora odnosno vode u pojedinom području. Također, moguće razloge odabira pojedine brzine može se razmatrati i u pogledu dolaska u određeno vrijeme na pristanište i prethodno na peljara. Arhive javnih podataka o vremenima dolaska najčešće nisu dostupne, međutim vremena dolaska mogu se odrediti iz AIS podataka, kako je prethodno opisano.

4.2. Studija slučaja u obalnom području korištenjem navigacijskog simulatora

Za potrebe studije slučaja u obalnome području koristio se ECDIS sustav, NTPRO 5000 navigacijskog simulatora u koji su unesene koordinate dobivenog puta. Nakon unosa napravljena je analiza pojedinačnih i općih obilježja puta, prikazanog na Slici 65.



Slika 65. Prikaz rezultata GPP planiranja prenesenog u ECDIS navigacijskog simulatora NTPRO 5000. Priredio autor slikovnim zapisima NTPRO 5000 navigacijskog simulatora.

Općenito razmatrajući elemente putovanja, oni se nalaze unutar očekivanih raspona vrijednosti koje su navedene na samome kraju prethodnoga poglavlja. Prevaljeni put je približno u sredini

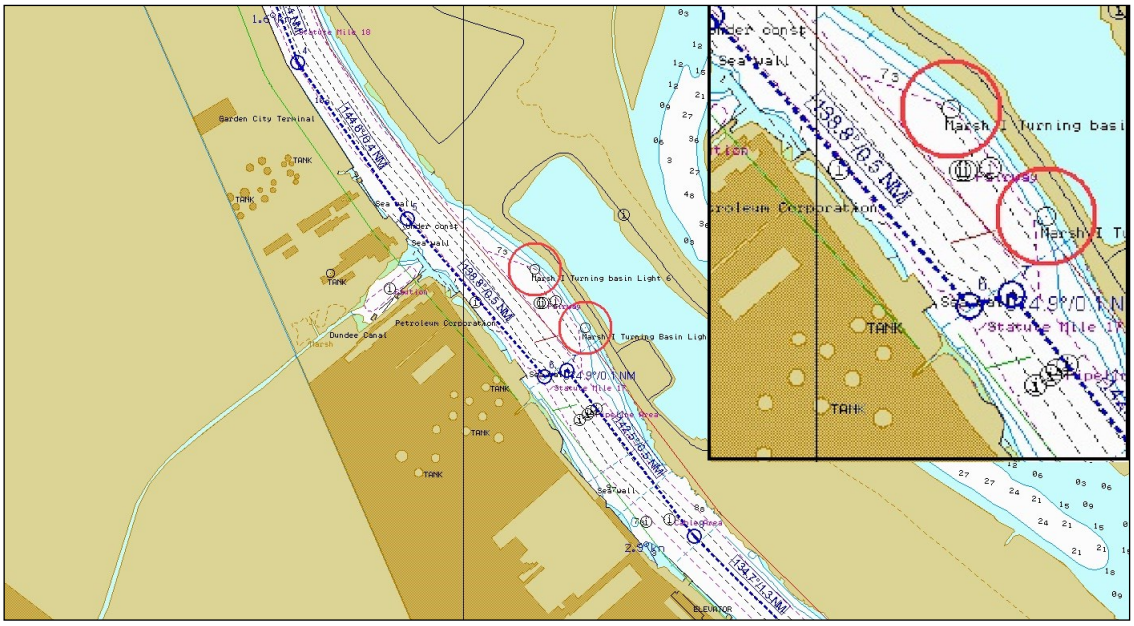
razdiobe puta, kao što se može vidjeti po prethodnim slikama i usporedbom s prethodnom statističkom analizom putovanja u razmatranom području. Također, i sama sličnost bliska je onoj za brodove koji su plovili približno sličnim putovima. To je i očekivani rezultat obzirom na obilježja područja i objekata koji predstavljaju prepreku brodovima i samim time ograničavaju moguća rješenja. Vanjski dio puta odgovara očekivanim rasponima kursova koje bi časnik pri planiranju izradio. To je posljedica stvaranja poligona koji obuhvaćaju različite objekte koji omogućavaju ili sprečavaju plovidbu, odnosno samih značajki plovidbenog područja, prepreka i ograničenja koje se nalaze u razmatranome području. Prepreke i sigurnosne zone oko objekata stvaraju prekid u prethodno stvorenoj H3 rešetki mogućeg plovidbenog područja. Govoreći o rješenju, prvo ograničenje odnosi se na dubine i izobate uz obalu, što je već prvim odabirom odvojilo plovidbeno od neplovidbenog područja. Također, ograničenju je pridonijelo i prisustvo prepreka koje uključuju umjetna staništa riba i pličine.

Nastavno, i sama CATZOC kategorizacija nepovoljnija je u ovome području u odnosu na ostatak područja, primjerice prilaza, što unosi daljnju neodređenost i sukladno tome stvara plovidbeno ograničenje. Sukladno tome, i ako se razmatra najkraći put između peljarskih postaja, prolazak obalnim područjem nije moguć i omogućava odvajanje tih područja ukoliko će se postupati po naputcima za sigurnu plovidbu. Nadalje, postavljene su početne vrijednosti sigurne izobate i konture prema prethodnim ograničenjima koje su zaokružene na višu vrijednost kako je to izvedeno u sučelju simulatora i vidljivo je na Slici 66.

Slika 66. Prikaz osnovnih horizontalnih i vertikalnih ograničenja u ECDIS simulatoru. Priredio autor koristeći slikovne zapise NTPRO 5000 navigacijskog simulatora

Za početne horizontalne postavke postavljene su minimalne vrijednosti za lijevu i desnu stranu kako bi se izbjegla nepotrebna upozorenja i uzbude, jer se brod nalazi unutar neposrednog

lučkog područja i prilaznog plovnog puta. Zatim je napravljena analiza pojedinih elemenata puta. Najprije se razmotrilo neposredno isplovljenje s pristana u Savannahu i plovidba prilaznim plovnim putom. Uz rezultat GPP-a, odnosno dobivenog puta, vidljive su suvišne međutočke, koje nisu u cijelosti uklonjene postupcima pojednostavljivanja i izglađivanja kao što je prikazano na Slici 67. Riječ je od međutočkama stvorenim tijekom određivanja GPP-a. To su vrhovi šesterokuta kojim je stvoren model prostora, u ovome slučaju dijela plovnoga puta čiji broj ovisi o rezoluciji šesterokutne H3 rešetke. Kao primjer mogu se uočiti dva vrha (međutočke 6 i 7) čiji je uvećani prikaz vidljiv u povećanome desnome okviru Slike 67.

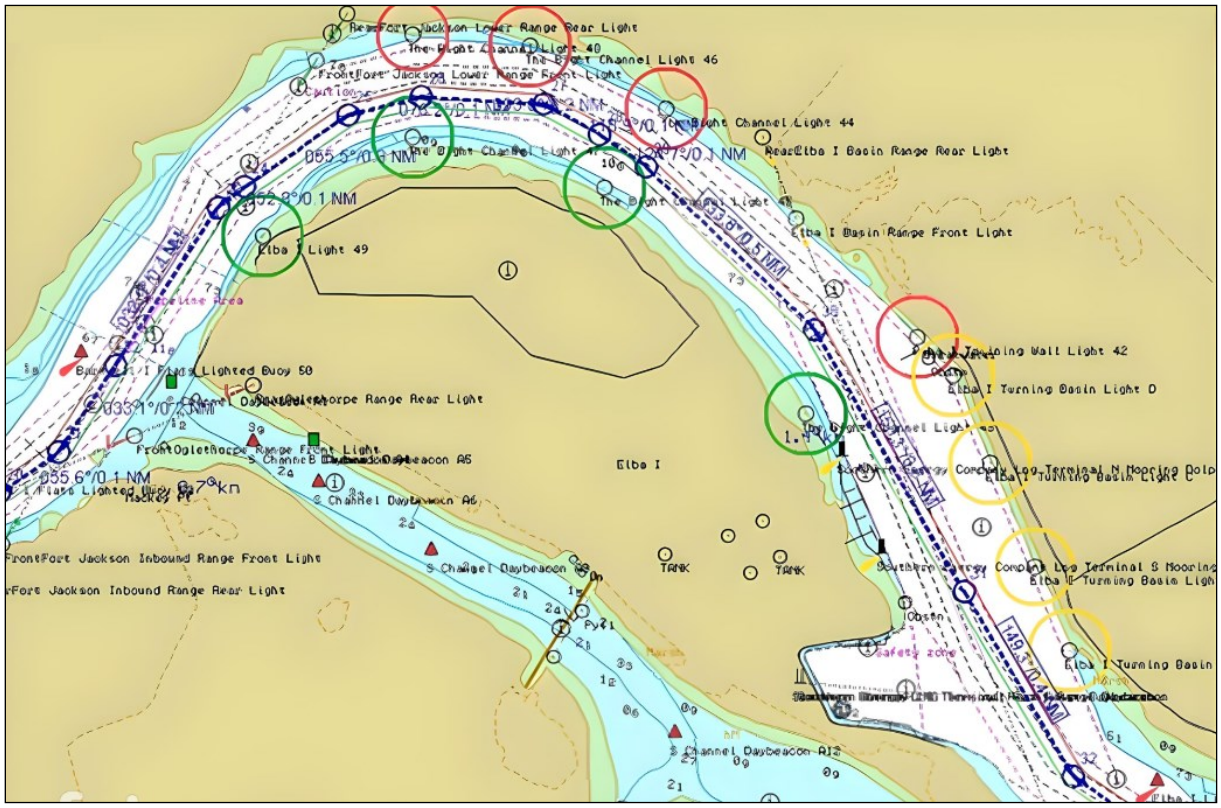


Slika 67. Prikaz prilaznoga plovnoga puta i suvišnih međutočaka. Priredio autor koristeći slikovne zapise NTPRO 5000 navigacijskog simulatora

Razmak između međutočaka manji je od 100 m, i vidljivo je da nije prikladan za izvođenje putovanja broda. Međutim, ukoliko se smanji tolerancija algoritma pojednostavljivanja, tada se lokalno poboljšava generirani put i uklanjaju prikazane međutočke. Naime, obilježje procesa pojednostavljivanja je da pojedini elementi puta značajnije doprinose promjeni, pa poboljšanje na jednome dijelu pogoršava drugi dio krivulje, odnosno puta. Kod izglađivanja, B-splajnom moglo se kontrolirati krivulju s više parametara, pa se izmjenom vrijednosti parametara moglo djelomično poboljšati oblik ili izglađenost krivulje, no opet do određene mjere, jer bi poboljšavanjem izglađivanja dolazilo do stvaranja dijelova puta koji bi izlazili izvan područja prilaznog plovnog puta odnosno kanala.

Nadalje, valja spomenuti i blizinu GPP desnoj obali prilaznog plovnoga puta. To je posljedica odabira najkraćeg puta, određenog Dijkstrinim algoritmom, koji ide uz brid granice poligona

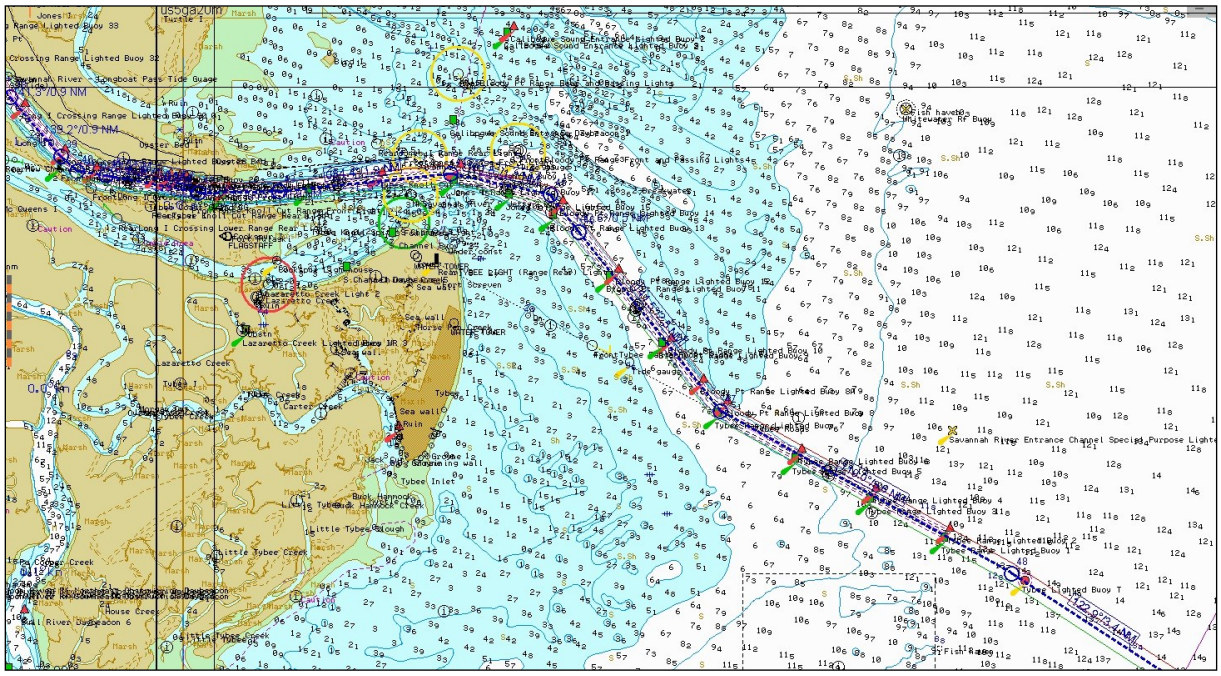
koji predstavlja prilazni plovni put kao što se moglo vidjeti na Slici 50. U sljedećoj iteraciji put je poboljšan udaljavanjem od ruba načinom koji je bio prikazan na Slici 53. Kao što je prethodno opisano ostavljena je sigurnosna zona, kojom se brod udaljio od granice plovnoga puta, bliže sredini u odnosu na brid poligona koji predstavlja granicu kanala. Postavljanjem sigurnosnih zona zapravo se pridonosi stvaranju najkraćeg puta u granicama sigurnosnih ograničenja i put je uvjetno rečeno blizak planiranome putu odnosno ruti koju bi stvorio navigator. U nastavku je prikazan dio puta prema izlaznome plovnom putu kao što se može vidjeti na Slici 68.



Slika 68. Prikaz dobivenog puta u zavojitom dijelu prilaznoga plovnog puta luke Savannah. Priredio autor koristeći slikovne zapise NTPRO 5000 navigacijskog simulatora

U ovome dijelu puta prikazana je prihvatljiva usklađenost GPP algoritma sa zahtjevima planiranja, što se može opaziti kod prolaska uz otok Elbe. Uz te rezultate valja istaknuti i nešto veći broj međutočaka koje su posljedica veličine šesterokutne rešetke kojom je stvoren model prostora. Valja napomenuti da se povećavanjem H3 rezolucija, smanjuje veličina bridova rešetke i udaljenost vrhova, put postaje prihvatljiviji, odnosno vjerniji i lakše ga je izgladiti. Međutim, trošak izračunavanja je povećan, potrebno je dulje vrijeme za generiranje rešetke i pretraživanje najkraćega puta jer je povećan broj međutočaka. Sukladno tome, potrebno je prilagoditi rezoluciju ovisno o veličini područja za koje se izračunava najkraći put. Koliko će

rezolucija biti ovisi o području plovidbe i dostupnim NP-ovima za područje plovidbe. Navedeno valja detaljnije razmotriti u budućim istraživanjima, razmotrivši vrijednosti dostupnih NP-ova i mogućnosti koju pruža H3 proširenje, naročito u kontekstu indeksiranja pojedinih šesterokuta i funkcija. Mogućnosti se odnose na provjeru objekata koji se nalaze u šesterokutu, poput podrtina, plutača ili drugih značajnih ENC objekata i njihova indeksiranja čime se može ubrzati proces pretraživanja prema postavljenim ograničenjima.



Slika 69. Izlazak iz luke Savannah i plovidba prilaznim kanalom

Dio puta na izlazu iz luke Savannah prikazan je na Slici 69. U ovome dijelu, put je usklađen s ograničenjima kanala kako je prethodno prikazano u opisu stvaranja modela područja. Granice kanala, plutače i blizina pličina predstavljaju prepreku, kako za pretraživanje, tako i za brodove koji plove u prikazanome području ili su njime plovili, kako je prikazano kroz analizu plovidbe područjem korištenjem AIS podataka. Slično opažanje može se primijeniti i za luku Charleston gdje je GPP put određen bliže desnoj strani prilaznog kanala u odnosu na središnjicu, što je prethodno opisano u poglavlju o opisu stvaranja algoritma i pripadajućeg područja plovidbe. Ukratko, prethodno postavljena statička ograničenja, pripremljeni objekti u bazi podataka i postupci koji se u određenoj mjeri temelje na klasičnom planiranju putovanja omogućavaju prilagodbu općeg globalnog planiranja puta. Dobivena GPP rješenja omogućavaju osnovnu primjenu u sustavu ECDIS, razmatrajući postavljene granične vrijednosti. Međutim, potrebno je uključiti i razmotriti ostale dostupne ENC objekte i njihov utjecaj na mogući put. Također, za stvaranje potpunih i cjelovitih rješenja valja razmotriti i preostale čimbenike koji utječu na

planiranje. To su tehnološki pristupi kojima bi se moglo koristiti i ostale izvore navigacijskih informacija poput peljara i drugih prethodno opisanih publikacija, naročito u okviru nadolazećih standarda koji pružaju znatno raznovrsnije i bogatije mogućnosti u odnosu na postojeće.

Analizirajući rezultate određenog algoritamskog puta, može se utvrditi sličnost s putovima stvarnih brodova. To se moglo i očekivati sukladno obilježjima područja i prethodnim metodološkim koracima, prvenstveno onima koji proizlaze iz klasičnog planiranja putovanja. Nadalje, intenzivnijim korištenjem ENC objekata u pripremljenoj bazi podataka stvorena je osnova koja se može razmjerno jednostavno prilagoditi za određivanje najkraćeg puta u različitim sustavima podrške odlučivanju. Vrijedi spomenuti da je korištenjem sigurnih vrijednosti izobata, dubina, i horizontalnih sigurnosnih zona prema ostalim objektima poput podrtina, prepreka i plutača brod na određenom algoritamskom putu siguran, no u pojedinim područjima korištene početne vrijednosti mogu biti previše restriktivne. Dio sličnosti između algoritamskog i stvarnih putova uvjetovana je i odabirom područja te ograničenim brojem ostvarivih putova koji se mogu očekivati u uobičajenim uvjetima. Pod njima se podrazumijeva da vremenski uvjeti nisu ekstremni ili da se u području ne očekuje iznimno odstupanje od očekivane gustoće prometa ili dinamičkih prepreka. Iako se u planiranju razmatralo statičko, odnosno posve poznato okružje, usporedbom algoritamskog i stvarnih putova koji su napravljeni na temelju AIS podataka o plovidbi u dinamičkim uvjetima nisu uočena veća odstupanja. Stvarni putovi se u manjoj mjeri razlikuju od najkraćih mogućih putova između luka, što se može pripisati izbjegavanju drugih brodova, objekata ili prihvaćanju peljara, kao što je prethodno opisano ili prikazano. Međutim, za pouzdaniju generalizaciju, potrebno je modelirati druga i raznovrsnija područja i u njima odrediti put.

Valja još spomenuti da je pri planiranju puta korišten „klasični“ Dijkstrin algoritam kojim se relativno brzo pretražilo model prostora i odredilo rješenje. Za buduća istraživanja potrebno je razmotriti i druge dostupne algoritme, kako bi se razmotrila njihova primjenjivost prema stvorenoj metodologiji. To se naročito odnosi na kontekst primjene svih ENC objekata i planiranja između vrlo udaljenih luka, gdje će mogućnost smanjivanja računalnog troška pretraživanja biti vrlo značajna, obzirom na povećanje količine podataka. U tu je svrhu potrebno razmotriti sve prisutnije mogućnosti korištenja današnjih i nadolazećih tehnologija poput strojnog učenja i umjetne inteligencije kojima se mogu nadomjestiti ograničenja „klasičnih“ algoritama čija je velika prednost, ali i nedostatak, upravo jednostavnost. U tome smjeru treba spomenuti i odrednice koje se odnose na stvaranje baze podataka i korištenje ENC objekata.

Prikazani postupci temeljili su se na standardnim geometrijskim funkcijama i pripadajućim upitima usklađenim s važećim geoprostornim standardima koji su primjenjivi ne samo u Postgres/PostGIS izvedbi, već i za većinu drugih baza podataka s prostornim proširenjima, bilo besplatnih ili komercijalnih. Kao što je prikazano, put je moguće provjeriti u ECDIS sustavu, od kojih većina podržava uvoz raznovrsnih formata zapisa i unosa ruta ili putova, koji se mogu generirati tijekom ili nakon određivanja puta. Kao takva, metodologija se može razmjerno jednostavno implementirati u neovisni modul za planiranje puta, međutim, učinkovitija bi bila neposredna integracija s ECDIS sustavom, bilo pojednostavljenih ili ograničenih mogućnosti namijenjen isključivo za testiranje. Nažalost, u trenutku dovršenja doktorskog rada ta mogućnost još uvijek nije dostupna.

5. ZAKLJUČAK

U ovom doktorskom radu sustavno je razmotreno i povezano nekoliko da sada nedostatno povezanih područja istraživanja. Ponajprije, razmotrena su obilježja globalnog planiranja puta, načela stvaranja modela statičkog okružja i njihova primjena u sadašnjim pristupima planiranja putovanja. Također su utvrđene razlike između planiranja puta i određivanja rute u kontekstu klasičnog pomorskog planiranja putovanja i globalnog planiranja puta koje se razmatra u drugim znanstvenim disciplinama poput robotike. Iz općeg pregleda različitih pristupa globalnog planiranja puta istraživanje je usmjereno prema analizi primjene ENC-ova u globalnom planiranju puta. Prema rezultatima istraživanja, ENC-ovi se vrlo malo koriste za modeliranje okružja i za globalno planiranje puta. Najčešće se koristi nekoliko algoritama od kojih najviše A* i Dijkstrin algoritam. Također, pristupi koji koriste ENC-ove, primjenjuju jedan ili rjeđe više ENC-ova koristeći manji broj objekata i pripadajućih atributa. Sukladno tome, izdvojeno je nekoliko izazova za koje je razvijena metodologija koje omogućava njihovo prevladavanje.

Prvi izazov odnosi se na dostupnost ENC-ova i AIS podataka koje javno i besplatno nudi samo nekoliko država. Drugi izazov predstavlja korištenje ENC-ova izvan ECDIS-a, sukladno ograničenjima IHO S-57 standarda i dostupnih aplikacija kojima bi se moglo istraživati GPP i koristiti ENC-ove. Sljedeći izazov korištenja, odnosi se na upravljanje velikim brojem objekata koji čine ENC-ove. Nastavno, bilo je potrebno unaprijediti GPP diskretni algoritam radi dobivanja prikladnih rješenja. Konačno, valjalo je dobiveni put usporediti s putovima stvarnih brodova. U radu je sukladno tome stvorena metodologija koja ima nekoliko sastavnica usklađenih prema postavljenim izazovima. To se odnosi na prikupljanje i unos podataka, pretvorbu ENC objekata u oblik pogodan za korištenje GPP algoritama, i njihovog unaprjeđenja optimizacijom modeliranja prostora, izglađivanja, određivanje brzina potrebnih za trajektorije i konačno analizu putova brodova.

Prva metodološka sastavnica odnosi se na izvore, prikupljanje i obradu javno dostupnih podataka koje je moguće reproducirati. Prikazan je način prikupljanja i pripreme podataka iz javno dostupnih izvora koji uključuju ENC-ove, AIS podatke te podatke o lukama i terminalima. Druga sastavnica odnosi se na pripremu objekata ENC-ova i stvaranje objektno-relacijske baze u koju se podaci pohranjuju. Za sve faze istraživanja korišteni su besplatni programi, baze i proširenja otvorenog koda kojima je moguće dijeliti podatke i kod, replicirati rezultate i još bitnije, dalje unaprjeđivati pristupe. Nakon unosa, stvorene su jedinstvene relacije

čiji su elementi objekti pojedinačnih ENC-ova različitih navigacijskih primjena, koji se prostorno ne preklapaju. Sljedeća metodološka sastavnica odnosi se na stvaranje modela prostora, kojeg čine osnovni objekti ENC-a, točke, linije, poligoni i njihovi atributi i po potrebi sigurnosne zone. Osnovnu strukturu pretraživanja činila je pravilna šesterokutna H3 rešetka, koja ima usklađene veličine bridova rešetki prema unaprijed određenim rezolucijama. Da bi se dobilo moguće područje pretraživanja, odnosno plovidbe, s H3 rešetkom napravljen je presjek značajnim ENC objektima poput dubina, izobata, podrtina, plutača, kontura obala ili prilaznih plovnih putova i niza njihovih atributa. Rezultat tih geometrijskih operacija predstavlja model prostora koji je podloga diskretnom Dijkstrinom algoritmu kojim se određuje globalno najkraći put, čime se ubrzalo pretraživanja prostora, odnosno vrijeme izvođenja pretraživanja. Stvorenim postupcima, algoritmima i programskim kodom stvaranja modela prostora, omogućena je prilagodba pri promjeni mjerila, namjenskog raspona i rezolucije rešetke. Također, ograničavanje prostora pretraživanja napravljeno je na temelju uvriježenih postupaka iz planiranja putovanja. Sukladno tome određena su vertikalna i horizontalna ograničenja koja su se povezala s određivanjem granične brzine broda za pojedino plovidbeno područje i time odredile trajektorije. Ograničenja su dobivena korištenjem podataka stvarnog kontejnerskoga broda i njegovog modela u navigacijskom simulatoru kako bi se što više približilo realističnim uvjetima. Konačno, dobiveni algoritamski putovi su se pojednostavili RDP i VEA algoritmima i izgladili B-splajnovima.

Također, razvijena je metodološka sastavnica kojom se može usporediti duljine i sličnost putova i ostalih značajki putovanja brodova. Metodologija je primjenjiva za usporedbu pojedinačnih brodova, kategorija, ali i flota brodova jednoga ili više brodara, što se rijetko istražuje. U doktorskom radu u tu je svrhu analizirana flota kontejnerskih brodova istoga brodara, koja uključuje i razmatrani brod u istraživanju. Analizirani su AIS podatci za područje odabranih luka u periodu od šest mjeseci i napravljena statistička analiza njihovih putova. Također, unaprijeđena je funkcija određivanja diskretne Fréchetove udaljenosti koja omogućava istovremeno određivanje većeg broja putova. Kao rezultat istraživanja, metodologija i rezultati analize putovanja već su javno objavljeni u znanstvenom časopisu dok su cjelokupan programski kod, podaci i rezultati javno dostupni putem Zenodo repozitorija. Na temelju tih postupaka i rezultata napravljena je usporedba empirijskih putova i rezultata algoritamskog planiranja. Razmatrajući duljinu, algoritamski put se nalazio unutar raspona izvedenih putova analiziranih brodova, čime je validirana GPP metodologija. Slično je potvrđeno i korištenjem diskretne Fréchetove udaljenosti. Konačno, prostorno je razmotren

algoritamski put u okviru ECDIS-a navigacijskog simulatora. Put se nalazio unutar granica plovidbenih područja sigurnih za navigaciju, čime je potvrđena primjenjivost u planiranju putovanja. Prema prikazanome može se utvrditi da je potvrđena postavljena znanstvena hipoteza.

Za buduća istraživanja, potrebno je razmotriti način pojednostavljivanja stvaranja jedinstvenih relacija, odnosno tablica objekata ENC-ova u bazi podataka. Također, potrebno je istražiti primjenu još većeg broja objekata koji nisu korišteni u istraživanju, kao što su npr. sheme odvojenog prometa, preporučeni smjerovi plovidbe i druge informacije dostupne primarno s ENC-ova, ali i drugih izvora navigacijskih informacija. Nadalje, primjenjivost metodologije mora se testirati na većem broju ENC-ova i prostorno većim i raznovrsnijim područjima. Također, potrebno je dodatno razmotriti postupke pojednostavljivanja i izglađivanja s drugim algoritmima, da bi se dobio optimalan pristup, bilo po fazama navigacije, ENC-ovima ili mjerilu. Konačno, u budućim istraživanjima valja razmotriti mogućnosti S-100 standarda koji je razvijen s namjerom korištenja raznovrsnih formata, tipova i razmjene podataka u skladu s mogućnostima modernih tehnologija.

POPIS LITERATURE

RADOVI U ZNANSTVENIM ČASOPISIMA I ZBORNICIMA

1. Agarwal, P.K., Ben Avraham, R., Kaplan, H., Sharir, M., 2013. Computing the Discrete Fréchet Distance in Subquadratic Time, in: Proceedings of the 2013 Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms (SODA), Proceedings. Society for Industrial and Applied Mathematics, pp. 156–167. https://doi.org/10.1137/1.9781611973105.12
2. Ari, I., Aksakalli, V., Aydogˇdu, V., Kum, S., 2013. Optimal ship navigation with safety distance and realistic turn constraints. European Journal of Operational Research 229, 707–717. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.03.022
3. Arnold, L.L., Zandbergen, P.A., 2011. Positional accuracy of the wide area augmentation system in consumer-grade GPS units. Computers & Geosciences 37, 883–892. https://doi.org/10.1016/j.cageo.2010.12.011
4. Blaich, M., Wirtensohn, S., Reuter, J., Hahn, A., 2015. Trajectory generation for vessels using a reachability graph, in: MTS/IEEE OCEANS 2015 - Genova: Discovering Sustainable Ocean Energy for a New World. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. https://doi.org/10.1109/OCEANS-Genova.2015.7271471
5. Blindheim, S., Johansen, T.A., 2021. Electronic Navigational Charts for Visualization, Simulation, and Autonomous Ship Control. IEEE Access 1–1. https://doi.org/10.1109/access.2021.3139767
6. Bousquin, J., 2021. Discrete Global Grid Systems as scalable geospatial frameworks for characterizing coastal environments. Environmental Modelling & Software 146, 105210. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105210
7. Brčić, D., Žuškin, S., Valčić, S., Frančić, V., 2018. Implementation of the ECDIS system: An OOW perspective as an integral part of educational improvement. AGA 2018 - 19th Annual General Assembly (AGA) of the International Association of Maritime Universities (IAMU) 121.
8. Brčić, D., Žuškin, S., Valčić, S., Rudan, I., 2019. ECDIS transitional period completion: analyses, observations and findings. WMU Journal of Maritime Affairs 18, 359–377.
9. Briggs, M., Kopp, P.J., Silver, A.L., Wiggins, W., 2015. Probabilistic model for predicting deep-draught channel design: Savannah, GA entrance channel. Ocean Engineering 108, 276–286. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.07.047

10. Calder, B.R., 2015. On Risk-Based Expression of Hydrographic Uncertainty. Marine Geodesy 38, 99–127.
11. 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 8, 842. https://doi.org/10.3390/jmse8110842
12. Châari, I., Koubâa, A., Trigui, S., Bennaceur, H., Ammar, A., Al-Shalfan, K., 2014. SmartPATH: An efficient hybrid ACO-GA algorithm for solving the global path planning problem of mobile robots. International Journal of Advanced Robotic Systems 11. https://doi.org/10.5772/58543
13. Chen, Y., Cai, Y., Zheng, J., Thalmann, D., 2017. Accurate and Efficient Approximation of Clothoids Using Bézier Curves for Path Planning. IEEE Transactions on Robotics 33, 1242–1247. https://doi.org/10.1109/TRO.2017.2699670
14. Contarinis, S., Pallikaris, A., Nakos, B., 2020. The Value of Marine Spatial Open Data Infrastructures—Potentials of IHO S-100 Standard to Become the Universal Marine Data Model. Journal of Marine Science and Engineering 8, 564. https://doi.org/10.3390/jmse8080564
15. Davoodi, M., Panahi, F., Mohades, A., Hashemi, S.N., 2013. Multi-objective path planning in discrete space. Applied Soft Computing 13, 709–720. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2012.07.023
16. Ferguson, D., Likhachev, M., Stentz, A., 2005. A guide to heuristic-based path planning, in: Proceedings of the International Workshop on Planning under Uncertainty for Autonomous Systems, International Conference on Automated Planning and Scheduling (ICAPS). pp. 1–10.
17. Galić, S., Lušić, Z., Mladenović, S., Gudelj, A., 2022. A Chronological Overview of Scientific Research on Ship Grounding Frequency Estimation Models. Journal of Marine Science and Engineering 10, 207. https://doi.org/10.3390/jmse10020207
18. Gasparetto, A., Boscariol, P., Lanzutti, A., Vidoni, R., 2015. Path planning and trajectory planning algorithms: A general overview, in: Mechanisms and Machine Science. pp. 3–27. https://doi.org/10.1007/978-3-319-14705-5_1.
19. Glomsvoll, O., Bonenberg, L.K., 2017. GNSS Jamming Resilience for Close to Shore Navigation in the Northern Sea. J. Navigation 70, 33–48. https://doi.org/10.1017/S0373463316000473

20. Goerzen, C., Kong, Z., Mettler, B., 2009. A survey of motion planning algorithms from the perspective of autonomous UAV guidance. Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications 57, 65. https://doi.org/10.1007/s10846-009-9383-1
21. Gonzalez, D., Perez, J., Milanes, V., Nashashibi, F., 2016. A Review of Motion Planning Techniques for Automated Vehicles. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 17, 1135–1145. https://doi.org/10.1109/TITS.2015.2498841
22. Gourlay, T.P., 2011. A brief history of mathematical ship-squat prediction, focussing on the contributions of E.O. Tuck. J Eng Math 70, 5–16.
23. Guo, S., Zhang, X., Zheng, Y., Du, Y., 2020. An autonomous path planning model for unmanned ships based on deep reinforcement learning. Sensors (Switzerland) 20, 426. https://doi.org/10.3390/s20020426
24. Hare, R., Eakins, B., Amante, C., 2011. Modelling Bathymetric Uncertainty. The International Hydrographic Review.
25. Harris, C.R., et al., 2020. Array programming with NumPy. Nature 585, 357–362. https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2
26. Hohenkerk, C., Kemp, J., Nibbs, B., 2012. Astro Navigation Remembered. J. Navigation 65, 381–395. https://doi.org/10.1017/S0373463312000033
27. Jekel, C.F.; Venter, G.; Venter, M.P.; Stander, N.; Haftka, R.T. Similarity measures for identifying material parameters from hysteresis loops using inverse analysis. Int. J. Mater. Form. 2019, 12, 355–378. https://doi.org/10.1007/s12289-018-1421-8.
28. Januszewski, J., 2014. Shipborne satellite navigation systems receivers, exploitation remarks. Zeszyty Naukowe/Akademia Morska w Szczecinie.
29. Jeong, M.G., Lee, E.B., Lee, M., 2019. An Adaptive Route Plan Technique with Risk Contour for Autonomous Navigation of Surface Vehicles, in: OCEANS 2018 MTS/IEEE Charleston, OCEAN 2018. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. https://doi.org/10.1109/OCEANS.2018.8604638
30. Jia, S., Dai, Z., Zhang, L., 2019. Automatic Ship Routing with High Reliability and Efficiency between Two Arbitrary Points at Sea. Journal of Navigation 72, 430–446. https://doi.org/10.1017/S0373463318000814
31. Kamis, A.S., Fuad, A.F.A., Anwar, A.Q., 2022. Systematic Literature Review on Wheel-over Point Techniques for Efficient Ship Manoeuvre. Transactions on Maritime Science 11.

32. Kamis, A.S., Fuad, A.F.A., Ashaari, A., Noor, C.W.M., 2021. Wheel over point mathematical model. Ocean Systems Engineering 11, 203–216. https://doi.org/10.12989/ose.2021.11.3.203
33. Kastrisios, C., Dyer, N., Nada, T., Contarinis, S., Cordero, J., 2023. Increasing Efficiency of Nautical Chart Production and Accessibility to Marine Environment Data through an Open-Science Compilation Workflow. ISPRS International Journal of Geo-Information 12, 116. https://doi.org/10.3390/ijgi12030116
34. Kastrisios, C., Ware, C., 2022. Textures for coding bathymetric data quality sectors on electronic navigational chart displays: design and evaluation. Cartography and Geographic Information Science 0, 1–20.
35. Köckritz, O., Kurowski, M., Grunert, D., Korte, H., Hahn, A., 2016. From Nautical Path Planning in ECDIS to Their Realisation Applied for Fully Actuated Ships. IFAC-PapersOnLine 49, 115–120. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.10.330
36. Kos, S., Pongračić, B., Brčić, D., 2019. A study on multi-constellation GNSS positioning performance in terms of maritime requirements.
37. Kristic, M., Žuškin, S., Brčić, D., Car, M., 2021. Overreliance on ECDIS technology: A challenge for safe navigation. TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation Vol. 15 No, 277–287. https://doi.org/10.12716/1001.15.02.02
38. 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 8, 566. https://doi.org/10.3390/jmse8080566
39. Kronenfeld, B., Stanislawski, L., Buttenfield, B., Brockmeyer, T., 2019. Simplification of Polylines by Segment Collapse: Minimizing Areal Displacement While Preserving Area. International Journal of Cartography 6, 1–25. https://doi.org/10.1080/23729333.2019.1631535
40. Lee, W., Choi, G.H., Kim, T. wan, 2021. Visibility graph-based path-planning algorithm with quadtree representation. Applied Ocean Research 117, 102887. https://doi.org/10.1016/j.apor.2021.102887
41. Lekkas, A., Fossen, T., 2013. Line-of-Sight Guidance for Path Following of Marine Vehicles
42. Liang, C., Zhang, X., Watanabe, Y., Zhao, B., 2021. Novel L+ and FO L+ algorithms based on ENC data for automatic route planning of ships. Ocean Engineering 235, 109389. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.109389

43. Liu, S., Wang, C., Zhang, A., 2019. A Method of Path Planning on Safe Depth for Unmanned Surface Vehicles Based on Hydrodynamic Analysis. Applied Sciences 2019, Vol. 9, Page 3228 9, 3228. https://doi.org/10.3390/APP9163228
44. Lovrinčević, D., Kljajić, I., 2014. Overview of standards for electronic navigational charts. Naše more: znanstveni časopis za more i pomorstvo 61, 52–59.
45. Lu, R., Turan, O., Boulougouris, E., Banks, C., Incecik, A., 2015. A semi-empirical ship operational performance prediction model for voyage optimization towards energy efficient shipping. Ocean Engineering 110, 18–28. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.07.042
46. Lušić, Z., Kos, S., 2013. Ranking of sailing routes according to the potential number of groundings. Transport 28, 295–301. https://doi.org/10.3846/16484142.2013.831374
47. Lušić, Z., Kos, S., Galić, S., 2014. Ujednačavanje načina crtanja kursova i izbora točaka okreta u pomorskoj navigaciji. Promet - Traffic - Traffico 26, 313–322. https://doi.org/10.7307/ptt.v26i4.1437
48. Madkour, A., Aref, W.G., Rehman, F.U., Rahman, M.A., Basalamah, S., 2017. A Survey of Shortest-Path Algorithms. arXiv preprint arXiv:1705.02044.
49. Maka, J, Magaj, J.-Z.N.M., 2012, 2012. Data extraction from an electronic S-57 standard chart for navigational decision systems. Yadda.Icm.Edu.Pl 30, 83–87.
50. Malkin, R., 2014. Understanding the Accuracy of Astro Navigation. J. Navigation 67, 63–81. https://doi.org/10.1017/S0373463313000520
51. Mazaheri, A., Ylitalo, J., 2010. Comments on Geometrical Modeling of Ship Grounding, in: 5th International Conference on Collision and Grounding of Ships (ICCGS 2010), Espoo, Finland, 14th-16th June 2010. Aalto ARTS Books.
52. Mohović, Djani, Mohović, R., Rudan, I., 2013. Simulation of ship movement after steering system failure to determine the worst-case scenario of grounding. Promet-Traffic&Transportation 25, 457–456. https://doi.org/10.7307/ptt.v25i5.1194
53. Mohović, Đ., Mohović, R., Rudan, I., 2012. Ship Track and Speed Model in Case of Steering Gear Breakdown with Rudder Remaining Fix at non-Zero Angle. Brodogradnja: Teorija i praksa brodogradnje i pomorske tehnike 63, 117–124.
54. Montenbruck, O., Steigenberger, P., Hauschild, A., 2020. Comparing the 'Big 4' - A User's View on GNSS Performance, in: 2020 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS). Presented at the 2020 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS), pp. 407–418. https://doi.org/10.1109/PLANS46316.2020.9110208

55. Nie, P., Chen, Z., Xia, N., Huang, Q., Li, F., 2021. Trajectory similarity analysis with the weight of direction and k-neighborhood for ais data. ISPRS International Journal of Geo-Information 10, 757. https://doi.org/10.3390/ijgi10110757
56. Nyberg, J., Pe'eri, S., Catoire, S., Harmon, C., 2020. An overview of the NOAA ENC Re-Scheming Plan. International Hydrographic Review 7–20.
57. Ogunlere, S., Idowu, S., 2015. Comparison Analysis of Object-Based Databases, Object-Oriented Databases, and Object Relational Databases. Asian Journal of Computer and Information Systems 3.
58. Pajković, M., 2021. Iz antologije tehnologijskog prava: autonomni brod i drugi napredni objekti u novom pomorskom zakoniku – de lege ponderanda. Zbornik radova Pravnog fakulteta u Splitu 58, 875–906.
59. Park, D., Park, J., Kwon, D., Kwon, H.-C., Park, S., 2013. Design of Data Structure for System ENC Kernel, in: 2013 International Conference on IT Convergence and Security (ICITCS). Presented at the 2013 International Conference on IT Convergence and Security (ICITCS), pp. 1–3. https://doi.org/10.1109/ICITCS.2013.6717821.
60. Park, D., Park, S., 2015. E-Navigation-supporting data management system for variant S-100-based data. Multimed Tools Appl 74, 6573–6588. https://doi.org/10.1007/s11042-014-2242-5
61. Piovesana, A., Senior, G., 2018. How Small Is Big: Sample Size and Skewness. Assessment 25, 793–800. https://doi.org/10.1177/1073191116669784
62. Porathe, T., 2021. Human-automation interaction for autonomous ships: decision support for remote operators. TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation Vol. 15 No. 3. https://doi.org/10.12716/1001.15.03.03
63. Powell, J., 2011. The new electronic chart product specification S-101: An overview. TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation 5, 167–171.
64. Qureshi, A.H., Miao, Y., Simeonov, A., Yip, M.C., 2021. Motion Planning Networks: Bridging the Gap between Learning-Based and Classical Motion Planners. IEEE Transactions on Robotics 37, 48–66. https://doi.org/10.1109/TRO.2020.3006716
65. Ravankar, A., Ravankar, A.A., Kobayashi, Y., Hoshino, Y., Peng, C.C., 2018. Path smoothing techniques in robot navigation: State-of-the-art, current and future challenges. Sensors (Switzerland) 18. https://doi.org/10.3390/s18093170

66. Reed, S., Schmidt, V.E., 2016. Providing Nautical Chart awareness to autonomous surface vessel operations. OCEANS 2016 MTS/IEEE Monterey 1–8. https://doi.org/10.1109/OCEANS.2016.7761472
67. Rutkowski, G., 2016. Determining Ship's Safe Speed and Best Possible Speed for Sea Voyage Legs. TransNav 10, 425–430. http://doi.org/10.12716/1001.10.03.07
68. Rutkowski, G., 2020. Determining the Best Possible Speed of the Ship in Shallow Waters Estimated Based on the Adopted Model for Calculation of the Ship's Domain Depth. Polish Maritime Research 27, 140–148. https://doi.org/10.2478/pomr-2020-0055
69. Rutkowski, G., 2021. Analysis of a practical method for estimating the ship's best possible speed when passing under bridges or other suspended obstacles. Ocean Engineering 225, 108790. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.108790
70. Šakan, D., Žuškin, S., Rudan, I., Brčić, D., 2022. Static maritime environment representation of electronic navigational charts in global path planning, in: Maritime Transport Conference. Presented at the International Conference on Maritime Transport, Universitat Politècnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politècnica. https://doi.org/10.5821/mt.11019
71. Sanchez, A., Bosselmann-Borsos, V., Lieto, A.D., 2019. A practical approach to the production of ENC with high density bathymetric content. The International Hydrographic Review.
72. Sauvage-Vincent, J., Haralambous, Y., Puentes, J., 2015. Sentence ordering in electronic navigational chart companion text generation. ENLG 2015 - Proceedings of the 15th European Workshop on Natural Language Generation 66–70. https://doi.org/10.18653/v1/w15-4710
73. Schmidt, V., Reed, S., 2018. Autonomous Navigation on (US) Nautical Charts, in: 2018 Canadian Hydrographic Conference. Canadian Hydrographic Society, Victoria, CA, p. 10.
74. Serrano, M.E., Scaglia, G.J.E., Godoy, S.A., Mut, V., Ortiz, O.A., 2014. Trajectory Tracking of Underactuated Surface Vessels: A Linear Algebra Approach. IEEE Transactions on Control Systems Technology 22, 1103–1111. https://doi.org/10.1109/TCST.2013.2271505
75. Silberschatz, A., Korth, H.F., Sudarshan, S., 2020. Database system concepts, Seventh edition. ed. McGraw-Hill, New York, NY. Poglavlje 32: PostgreSQL, dostupno samo na mrežnoj stranci, https://www.db-book.com/online-chapters-dir/32.pdf. (20.3.2023.)

76. Simonsen, M.H., Larsson, E., Mao, W., Ringsberg, J.W., 2015. State-of-the-Art Within Ship Weather Routing, in: Volume 3: Structures, Safety and Reliability. Presented at the ASME 2015 34th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, American Society of Mechanical Engineers, St. John's, Newfoundland, Canada, p. V003T02A053. https://doi.org/10.1115/OMAE2015-41939
77. Singh, Y., Sharma, S., Sutton, R., Hatton, D., Khan, A., 2018. A constrained A* approach towards optimal path planning for an unmanned surface vehicle in a maritime environment containing dynamic obstacles and ocean currents. Ocean Engineering 169, 187–201. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.09.016
78. Skopeliti, A., Stamou, L., Tsoulos, L., Pe'eri, S., 2020. Generalization of Soundings across Scales: From DTM to Harbour and Approach Nautical Charts. ISPRS International Journal of Geo-Information 9, 693. https://doi.org/10.3390/ijgi9110693
79. Skopeliti, A., Stamou, L., Tsoulos, L., Pe'eri, S., 2020. Generalization of Soundings across Scales: From DTM to Harbour and Approach Nautical Charts. ISPRS International Journal of Geo-Information 9, 693. https://doi.org/10.3390/ijgi9110693
80. Skopeliti, A., Tsoulos, L., 2013. Choosing a Suitable Projection for Navigation in the Arctic. Marine Geodesy 36, 234–259. https://doi.org/10.1080/01490419.2013.781087
81. Souissi, O., Benatitallah, R., Duvivier, D., Artiba, A., Belanger, N., Feyzeau, P., 2013. Path planning: A 2013 survey, in: Proceedings of 2013 International Conference on Industrial Engineering and Systems Management, IEEE - IESM 2013.
82. Specht, C., Pawelski, J., Smolarek, L., Specht, M., Dabrowski, P., 2019. Assessment of the Positioning Accuracy of DGPS and EGNOS Systems in the Bay of Gdansk using Maritime Dynamic Measurements. The Journal of Navigation 72, 575–587. https://doi.org/10.1017/S0373463318000838
83. Sutulo, S., Guedes Soares, C., 2021. Review on Ship Manoeuvrability Criteria and Standards. Journal of Marine Science and Engineering 9, 904.
84. Šakan, D., Rudan, I., Žuškin, S., Brčić, D., 2018. Near Real-time S-AIS: Recent Developments and Implementation Possibilities for Global Maritime Stakeholders. Pomorstvo 32, 211–218. https://doi.org/10.31217/p.31.2.6
85. Šakan, D., Žuškin, S., Brčić, D., Valčić, S., 2019. Analysis of Primary Position Validation in ECDIS System, in: Advances in Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. CRC Press, pp. 5–16.
86. Šakan, D., Žuškin, S., Valčić, M., Pavletić, D., 2019. Challenges of adaptive coastal voyage planning, in: Proceedings of the 13th Annual Baška GNSS Conference. Presented

at the 13th Annual Baška GNSS Conference, Sveučilište u Rijeci Pomorski fakultet, Baška, Hrvatska, pp. 87–106.

87. Šakan, D., Žuškin, S., Rudan, I. & Brčić, D. (2022) Static Maritime Environment Representation of Electronic Navigational Charts in Global Path Planning. U: Martinez de Oses, F. & La Castellis i Sanabra, M. (ur.) Proceedings of 9th International Conference on Maritime Transport doi:10.5821/mt.11019.
88. Šakan, D., Žuškin, S., Rudan, I. & Brčić, D. (2023) Container ship fleet route evaluation and similarity measurement between two shipping line ports. Journal of marine science and engineering, 11 (2), 1-16 doi:10.3390/ jmse11020400.
89. Tsardoulias, E.G., Iliakopoulou, A., Kargakos, A., Petrou, L., 2016. A Review of Global Path Planning Methods for Occupancy Grid Maps Regardless of Obstacle Density. Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications 84, 829–858. https://doi.org/10.1007/s10846-016-0362-z
90. Tsou, M.-C., 2010. Integration of a Geographic Information System and Evolutionary Computation for Automatic Routing in Coastal Navigation. Journal of Navigation 63, 323–341. https://doi.org/10.1017/s0373463309990385
91. Tu, E., Zhang, G., Rachmawati, L., Rajabally, E., Huang, G.B., 2018. Exploiting AIS Data for Intelligent Maritime Navigation: A Comprehensive Survey from Data to Methodology. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 19, 1559–1582. https://doi.org/10.1109/TITS.2017.2724551
92. Vagale, A., Bye, R.T., Oucheikh, R., Osen, O.L., Fossen, T.I., 2021. Path planning and collision avoidance for autonomous surface vehicles II: a comparative study of algorithms. Journal of Marine Science and Technology (Japan) 26, 1307–1323. https://doi.org/10.1007/S00773-020-00790-X/TABLES/5
93. Vagale, A., Oucheikh, R., Bye, R.T., Osen, O.L., Fossen, T.I., 2021. Path planning and collision avoidance for autonomous surface vehicles I: a review. Journal of Marine Science and Technology (Japan) 26, 1292–1306. https://doi.org/10.1007/S00773-020-00787-6/FIGURES/13
94. Votion, J., Cao, Y., 2019. Diversity-based cooperative multivehicle path planning for risk management in costmap environments. IEEE Transactions on Industrial Electronics 66, 6117–6127. https://doi.org/10.1109/TIE.2018.2874587
95. Vujičić, S., Mohović, R., Tomaš, I.Đ., 2018. Methodology for Controlling the Ship's Path during the Turn in Confined Waterways. Pomorstvo 32, 28–35.

96. Walther, L., Rizvanolli, A., Wendebourg, M., Jahn, C., 2016. Modeling and Optimization Algorithms in Ship Weather Routing. International Journal of e-Navigation and Maritime Economy 4, 31–45. https://doi.org/10.1016/j.enavi.2016.06.004
97. Warmerdam, F., 2008. The Geospatial Data Abstraction Library, u: Open Source Approaches in Spatial Data Handling. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 87–104. https://doi.org/10.1007/978-3-540-74831-1_5.
98. Wu, M., Zhang, A., Gao, M., Zhang, J., 2021. Ship Motion Planning for MASS Based on a Multi-Objective Optimization HA* Algorithm in Complex Navigation Conditions. Journal of Marine Science and Engineering 9, 1126. https://doi.org/10.3390/jmse9101126
99. Xiao, Z., Fu, X., Zhang, L., Zhang, W., Agarwal, M., Siow, R., 2019. MarineMAS: A multi-agent framework to aid design, modelling, and evaluation of autonomous shipping systems. Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping 2, 43–57. https://doi.org/10.1080/25725084.2019.1569318
100. Xie, J., Chen, Z., Liu, J., Wang, F., Li, F., Chen, Z., Liu, Y, Cai, S., Fan, Z., Xiao, F., Chen, Y., 2022. Ganos: A Multidimensional, Dynamic, and Scene-Oriented Cloud-Native Spatial Database Engine. Proceedings of the VLDB Endowment, 15(12), pp. 3483–3495. https://doi.org/10.14778/3554821.3554838.
101. Zalewski, P., Bąk, A., Bergmann, M., 2022. Evolution of Maritime GNSS and RNSS Performance Standards. Remote Sensing 14, 5291. https://doi.org/10.3390/rs14215291
102. Zhou, C., Gu, S., Wen, Y., Du, Z., Xiao, C., Huang, L., Zhu, M., 2020. The review unmanned surface vehicle path planning: Based on multi-modality constraint. Ocean Engineering 200, 107043. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107043
103. Žuškin, S., Brčić, D. and Kos, S., 2016., Partial structural analysis of the ECDIS EHO research: The safety contour. In 7th International Conference on Maritime Transport (pp. 27-29).
104. Zalewski, P., 2020. Integrity Concept for Maritime Autonomous Surface Ships' Position Sensors. Sensors 20, 2075. https://doi.org/10.3390/s20072075

KNJIGE

105. Anwar, N., 2006. Navigation advanced for mates/masters. Lanarkshire, UK: Seamanship International Ltd.
106. Baudu, H., 2018. Ship handling, 2nd ed., Library of the French Institute for Professional Maritime Training. DOKMAR, Vlissingen.

107. Benković, F., Piškorec M., Lako Lj., Čepelak K., Stajić D., 1986. Terestrička i elektronska navigacija. Hidrografski institut ratne mornarice, Split.
108. Bowditch, N., National Geospatial-Intelligence Agency, 2019. American Practical Navigator an Epitome of Navigation Originally by Nathaniel Bowditch, Volume I, updated to June 2021 ed. National Geospatial-Intelligence Agency, Springfield, Virginia, USA.
109. Bridge procedures guide, 6th ed., 2022. International Chamber of Shipping, Marisec Publications, London.
110. Choset, H.M. (Ed.), 2005. Principles of robot motion: theory, algorithms, and implementation, Intelligent robotics and autonomous agents. MIT Press, Cambridge, Mass.
111. Jašić, D., Belamarić, G., Trošić, Ž. 2011. Planiranje pomorskog putovanja. Sveučilište u Zadru, Zadar
112. Kelleher, J.D., Tierney, B., 2021. Znanost o podacima. 1. izdanje Mate d.o.o.
113. Kemp, J.F., Young, P., Barrass, C.B., 2001. Ship stability notes & examples, 3rd ed. Butterworth-Heinemann, Oxford; Boston.
114. Kos, S., Zorović, D., Vranić, D., 2010. Terestrička i elektronička navigacija, 1. izdanje. Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka.
115. Latombe, J.-C., 2012. Robot Motion Planning, The Springer International Series in Engineering and Computer Science Book 124. Springer Science & Business Media, 2012.
116. Manger, R., 2012. Baze podataka, 2. izdanje. Element d.o.o.
117. Morton, Y.J., Diggelen, F. van, Jr, J.J.S., Parkinson, B.W., Lo, S., Gao, G., 2021. Position, Navigation, and Timing Technologies in the 21st Century: Integrated Satellite Navigation, Sensor Systems, and Civil Applications, Volume 1. John Wiley & Sons
118. National Oceanic National Oceanic and Atmospheric Administration, 2019. Distances Between United States Ports 2019 - 13th ed., National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).
119. Obe, R.O., Hsu, L.S., 2021. PostGIS in action, 3rd ed., Manning Publications, Shelter Island.
120. Ocean Passages for the World. Volume 1: Atlantic Ocean Including Caribbean Sea and Mediterranean Sea, 2nd ed., 2021.United Kingdom Hydrographic Office, Taunton.

121. Ocean Passages for the World. Volume 2: Indian and Pacific Oceans Including Red Sea, Persian Gulf and South East Asia, 2nd ed., 2021. United Kingdom Hydrographic Office, Taunton.
122. Passage planning guidelines,7th ed., 2021.Witherbys, Livingston.
123. Raimondo, G.M., Spinrad, R.W., Leboeuf, N.R., 2022. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) National Ocean Service Coast Pilot 4. Atlantic Coast: Cape Henry, Virginia to Key West, Florida 53rd ed.
124. Russell, S.J., Norvig, P., 2021. Artificial intelligence: a modern approach, Fourth edition. ed, Pearson series in artificial intelligence. Pearson, Hoboken.
125. Soanes, C., Stevenson, A. (Eds.), 2005. Oxford dictionary of English, 2nd ed., rev. ed. Oxford University Press, Oxford; New York.
126. The Mariner's Handbook, 12th ed., 2020, NP (100). United Kingdom Hydrographic Office, Taunton, Somerset.
127. Zec, D., 1997. Planiranje pomorske plovidbe. Pomorski fakultet. Rijeka.

MAGISTARSKI RADOVI I DOKTORSKI RADOVI

128. Lušić, Z., 2010. Prilog istraživanju utjecaja sigurnosti i ekonomičnosti na optimizaciju pomorskog putovanja. Doktorski rad. Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet u Rijeci.
129. Mohović, Đ., 2003. Algoritamski pristup planiranju pomorske plovidbe. Magistarski rad. Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet u Rijeci.

PROPISI, REZOLUCIJE I IZVJEŠĆA

130. ABS, 2006. American Bureau of Shipping. Guide for Vessel Maneuverability 2006 (Updated February 2017).
131. Bureau of Ocean Energy Management (BOEM), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 2023. MarineCadastre. AccessAIS. https://marinecadastre.gov/accessais/ (2.2.2023.).
132. Comprehensive annual financial report for fiscal year ended June 30, 2019, 2019. South Carolina State Ports Authority, Mount Pleasant, South Carolina 29464, USA.
133. DB-Engines Ranking per database model category [mrežna stranica], 2023. https://web.archive.org/web/20230310123328/https://db-engines.com/en/ranking_categories (19.3.2023.).

134. GPA Finance Department, 2019. Georgia Ports Authority Comprehensive Annual Financial Report for the Fiscal Years Ended June 30, 2019 and 2018. Georgia Ports Authority (Authority), Savannah, GA 31402 USA.
135. Eiter, T., Mannila, H. Computing Discrete Fréchet Distance, 1994. Technical report CD-TR 94/64, Technische Universitat Wien, Wien
136. European GNSS Supervisory Authority., 2020. GNSS user technology report. Issue 3, 2020. Publications Office, LU.
137. EUSPA, 2021. Report on Maritime and Inland Waterways User Needs and Requirements Outcome of the EUSPA User Consultation Platform Issue/Revision: 3.0 (No. GSA-MKD-MAR-UREQ-229399). European Union Agency for the Space Programme.
138. Hierarchical Data Format version 5, Introduction to HDF5 [mrežni dokument], 2023. https://web.archive.org/web/20230323095237/https://docs.hdfgroup.org/hdf5/develop/_intro_h_d_f5.html (23.3.2023.).
139. IALA, 2015. G1112 Performance and Monitoring of DGNSS Services in the Frequency Band 283.5-325kHz Edition 1.1. July 2022.
140. IALA, 2018. NAVGUIDE 2018 Marine Aids to Navigation Manual, 8th ed.
141. IALA, 2019. G1152 SBAS Maritime Service Edition 1.1, July 2022.
142. IHO Geospatial Information Registry (edition 3.1) [mrežna stranica], https://registry.iho.int/ (23.3.2023).
143. IHO S-100WG7, 2023. Roadmap for the S-100 Implementation Decade (2020 – 2030), Annex 2. S-100 Timelines Version 2.0 Dated: 12 July, 2022.
144. IHO, 2000. S-57, Transfer Standard for Digital Hydrographic Data (Edition 3.1.0, November 2000) – Appendix A, Chapter 1.
145. IHO, 2000. S-57, Transfer Standard for Digital Hydrographic Data (Edition 3.1.0, November 2000) Appendix A Chapter 2.
146. IHO, 2000. S-57, Appendix B.1 - ENC Product Specification, 5.4.
147. IHO, 2000. S-57 Appendix A Annex B - Attributes/Object Classes Cross Reference (edition 3.1)
148. IHO, 2000. S-57 Appendix A IHO Object Catalogue (edition 3.1).
149. IHO, 2000. S-57 Appendix B Product Specifications.
150. IHO, 2000. S-57 Transfer Standard for Digital Hydrographic Data (Edition 3.1.0, November 2000) - Main Document.

151. IHO, 2014. S-57, Supplementary information for the Encoding of S-57 Edition 3.1 ENC data (S-57 Supplement No. 3, June 2014).
152. IHO, 2015. S-52: Specifications for Chart Content and Display Aspects of ECDIS, Edition 6.1.
153. IHO, 2018. ENC Product Specification IHO publication S-101 (Edition 1.0.0, December 2018).
154. IHO, 2018. IHO Publication S-66 edition 1.1.0. Facts about Electronic Charts and Carriage Requirements. IHO.
155. IHO, 2018. S-11 Guidance for the Preparation and Maintenance of International (INT) Chart and ENC Schemes and Catalogue of International (INT) Charts, Part A - Guidance for the Preparation and Maintenance of International (INT) Chart and ENC Schemes (Edition 3.1.0).
156. IHO, 2019. S-129 Under Keel Clearance Management Information Product Specification (Edition 1.0.0 – June 2019).
157. IHO, 2020. IHO Standards for Hydrographic Surveys, 6th ed., Special Publication No. 44;
158. IHO, 2020. Information on ENC Generalization, Over-Scaling and Safety Checking Functions in ECDIS.
159. IHO, 2020. Mariners' guide to accuracy of depth information in ENC. Publication S-67. (1.0.0).
160. IHO, 2020. Information on IHO Standards Related to ENC and ECDIS.
161. IHO, 2020. S-65 Annex A High Density (HD) ENC Production and Maintenance Guidance Edition 1.0.0 – January 2020.
162. IHO, 2021. S-4 Regulations of the IHO for International (INT) Charts and Chart Specifications of the IHO (Edition 4.9.0 – March 2021).
163. IHO, 2022. S-100 Universal Hydrographic Data Model (edition 5.0.0).
164. IHO, 2022. S-102 Bathymetric Surface Product Specification Edition 2.1.0 – October 2022.
165. IHO, 2022. S-57 Appendix B.1: ENC Product Specification Annex A: Use of the Object Catalogue for ENC Edition 4.3.0.
166. IHO, 2023. IHO Geospatial Information Registry [mrežni dokument]. https://web.archive.org/web/20230323113801/https://registry.iho.int/productspec/list.do (23.3.2023.).

167. IMO, 1987. Resolution A.601(15) Provision and Display of Manoeuvring Information on Board Ships.
168. IMO, 1999. IMO Resolution A.893(21) – Guidelines for Voyage Planning – (Adopted on 25 November 1999).
169. IMO, 2001. Resolution A.915(22). Revised Maritime Policy and Requirements for a Future Global Navigation Satellite System (GNSS).
170. IMO, 2002. MSC.1/Circ.1053 Explanatory Notes to The Standards for Ship Manoeuvrability.
171. IMO, 2002. Resolution MSC.137(76) Standards for Ship Manoeuvrability.
172. IMO, 2004. Resolution MSC.191(79), adopted on 6 December 2004. Performance Standards for The Presentation of Navigation-Related Information on Shipborne Navigational Displays. London, 6 December 2004.
173. IMO, 2006. Resolution MSC.232(82), adopted on 5 December 2006. Adoption of The Revised Performance Standards for Electronic Chart Display and Information Systems (ECDIS).
174. IMO, 2011. Resolution A.1046(27). Worldwide Radionavigation System.
175. IMO, 2014. SN.1/Circ 243/Rev. 1. Amended Guidelines for the Presentation of Navigational-Related Symbols, Terms and Abbreviations. International Maritime Organization.
176. IMO, 2015. MSC.1/Circ.1503 ECDIS – Guidance for Good Practice. Revised 06.2017. Rev.1.
177. IMO, 2015. Resolution A.1106(29): Revised guidelines for the onboard operational use of shipborne automatic identification systems (AIS). International Maritime Organization, London. (preuzeto 7.8.2022.).
178. IMO, 2017. MSC.1/Circular.1503/Rev.1 - ECDIS - Guidance for Good Practice. Revised 28 November 2022. Rev.2.
179. IMO, 2019. MSC.1/Circ.1416/Rev.1 - Unified Interpretations of SOLAS Regulations II-1/28, II-1/29 and II-1/30.
180. IMO, 2020. SOLAS: Consolidated text of the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, Consolidated edition 2020, 7th ed. IMO International Maritime Organization, London.
181. IMO, 2021, MSC.1/Circ.1638: Outcome of the regulatory Scoping Exercise for the use of Maritime Autonomous Surface Ships (MASS).

182. IMO, 2021. International code of signals, 2005 edition, 5th ed., 2021. International Maritime Organization, London.
183. IMO, 2022. Development of a goal-based instrument for Maritime Autonomous Surface Ships (MASS), Draft provisions of navigational tasks/functions for the International Code of Safety for MASS Submitted by United Kingdom (Pre-session public release: No. MSC 106/INF.6), 2022.MARITIME SAFETY COMMITTEE 106th session Agenda item 5, London.
184. IMO, 2022. Development of a goal-based instrument for Maritime Autonomous Surface Ships (MASS), Results of demonstration tests of fully autonomous ship navigation on "MEGURI 2040" Submitted by Japan (Pre-session public release: No. MSC 106/INF.4), MARITIME SAFETY COMMITTEE 106th session Agenda item 5.
185. IMO, ICAO (Eds.), 2022. International aeronautical and maritime search and rescue manual: IAMSAR manual. Volume III: Mobile facilities, 12th ed., 2022
186. IMO, 2022. Report of the Maritime Safety Committee on its 105th session, MSC 105/20/Add.2.
187. INTERTANKO, 2017. HSSC9-05.2D. End users' perspective on ENC and ECDIS (INTERTANKO).
188. ISO - ISO/TC 211 - Geographic information/Geomatics [mrežni dokument], https://web.archive.org/web/20230323105536/https://www.iso.org/committee/54904/x/catalogue/p/1/u/0/w/0/d/0 (3.23.2023.).
189. ISO, 1994. ISO/IEC 8211:1994 Information technology — Specification for a data descriptive file for information interchange.
190. ISO/IEC 13249-3:2016 Information technology — Database languages — SQL multimedia and application packages — Part 3: Spatial [mrežna stranica], 2023., ISO. https://www.iso.org/standard/60343.html (21.3.2023.).
191. ITTC, 2021. Procedure Full Scale Manoeuvring Trials.
192. ITU-R, 2014. Technical characteristics for an automatic identification system using time division multiple access in the VHF maritime mobile frequency band M Series Mobile, radiodetermination, amateur and related satellite services.
193. Marine Guidance Note MGN 610 (M+F), SOLAS Chapter V - Guidance on the Merchant Shipping (Safety of Navigation) Regulations 2020. Maritime and Coastguard Agency (MCA), 2020.
194. NOAA, 2023. Software Distributed within Pydro — Pydro documentation [mrežni dokument]. https://svn.pydro.noaa.gov/Docs/html/_Globals/index.html# (17.4.2023.).

195. PIANC, 2014. Harbour Approach Channels - Design Guidelines, MarCom Working Group 121.
196. Pomorski zakonik (Narodne novine 181/04., 76/07., 146/08., 61/11., 56/13., 26/15. i 17/2019.).
197. Puertos Del Estado, 1999. Recommendations for Maritime Works (Spain) ROM 3.1-99: Designing Maritime Configuration of Ports. Approach Channels and Floatation Areas, Spain: CEDEX.
198. United Nations, 2022. UNCTAD Review of Maritime Transport 2022, Review of Maritime Transport/United Nations Conference on Trade and Development, Geneva, United Nations: Geneva, Switzerland, 2022; ISBN 978-92-1-002147-0.
199. NOAA, National Geospatial-Intelligence Agency (NGA), 2019. U.S. Chart No. 1 Symbols, Abbreviations and Terms used on Paper and Electronic Navigational Charts.
200. World Maritime University, 2019. Transport 2040: analysis of technical developments in transport - maritime, air, rail and road, Reports. World Maritime University, Malmö. https://doi.org/10.21677/itf.20191018

OSTALI MREŽNI IZVORI

201. About ICS | International Chamber of Shipping [mrežna stranica], 2022. archive.ph. https://archive.ph/ez3WH (20.9.2022.).
202. CARIS S-57 Composer: S-57 ENC Production | Teledyne Geospatial [mrežni dokument], https://web.archive.org/web/20220812094026/http://www.teledynecaris.com/en/support/training/training-courses/caris-s-57-composer-s-57-enc-production (16.3.2023.).
203. Channel Specs - SC Ports Authority [mrežni dokument], https://web.archive.org/web/20230323114945/https://scspa.com/toolkit/ocean-carriers/channel-specifications/ (29.4.2023.).
204. Digital route service for navigation [mrežni dokument], https://routeinfo.no/ (5.5.2023.).
205. Electronic Charts | IHO S-57 & S-100 Maritime Navigational Charting [mrežni dokument], https://web.archive.org/web/20221210004357/https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-maritime/overview (16.3.2023.).
206. Garden City Terminal - Georgia Ports Authority [mrežni dokument], 2020. https://web.archive.org/web/20200407085301/https://gaports.com/facilities/port-of-savannah/garden-city-terminal/ (28.3.2023.).

207. https://geodata.bts.gov/maps/usdot::navigable-waterway-network-nodes/about (25.3.2023.).
208. https://tidesandcurrents.noaa.gov/ports/ (29.5.2023.).
209. https://www.merriam-webster.com/dictionary/agent (20.3.2023.)
210. MarineCadastre.gov [mrežna stranica], 2023. MarineCadastre.gov., https://web.archive.org/web/20230317182422/https://marinecadastre.gov/about/ (17.3.2023.).
211. Ocean Container Fleet Dashboard | Open Ag Transport Data [mrežni dokument], 2022. https://web.archive.org/web/20220402215816/https://agtransport.usda.gov/stories/s/Ocean-Container-Fleet-Dashboard/pjaw-nxa9/ (27.5.2023.).
212. Office of Coast Survey [mrežna stranica], 2023. NOAA ENC Direct. https://encdirect.noaa.gov/ (16.3.2023.).
213. U.S. Office of Coast Survey [mrežna stranica], 2023. Farewell to Traditional Nautical Charts.https://web.archive.org/web/20221222220001/https://nauticalcharts.noaa.gov/charts/farewell-to-traditional-nautical-charts.html (2.2.2023.).
214. USACE Hydrographic Surveys powered by eHydro, GA_01_SAV_20190815_CS. 2019. https://www.arcgis.com/apps/dashboards/4b8f2ba307684cf597617bf1b6d2f85d. (28.5.2023.)
215. Waterborne Commerce Statistics CenterNavigation Data Center, 2022. Complete Dock List. https://publibrary.planusace.us/#/document/c44f4907-734d-4d78-8aad-4a78216a51a9. (30.4.2023.)
216. Withdrawing production of paper charts | ADMIRALTY [mrežna stranica], 2023. https://web.archive.org/web/20230204210333/https://www.admiralty.co.uk/sunsetting-paper-charts (2.4.2023.).

PROGRAMI I KONTRIBUCIJSKE BIBLIOTEKE

217. Davor Šakan, Srđan Žuškin, Igor Rudan, David Brčić, 2023. Container ship fleet route evaluation and similarity measurement between two shipping line ports. Journal of Marine Science and Engineering. https://doi.org/10.5281/zenodo.7573544 (16.4.2023.).

218. Gillies, S., van der Wel, C., Van den Bossche, J., Taves, M.W., Arnott, J., Ward, B.C., others, 2022. Shapely. https://doi.org/10.5281/zenodo.7215567, (9.2.2023.).
219. Graser, A., Bell, R., et al., 2022. anitagraser/movingpandas: v0.10. https://doi.org/10.5281/zenodo.6665185 (10.2.2023.).
220. https://h3geo.org/, (12.3.2023.).
221. Jekel, C. F., 2022. similaritymeasures https://github.com/cjekel/similarity_measures (21.10.2022.).
222. Knudsen, Z., 2022. h3-pg. https://doi.org/10.5281/zenodo.6856596, (25.2.2023.).
223. pgAdmin 4, 2023., https://github.com/pgadmin-org/pgadmin4 (12.2.2023.)
224. PostGIS 3.3.3dev Manual, 2023. (12.5.2023.).
225. Raffler, C., 2023. QNEAT3 - Qgis Network Analysis Toolbox 3., v. 1.0.1, (30.3.2023.).
226. Reback, J., et al., 2022. pandas-dev/pandas: Pandas 1.4.2. https://doi.org/10.5281/zenodo.6408044 (18.7.2022.).

POPIS SLIKA

Slika 1. Klasifikacija pojmova o putu i trajektoriji. Priredio autor prema[38] 17
Slika 2. Šest stupnjeva slobode broda (6 DOF). Priredio autor 18
Slika 3. Konceptualni prikaz planiranja putovanja. Priredio autor 20
Slika 4. Konceptualno planiranje puta i trajektorije. Priredio autor..... 21
Slika 5. Prikaz elemenata planiranja rute (puta, trajektorije i ostalih značajki) u sustavu ECDIS. Priredio autor koristeći Wärtsilä Navi-Sailor ECDIS 4000 navigacijskog simulatora NTPRO5000 22
Slika 6. Prikaz različitih pristupa određivanja sigurnosne udaljenosti od statičkih prepreka: ruta s gradijentnim kružnicama rizika i konturama rizika[62] (lijevo), sigurnosna udaljenost u pikselima[63] (sredina) i sigurnosna zona[28] (desno). Prilagodio autor na temelju izvornika 27
Slika 7. Organizacije uključene u izradu i donošenje ENC i ECDIS standarda. Priredio i prilagodio autor na temelju izvornika iz IHO S-52 standarda..... 40
Slika 8. Teorijski model podataka. Priredio autor prema izvorniku iz IHO S-57[105] 46
Slika 9. Struktura mape u kojoj se nalaze datoteke skupova podataka za ENC US5GA20M . 54
Slika 10. Prikaz US5GA20M ENC-a (lijevo) i reducirani prikaz bez S-52 simbola (desno) .. 55
Slika 11. Prikaz strukture US5GA20M ENC S-57 datoteke (lijevo) i obilježja pod rednim brojem 0001 55
Slika 12. Prikaz položajne i točnosti dubina odabranog objekta i mogućeg odstupanja položaja broda. Priredio autor 64
Slika 13. Prikaz SBAS postojećih područja, planiranih termina početka rada i planiranih područja. Prilagođeno prema izvoru[162] 69
Slika 14. Određivanje potrebne dubine ispod kobilice. Priredio i prilagodio autor prema 75
Slika 15. Vrijednosti potrebne visine iznad broda. Priredio autor prema[169] 77
Slika 16. Prikaz dijela postera u kormilarnici za model korištenog broda iz navigacijskog simulatora. Izvor iz popisa brodova Wärtsilä NTPRO 5000 navigacijskog simulatora 84
Slika 17. Prikaz izobate plitke vode, sigurne izobata i izobate duboke vode. Priredio i prilagodio autor prema[205] 88
Slika 18. Karakteristične točke pri okretu broda i prostor kojim brod prolazi tijekom okreta. Priredio autor na temelju[217] 94

Slika 19. Određivanje točke započinjanja okreta broda, metoda napredovanja i bočnog pomaka (lijevo)[221] i konstantnog polumjera kružnice okreta broda (desno).[222] Priredio autor prema prethodnim izvorima 96
Slika 20. Unaprijeđena metoda napredovanja i bočnog pomaka primjenjiva za sve vrijednosti promjene kursa. Izradio i prilagodio autor prema[223] 97
Slika 21. Navigacijske faze s pripadajućim elementima planiranja putovanja. Prilagodio i priredio autor prema izvoru[84] 99
Slika 22. Prikaz polarnog područja u azimutalnoj ekvidistantnoj polarnoj projekciji. Preuzeto iz izvornika[168] 103
Slika 23. Dijkstrin algoritam. Priredio autor[229] 106
Slika 24. Određeni put nakon prelaska vrhova. Priredio autor [229] 107
Slika 25. Prikaz modela prostora, temeljen na Delaunayevoj triangulaciji i dubinama (lijevo) i pravilnoj rešetki (desno). Priredio autor[237] 108
Slika 26. Diskretizacija Voronojevim dijagramima i četvornim stablima. Priredio autor 109
Slika 27. Prikaz odabira US4SC22M ENC-a putem s pripadajućim slojevima u *.shp formatu. Izvor NOAA ENC Direct to GIS portal[247] 112
Slika 28. Polja s atributima, tipovima podataka, duljinom i preciznosti podataka (lijevo) i izvatka zapisa u bazi podataka (desno). Priredio autor prema ENC-u US2EC02M (WRECKS/ wreck_point) 113
Slika 29. Dostupni AIS podatci na području SAD-a (2019.). Izvor AccesAIS portal[253] 115
Slika 30. Odabrano plovidbeno područje na istočnoj obali SAD-a između luka Savannah i Charleston (lijevo dolje). Zasjenjeni okvir prikazuje granice odabranog AIS područja i luke (lijevo). Neposredni prilaz lukama (desno). Priredio autor 116
Slika 31. ENC-ovi korišteni u istraživanju, opće i obalne navigacijske primjene (lijevo) te navigacijske primjene prilaska lukama i za lučko područje (desno). Priredio autor koristeći QGIS aplikaciju 118
Slika 32. Prikaz opće arhitekture baze podataka. Priredio autor prema[260] 123
Slika 33. Postupak pretvaranja ENC-a iz *.shp formata u *.sql datoteke i unos u bazu podataka. Povezivanje tablica iz pojedinačnih shema u zajedničke tablice u jedinstvenoj shemi. Priredio autor 124
Slika 34. Osnovna struktura baze podataka sa shemama razdvojenim po navigacijskim primjenama uz prikaz strukture sheme opće navigacijske primjene (shp_general) s pripadajućim tablicama. Priredio autor koristeći PGAdmin zapise 125

Slika 35. Prikaz struktura veza između tablica shema namjenskih raspona. Priredio autor koristeći PGAdmin ERD alat 127
Slika 36. Prikaz osnovnih i dodanih (okvir u desnome dijelu tablice) atributa tablice US5GA02M_wreck_point s istaknutim retkom (n-torkom) GID 4. Priredio autor ... 128
Slika 37. Stvaranje sheme sa jedinstvenim relacijama. Priredio autor 129
Slika 38. Prikaz preklapanja dvaju slojeva obalne crte ENC-ova različitih namjenskih raspona. Priredio autor koristeći QGIS 130
Slika 39. Prikaz unija pojedinih namjenskih raspona (lijevo) i razlike namjenskog raspona prilaska lukama (desno) dobivenog presjekom s lučkim namjenskim rasponom. Priredio autor 132
Slika 40. Prikaz rezultata združivanja ENC podataka nakon odvajanja po namjenskim rasponima (NP). Lijevi okvir prikazuje izobate, desni dubine. Priredio autor koristeći QGIS 133
Slika 41. Poprečni presjek i osnovne dimenzije širine i visine razmatranog broda. Priredio autor 135
Slika 42. Općeniti prikaz preostale visine iznad vode za mostove Talamadge memorial i Ravanel, Izvor NOAA 138
Slika 43. Prikaz okvira ograničenja, točaka veza, peljarske postaje i dubina različitih ENC-ova unutar okvira ograničenja. Priredio autor koristeći QGIS 146
Slika 44. Određeno SEAARE područje (lijevi okvir) i združene obalne linije COALNE i SLCONS (desni okvir) po ENC-ovima. Priredio autor koristeći QGIS 147
Slika 45. Prikaz podrtina WRECKS i područja podrtina VALSOU na prilazu luci Savannah. Priredio autor koristeći QGIS 148
Slika 46. Prikaz plutača, područja dubina, mosta Talamadge (lijevi okvir) i prilaznog plovnog puta luci Savannah. Priredio autor koristeći QGIS 148
Slika 47. H3 šesterokutne rešetke rezolucije 6 i 10. Priredio autor koristeći QGIS 149
Slika 48. Objekti DEPARE (lijevo) i SOUNDG (desno) koji predstavljaju dio osnovnih graničnih područja. Priredio autor koristeći QGIS 150
Slika 49. CATZOC kategorije neodređenosti područja (okvir lijevo) i područje dodanih sigurnih područja. Priredio autor koristeći QGIS 151
Slika 50. Prikaz dijela GPP bez uključivanja prilaznog plovnog puta (lijevo) i isključivim prilazom plovnim putom (desno) iz luke Savannah. Priredio autor koristeći QGIS .. 151
Slika 51. Stvaranje područja pretraživanja od luke Savannah do luke Charleston u obalnome pojasu. Priredio autor koristeći QGIS 152

Slika 52. Stvaranje obuhvata izobata i dubina u području pretraživanja (lijeva slika) i H3 rešetke s konačnim GPP putovima (desna slika) s uvećanim prikazom sigurnosne zone. Priredio autor koristeći QGIS 153
Slika 53. Prikaz konačnog oblika H3 rešetke rezolucije 11 stvorene presjekom s poligonom prilaznog plovnog puta na lijevome okviru. Desni okvir slike prikazuje dio GPP puta prema pristanu Wando Welch terminala u Charlestonu. Priredio autor koristeći QGIS 156
Slika 54. Prikaz pojednostavljenog i izglađenog puta od luke Savannah do peljarske stanice. Priredio autor 158
Slika 55. Prikaz trajektorija za određeni GPP put (glavni okvir) i interpoliranih vrijednosti između međutočaka (gornji okvir). Priredio autor koristeći QGIS. 159
Slika 56. Kutijasti dijagrami duljine, trajanja i prosječne brzine putovanja. Priredio autor .. 164
Slika 57. Grafikoni razdioba duljine putovanja, trajanja i prosječne brzine. Iscrtkana linija predstavlja medijan, dok je istočkana linija prosječna vrijednost. Priredio autor 165
Slika 58. Dijagram raspršenja duljine puta u NM (gore) i prosječne brzine (čv) i trajanja putovanja u satima. Priredio autor. 165
Slika 59. Duljine putova razmatranih brodova i njihova prostorna distribucija. Mjerilo karte 1:600000. Plava isprekidana linija označava granice sezonskog područja zaštite kitova. Priredio autor koristeći QGIS. 166
Slika 60. Profil trajektorija za najkraće H1 (lijevi okvir) i najdulje putovanje E3 (desni okvir) s brzinom preko dna (SOG) u čvorovima za pojedina AIS opažanja (mjerilo 1:600000). Priredio autor koristeći QGIS. 167
Slika 61. Umjetna staništa riba (bez prikaza plutača u području) s dubinama od 15,5 m (lijevi okvir) i prilazno područje luci Charleston (desni okvir). Priredio autor koristeći QGIS. 168
Slika 62. Usporedni prikaz putova za pojedinačna putovanja. Na osi x prikazana je geografska dužina, dok je na osi y prikazana geografska širina. Priredio autor 168
Slika 63. Toplinska karta određivanja sličnosti putova korištenjem diskretne Fréchetove udaljenosti (NM). Niža vrijednost i plavi dio spektra označavaju veću sličnost. Priredio autor 169
Slika 64. Usporedba putova razmatranih brodova i određenog globalnog puta. U okviru gore lijevo nalazi se uvećani prikaz blizine prolazaka brodova uz prepreku, umjetno stanište riba. Priredio autor koristeći QGIS 170

Slika 65. Prikaz rezultata GPP planiranja prenesenog u ECDIS navigacijskog simulatora NTPRO 5000. Priredio autor slikovnim zapisima NTPRO 5000 navigacijskog simulatora. 172
Slika 66. Prikaz osnovnih horizontalnih i vertikalnih ograničenja u ECDIS simulatoru. Priredio autor koristeći slikovne zapise NTPRO 5000 navigacijskog simulatora 173
Slika 67. Prikaz prilaznoga plovnoga puta i suvišnih međutočaka. Priredio autor koristeći slikovne zapise NTPRO 5000 navigacijskog simulatora 174
Slika 68. Prikaz dobivenog puta u zavojitom dijelu prilaznoga plovnog puta luke Savannah. Priredio autor koristeći slikovne zapise NTPRO 5000 navigacijskog simulatora 175
Slika 69. Izlazak iz luke Savannah i plovidba prilaznim kanalom..... 176

POPIS TABLICA

Tablica 1. IHO standardi koji se odnose na ENC i ECDIS 41
Tablica 2. IHO S-57 standard s dodacima 45
Tablica 3. Zaglavlja, opisi i primjeri klasa objekata 48
Tablica 4. Zaglavlja, opisi i primjeri atributa 49
Tablica 5. Popis specifikacija odabranih S-100 proizvoda objavljenih prema IHO Registru specifikacija proizvoda 52
Tablica 6. Usporedba mogućnosti S-57 i S-100 standarda. Preuzeto i prilagođeno iz izvora[118] 53
Tablica 7. Prikaz navigacijskih primjena karata s pripadajućim namjenskim rasponima, mjerilima i osnovnim obilježjima 57
Tablica 8. Klase objekata i atributi točnosti podataka, kvalitete podataka i pouzdanosti izmjera navedeni u IHO S-57 katalogu objekata 60
Tablica 9. Klase meta objekata točnosti podataka, kvalitete i pouzdanosti izmjera[134, 135] 61
Tablica 10. Točnost stajnica određenih kompasima, radarom i položaja elektroničkih navigacijskih sustava. Prilagođeno prema 67
Tablica 11. Opći zahtjevi navigacijske točnosti prema rezolucijama IMO rezolucijama A.1046(27) i A.915(22) 70
Tablica 12. Kriteriji upravljivosti broda prema IMO standardima manevarskih sposobnosti. Prilagođeno prema izvoru 81
Tablica 13. Uvjeti pri kojima se vrše provjere manevarskih obilježja broda[196] 82
Tablica 14. Opis shapefile datoteka. Izvor[248] 113
Tablica 15. Prikaz korištenih ENC-ova navigacijskih karata s pripadajućim navigacijskim primjenama, mjerilima i osnovnim obilježjima 118
Tablica 16. Osnovni softver i proširenja korišteni za unos u bazu i rad s podacima 125
Tablica 17. Prikaz objekata obuhvata geografskog područja i dodatnih informacija s pripadajućim atributima 131
Tablica 18. Osnovna obilježja razmatranoga kontejnerskog broda 134
Tablica 19. Osnovne korištene granične vrijednosti i njihovo određivanje 138
Tablica 20. Osnovni gazovi i parametri broda u lukama Savannah i Charleston 139
Tablica 21. Osnovna vertikalna ograničenja (m) 139
Tablica 22. Stupnjevi rada stroja s pripadajućim brzinama 140
Tablica 23. Povećanje gaza zbog dodatnog zagažaja i nagiba 140

Tablica 24. Izračunati dodatni zagažaj za ograničena i otvorena područja pri različitim brzinama broda 141
Tablica 25. Rezultati određivanja sigurnosne izobate i dubine za luku Savannah..... 141
Tablica 26. Rezultati određivanja sigurnosne izobate i dubine luka Charleston..... 142
Tablica 27. Prikaz osnovnih obilježja razmatranih kontejnerskih brodova 161
Tablica 28. Statistički pregled obilježja putovanja 164
Tablica 29. Usporedba diskretne Fréchetove udaljenosti putova brodova u području i GPP puta (NM) 171

POPIS UPITA

Upit 1. Stvaranje materijaliziranog pogleda za prikaz popisa svih relacija, njihovih naziva i broja n-torki u relaciji 129
Upit 2. PostgreSQL kod za stvaranje unije pojedinačnih M_PUB objekata u namjenskom rasponu prilaska lukama (nautical_publication_information_area) u jedinstvenu relaciju. 131
Upit 3. Operacija stvaranja razlike između objekata unije lučkog namjenskog raspona i prilaska lukama 133
Upit 4. Stvaranje relacije s unosima točaka veza i peljara 144
Upit 5. Stvaranje okvira ograničenja kojim će se odabirati objekti u području ograničenja . 145
Upit 6. Stvaranje pogleda dubina odabranih okvirom ograničenja 146

POPIS SIMBOLA

AD	visina broda iznad vodene linije
B	širina
b_r	brod na pristanu
C_b	koeficijent punoće istisnine
c_o	obalno plovidbeno područje
c_s	otvoreno plovidbeno područje
CVC	visina prolaza
D	deplasman
DC	izobata duboke vode
d_b	širina broda pri bočnome odstupanju za sigurnu bočnu udaljenost
d_{bp}	vrijednost bočnog pomaka broda
d_{CG}	udaljenost mosta broda od uzdužnog sustavnog težišta
d_{dz}	korekcija za dodatni zagažaj
d_g	korekcija za gustoću vode
d_n	korekcija radi mogućeg kuta nagiba broda
d_{nap}	vrijednost napredovanja broda
d_p	korekcija za morske mijene
d_{pol}	pogreška položaja GNSS sustava na brodu za sigurnu bočnu udaljenost
d_{pp}	dopuštenog odstupanja u plovidbenom području za sigurnu bočnu udaljenost
d_{sm}	korekcija za sigurnosnu marginu
d_{so}	dopušteno odstupanje zbog orijentacije odnosno kretanja broda za sigurnu bočnu udaljenost
d_{WOP}	udaljenost točke započinjanja okreta kormila
d_{ZOC}	korekcija za ZOC kategoriju
FPP_{rh}	vijak, desnokretni, nepromjenjivi uspon
$f(\mathrm{n})$	heuristička funkcija A* algoritma
f_w	prilazno područje u luci
$g(n)$	trošak prevaljenog puta A* algoritma
G^n	geometrijska neprekidnost

h_p	visina morskih mijena
H	visina broda od osnovice sa spuštenom antenom
H_{max}	visina broda od osnovice do vrha antene*
L	duljina preko svega
L_{pp}	duljina između okomica
OVC	najmanja potrebna preostala visine iznad broda
P/D	omjer uspona vijka
P_{max}	najveća snaga pogonskoj stroja
P^n	parametarska neprekidnost
P_{pp}	pramčani porivnik
p_t	manevriranje i plovidba lučkim područjem
RPM	broj okretaja u minuti
RPM_{min}	minimalni broj okretaja
R	promjer kružnice okreta
s	dodatni zagažaj
SC	sigurna izobata
SD	sigurna dubina
SH	izobata plitke vode
SB	širina staze broda
SC	sigurna izobata
T	statički gaz broda
TEU_{cap}	kapacitet kontejnera
Tk	gaz na krmi
T_p	gaz na pramcu
Ts	srednji gaz
UKC_{min}	minimalna vrijednost preostale dubine ispod kobilice
V	brzina broda
V	brzina
V_S	relativna brzina broda
V_X	komponenta sigurnosne brzina broda u *x* osi određena prema zaustavnom putu

V_Y	komponenta sigurnosne brzine u *y* osi određene utjecajem vanjskih poremećaja i ograničenja plovnog područja odnosno sigurnosne domene
V_Z	komponenta sigurnosne brzine broda u *y* osi određena graničnim vrijednostima vertikalnih ograničenja
UKC	preostala dubina ispod kobilice broda
XTL	granična vrijednost bočnog odstupanja
δ_{dF}	diskretna Fréchetova udaljenost
δ_F	Fréchetova udaljenost
δ_k	najveći kut otklona (balansnog) kormila
ρ	gustoća vode
Ψ	kut zaošijavanja

POPIS KRATICA

AIS	Automatic Identification System	Automatski identifikacijski sustav
ANS	Autonomous Navigation System	Automatski navigacijski sustav
ASD	Admiralty Sailing Directions	Peljari Hidrografskog ureda Ujedinjenog Kraljevstva
ATT	Advanced Transfer Technique	Unaprijeđena metoda napredovanja i bočnog pomaka broda
BOEM	Bureau of Ocean Energy Management	Ured za upravljanje oceanskom energijom
CATWRK	Category of wreck	Kategorije podrtina
CCRP	Consistent Common Reference Point	Zajednička referentna točka broda
COALNE	Coastline	Konture obala
COLREG, MPISM	Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea	Međunarodna pravila za izbjegavanje sudara na moru
DBMS	Database Management System	Sustav za upravljanje bazama podataka
DE-9IM	Dimensionally Extended 9-Intersection Model	Topološki model odnosa između geometrijskih objekata
DEPARE	Depth area	Područje dubina ENC-a
DF	Dual frequency	Dvofrekvencijski GNSS prijam
DFD	Discrete Fréchet Distance	Diskretna Fréchetova udaljenost
DGPS	Differential GPS	Diferencijski GPS
DOF	Degree of Freedom	Stupanj slobode
ECA	Emission Control Area	Područja nadzora emisija plinova
ECDIS	Electronic Chart Display and Information System	Informacijski sustav i prikaz elektroničkih karata
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service	Europski sustav poboljšanja satelitskih usluga

ENC	Electronic Navigational Chart	Elektronička navigacijska karta
ETA	Estimated Time of Arrival	Procijenjeno vrijeme dolaska
FD	Fréchet Distance	Fréchetova udaljenost
FK	Foreign key	Strani ključ
FO L+	Final Optimization L+ algorithm	Konačno optimizirani L+ algoritam
GDAL	Geospatial Data Abstraction Library	Geoprostorna podatkovna apstrakcijska biblioteka
GIS	Geographic Information System	Geografski informacijski sustav
GIST	Generalized Search Tree	Generalizirano stablo pretraživanja
GNSS	Global Navigation Satellite Systems	Globalni navigacijski satelitski sustavi
GPP	Global Path Planning	Globalno planiranje puta
GPS	Global Positioning System	Globalni položajni sustav
HAT, NVAV	Highest Astronomical Tide	Najviša astronomska voda
HD ENC	High Density ENC	ENC podaci visoke rezolucije
HDOP	Horizontal Dilution of Precision	Točnost horizontalne razdiobe položaja
HMI	Human Machine Interface	Sučelje između čovjeka i stroja
HW, VV	High Water	Visoka voda
IAMSAR	IAMSAR Manual	Međunarodni priručnik za zračno i pomorsko traganje i spašavanje
ICS	International Code of Signals	Međunarodni signalni kodeks
ICS	International Chamber of Shipping	Međunarodna udruga brodara
IEC	International Electrotechnical commission	Međunarodna elektrotehnička komisija
IEC TC80	Technical committee 80	IEC tehnički komitet 80
IHO	International Hydrographic Organization	Međunarodna hidrografska organizacija
INS	Integrated Navigation System	Integrirani navigacijski sustavi

INTERTANKO	International Association of Independent Tanker Owners	Međunarodna udruga neovisnih vlasnika brodova za tekuće terete
ISM	International Safety Management	Međunarodni pravilnik o sigurnom upravljanju brodovima i sprečavanju onečišćenja
ISO/TC 211	ISO Technical committee 211	ISO tehnički komitet 211
LAT, NNAV	Lowest Astronomical Tide	Najniža astronomska voda
LORAN	Long Range Navigation	Hiperbolički navigacijski sustav velikog dometa
LPP	Local Path Planning	Lokalno planiranje puta
M_ACCY	Accuracy of data	Točnost (ENC) podataka
M_QUAL	Quality of data	Kvaliteta (ENC) podataka
M_SREL	Survey reliability	Pouzdanost hidrografskih izmjera
MAO	Mariner Added Objects	Korisnički objekti ENC-a
MASS	Maritime Autonomous Surface Ships	Autonomni brodovi
MC	Multi constellation GNSS	Korištenje višestrukih GNSS sustava
MCA	United Kingdom Maritime and Coastguard Agency	Agencija za pomorstvo i obalnu stražu Ujedinjenog Kraljevstva
MF	Multiple frequency	Višefrekvencijski GNSS prijam
MHHW, SRVV	Mean Higher High Water	Srednja viša visoka voda
MHWS, SVVŽ	Mean High Water Springs	Srednja visoka voda živih morskih mijena
MLWS, SNŽV	Mean Low Water Spring	Srednja razina nižih niskih voda živih morskih mijena
MSC	Maritime Safety Committee	IMO odbor za sigurnost
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration Office	Nacionalna uprave za oceane i atmosferu
NP	Navigational Purpose	Navigacijska primjena
OBSTRN	Obstruction	Zapreka

OGC	Open Geospatial Consortium	Otvorenog geoprostornog konzorcija
OVC	Overhead Vertical Clearance	Visina iznad najviše točke broda
PEAS	Performance, Environment, Actuators, Sensors,	Izvedba, okružje, aktuatori, senzori
PK	Primary key	Primarni ključ
PNT	Position, Navigation and Timing	Položajna, navigacijska i usluga određivanja vremena
PPP	Precise Point Positioning	Precizno određivanje položaja
PSSA	Particularly Sensitive Sea Area	Posebno osjetljiva morska područja
QoBD	Quality of Bathymetric Data	Kvaliteta batimetrijskih podataka
QUASOU	Quality of sounding	Kvaliteta izmjere
RAIM	Receiver Autonomous Integrity Monitoring	Algoritam određivanja integriteta satelitskih signala
RCRTCL	Recommended route centreline	Središnjica preporučene rute
RCTLPT	Recommended traffic lane part	Preporučeni dio prolaza pri usmjeravanju plovidbe
RECTRC	Recommended track	Preporučena staza
RNC	Raster Navigational Chart	Rasterska navigacijska karta
SBAS	Satellite Based Augmented services	Satelitska usluga poboljšanja
SC	Single constellation GNSS	Korištenje pojedinačnog GNSS sustava
SCAMIN	Scale Minimum	Najmanje mjerilo prikaza objekta
SEAARE	Sea area/named water area	Područje mora
SENC	System Electronic Navigational Chart	Sustavna vektorska elektronička navigacijska karta
SF	Single frequency	Jednofrekvencijski GNSS prijam
SFA	Simple Features Access standard	Standard jednostavnih pristupa geoprostornih značajki
SLCONS	Shoreline construction	Umjetno stvorene obalne linije

SMA	North Atlantic right whale Seasonal Management Areas	Sjevernoatlantsko područje zaštite kitova
SMS	Safety Management System	Sustav upravljanja kvalitetom i sigurnosti
SOLAS	International Convention for the Safety of Life at Sea	Međunarodna konvencije o zaštiti ljudskih života na moru
SOUACC	Sounding accuracy	Točnost izmjera dubine
SOUNDG	Sounding	Izmjera dubine
SP-GIST	Space-partitioned GIST	Prostorni GIST indeks
SQL	Structured Query Language	Strukturirani upitni jezik
STCW	International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping	Međunarodna konvencija o standardima izobrazbe, izdavanju svjedodžbi i držanju straže pomoraca
TECSOU	Technique of sounding measurement	Metoda izmjere dubina
TEU	Twenty Feet Equivalent Unit	Kontejner duljine dvadeset stopa
THU	Total Horizontal Uncertainty	Ukupna horizontalna neodređenost
TIN	Triangulated Irregular Network	Nepravilna trokutna mreža
TPU	Total Propagated Uncertainty	Ukupna neodređenost
TVU	Total Vertical Uncertainty	Ukupna vertikalna neodređenost
UKC	Under Keel Clearance	Preostala dubina ispod kobilice broda
UKCM	UKC Management	Upravljanje preostalom dubinom ispod kobilice
UKHO	The United Kingdom Hydrographic Office	Hidrografski institut Ujedinjenog Kraljevstva
USV	Unmanned Surface Vehicle	Plovilo bez posade
UTM	Universal Transverse Mercator	Univerzalna poprečna Merkatorova projekcija
UWTROC	Underwater rock	Hrid

VDOP	Vertical Dilution of Precision	Točnost vertikalne razdiobe položaja
WAAS	Wide Area Augmentation System	Široko-prostorni sustav poboljšanja GPS usluge
WKB	Well-known Binary	Binarni format zapisa prostornih podataka
WKT	Well-known Text	Format zapisa prostornih podataka
WOP	Wheel Over Point	Točka promjene smjera broda
WRECKS	Wrecks	Podrtine
XTD	Cross Track Distance	Sigurna bočna udaljenost
XTL	Cross Track Limit	Bočna granična udaljenost

PRIVITAK 1.

IZVATCI PROGRAMSKOG KODA KORIŠTENOG PRI STVARANJU MODELA OKRUŽJA I ALGORITMA PLANIRANJA PUTA

Dodavanje prefiksa korištenjem windows PowerShell terminala

```
Get-ChildItem -Exclude "us2ec02m_*"| rename-item -NewName
{ "us2ec02m_" + $_.Name }
Get-ChildItem -Exclude "us3sc10m_*" | rename-item -NewName
{ "us3sc10m_" + $_.Name }
```

Unos shapefile datoteka u bazu podataka putem naredbenog retka windows 10 sustava

```
for %f in (*shp) do shp2pgsql -s 4326 %f shp_general.%~nf > %~nf.sql
for %f in (*sql) do psql -h localhost -d gpp -U postgres -f %f > nul
```

Priprema baze podataka. PostgreSQL

```
CREATE SCHEMA IF NOT EXISTS meta
;
/* create band table with columns: band_id , title , scale_min , scale_max */
CREATE TABLE meta.bands (
     band_id smallint NOT NULL
     , title character varying(12) NOT NULL , scale_min integer NOT NULL
     , scale_max integer NOT NULL
     , CONSTRAINT band_pkey PRIMARY KEY(band_id))
WITH(
           OIDS=FALSE)
;
/* add column band_id to all tables in a schema */
do $$ declare tname record
;

begin for tname IN
     SELECT t.table_schema
          , t.table_name
       FROM information_schema.tables t
```

```
      WHERE 1=1
       AND table_schema = 'shp_%'
       /* << change schema name here after shp_*/
        AND not exists(SELECT *
                          FROM information_schema.columns c
                         WHERE 1=1
                           AND(c.table_schema, c.table_name) =(t.table_schema,
t.table_name)
                           AND c.column_name = 'band_id') loop
       /* change column definition in the following string */
       execute format('alter table %I.%I add column band_id smallint',
tname.table_schema, tname.table_name)
;

END loop
;
END
;

$$
;

/* delete first nine characters of layer_title value in all tables in a schema */
do $$ declare tname record
;

begin for tname IN
     SELECT t.table_schema
          , t.table_name
       FROM information_schema.tables t
      WHERE 1=1
       AND table_schema = 'shp_'
       /* << change schema name here after shp_ */
        AND exists(SELECT *
                      FROM information_schema.columns c
                     WHERE 1=1
```

```
                        AND(c.table_schema, c.table_name) =(t.table_schema,
t.table_name)
                        AND c.column_name = 'layer_title') loop
       /* change column definition in the following string and chart_title value
*/
       execute format('update %I.%I set layer_title = substring(layer_title from
10 for 254)'
                     , tname.table_schema, tname.table_name)
;

END loop
;

END
;

$$
;
```

Brisanje tablica u shemi selected, prikaz prvih i posljednjih pet tablica

```
DROP TABLE selected.us5ga21m_accuracy_of_data_area;
DROP TABLE selected.us5ga21m_administration_area_named_area;
DROP TABLE selected.us5ga21m_airport_airfield_area;
DROP TABLE selected.us5ga21m_airport_airfield_point;
DROP TABLE selected.us5ga21m_anchor_berth_area;
DROP TABLE selected.us5sc25m_wreck_point;

DROP TABLE selected.us5sc25m_fortified_structure_point;
DROP TABLE selected.us5sc25m_gate_area;
DROP TABLE selected.us5sc25m_gate_line;
DROP TABLE selected.us5sc25m_gate_point;
DROP TABLE selected.us5sc25m_gridiron_area;
```

Promjena naziva tablica, prikaz prvih pet tablica

```
ALTER TABLE us5ga20m_accuracy_of_data_area RENAME TO accuracy_of_data_area;
ALTER TABLE us5ga20m_airport_airfield_area RENAME TO airport_airfield_area;
ALTER TABLE us5ga20m_airport_airfield_point RENAME TO airport_airfield_point;
```

```
ALTER TABLE us5ga20m_anchor_berth_area RENAME TO anchor_berth_area;

ALTER TABLE us5ga20m_anchorage_area RENAME TO anchorage_area;
```

Promjena naziva redoslijeda identifikacije, prikaz prvih pet tablica

```
ALTER SEQUENCE us5ga20m_harbour_accuracy_of_data_area_gid_seq RENAME TO
accuracy_of_data_area_gid_seq;

ALTER SEQUENCE us5ga20m_harbour_administration_area_named_area_gid_seq RENAME TO
administration_area_named_area_gid_seq;

ALTER SEQUENCE us5ga20m_harbour_airport_airfield_area_gid_seq RENAME TO
airport_airfield_area_gid_seq;

ALTER SEQUENCE us5ga20m_harbour_airport_airfield_point_gid_seq RENAME TO
airport_airfield_point_gid_seq;

ALTER SEQUENCE us5ga20m_harbour_anchor_berth_area_gid_seq RENAME TO
anchor_berth_area_gid_seq;

ALTER SEQUENCE us5ga20m_harbour_anchor_berth_point_gid_seq RENAME TO
anchor_berth_point_gid_seq;
```

Izvoz svih tablica u csv format, prikaz prvih pet tablica

```
COPY us2ec02m_administration_area_named_area TO
'D:/backup/schema_bkp/all/us2ec02m_administration_area_named_area.csv'(FORMAT
csv);

COPY us2ec02m_beacon_special_purpose_point TO
'D:/backup/schema_bkp/all/us2ec02m_beacon_special_purpose_point.csv'(FORMAT csv);

COPY us2ec02m_bridge_line TO
'D:/backup/schema_bkp/all/us2ec02m_bridge_line.csv'(FORMAT csv);

COPY us2ec02m_build_up_area TO
'D:/backup/schema_bkp/all/us2ec02m_build_up_area.csv'(FORMAT csv);

COPY us2ec02m_building_single_point TO
'D:/backup/schema_bkp/all/us2ec02m_building_single_point.csv'(FORMAT csv);
```

Stvaranje jedinstvenih tablica iz individualnih shema, prikaz prvih pet tablica

```
CREATE TABLE layers.administration_area_named_area AS TABLE
shp_general.us2ec02m_administration_area_named_area WITH NO DATA;

CREATE TABLE layers.airport_airfield_area AS TABLE
shp_harbour.us5sc12m_airport_airfield_area WITH NO DATA;

CREATE TABLE layers.anchorage_area AS TABLE shp_coastal.us3ga10m_anchorage_area
WITH NO DATA;

CREATE TABLE layers.beacon_lateral_point AS TABLE
shp_harbour.us5ga20m_beacon_lateral_point WITH NO DATA;

CREATE TABLE layers.beacon_special_purpose_general_point AS TABLE
shp_coastal.us3ga10m_beacon_special_purpose_general_point WITH NO DATA;
```

Postavljanje gid vrijednosti na nultu vrijednost, prikaz za prvu i posljednju tablicu

```
UPDATE
     layers.administration_area_named_area
        SET gid = NULL
;
UPDATE
     layers.wreck_point
        SET gid = NULL
;
```

Stvaranje slijeda za sve tablice, prikazana prva i posljednja tablica

```
CREATE SEQUENCE layers.administration_area_named_area_gid_seq INCREMENT 1 MINVALUE 1 MAXVALUE 2147483648 START 1 CACHE 1
;
CREATE SEQUENCE layers.wreck_point_gid_seq INCREMENT 1 MINVALUE 1 MAXVALUE 2147483648 START 1 CACHE 1
;
```

Ažururiranje slijeda, prikazana prva i posljednja tablica

```
UPDATE
     layers.administration_area_named_area
        SET gid = nextval('layers.administration_area_named_area_gid_seq')
           WHERE 1=1
             AND
          gid is null
;
```

```
UPDATE
     layers.wreck_point
        SET gid = nextval('layers.wreck_point_gid_seq')
           WHERE 1=1
             AND
          gid is null
;
```

Dodavanje primarnog ključa, prikazan prvi i posljednji unos

```
ALTER TABLE layers.administration_area_named_area ADD PRIMARY KEY(gid)

;

ALTER TABLE layers.wreck_point ADD PRIMARY KEY(gid)

;
```

Stvaranje GIST indeksa na stupcu geometrije, prikazan prvi i posljednji unos

```
CREATE INDEX administration_area_named_area_geom_idx ON
layers.administration_area_named_area USING gist(geom)

INCLUDE(geom) TABLESPACE pg_default;


CREATE INDEX wreck_point_geom_idx ON layers.wreck_point USING gist(geom)

INCLUDE(geom) TABLESPACE pg_default;
```

Uvoz podataka u pripremljene prazne tablice, prikazan prvi i posljednji unos

```
COPY administration_area_named_area FROM
'D:/backup/schema_bkp/all/us2ec02m_administration_area_named_area.csv' WITH
(FORMAT csv);


COPY wreck_point FROM 'D:backup/schema_bkp/all/us5sc25m_wreck_point_point.csv'
WITH (FORMAT csv);
```

Stvaranje unija objekata

```
/* create table for nautical publication information area */

    CREATE TABLE merged.naut_publ_area (

       id SMALLSERIAL NOT NULL

     , title VARCHAR(255)


   , band_id smallint NOT NULL

     , layer_id smallint

     , geom geometry NOT NULL

     , CONSTRAINT id PRIMARY KEY(id)


   , CONSTRAINT band_id FOREIGN KEY(band_id) REFERENCES meta.bands(band_id) MATCH
SIMPLE

          ON UPDATE

     NO ACTION
```

```
          ON DELETE NO ACTION NOT VALID , CONSTRAINT layer_id FOREIGN
KEY(layer_id) REFERENCES meta.layers(layer_id) MATCH SIMPLE

             ON UPDATE

     NO ACTION

          ON DELETE NO ACTION NOT VALID)

;

/* set foreign key constraints on band_id and layer_id */

ALTER TABLE merged.naut_publ_area ADD CONSTRAINT naut_publ_area_band_id_fkey
FOREIGN KEY(band_id) REFERENCES meta.bands(band_id) MATCH SIMPLE ON UPDATE NO
ACTION

     ON DELETE NO ACTION NOT VALID

;


ALTER TABLE merged.naut_publ_area ADD CONSTRAINT naut_publ_area_layer_id_fkey
FOREIGN KEY(layer_id) REFERENCES meta.layers(layer_id) MATCH SIMPLE ON UPDATE NO
ACTION

     ON DELETE NO ACTION NOT VALID

;

/* set owner of table to postgres */

ALTER TABLE IF EXISTS merged.naut_publ_area OWNER to postgres

;

/* insert into merged.naut_publ_area table from shp_general schema */

INSERT INTO merged.naut_publ_area

    ( title

    , band_id

    , layer_id

    , geom

     )

VALUES

     ('npi_2', '2'

     , '117'

     , (SELECT ST_Multi(ST_Union(ST_Multi(geom)))

          FROM shp_general.us2ec02m_nautical_publication_information_area AS
npi_ga_202

       )

     ) RETURNING id

;
```

Stvaranje pogleda za točke podrtina

```
CREATE VIEW merged.wreck_points AS
SELECT * FROM layers.wreck_point w where "band_id"='2' and
    st_within(w.geom, (select geom from merged.npi_2_clip))
     union
SELECT * FROM layers.wreck_point w where "band_id"='3' and
    st_within(w.geom, (select geom from merged.npi_3_clip))
       union
SELECT * FROM layers.wreck_point w where "band_id"='4' and
    st_within(w.geom, (select geom from merged.npi_4_clip))
       union
SELECT * FROM layers.wreck_point w where "band_id"='5'
     ;
```

Stvaranje jedinstvenih obalnih crta

```
/*create table merged coastline based on coastlines and construction lines */
create table other.coastline (
    gid serial primary key,
    band_id integer,
    chart_id varchar,
    geom geometry(multiLineString, 4326)
);
/* insert into merged coastline table */
INSERT INTO
    other.coastline (band_id, chart_id, geom)
SELECT
    cl.band_id,
    cl.chart_id,
    cl.geom
FROM
    merged.coastline_line AS cl
    JOIN other.bound AS b ON ST_Intersects(b.geom, cl.geom)
WHERE
    cl.band_id = 5;
```

Algoritam globalnog planiranja puta od pristana Savannah do peljarske postaje

```
"""
Model exported as python.
Name : fw_and_gpp_sav
Group : gpp_sav
With QGIS : 32807
"""

from qgis.core import QgsProcessing
from qgis.core import QgsProcessingAlgorithm
from qgis.core import QgsProcessingMultiStepFeedback
from qgis.core import QgsProcessingParameterVectorLayer
from qgis.core import QgsProcessingParameterFeatureSink
import processing


class Fw_and_gpp_sav(QgsProcessingAlgorithm):

    def initAlgorithm(self, config=None):
        self.addParameter(QgsProcessingParameterVectorLayer('fairway_dissolve',
'fairway_dissolve', types=[QgsProcessing.TypeVectorPolygon], defaultValue=None))
        self.addParameter(QgsProcessingParameterFeatureSink('Fairway_buffer',
'fairway_buffer', type=QgsProcessing.TypeVectorPolygon, createByDefault=True,
supportsAppend=True, defaultValue=None))
        self.addParameter(QgsProcessingParameterFeatureSink('Gpp_sav_ps_vert',
'gpp_sav_ps_vert', type=QgsProcessing.TypeVectorPoint, createByDefault=True,
supportsAppend=True, defaultValue=None))
        self.addParameter(QgsProcessingParameterFeatureSink('Gpp_path_sav_brt_ps',
'gpp_path_sav_brt_ps', type=QgsProcessing.TypeVectorLine, createByDefault=True,
defaultValue=None))
        self.addParameter(QgsProcessingParameterFeatureSink('H3_fw_line',
'h3_fw_line', type=QgsProcessing.TypeVectorLine, createByDefault=True,
supportsAppend=True, defaultValue=None))
        self.addParameter(QgsProcessingParameterFeatureSink('Sv_brt_ps_simp',
'sv_brt_ps_simp', type=QgsProcessing.TypeVectorAnyGeometry, createByDefault=True,
supportsAppend=True, defaultValue=None))
        self.addParameter(QgsProcessingParameterFeatureSink('Sav_berth_to_ps',
'sav_berth_to_ps', type=QgsProcessing.TypeVectorLine, createByDefault=True,
defaultValue=None))

    def processAlgorithm(self, parameters, context, model_feedback):
```

```
        # Use a multi-step feedback, so that individual child algorithm progress
reports are adjusted for the
        # overall progress through the model
        feedback = QgsProcessingMultiStepFeedback(9, model_feedback)
        results = {}
        outputs = {}

        # fair_buffer
        alg_params = {
            'DISSOLVE': False,
            'DISTANCE': -0.0005,
            'END_CAP_STYLE': 0,  # Round
            'INPUT': parameters['fairway_dissolve'],
            'JOIN_STYLE': 0,  # Round
            'MITER_LIMIT': 1,
            'SEGMENTS': 5,
            'OUTPUT': parameters['Fairway_buffer']
        }
        outputs['Fair_buffer'] = processing.run('native:buffer', alg_params,
context=context, feedback=feedback, is_child_algorithm=True)
        results['Fairway_buffer'] = outputs['Fair_buffer']['OUTPUT']

        feedback.setCurrentStep(1)
        if feedback.isCanceled():
            return {}

        # fairway_11
        alg_params = {
            'EXTENT': outputs['Fair_buffer']['OUTPUT'],
            'RESOLUTION': 11,
            'OUTPUT': QgsProcessing.TEMPORARY_OUTPUT
        }
        outputs['Fairway_11'] = processing.run('densityanalysis:h3grid',
alg_params, context=context, feedback=feedback, is_child_algorithm=True)

        feedback.setCurrentStep(2)
        if feedback.isCanceled():
```

```
            return {}

        # h3_clip_spatial_index
        alg_params = {
            'INPUT': outputs['Fairway_11']['OUTPUT']
        }
        outputs['H3_clip_spatial_index'] =
processing.run('native:createspatialindex', alg_params, context=context,
feedback=feedback, is_child_algorithm=True)

        feedback.setCurrentStep(3)
        if feedback.isCanceled():
            return {}

        # h3_fairway_clip
        alg_params = {
            'INPUT': outputs['H3_clip_spatial_index']['OUTPUT'],
            'OVERLAY': outputs['Fair_buffer']['OUTPUT'],
            'OUTPUT': QgsProcessing.TEMPORARY_OUTPUT
        }
        outputs['H3_fairway_clip'] = processing.run('native:clip', alg_params,
context=context, feedback=feedback, is_child_algorithm=True)

        feedback.setCurrentStep(4)
        if feedback.isCanceled():
            return {}

        # h3_poly_to_line
        alg_params = {
            'INPUT': outputs['H3_fairway_clip']['OUTPUT'],
            'OUTPUT': parameters['H3_fw_line']
        }
        outputs['H3_poly_to_line'] = processing.run('native:polygonstolines',
alg_params, context=context, feedback=feedback, is_child_algorithm=True)
        results['H3_fw_line'] = outputs['H3_poly_to_line']['OUTPUT']

        feedback.setCurrentStep(5)
```

```
        if feedback.isCanceled():
            return {}

        # Shortest path (point to point)
        alg_params = {
            'DEFAULT_DIRECTION': 2,  # Both directions
            'DEFAULT_SPEED': 5,
            'DIRECTION_FIELD': '',
            'END_POINT': '-80.688912,31.944949 [EPSG:4326] ',
            'ENTRY_COST_CALCULATION_METHOD': 0,  # Ellipsoidal
            'INPUT': outputs['H3_poly_to_line']['OUTPUT'],
            'SPEED_FIELD': '',
            'START_POINT': '-81.143106,32.137303 [EPSG:4326]',
            'STRATEGY': 0,  # Shortest Path (distance optimization)
            'TOLERANCE': 0,
            'VALUE_BACKWARD': '',
            'VALUE_BOTH': '',
            'VALUE_FORWARD': '',
            'OUTPUT': parameters['Sav_berth_to_ps']
        }
        outputs['ShortestPathPointToPoint'] =
processing.run('qneat3:shortestpathpointtopoint', alg_params, context=context,
feedback=feedback, is_child_algorithm=True)
        results['Sav_berth_to_ps'] = outputs['ShortestPathPointToPoint']['OUTPUT']


        feedback.setCurrentStep(6)
        if feedback.isCanceled():
            return {}

        # gpp_sav_brt_ps
        alg_params = {
            'INPUT': outputs['ShortestPathPointToPoint']['OUTPUT'],
            'METHOD': 2,  # Area (Visvalingam)
            'TOLERANCE': 0.001,
            'OUTPUT': parameters['Sv_brt_ps_simp']
        }
```

```
        outputs['Gpp_sav_brt_ps'] = processing.run('native:simplifygeometries',
alg_params, context=context, feedback=feedback, is_child_algorithm=True)

        results['Sv_brt_ps_simp'] = outputs['Gpp_sav_brt_ps']['OUTPUT']


        feedback.setCurrentStep(7)

        if feedback.isCanceled():

            return {}


        # extract gpp_sav_vert

        alg_params = {

            'INPUT': outputs['Gpp_sav_brt_ps']['OUTPUT'],

            'OUTPUT': parameters['Gpp_sav_ps_vert']

        }

        outputs['ExtractGpp_sav_vert'] = processing.run('native:extractvertices',
alg_params, context=context, feedback=feedback, is_child_algorithm=True)

        results['Gpp_sav_ps_vert'] = outputs['ExtractGpp_sav_vert']['OUTPUT']


        feedback.setCurrentStep(8)

        if feedback.isCanceled():

            return {}


        # Points to path

        alg_params = {

            'CLOSE_PATH': False,

            'GROUP_EXPRESSION': '',

            'INPUT': outputs['ExtractGpp_sav_vert']['OUTPUT'],

            'NATURAL_SORT': False,

            'ORDER_EXPRESSION': 'vertex_index',

            'OUTPUT': parameters['Gpp_path_sav_brt_ps']

        }

        outputs['PointsToPath'] = processing.run('native:pointstopath',
alg_params, context=context, feedback=feedback, is_child_algorithm=True)

        results['Gpp_path_sav_brt_ps'] = outputs['PointsToPath']['OUTPUT']

        return results


    def name(self):

        return 'fw_and_gpp_sav'
```

```
def displayName(self):
    return 'fw_and_gpp_sav'

def group(self):
    return 'gpp_sav'

def groupId(self):
    return 'gpp_sav'

def createInstance(self): return Fw_and_gpp_sav()
```

PRIVITAK 2.

IZVATCI KORIŠTENOG PROGRAMSKOG KODA PRI ANALIZI AIS PODATAKA

Priprema podataka. Korišten Python 3.10.4

```
# pokretanje potrebnih programskih biblioteka
import numpy as np
import pandas as pd
import glob
import os

# odabir intervala
df = pd.read_csv('data/ais_q1.csv')
df = df[df.BaseDateTime > '2019-01-01']
df = df[df.BaseDateTime < '2019-03-31']
df.to_csv('data/ais_q1.csv')

# uvoz i spajanje datoteka
joined_files = os.path.join("data", "ais*.csv")
joined_list = glob.glob(joined_files)
df = pd.concat(map(pd.read_csv, joined_list), ignore_index=True)
df = df.drop('Unnamed: 0', axis=1)
df['VesselName'] = df['VesselName'].astype('string')
df['BaseDateTime'] = pd.to_datetime(df['BaseDateTime'])

# odabir teretnih brodova prema AIS kodovima
df = df.loc[(df['VesselType'] > 69) & (df['VesselType'] < 80 )]
cargo_unique = df.drop_duplicates('VesselName')
len(cargo_unique)
dfc = df[df['VesselName'].str.contains('MAERSK|MSC|CMA|EVER|COSCO|HAPAG|APL',
                                       na=False)]
print(dfc)

# odabir brodova u plovidbi i jednog brodara
dfc = dfc[dfc.SOG>0]
```

```
dfc_underway = dfc.loc[dfc['Status'] == 0]
print (dfc_underway)
cma = df[df['VesselName'].str.contains('CMA', na=False)]
cma_uw = cma[cma.SOG>0]
cma_underway = cma.loc[cma['Status'] == 0]
cma_underway.head()
```

Stvaranje putova za analizu i određivanje diskretne Fréchetove udaljenosti

```
# pokretanje potrebnih programskih biblioteka
import pandas as pd
import geopandas as gpd
from geopandas import GeoDataFrame, read_file
from shapely.geometry import Point, LineString, Polygon
from datetime import datetime, timedelta
import movingpandas as mpd
import hvplot.pandas
import matplotlib.pyplot as plt
import time
import numpy as np
from scipy.stats import skew
from scipy.stats import kurtosis
import similaritymeasures
import warnings
warnings.simplefilter("ignore")
```

```
# uvoz i priprema datoteka
%%time
df = pd.read_csv('data/fleet.csv')
print(f"Finished reading {len(df)}")
df = df.sort_values(by='BaseDateTime')
df.loc[(df['Status'] > 0), 'BaseDateTime'] = '0'
df['VesselName'] = df['VesselName'].astype('string')
df['BaseDateTime'] = pd.to_datetime(df['BaseDateTime'],errors='coerce')
df = df.drop('Unnamed: 0', axis=1)
```

```
# pretvaranje u geodataframe format
gdf = gpd.GeoDataFrame(
    df, geometry=gpd.points_from_xy(df.LON, df.LAT), crs='epsg:4326')
gdf_unique = gdf.drop_duplicates('VesselName')
len(gdf_unique)

# stvaranje trajektorija korištenjem movingpandas biblioteke
flt_fleet_col = mpd.TrajectoryCollection(gdf,'MMSI','VesselName',
t='BaseDateTime')
print(f"Created {len(flt_fleet_col)} flt trajectories")

flt_fleet_split =
mpd.ObservationGapSplitter(flt_fleet_col).split(min_length=200000,
gap=timedelta(minutes=30))

flt_fleet_split.to_traj_gdf()

# odabir brodova koji plove za luku charleston
flt_sub = flt_gdf[ (flt_gdf['direction'] >= 50) & (flt_gdf['direction'] <= 60 )]

# određivanje trajanja putovanja, duljine puta i prosječne brzine
time_delta = flt_sub_summ.start_t - flt_sub_summ.end_t
time_delta_h = time_delta.astype('timedelta64[m]')/60
time_delta_h = abs(time_delta_h)
time_delta_h
flt_sub_summ.insert(loc=3, column='time_delta', value=time_delta)
flt_sub_summ.insert(loc=4, column='duration_h', value=time_delta_h)

length_NM = flt_sub_summ['length']/1852
flt_sub_summ.insert(loc=7, column='length_NM', value=length_NM)
av_spd_kmh = flt_sub_summ['length']/flt_sub_summ['duration_h']/1000
av_spd_kts = av_spd_kmh*0.5399568
flt_sub_summ.insert(loc=8, column='av_spd_kmh', value=av_spd_kmh)
flt_sub_summ.insert(loc=9, column='av_spd_kts', value=av_spd_kts)
column_to_move = flt_sub_summ.pop("geometry")
flt_sub_summ.insert(10, "geometry", column_to_move)
summary = flt_sub_summ.describe().round(1)
```

```
summary = summary[["length_NM","duration_h","av_spd_kts"]]
summary = summary.drop(summary.index[[0]])

# određivanje sličnosti diskretnom Fréchetovom udaljenosti
flt_geom = flt_id_geom['geometry']
pt = list(flt_geom.geometry)

# konverzija u utm 17 sustav
flt_geom.crs
flt_proj = flt_geom.to_crs(epsg=32617)
pt_utm = list(flt_proj.geometry)
split_utm = len(pt_utm)

pt_utm_arr = np.array([np.array(xi) for xi in pt_utm], dtype=object)
print(pt_utm_arr)
print(type(pt_utm_arr))

# vektorizacija dfd funkcije i određivanje sličnosti
vec_sim = np.vectorize(similaritymeasures.frechet_dist)

X_utm = pt_utm_arr[0:]
Y_utm = pt_utm_arr[0:]
len(X_utm)
X_utm, Y_utm = np.meshgrid(X_utm,Y_utm)

%%time
res_utm = vec_sim(X_utm,Y_utm)
res_utm_nm = res_utm/1852
```