Morske struje i njihov utjecaj na plovidbu broda

Mandić, Lovro

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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:187:263650

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-01**

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

zir.nsk.hr

UNIRI DIGITALNA KNJIŽNICA

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET

LOVRO MANDIĆ

MORSKE STRUJE I NJIHOV UTJECAJ NA PLOVIDBU BRODA

ZAVRŠNI RAD

Rijeka, 2024.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET

MORSKE STRUJE I NJIHOV UTJECAJ NA PLOVIDBU BRODA

SEA CURRENTS AND THEIR INFLUENCE ON SHIP NAVIGATION

ZAVRŠNI RAD
BACHELOR THESIS

Kolegij: Terestrička navigacija
Mentor/komentor: izv. prof. dr. sc. David Brčić/ doc. dr. sc. Tatjana Ivošević
Student: Lovro Mandić
Studijski smjer: Nautika i tehnologija pomorskog prometa
JMBAG: 0335004791

Rijeka, rujan 2024.

Student: Lovro Mandić

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

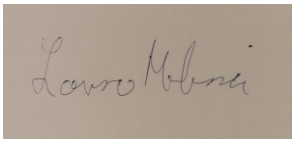
JMBAG: 0335004791

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom
Morske struje i njihov utjecaj na plovidbu broda
izradio/la samostalno pod mentorstvom
izv. prof. dr. sc. David Brčić/

te komentorstvom doc. dr. sc. Tatjana Ivošević

U radu sam primijenio/la metodologiju izrade stručnog/znanstvenog rada i koristio/la literaturu koja je navedena na kraju završnog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo/la u završnom radu na uobičajen, standardan način citirao/la sam i povezao/la s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.



_____

Lovro Mandić

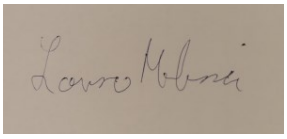
Student: Lovro Mandić
Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0335004791

IZJAVA STUDENTA – AUTORA
O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG ZAVRŠNOG RADA

Izjavljujem da kao student – autor završnog rada dozvoljavam Pomorskom fakultetu u Rijeci da ga trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim javnosti u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta.

U svrhu podržavanja otvorenog pristupa završnim radovima trajno objavljenim u javno dostupnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta, ovom izjavom dajem neisključivo imovinsko pravo iskorištavanja bez sadržajnog, vremenskog i prostornog ograničenja mog završnog rada kao autorskog djela pod uvjetima *Creative Commons* licencije CC BY Imenovanje, prema opisu dostupnom na http://creativecommons.org/licenses/



_____

Lovro Mandić

SAŽETAK

Završnim radom prikazano je istraživanje teme morskih struja i njihov utjecaj na plovidbu brodom. U ovome završnome radu morske struje proučavaju se kao prirodna pojava te se proučava njihov utjecaj na plovidbu i manevriranje broda. Opisano je kako morske struje nastaju te koji čimbenici ih pokreću. Također navedene su bitne karakteristike morskih struja te njihova podjela s obzirom na vrstu i način postanka. U kontekstu pomorske navigacije analizirano je kako morske struje utječu na plovidbu broda i kako morske struje utječu na promjene brzine i određivanje kursa. U radu je istraženo kako pojedine morske struje utječu na brod u različitim situacijama. Također opisani su uređaji koji se koriste za mjerenje karakteristika morskih struja i karte, alati i publikacije koje sadrže informacije o morskim strujama.

Ključne riječi: karakteristike morskih struja, morske struje, manevriranje brodom, pomorska navigacija, utjecaji morske struje na plovidbu broda

SUMMARY

This paper explores the subject of ocean currents and their significant influence on ship navigation. In this paper sea currents are studied as a natural occurrence and the way they influence ship handling and navigation. It is described what causes the existence of sea currents and the factors which drive their movement. Sea currents are classified in regards of their type and the way they are generated. Important characteristics of sea currents are shown as well. In the context of ship navigation it is analysed how currents impact ship handling and the way they cause speed and course changes. This paper shows how certain sea currents impact the ship in different situations. In relation to that sea current measuring devices along with maps and publications which contain information on sea currents are described in this paper.

Keywords: sea currents, sea currents impact on ship navigation, sea current characteristics, ship manoeuvring, ship navigation

SADRŽAJ

SAŽETAK ..... **I**

SUMMARY ..... **I**

SADRŽAJ ..... **II**

1. UVOD **1**

2. POMORSKA NAVIGACIJA **2**

2.1. VOĐENJE POMORSKE NAVIGACIJE **2**

2.2. VANJSKI UTJECAJI NA UPRAVLJANJE BRODOM **3**

3. MORSKE STRUJE **5**

3.1. ZNAČAJKE MORSKIH STRUJA **5**

3.2. UZROČNE SILE I UTJECAJI NA UZROČNE SILE **7**

3.2.1. Porivna sila vjetra *7*

3.2.2. Coriolisova sila *9*

3.2.3. Termohalina cirkulacija *11*

3.3. PODJELA MORSKIH STRUJA PREMA VRSTI **12**

3.4. PODJELA MORSKIH STRUJA PREMA NAČINU POSTANKA **16**

3.4.1 Driftne struje *16*

3.4.1.1. Pasatne struje 18

3.4.1.2. Ekvatorske struje 18

3.4.1.3. Ekvatorske protustruje 19

3.4.1.4. Monsunske struje 19

3.4.1.5. Struje zapadnih vjetrova 20

3.4.2. Gradijentne morske struje ***20***

3.4.3. Struje morskih mijena ***22***

3.5. GEOGRAFSKA PODJELA MORSKIH STRUJA **23**

3.6. MJERENJE BRZINE I SMJERA MORSKIH STRUJA **25**

3.7. MORSKE STRUJE KAO ČIMBENIK U METEOROLOGIJI I KLIMATOLOGIJI **27**

4. UTJECAJ MORSKIH STRUJA NA PLOVIDBU BRODA **29**

4.1. UTJECAJ MORSKIH STRUJA NA BRZINU I KURS BRODA **29**

4.2. NAČINI DOBIVANJA INFORMACIJA O MORSKIM STRUJAMA NA ZAPOVJEDNIČKOM MOSTU **31**

4.2.1. Publikacije i karte *31*

4.2.2. Navigacijski podaci *35*
4.2.3. Alati za optimizirano planiranje putovanja..... *36*
4.3. UTJECAJ MORSKIH STRUJA NA MANEVRIRANJE BRODOM..... 38
4.4. PRORAČUN SILE MORSKIH STRUJA..... 42
5. ZAKLJUČAK..... 44
LITERATURA 45
KAZALO KRATICA..... 46
POPIS SLIKA..... 47

1. UVOD

Postojanje morskih struja prvi put se spominje u spisima antičkih grčkih pomoraca koji su primijetili da se brodovi zanose u određenom smjeru u odnosu na smjer vjetra te da vjetar nije jednini čimbenik zanošenja broda. Usporedno s povijesnim razvojem znanosti, pomorstva, kartografije, trgovine, konstrukcije brodova, ljudske želje za istraživanjem svijeta, novih kontinenata i pomorskih puteva te uspostavljanjem pomorskih trgovačkih ruta, pomorci shvaćaju važnost poznavanja morskih struja. Postupnim proučavanjem i prikupljanjem informacija o morskim strujama pomorci primjećuju uzroke gibanja mora na određenim područjima te ih nastoje iskoristiti za učinkovitije i sigurnije vođenje navigacije. Odgovor na pitanje što uzrokuje morske struje daje suvremena znanost koja povezuje stečena znanja iz pomorske meteorologije i oceanologije. Morske struje su gibanje morske vode koje uzrokovana različitim silama poput sile teže, plimotvorne sile, sile gradijenta tlaka, sile nagiba zbog različite visine morska razina a te različitim meteoroloških i oceanoloških elemenata poput prevladavajućih vjetrova, razlika u gustoći oceana i mora te , konfiguraciji obale. Oceanske struje su najveće morske struje i cirkuliraju na udaljenostima većim od 1000 km i pri tome prenoseći energiju utječu na oblikovanje klime kontinenata, a osobito priobalnih područja. Poznavanje morskih struja uz korištenje ostalih dostupnih izvora informacija i tehnologija jedan je od čimbenika u pomorskoj djelatnosti za planiranje najoptimalnije rute putovanja uzimajući u obzir čimbenike poput sigurnosti, trajanja putovanja i smanjenje potrošnje goriva.

Završni rad je koncipiran pet poglavlja u kojima se morske struje promatraju kao prirodni fenomen te se proučava kako morske struje utječu na plovidbu broda. Nakon kratkog uvoda u temu u drugome poglavlju ”POMORSKA NAVIGACIJA” nalazi se pregled pomorske navigacije te je pobliže opisano što je sve potrebno za kvalitetno vođenje navigacije i koji su to vanjski čimbenici koje treba uzeti u obzir tijekom plovidbe broda. U trećem poglavlju “MORSKE STRUJE”, opisani su uzroci morskih struja, vrste prema različitom porijeklu te karakteristike istih. Navedeni su primjeri, slike i tablice radi zornosti opisa različitih vrsta i tipova morskih struja. Detaljnije su opisane one morske struje koje izravno utječu na plovidbu. Četvrto poglavlje “UTJECAJ MORSKIH STRUJA NA PLOVIDBU BRODA” obrađuje to kako morske struje utječu na brod u plovidbi. U ovome poglavlju objašnjeno je kako morske struje utječu na određivanje parametara bitnih za plovidbu broda, izvore informacija o morskim strujama, alatima za optimizaciju putovanja te numeričkom proračunu iznosa sile morskih struja. U posljednjem poglavlju rada „ZAKLJUČAK“ donosi se kratki pregled na istraživanje teme i informacije o morskim strujama.

2. POMORSKA NAVIGACIJA

Pomorska navigacija (lat. *Navigare*, ploviti) skup je vještina, tehnika i znanja kojima se brod od mjesta polazišta dovodi do mjesta odredišta. Putovanje broda u pomorskoj navigaciji podrazumijeva sigurno dovođenje broda od veza u mjestu polazišta do veza u mjestu odredišta. Za putovanje broda izrađuje se najoptimalnija ruta uzimajući u obzir čimbenike poput meteoroloških uvjeta u očekivanom trajanju putovanja, geometrije puta te ekonomskih, političkih, geostrateških i vojnih čimbenika. Pomorska navigacija i navigacija općenito temelji se na osnovnim zakonima matematike, fizike, geodezije, astronomije, elektrotehnike i drugih znanstvenih disciplina poput hidrografije, kartografije, meteorologije i oceanologije. [1] U osnovi navigacija se dijeli na pomorsku navigaciju, navigaciju unutrašnjim plovnim vodama (riječna, jezerska, kanalska), zrakoplovnu navigaciju i svemirsku navigaciju. Ovisno o geografskom položaju broda, pomorska se navigacija dijeli na obalnu, oceansku i polarnu navigaciju. Obalna navigacija podrazumijeva plovidbu na udaljenosti do 50 nautičkih milja od kopna gdje se može raspoznati obala i objekti na njoj, a tijekom obalne navigacije primjenjuju se terestrička i elektronička navigacija. Oceanska navigacija vođenje je broda izvan obalnog pojasa te se tijekom oceanske navigacije primjenjuju elektronska, astronomska i zbrojena navigacija. Polarna navigacija je specifična i obuhvaća plovidbu na morima iznad geografskih širina 66,5° S i 66,5° N. Plovidba u polarnim predjelima zahtijeva snažniju konstrukciju broda. Oplata broda kao i oprema za sidrenje i privezivanje mora biti znatno čvršće izvedbe. Tijekom planiranja putovanja u obzir se moraju uzeti i dodatni parametri specifični za polarna područja poput trenutne debljine leda, potrebe za uzimanjem ledolomaca, temperatura narednih dana i koji je dio godine (je li polarni dan ili polarna noć). Također tijekom navigacije u polarnim predjelima na zapovjedničkom mostu mora biti jedan časnik čija je zadaća isključivo promatranje stanja leda na moru.

2.1. VOĐENJE POMORSKE NAVIGACIJE

Vođenje navigacije je izuzetno zahtjevan posao za koji je potrebna velika količina teorijskog znanja, kvalitetnog planiranja, sposobnosti rukovanja tehnologijom i uređajima koji se nalaze na brodu. Osnovni zadatak pomorske navigacije je sigurno vođenje broda uzimajući u obzir sigurnost posade, putnika, tereta i okoliša od luke polazišta do luke odredišta odnosno od veza

[1] Kos S.; Zorović D., Vranić D. Terestrička i elektronička navigacija, Rijeka: Pomorski fakultet u Rijeci, 2010

do veza. Prva neophodna stavka vođenja navigacije je kvalitetno planiranje putovanja, odnosno odabir i izrada najpovoljnije rute putovanja. To podrazumijeva prikupljanje podataka o području plovidbe i lukama odredišta iz raznih publikacija, odabir potrebnih karata za područje plovidbe, vođenje računa o gazu broda i dostupnoj dubini, uzimanje u obzir vremenskih uvjeta u očekivanom trajanju putovanja. Za kvalitetno vođenje navigacije potrebno je poznavati brod i njegove manevarske sposobnosti kako bi se brod kretao po unaprijed zadanoj ruti te ukoliko je iz nekog razloga potrebno promijenio kurs ili brzinu. Dužnost časnika navigacijske straže je redovito kontroliranje pozicije broda koristeći se dostupnim uređajima na brodu. Pozicija broda može se odrediti grafičkim ili računskim načinom, osmatranjem prirodnih ili izgrađenih objekta na kopnu i moru, osmatranjem nebeskih tijela i uporabom navigacijskih sredstava i uređaja. Dodatne mjere koje se koriste za sigurno vođenje navigacije su određivanje pogreške navigacijskih instrumenata i održavanje sredstava u ispravnom stanju, ažuriranje pomorskih karata i navigacijskih priručnika, određivanje manevarskih elemenata i ispitivanje utjecaja vanjskih faktora na njihove promjene.[2]

2.2. VANJSKI UTJECAJI NA UPRAVLJANJE BRODOM

Vanjski utjecaji koji djeluju na brod mogu se podijeliti na dvije skupine. U prvu skupinu vanjskih utjecaja spadaju obilježja prilaznog plovnog puta i lučkog akvatorija. Obilježja lučkog akvatorija su različite okolnosti koje su neizostavni dio eksploatacije broda, a zbog njih je brod primoran prilagoditi se situaciji te sukladno s time promijeniti svoj kurs i brzinu ili izbjegavati određena područja. Neki od tih utjecaja su konfiguracija obale, dostupna dubina i širina plovnoga puta, prisutnost navigacijskih opasnosti, pokrivenost područja navigacijskim oznakama, pokrivenost navigacijskim sustavima, gustoća prometa, i interakcija s drugim brodovima.[3] U drugu skupinu vanjskih čimbenika spadaju meteorološki i oceanološki čimbenici koji svojim djelovanjem mijenjaju brzinu i kurs broda te nastoje zakrenuti brod. To su djelovanje sile vjetra, morskih struja, valova, morske mijene i prisutnost leda. Navedeni čimbenici i sile mogu se podijeliti u tri osnovne kategorije, a to su upravljive sile, djelomično upravljive sile i neupravljive sile. Upravljive sile podrazumijevaju sile koje su pod neposrednom kontrolom zapovjednika i posade. U ove sile spadaju sila koju generira brodski pogonski stroj, sila brodskog vijka, sila kormila, sile pramčanih i krmenih porivnika, sile privezne i sidrene opreme i vučne sile tegljača. Mijenjanjem intenziteta i smjera djelovanja

[2] Kos S.; Zorović D., Vranić D. Terestrička i elektronička navigacija, Rijeka: Pomorski fakultet u Rijeci, 2010

[3] Mohović R., Tehnika rukovanja brodom, Meteorološki i oceanološki čimbenici,

navedenih sila ostvaruje se željeni učinak tijekom manevriranja. Druga kategorija su djelomično upravljive sile odnosno sile koje se mogu djelomično kontrolirati tijekom manevriranja. U skupinu djelomično upravljivih sila spadaju sile međudjelovanja broda s obalom, morskim dnom i drugim brodovima. Pri međudjelovanju broda s obalom pojavljuje se efekt ruba plovnog puta (engl. *bank effect*), plovidba u plićim vodama (engl. *shallow water effect*) utječe na dodatni zagažaj (engl. *squat*) i krug okreta broda. U plovidbi se također pojavljuje i interakcija između brodova (engl. *ship to ship interaction*) te interakcija broda s tegljačima tijekom manevriranja. Na ovu skupinu sila može se indirektno utjecati dostupnim upravljivim silama kada se očekuje njihova pojava, a najčešće je to prilagođavanjem brzine broda. Treća kategorija sila su neupravljive sile. To su sile djelovanja vjetra, morskih struja, valova i leda koje su neizbježna pojava u pomorskoj navigaciji. Ove sile nemoguće je kontrolirati, ali poznavanjem intenziteta i smjera djelovanja ovih sila njihov utjecaj može se kompenzirati pravovremenim korištenjem upravljivih sila. Učinci navedenih čimbenika u plovidbi prisutni su svakodnevno te mogu bitno otežati ili olakšati plovidbu. Razmjer njihovog učinka ovisi o njihovom intenzitetu, smjeru djelovanja u odnosu na smjer kretanja broda i o određenim dimenzijama broda (gaz broda, površina nadvođa, površina trupa ispod razine mora).[4] Neki čimbenika su stalni i predvidljivi te su neizostavna stavka pri planiranju putovanja. Stalni planetarni vjetrovi, ustaljeni lokalni vjetrovi i morske struje mogu se koristiti kao način za optimizaciju putovanja. Djelovanje u smjeru u kojem brod plovi povećati će brzinu broda, skratiti trajanje putovanja i smanjiti potrošnju goriva, no u suprotnom slučaju djelovati će negativno.

[4] Mohović R., Tehnika rukovanja brodom, Meteorološki i oceanološki čimbenici

3. MORSKE STRUJE

Morske struje su, uz valove i morske mijene, jedno od triju karakterističnih gibanja mora. Treba napomenuti da morske mijene predstavljaju vertikalno gibanje mora te tijekom promjene razine mora uzrokuju pojavu struja morskih mijena koje struje u horizontalnoj ravnini. Najvažniji uzroci morskih struja su sile koje nastaju zbog stalnih prevladavajućih vjetrova,, razlika u gustoći svjetskih mora i oceana, privlačenjima Mjeseca, razlika u gustoći kopnenih tekućica koje se ulijevaju u mora. Brzina i smjer morskih struja ovisi o uzročnim silama, konfiguraciji obale i morskog dna te međudjelovanju različitih morskih struja.[5] Za pomorsku navigaciju odnosno za upravljanje brodovima najvažnije su površinske morske struje te struje nagiba s kojima su brodovi u izravnom doticaju. Iako brodovi nisu u izravnom doticaju s dubinskim morskim strujanjima, one utječući na površinske struje mogu posredno utjecati na plovidbu broda.

Morska cirkulacija se odvija u svim ravninama i to; horizontalnoj, okomitoj i kosoj ravnini. Pojam oceanskih morskih struja obuhvaća premještanje morskih masa na velikim udaljenostima od ekvatorskih širina do polarnih krajeva. Moguće je da toplija morska voda struji prema višim geografskim širinama, ali i da hladnija voda od polova struji prema ekvatorijalnom predjelu. Također postoje dubinska, vertikalna i kosa morska strujanja kao posljedica različitih gustoća svjetskih mora. Strujanje mora prisutno je u svim slojevima mora i oceana, stoga se morske struje razlikuju prema vrsti i načinu postanka. Prema vrsti morske struje dijele se na površinske i dubinske s obzirom na dubinu strujanja, tople i hladne struje s obzirom na temperaturu te konstantne i periodične s obzirom na učestalost pojavljivanja. Podjela prema načinu postanaka uključuje tri kategorije: driftne morske struje, gradijentne morske struje i struje morskih mijena. Zbog svoje rasprostranjenosti i ogromnog volumena vode različitih temperatura koje prenose na velikim udaljenostima sve navedene vrste morskih strujanja imaju funkciju prijenosa toplinske energije na globalnoj razini.

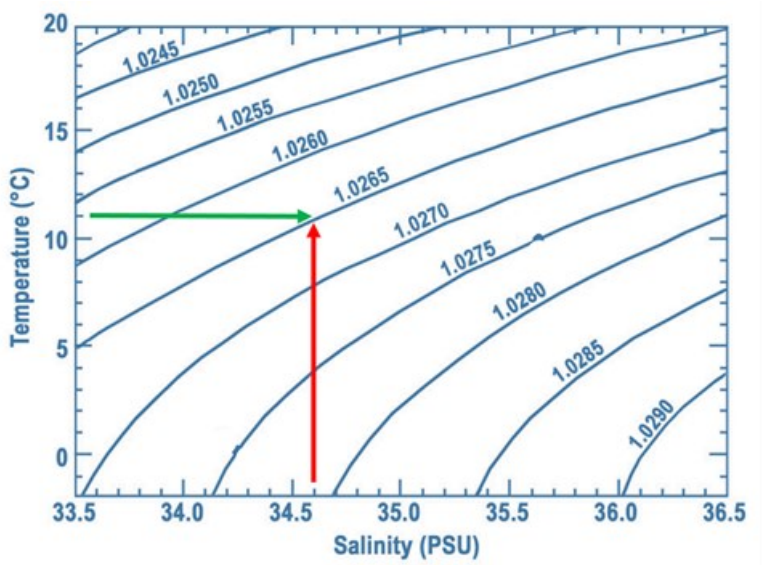
3.1. ZNAČAJKE MORSKIH STRUJA

Osnovne karakteristike morskih struja su orijentacija, brzina i stalnost. Orijentacija struje određuje se na krivulji toka struje. Primjerice, istočna morska struja teče prema istoku. Opisivanje i definiranje orijentacije morske struje i orijentacije vjetrova je dijametralno različito. Stoga, istočna morska struja i zapadni vjetar imaju jednaku orijentaciju. Brzina morskih struja iskazuje se u sljedećim mjernim jedinicama: čvorovima (kt), nautičkim miljama

[5] Cornish M. Ives E. Reeds Maritime Meteorology, 3rd edition, 2009

na dan (NM/d), metrima u sekundi (m/s) i kilometrima na sat (km/h). S obzirom na stalnost morskih struja, postoje stalne, i nestalne morske struje. Stalne morske struje kontinuirano cirkuliraju zadržavajući svoju orijentaciju i brzinu kao primjerice driftne morske struje, dok se nestalne morske struje pojavljuju periodično, više ili manje učestalo poput struja morskih mijena uzrokovanih privlačnosti Zemlje i Mjeseca ili monsunskih struja čiji se smjer i intenzitet mijenja promjenom vremenskih uvjeta na području Indije i Jugoistočne Azije Također postoje i ne-periodične morske struje koje se stvaraju kao posljedica iznenadnih vjetrova, naglog pada tlaka zraka ili izuzetno obilnih padalina.

Za proučavanje morskih struja također je važno mjerenje temperature i saliniteta te određivanje gustoće mora jer promjenom ovih karakteristika mijenjaju se svojstva mora što dovodi konvergencije ili divergencije vode odnosno uzdizanja ili spuštanja morske vode.



Slika 1. TS dijagram morske vode (PSU, *practical salinity unit*)

Izvor: Webb P., Introduction to Oceanography, 2019

Za razumijevanje morskih struja bitno je poznavati karakteristike morske vode koja njima struji. Slika 1. prikazuje TS dijagram (engl. *Temperature - Salinity diagram*) na kojemu je vidljivo kako gustoća morske vode ovisi o temperaturi i salinitetu morske vode. Za salinitet od 34,6 ‰ i temperaturu 11°C gustoća mora iznosi 1.0265 g/cm3 odnosno 1026.5 kg/m^3. Gustoća morske vode raste pri smanjenju temperature i povećanju saliniteta te se smanjuje povećanjem temperature i smanjenju saliniteta. Bitna karakteristika morskih struja je protok vode. Mjerna

jedinica protoka morskih struja izražava se u sverdrup (Sv. Jedan sverdrup (1 Sv) jednak je protoku jednog milijuna kubnih metara vode u vremenu od jedne sekunde. Najveći protok vode ima Antarktička cirkumpolarna struja te on iznosi 125 Sv, dok je protok ostalih struja značajno manji. Primjerice, Golfska struja ima protok 35 Sv, Sjevernoatlantska morska struja 30 Sv, Kuroshio morska struja 27 Sv, Brazilska morska struja 20 Sv.[6]

3.2. UZROČNE SILE I UTJECAJI NA UZROČNE SILE

U ovom potpoglavlju istražiti će se ključni mehanizmi i čimbenici koji su odgovorni za strujanje u oceanima i morima. Ovi faktori igraju ulogu u postanku i kretanju morskih struja širom svijeta. Sile koje uzrokuju morske struje moguće je podijeliti u dvije skupine, a to su primarne i sekundarne sile. Primarne se dijele na unutarnje i vanjske. Unutarnje primarne sile su sile nastale zbog nagiba površine mora nastalog zbog djelovanjem vjetra i/ili djelovanja vertikalne gradijentne. U skupinu vanjskih primarnih sila spadaju porivna sila vjetra, plimotvorna sila i sila gradijenta tlaka. Sekundarne sile čine sila trenja koja smanjuje brzinu morske struje te Coriolisova sila..[7]

U nastavka rada detaljnije će se proučiti porivna sila vjetra kao primjer vanjske primarne sile, Coriolisova sila kao primjer sekundarne sile te termohalina cirkulacija kao primjer uzrokovan unutarnjim primarnim silama.

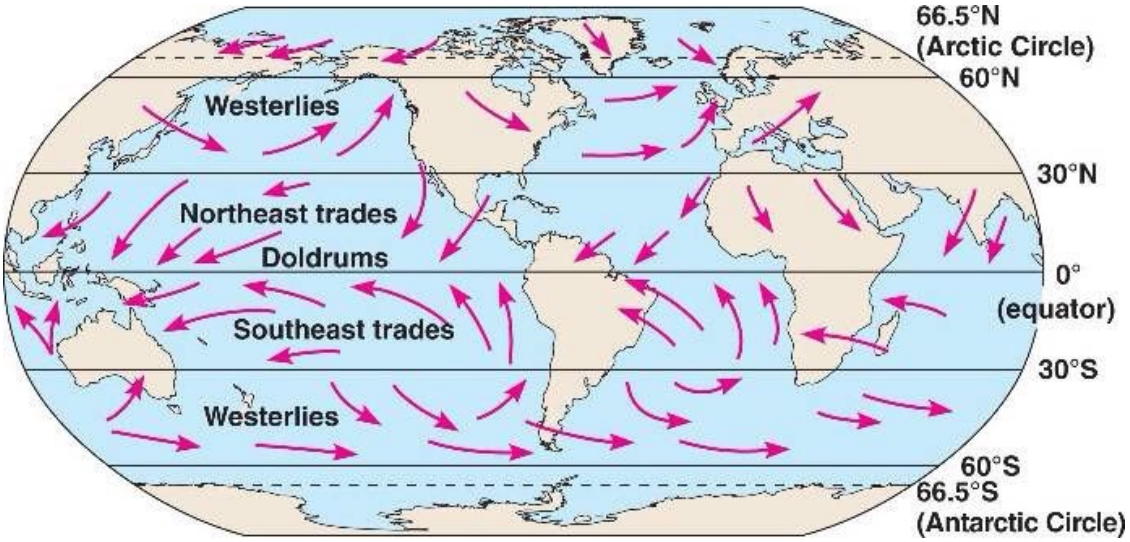
3.2.1. Porivna sila vjetra

Porivna sila vjetra jedna je od vanjskih primarnih sila. Utjecaj je najuočljiviji kod prevladavajućih odnosno planetarnih vjetrova. Prevladavajući vjetrovi kao i svi vjetrovi na Zemlji posljedica su premještanja zračnih masa zbog razlike tlaka. Razlika tlaka zraka posljedica je nejednolikog zagrijavanja kopnenih i vodenih masa Zemlje. Ekvatorski predjeli dobivaju najviše sunčeve topline te je zrak iznad ekvatora najtopliji te se konvekcijski podiže čineći tlak zraka nižim u odnosu na zrak na polarnim predjelima koji je hladniji, te se spušta na tlo i more čineći tlak zraka višim.[8] Ovakav globalni raspored razlike tlakova podrazumijevao bi da zrak na Zemlji struji u prizemlju ili uz morsku površinu od polova do ekvatora odnosno od područaja višeg tlaka zraka do područja nižeg tlaka zraka. Zbog rotacije Zemlje i nejednake obodne brzine na različitim geografskim širinama i nejednakog rasporeda kopnenih i vodenih

[6] Cornish M. Ives E. Reeds Maritime Meteorology, 3rd edition, 2009
[7] Kos S.; Zorović D., Vranić D. Terestrička i elektronička navigacija, Rijeka: Pomorski fakultet u Rijeci, 2010

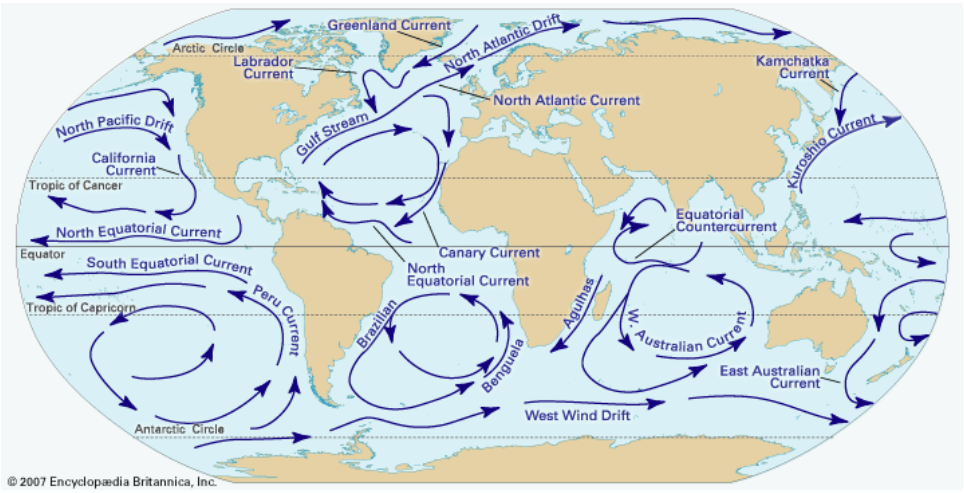
[8] Webb P., Introduction to oceanography, Roger Williams University, 2019

masa na Zemlji te nejednolikog zagrijavanja Zemlje prevladavajući vjetrovi izgledaju kako je prikazano na Slici 2. [9]



Slika 2. Prikaz prevladavajućih vjetrova na Zemlji

Izvor: https://education.nationalgeographic.org/resource/prevailing-winds/



Slika 3. Prikaz površinskih morskih struja

Izvor: https://www.britannica.com/science/ocean-current)

Planetarni vjetrovi na Zemlji pušu uglavnom istom brzinom te im se smjer tijekom godine uglavnom ne mijenja. Kao što je grafički prikazano na Slici 2. stalni vjetrovi u ekvatorijalnom području (engl. *Trade winds* ili *Doldrums*) su sjeveroistočni na sjevernoj polutci i jugoistočni

[9] Webb P., Introduction to Oceanography, Roger Williams University, 2019

na južnoj polutci. U srednjim geografskim širinama su prevladavajući jugozapadni na sjevernoj i sjeverozapadni vjetrovi (engl. *Westerlies*) na južnoj polutci. U polarnim područjima su prevladavajući sjeveroistočni na sjevernoj i jugoistočni vjetrovi (engl. *Polar easterlies*) na južnoj polutci. Poveznica između planetarnih vjetrova i morskih struja jest da stalnim djelovanjem planetarni vjetrovi zbog djelovanja sile trenja između zraka i površine mora pomiču površinski sloj mora i tako stvaraju površinske morske struje. Morske struje u odnosu na orijentaciju prevladavajućih vjetrova skreću od 20° do približno 45° od smjera vjetra te zbog učinka Coriolisove sile. Brzina ovih morskih struja u odnosu na brzinu stalnih vjetra znatno je manja te iznosi od 1 % do 2 % brzine vjetra.[10] Planetarni vjetrovi djeluju na površinski sloj mora do dubine oko 400 m te se procjenjuje da oko 10 % od ukupne vode svjetskih oceana cirkulira u morskim strujama uzrokovanim prevladavajućih vjetrova.[11] Slika 3. prikazuje raspored površinskih oceanskih struja. Morske struje sa slike 3. možemo podijeliti u 6 globalnih vrtloga koji su neovisni jedan o drugome. To su sjevernoatlantski vrtlog, južnoatlantski vrtlog, sjevernopacifički vrtlog, južnopacifički vrtlog, vrtlog Indijskog oceana i antarktička cirkumpolarna struja. Uzimajući za primjer sjevernoatlantski vrtlog vidljivo je kako pasati uzrokuju skretanje Sjeverne ekvatorijalne struje i Kanarske struje prema zapadu u ekvatorijalnim predjelima. Zapadni vjetrovi uzrokuju skretanje Golfske i Sjevernoatlantske struje prema istoku u srednjim geografskim širinama.

3.2.2. Coriolisova sila

Coriolisova sila je inercijska sila koju je opisao Gaspard Gustav Coriolis 1902.g. proučavajući prijenos energije u vrtložnim sustavima. U kontekstu promatranja morskih struja, Coriolisova sila pripada sekundarnim silama što znači da ona ne uzrokuje stvaranje morskih struja, već utječe na promjenu smjera strujanja vode. Coriolisova sila ima učinak na promjenu smjera kretanja tijela u rotirajućem sustavu odnosno u promjeni smjera kretanja tijela zbog rotacije Zemlje.

Coriolisova sila na gibanja u atmosferi i oceanima izražena vektorski:

$$\overrightarrow{F_{cor}} = 2m(\vec{v} \times \vec{\omega}) \sin(\varphi) \qquad (1)$$

[10] Webb P., Introduction to Oceanography, Roger Williams University, 2019

[11] Garrison T., Oceanography: An Invitation to Marine Science, 9th edition

gdje je:

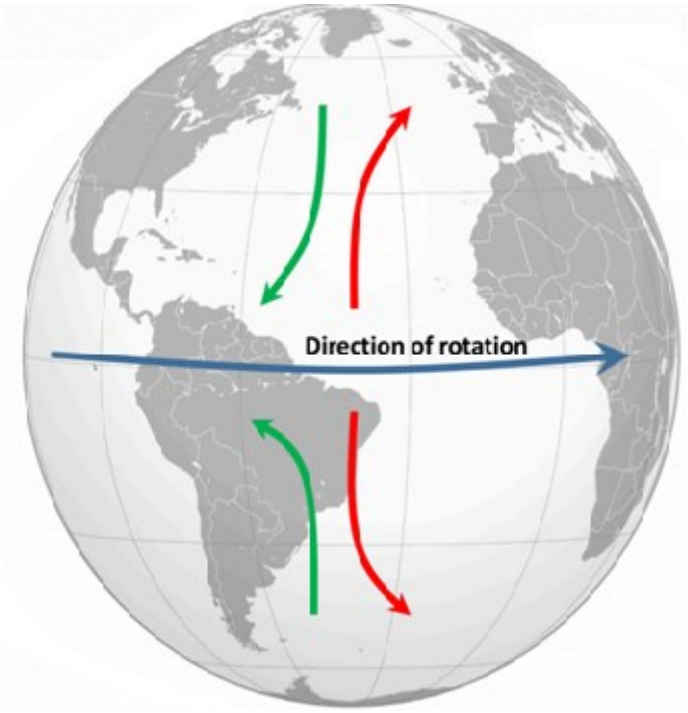
F_{cor} - Corilisova sila

m - masa vode

v - brzina vode

$\vec{\omega}$ - kutna brzina Zemlje

φ - geografska širina



Slika 4. Prikaz djelovanja Coriolisove sile na strujanje mora

Izvor: Webb P., Introduction to Oceanography, Roger Williams University, 2019

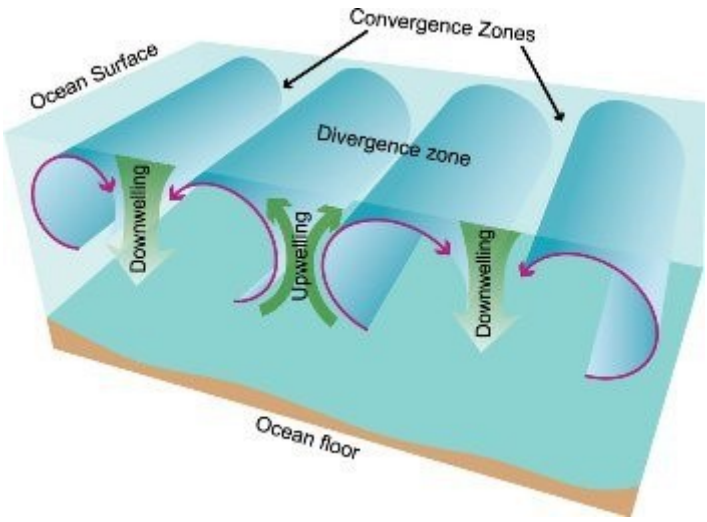
Uzimajući za primjer Kanarsku morsku struju i Benguelsku morsku struju sa Slike 4. vidljivo je da se one zbog Corilisovog efekta zakreću udesno. Kanarska struja teče na sjevernoj hemisferi od pola prema ekvatoru i zakreće se blago udesno u odnosu na smjer svoga toka (sjeverna hemisfera, crvena strelica). Benguelska struja teče na južnoj hemisferi od pola prema ekvatoru te se zakreće blago ulijevo u odnosu na smjer svoga toka (Slika 4.).

Coriolisova sila je veća što je veća masa vode, veća brzina vode u rotirajućem sustavu i veći kut geografske širine.

3.2.3. Termohalina cirkulacija

Termohalina cirkulacija je gibanje mora zbog razlike u gustoćama. Morska voda veće gustoće tone, dok se morska voda manje gustoće podiže prema površini. Sukladno tome u morima i oceanima formiraju se slojevi mora čija se gustoća gradijentno povećava od površine prema dnu. Za razliku od površinskih morskih struja termohalina cirkulacija je iznimno spor i vremenski dugotrajan proces pomaka ogromnih količina morske vode. Procesi isparavanja i hlađenja i formiranja leda utječu na povećanje gustoće mora zbog gubitka slatke vode isparavanjem ili hlađenjem te zaleđivanjem, a preostali dio morske vode ostaje obogaćen solju izgubljene vode povećanje saliniteta i posljedično gustoće. Procesi zagrijavanja te oborine i pritok slatke vode podrazumijevaju smanjenje saliniteta te samim time i gustoće mora.[12] Ovi procesi odvijaju ju se u površinskom sloju mora te jednom kada morska masa poprimi stalnu gustoću i temperaturu ona ovisno o gustoći tone na određenu dubinu gdje joj se svojstva ne mijenjaju. Najgušća i najhladnija voda nalazi se na polovima te tone prema dnu i struji ka ekvatoru te ju zamjenjuje toplu površinska morska voda koju donose tople morske struje poput Golfske morske struje koja se prema sjeveru hladi i tone prema dnu. Hladna morska voda koja po dnu struji s pola prema ekvatoru postepeno se zagrijava i izvire na površinu. Važno je istaknuti da je termohalina cirkulacija iznimno spor proces. Procjenjuje se da bih uzorku mora trebalo i do 1000 godina da prođe jednu cirkulaciju od pola do ekvatora i nazad, a zagrijavanjem odnosno hlađenjem more se u vertikalnoj razini pomiče za 2-3 cm dnevno.[13]

[12] Cornish M. Ives E. Reeds Maritime Meteorology, 3rd edition, 2009
[13] Velarde, M. G., Tarakanov, R. Y., Marchenko, A. V. The Ocean in Motion: Circulation, Waves, Polar Oceanography, 2021



Slika 5. Konvergencijske i divergencijske zone morske razine

Izvor: https://www.redmap.org.au/article/upwelling-and-downwelling-in-the-ocean/

Konvergencijske i divergencijske zone morske razine primjeri su gibanja vode uslijed različite gustoće. Divergencijske zone morske vode prikazane na Slici 5. su područja gdje se površinske vode razdvajaju, a voda se nadomješta uzdizanjem dubinske vode ka površini mora. Divergencijske zone su uobičajeno bogate životom jer je hladna morska voda koja se uzdiže prema površini bogata hranjivim tvarima. Najznačajnija divergencijska područja na svijetu su vode uz Antarktik te mora uz obalu kontinenata gdje površinski vjetrovi premještaju površinski sloj mora, a voda se nadomješta uzdizanjem dubinske vode koja se grije. Konvergencijske zone su područja gdje se površinske vode susreću te voda tone prema dnu. Primjer konvergencijske zone je istočna obala Kanade gdje se susreću Golfska, Labradorska i Istočna grenlandska morska struja.

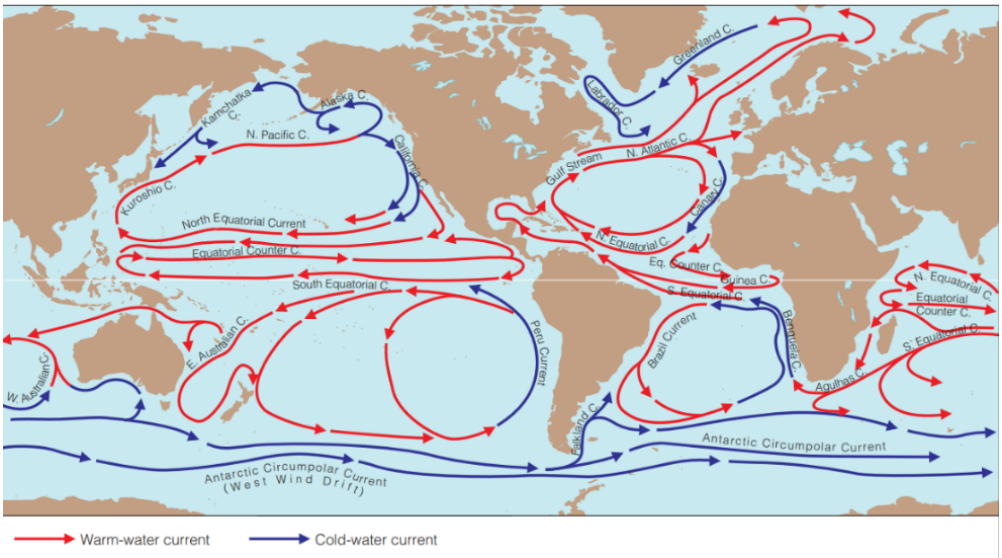
3.3. PODJELA MORSKIH STRUJA PREMA VRSTI

Tri ključne kategorije uključuju podjelu morskih struja:

a) prema dubini na površinske i dubinske struje,
b) prema temperaturi na tople i hladne struje,
c) prema stalnosti na stalne, periodične i povremene.

Površinske struje rezultat su interakcije prevladavajućih vjetrova s površinom vode i igraju ključnu ulogu u prijenosu energije . Upravo prijenos kinetičke energije, ovih morskih struja ima utjecaj na plovidbu. Nasuprot tome, dubinske struje javljaju se u dubljim slojevima oceana i najčešće su posljedica razlika u gustoći vode. Ove struje igraju ključnu ulogu u transportu hranjivih tvari i cirkulaciji vodenih masa s pola prema ekvatoru.

Topla morska struja ima višu temperaturu u usporedbi s temperaturom vode u koje dolazi. Ove struje često prenose toplinu iz tropskih područja prema umjerenim ili hladnim širinama, što utječe na regionalne klime. Hladne morske struje, s druge strane, imaju niže temperature u usporedbi s temperaturom okolnih voda u koje dolaze i izazivaju lokalno hlađenje zraka i tla iznad njih [14].



Slika 6. Prikaz cirkulacije toplih i hladnih morskih struja

Izvor: Garrison, T., Essentials of Oceanography, 5th edition, 2008

Slika 6. prikazuje globalni smjer kretanja toplih i hladnih morskih struja. Tople morske struje tipično se označavaju strelicama crvene boje, a hladne morske struje strelicama plave boje. Tople morske struje dolaze s tropskog područja i nose toplu morsku vodu u umjereno ili polarno područje za razliku od hladnih morskih struja koje iz viših geografskih širina nose hladnu morsku vodu u tropsko područje. Najznačajnije tople i hladne morske struje na svijetu prikazane su u Tablici 1.

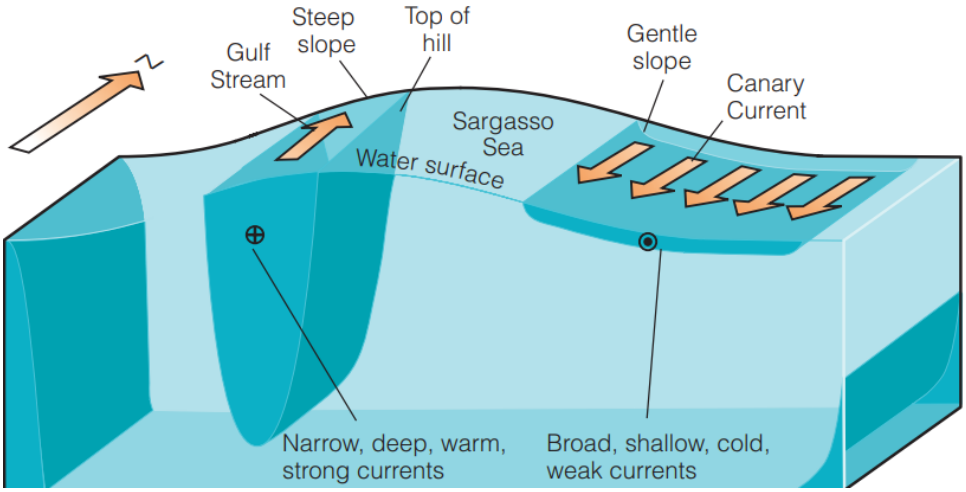
[14] Velarde, M. G., Tarakanov, R. Y., Marchenko, A. V. The Ocean in Motion: Circulation, Waves, Polar Oceanography, 2021

TOPLE MORSKE STRUJE	HLADNE MORSKE STRUJE
Golfska struja	Labradorska struja
Brazilska struja	Antaktička cirkumpolarna struja
Floridska struja	Benguelska struja
Karipska struja	Falklandska struja
Sjevernoatlantska struja	Humboltova struja
Kurošio struja	Kalifornijska struja
Mozambička struja	Kanarska struja
Sjeverno ekvatorska struja	Kap Hornska struja
Norveška struja	Ojašio struja
Istočno australska struja	Istočna grenlandska struja
Gvinejska struja	Zapadna grenlandska struja
Azorska struja	Zapadno australska struja
Južna ekvatorska struja	

Tablica 1. Tople i hladne morske struje

Izvor: Cornish M. Ives E. Reeds Maritime Meteorology, 3rd edition, 2009

Osim što se razlikuju po temperaturi vode koje prenose, tople i hladne morske struje bitno se razlikuju u fizičkome izgledu i karakteristikama toka.



Slika 7. Shematski prikaz izgleda toplih i hladnih morskih struja

Izvor: Garrison, T., Essentials of Oceanography, 5th edition, 2008

Na Slici 7. vidljiv je vertikalni presjek tople Golfske struje i hladne Kanarske struje na rubovima Atlantskog oceana. Tok Golfske struje te ostalih toplih struja je uzak, dubok, s većim volumni protokom i znatno brži u usporedbi s hladnim morskim strujama. Kao što je prikazano na Slici 8. tok Kanarske struje pa tako i ostalih hladnih morskih struja je širok, plitak, manjeg volumnog protoka i znatno sporiji od toplih morskih struja. Iako hladne morske struje imaju manji volumni protok, Antarktička cirkumpolarna struja s najvećim volumnim protokom predstavlja izuzetak zbog toga što njen tok ne ometaju kopnene mase te ona izravno povezuje Tihi, Atlantski i Indijski ocean. Iskazane u brojkama okvirne vrijednosti generalnih karakteristika toplih morskih struja su slijedeće: širina toka je do 100 km, njihova dubina može biti do 1 km, prevaljuju stotine kilometara dnevno, imaju volumni protok do 50 Sv. Iste vrijednosti za hladne morske struje iznose: širina toka je 1000 km, dubina do 0,5 km, kreću se sporo do desetak kilometara dnevno, imaju volumni protok od 10 Sv do 15 Sv.[15]

Prema stalnosti morske struje dijele se na stalne, periodičke ili sezonske te povremene. Stalne morske struje konzistentno teku u istom smjeru istom brzinom tijekom vrlo dugog vremenskog razdoblja i često se povezuju s planetarnim vjetrovima i geografskim obilježjima.

Periodične morske struje, s druge strane, variraju u smjeru, brzini i intenzitetu tijekom određenih vremenskih intervala. U periodične morske struje pripadaju struje morskih mijena

[15] Garrison T., Oceanography: An Invitation to Marine Science, 9th edition

koje se izmjenjuju tijekom dana ovisno o promjeni plime i oseke. Također i monsunske struje su periodične morske struje koje mijenjaju svojstva prema izmjeni zimskog i ljetnog monsuna. Monsuni su najizraženiji na području Indijskog oceana i Indijskog poluotoka. Tijekom zimskih monsunskih vjetrova monsunske struje imaju zapadni smjer, tijekom ljetnih monsunskih vjetrova morske struje mijenjaju smjer u sjeveroistočni.[16] Još jedan primjer periodičnih morskih struja su promjene oceanskih struja tijekom meteorološkog fenomena La Nino. ENSO (*El Nino-Southern Oscillation*) je meteorološko-oceanski poremećaj koji se pojavljuje u razmacima od 2 do 7 godina na tropskom području središnjeg i istočnog Pacifika. Tijekom El Nina uobičajeni vjetrovi na tom području pasati, sjeveroistočni vjetrovi znatno oslabljuju ili u potpunosti mijenjaju orijentaciju. To za posljedicu ima slabljenje ili okretanje Južno ekvatorske tople struje te nakupljanje tople morske vode uz zapadnu obalu Južne Amerike. Također velika količina tople vode smanjuje uobičajeno uzdizanje hladne morske vode uz zapadnu obalu Južne Amerike te nestanak hladne Peruanske struje koja tipično struji uz obalu Južne Amerike. Povremene morske struje nastaju u neodređenim vremenskim intervalima. One su kratkotrajne, a uzrokuju ih iznenadni vjetrovi, nagli pad tlaka zraka ili izuzetno velika količina oborina.

3.4. PODJELA MORSKIH STRUJA PREMA NAČINU POSTANKA

Podjela morskih struja prema načinu postanka uključuje tri glavne kategorije: driftne morske struje, gradijentne struje i struje morskih mijena.

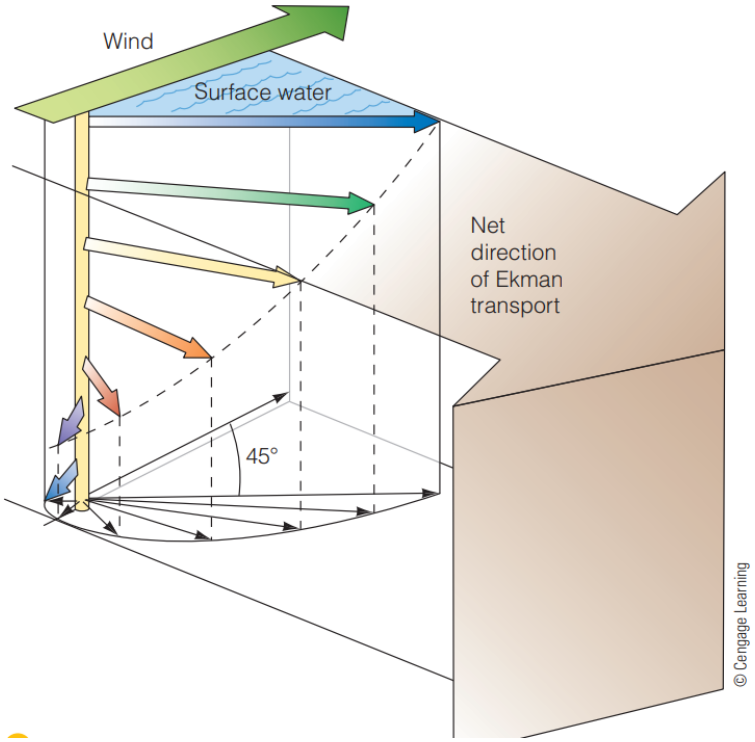
3.4.1 Driftne struje

Driftne struje ili struje vjetra su prvi oblik morskih struja koje se obično spominju. U skupinu driftnih morskih struja pripadaju pasatne struje, struje zapadnih vjetrova, ekvatorske struje, ekvatorske protustruje i monsunske struje. Ove struje generiraju se djelovanjem stalnih vjetrova na površini mora i oceana. Silom trenja između zraka i mora vjetar za sobom povlači masu na površini vode i tako pokreće morsku struju. Prijenos energije između zraka i vode odvija se samo na površini vode, a kretanje dubljih slojeva vode i smjer kretanja morske struje u odnosu na smjer kretanja vjetra objašnjeno je modelom Ekmanove spirale.

Ekmanova spirala prihvaćeni je model o gibanju vode u morskim strujama na različitim dubinama. Ime je dobila prema švedskom oceanografu Vagnu Walfridu Ekmanu koji je

[16] Kos S., Zorović D.; Vranić D., Terestrička i elektronička navigacija, Rijeka: Pomorski fakultet u Rijeci, 2010

proučavao kako vjetar djeluje na morske struje. Ekmanova spirala rezultat je djelovanja driftne sile, Coriolisove sile i sile trenja između slojeva mora na različitim dubinama.[17]



Slika 8. Model Ekmanove spirale s obzirom na dubinu mora

Izvor: Garrison T., Oceanography: An Invitation to Marine Science, 9th edition

Grafički model Ekmanove spirale na Slici 8. u vertikalnoj ravnini, mogu se podijeliti slojevi mora s obzirom na dubinu. Djelovanje vjetra uzrokovati će gibanje samo površinskog sloja mora koji je u izravnom doticaju s vjetrom. Zbog velike razlike u gustoći između zraka (1,293 kg/m^3) i mora (1030 kg/m^3) postoji značajan otpor pri pokretanju morske mase. Zbog sile trenja i Corilisove sile, površinski sloj mora neće se kretati u istom smjeru kao i vjetar, nego će smjer kretanja mora u odnosu na smjer kretanja vjetra odstupati udesno u sjevernoj hemisferi te ulijevo u južnoj hemisferi. Slojevi mora na dubini koji nisu izravno podložni djelovanju vjetra, gibaju se sporije u odnosu na slojeve iznad. Zbog sile trenja između slojeva mora i gubitka energije smjer kretanja svakog dubljeg sloja biti će sporiji i odstupati će ulijevo ili udesno od kretanja sloja iznad njega. Procjenjuje se da efekt Ekmanove spirale djeluje na dubini od 100 metara gdje već dolazi do potpunog gubitka energije vjetra. U teoriji

[17] Garrison T., Oceanography: An Invitation to Marine Science, 9th edition,

odstupanje smjera površinske morske struje od smjera sile vjetra može iznositi do 90°, no u stvarnosti ta vrijednost iznosi oko 45°.[18]

3.4.1.1. Pasatne struje

Pasatne morske struje su struje nastale pod utjecajem stalnih jugoistočnih na južnoj i sjeveroistočnih vjetrova na sjevernoj polutci. Pasatne struje obuhvaćaju morska prostranstva uz područje ekvatora, a karakteristike pasatnih struja su cjelogodišnji zapadni smjer strujanja i strujanje iz viših u niže geografske širine donoseći hladniju morsku vodu prema ekvatoru. U Tihom i Atlantskom oceanu pasatne struje nalaze se u dvije regije, jedna na sjevernoj i jedna na južnoj polutci. Pasatne struje teku uz zapadne obale kontinenata približavajući se ekvatoru. U Tihom oceanu pasatne struje nazivaju se Peruanska i Kalifornijska struja dok su u Atlantskom oceanu Benguelska i Kanarska struja. U Indijskom oceanu zbog specifične raspodjele vodenih i kopnenih masa jedina prisutna pasatna struja je Zapadnoaustralska struja u južnom djelu oceana. Tok pasatnih struja može se podijeliti na tri djela:

a) izvorišni dio,
b) središnji dio te
c) zapadni dio.

Kod izvorišnog dijela toka, strujanje je usmjereno prema ekvatoru. U središnjem dijelu toka strujanje je usmjereno prema zapadu, a u zapadnim dijelu toka struja skreće prema polovima.[19]

3.4.1.2. Ekvatorske struje

Drugi tip driftnih struja su ekvatorske struje. Ekvatorske struje teku u područjima sjeverno i južno od ekvatora. Prisutne su duž cijelog ekvatora u sva tri oceana te nose nazive Sjeverna ekvatorijalna struja i Južna ekvatorijalna struja. Karakteristike ekvatorskih struja su cjelogodišnje strujanje zapadnog smjera i visoka površinska temperatura vode koja iznosi 27°C do 30°C .[20] U području ekvatora puše konstantni sjeveroistočni i istočni vjetar te je vrijeme najčešće vedro.

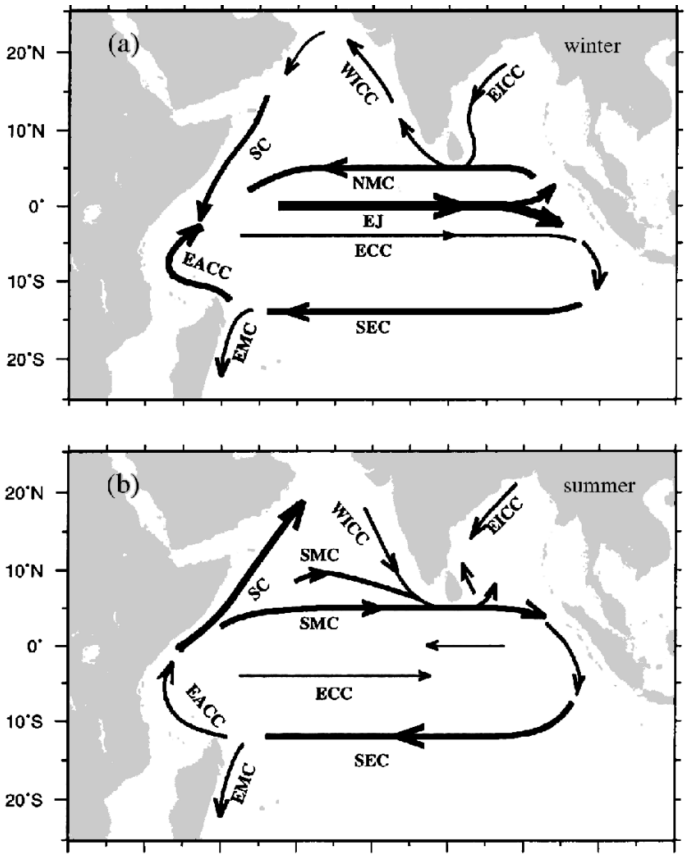
[18] Cornish M. Ives E. Reeds Maritime Meeteorology, 3rd edition, 2009
[19] Zore-Armanda, M., Gačić, M., Oceanografija, Pomorski fakultet Dubrovnik, 1988
[20] Jugoslavenski leksikografski zavod, Pomorska enciklopedija, Zagreb, 1981.

3.4.1.3. Ekvatorske protustruje

Ekvatorske protustruje poput ekvatorskih struja teku duž cijelog ekvatora u sva tri oceana. Naziv protustruje dobile su zbog toga što struje u uskome pojasu između Sjeverne i Južne ekvatorske struje suprotnom orijentirane od istih. Protustruje teku prema istoku prosječnom brzinom od 0,5 m/s te vraćaju dio tople morske vode U Tihome i Atlantskome oceanu ekvatorijalne protustruje teku na geografskoj širini od 3°N do 10°N. U Indijskome oceanu tijekom sjeverne zime protustruja teče na geografskoj širini od 0° do 10°S, a s dolaskom ljeta počinje se pomicati sjevernije k ekvatoru gdje se tada spaja s monsunskom strujom.

3.4.1.4. Monsunske struje

Monsunske struje su periodične driftne struje koje se izmjenjuju u proljeće i jesen sukladno s promjenom smjera monsunskih vjetrova. Monsunske struje pojavljuju se samo u Indijskome oceanu i istočnoazijskim morima. Indijski ocean specifičan je jer u njegovom sjevernom djelu Indijski podkontinent predstavlja kopnenu prepreku planetarnom sjeveroistočnim vjetru. Monsunski vjetrovi nastaju kao posljedica nejednakog zagrijavanja kopna i oceana. Voda ima veći toplinski kapacitet od kopna što tijekom zime na sjevernoj polutci dovodi do stvaranja područja visokog tlaka iznad hladnijeg kopna Indije te stvaranja područja nižeg tlaka iznad toplijeg Indijskog oceana. Takav raspored tlakova dovodi do pojačavanja snage sjeveroistočnog stalnog vjetra koji generira zapadnu ili zimsku monsunsku struju. Promatrajući Sliku 9. na kojoj su kraticama označene morske struje *(South Equatorial Current* (SEC),*Northeast Monsoon Current* (NMC), *Equatorial Counter Current* (ECC), *Equatorial Jet* (EJ), *East African Coastal Current* (EACC), *Somali Current* (SC), *Southwest Monsoon Current* (SMC), *West India Coastal Current* (WICC), *East India Coastal Current* (EICC), *East Madagascar Current*(EMC)) vidljivo je da zimska monsunska struja teče iz Bengalskog zaljeva uz Indiju i Šri Lanku preko Arapskog mora do Somalije. Tijekom ljeta na sjevernoj hemisferi događa se obratni proces. Zrak cirkulira od područja višeg tlaka iznad oceana do područja nižeg tlaka iznad kopna te puše snažni jugozapadni vjetar koji stvara sjeveroistočnu ili ljetnu monsunsku struju koja teče iz Arapskog mora uz Indiju i Šri Lanku te ulazi u Bengalski zaljev.



Slika 9. Prikaz toka monsunskih struja tijekom ljeta i zime

Izvor:https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-major-surface-currents-in-the-Indian-Ocean-during-a-the-northeast-monsoon_fig1_27668602

3.4.1.5. Struje zapadnih vjetrova

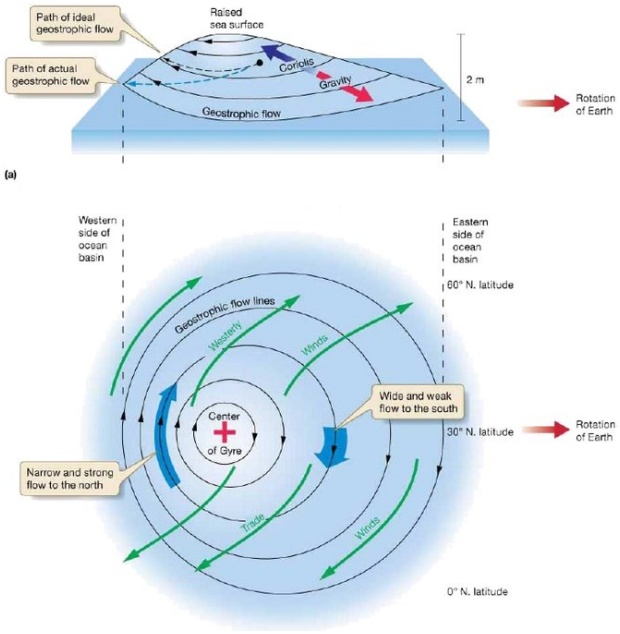
Najznačajnija morska struja zapadnih vjetrova, antarktička cirkumpolarna struja je hladna morska struja na zemljinoj južnoj hemisferi. To je najveća morska struja na svijetu koja konstantno teče u smjeru istoka i povezuje Tihi, Indijski i Atlantski ocean. Ona cirkulira oko Antarktike predstavljajući najvažniji čimbenik termohaline cirkulacije kao morska struja s najvećim protokom 125 milijuna m^3/s i dubinom strujanja do 4 km. Prenosi ogromni volumen vode od Antarktike do toplijih oceana te zbog svoje veličine i utjecaj ima učinak na klimu cijele Zemlje. Također, ploveći s Antarktičkom cirkumpolarnom strujom značajno se skraćuje svako putovanje sa zapada na istok.

3.4.2. Gradijentne morske struje

Gradijentne morske struje nastaju kao posljedica prostorne raspodjele gustoće mora. Najpoznatije gradijentne struje su: Golfska struja u Atlantiku, Kuro - Shio struja u Tihome

oceanu te Istočnoaustralska i Agulhaška struja u Indijskome oceanu. Obilježje ovih struja je da prenose goleme količine vode i da se kreću uskim i dubokim tokom. Primjerice matice Golfske struje široka je oko 45 km, struji na dubini od gotovo 1 km, a ukupna dužina iznosi okvirno 1000 nautičkih milja.[21]

U dijelovima oceana, udaljenim od obalnih morskih područja, sila trenja je manja pa se gibanja u moru odvijaju kao rezultat djelovanja sile gradijenta tlaka i Coriolisove sile. Takvo gibanje naziva se geostrofičko strujanje kad su te dvije sile izjednačene. Geostrofičko strujanje odvija se u dubinama s istim hidrostatičkim tlakom, ostavljajući područja visokog tlaka koje ima veću gustoću s desne strane na sjevernoj polutci Zemlje. Također treba dodati da je bitan sekundarni učinak porivne sile vjetra koji gura vodu u smjeru puhanja i na taj način stvara nagib površine mora što za posljedicu ima pojavu horizontalnog gradijenta tlaka zraka i nastanak morske struje nagiba.



Slika 10. Prikaz gradijentne struje u Sjevernoatlantskom vrtlogu

Izvor:https://oneclass.com/class-notes/ca/u-of-alberta/eas/eas212/757839-eas-212-lecture-11.en.html

[21] Kos S., Zorović D.; Vranić D. Terestrička i elektronička navigacija, Rijeka: Pomorski fakultet u Rijeci, 2010

Na Slici 10. prikazano je strujanje Golfske struje u sjevernoatlantskm vrtlogu. Prikazan je nacrt elevacije morske razine u Atlantskom oceanu koja iznosi oko 2 m. Središte elevacije nalazi se u Sargaškom moru tj. bliže obali Sjeverne Amerike, a razlog tomu je nagomilavanje vode Također, prikazan je i tlocrt središta elevacije koje predstavlja područje višeg tlaka (na Slici 10. označeno plusom), što znači da se udaljavajući od središta vrloga morskoj vodi postepeno snižava tlak. Voda, također, ima tendenciju kretanja od područja većeg tlaka k području manjeg tlaka. To dovodi do stvaranja sile gradijenta tlaka koja nastoji vodu pomaknuti od područja višeg do područja nižeg tlaka. U primjeru Golfske struje to bi značilo da sila gradijenta tlaka toplu morsku vodu prenosi od središta vrtloga prema van. Sili gradijenta tlaka suprotstavlja se Coriolisova sila koja djeluje prema središtu vrtloga. Posljedica toga je da se morska struja giba u smjeru rezultantne sile na Slici 10. prikazano crnim strelicama. Na Golfsku morsku struju također utječe i stalni zapadni vjetar te se zbog kombiniranog djelovanja sila, Golfska struja kreće istočno prema sjevernoj Europi.

3.4.3. Struje morskih mijena

Struje morskih mijena, generiraju se zbog periodičnih promjena u razinama površine vode koje se javljaju uslijed plimotvorne sile koja je rezultat gravitacijske privlačnosti Mjeseca i Sunca. Ove vertikalne promjene razine površine, u plimama i osekama, uzrokuju gibanje struje od obale i prema obali. [22] One imaju manju brzinu i mijenjaju smjer tijekom plime i oseke. Pojava visokih i niskih voda je vertikalna komponenta morskih mijena, a gibanje vode u horizontalnom smjeru uzrokuje struje morskih mijena. Struje morskih mijena kao i morske mijene mogu biti poludnevnog, dnevnog i mješovitog tipa te sukladno s tim mijenjati brzinu i smjer. Promjena smjera struje događa se nedugo nakon nastupa prve visoke ili niske vode kod stojnog vala. Tada se brzina struje postepeno povećava, a struja najveću brzinu postiže približno 3 sata nakon nastupa niske vode te se takva morska struja zove struja plime ili 3 sata nakon nastupa visoke vode te se takva struja naziva struja oseke. Od tog trenutka brzina struje pada do nultog iznosa i ponovo nastupa promjena smjera.

Postoje obrtne i rotacijske struje morskih mijena. Obrtne struje morskih mijenjaju orijentaciju za približno 180° zadržavajući isti smjer zbog ograničenosti prostora. Obrtne struje prisutne su u uskim kanalima i tjesnacima te se još nazivaju i povratne struje morskih mijena.

[22] Tomczak, M., Lecture Notes in Oceanography. Flinders University, Adelaide, Australia, 2000

Najveća brzina struje dostiže se u polovici vremena između nastupa visokih i niskih voda, a brzina struje jednaka je nuli za vrijeme nastupa visoke ili niske vode.

Rotacijske struje morskih mijena su struje kružnog kretanja. Rotacijske struje pojavljuju se na otvorenim morima, a njihov smjer se u jednom ciklusu plime i oseke mijenja za 360° čineći puni kut. Na sjevernoj polutci smjer rotacijskih struja mijenja se u smjeru kazaljke na satu, dok je na južnoj polutci suprotno. Zakretanje smjera uzrokovano je djelovanjem Coriolisove sile.[23]

3.5. GEOGRAFSKA PODJELA MORSKIH STRUJA

Morske struje prisutne su u svim oceanima i morima svijeta. Najpoznatije i najveće oceanske morske struje u pravilu se geografski dijele prema oceanu u kojemu teku. U Tablici 2. prikazane su oceanske morske struje s prosječnim brzinama strujanja. Iako nisu sve imenovane, morske struje nalaze se i u ostalim morima, kanalima, tjesnacima, zaljevima i sl. Njih, također treba posebno uzeti u obzir prilikom plovidbe kao i ostale periodične ili povremene morske struje.

Primjerice, morske struje u Crvenom moru nemaju svoj naziv iako konstantno struje uz obale mora. Jedna od najsnažnijih struja morskih mijena ime je dobila prema tjesnacu u kojem se pojavljuje. Saltstraumen je tjesnac u Norveškoj dugačak 10 km i širok 150 m, a izmjenom plime i oseke svakih 6 sati stvara se struja čija brzina može biti i do 20 čv. Smatra se da je u tome tjesnacu morska struja morskih mijena među najbržima u svijetu.[24] Protok vode je oko 3000 m^3/s.

[23] Kos S., Zorović D.; Vranić D. Terestrička i elektronička navigacija, Rijeka: Pomorski fakultet u Rijeci, 2010

[24] https://nordnorge.com/en/artikkel/saltstraumen-is-the-worlds-strongest-tidal-current/

STRUJE ATLANTIKA	BRZINA (NM/dan)	STRUJE PACIFIKA	BRZINA (NM/dan)	STRUJE INDIJSKOG OCEANA	BRZINA (NM/dan)
Sj.ekvatorska	10 – 40	Kurošio	10 – 50	Z. australska	14
Bahamska	10 – 350	Ojašio	15 – 30	Ekvatorijalna protustruja	24
Karipska	10	Kamčatkanska	5 - 10	Mozambička	10 – 30
Golfska	10 – 70	Sj. pacifička	10 – 20	Agulhaška	10 – 40
Sj. atlantska	10 – 25	Aleutska	3 – 7		
Norveška	9	Aljaška	6		
Irminger	9	Kalifornijska	10 – 30		
Grenlandska	6 – 12	I. australska	25		
Labradorska	5 – 20	Peruanska	30		
Kanarska	10 – 35				
Azorska	11				
Portugalska	10				
J. ekvatorska	10 – 45				
Gvinejska	10 – 60				
Brazilska	10 – 35				
Falklandska	10 – 40				
Benguelska	10 – 50				

Tablica 2. Morske struje s podjelom prema oceanima i prosječnom brzinom

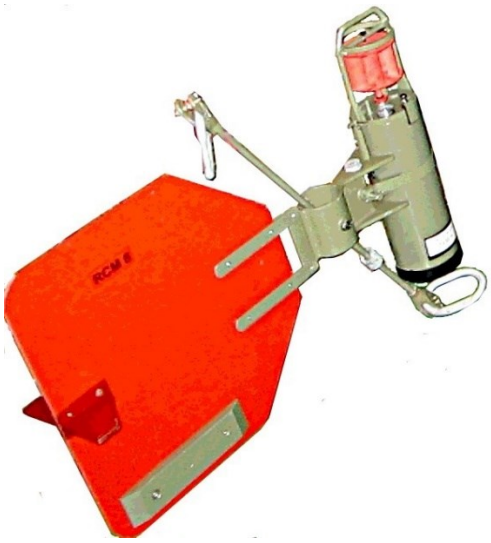
Izvor: Cornish M. Ives E. Reeds Maritime Meteorology, 3rd edition, 2009

Arktički ocean ima složenu geografsku podjelu morskih struja zbog ledenih pokrivača i značajnih temperaturnih varijacija. Struje Arktičkog oceana su Arktička struja, Baffinova struja i Transpolarna struja. Arktička struja teče između Grenlanda i Arktičkog arhipelaga, prenoseći toplu vodu iz Atlantskog oceana prema sjeveru. Otok Grenland djeluje kao prepreka koja oblikuje tok ove struje.

3.6. MJERENJE BRZINE I SMJERA MORSKIH STRUJA

Mjerenje morskih struja igra ključnu ulogu u razumijevanju kinematike oceana i njihovog utjecaja na globalni ekosustav i klimatske obrasce. Kroz različite tehnološke inovacije, znanstvenici su uspjeli stvoriti precizne metode za prikupljanje podataka o kretanju vodenih masa. Suvremene metode direktnog mjerenja morskih struja koje se danas koriste su Lagrangeova i Eulerova metoda.

Lagrangeova metoda odnosi se na mjerenje karakteristika morske struje na način da plutajući mjerni uređaj plovi sa strujom te prikupljene podatke šalje brodu ili centru na kopnu. Eulerova metoda podrazumijeva postavljanje uređaja na odabranu poziciju u moru. Uređaj zatim mjeri i bilježi podatke o brzini i smjeru morske struje.. Ovi uređaji sidre se na željenu lokaciju, sidro i sidreni lanac koji drže uređaj na određenoj lokaciji. Na uređaj je povezana najčešće kugla koje pruža dovoljnu silu uzgona kako bi uređaj plutao na stalnoj željenoj dubini. Sami uređaji opremljeni su brzinomjerima, termometrima, barometrima i mjeračima saliniteta te internom memorijom za pohranjivanje podataka. Uređaji za mjerenje najčešće se postavljaju na 100 m ispod površine mora kako ne bi bili izloženi valovima, ledu te da ne predstavljaju opasnost za pomorski promet. Na Slici 11. prikazan je rotirajući strujomjer.



Slika 11. Rotirajući strujomjer (engl. *Rotor current meter* (RCM))

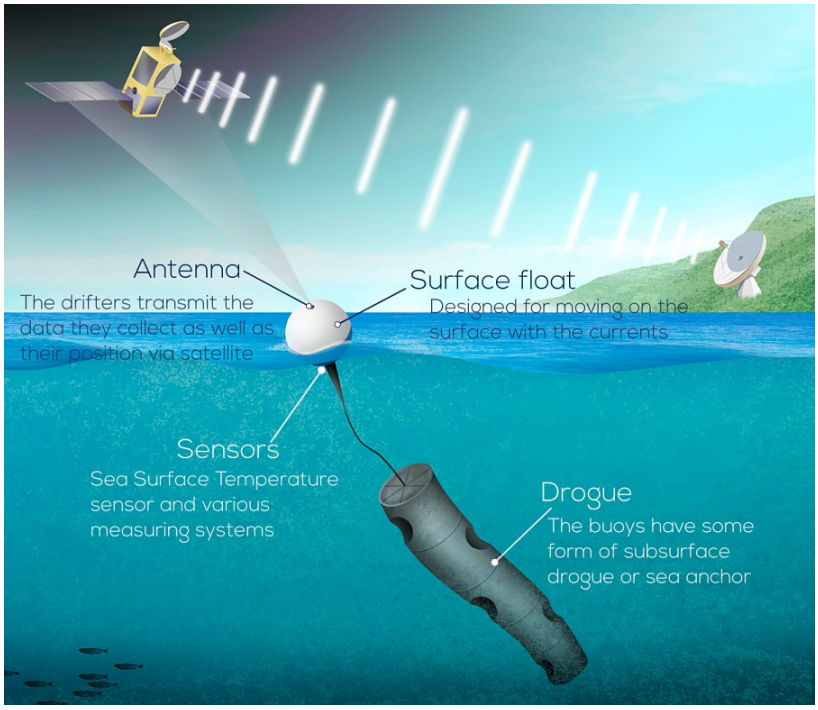
Izvor: https://www.whoi.edu/page.do?pid=76776

Druga sofisticiranija vrsta uređaja za mjerenje podataka o morskim strujama je Dopplerov strujomjer ADCP (engl. *Acoustic Doppler Current Profiler*) prikazan na Slici 12. Ovi uređaji rade na principu Dopplerovog efekta. Strujomjeri odašilju zvučne valove određene frekvencije te se mjeri frekvencija reflektiranog vala od morske vode. Na temelju promjene frekvencije odaslanog i primljenog signala izračuna se brzina morske struje. Ovi uređaji postavljaju se na morsko dno i koriste se za mjerenje brzine vode koja prolazi u stupcu iznad njih. Mjerenjem minimalno dvije ili nekoliko zvučnih valnih impulsa može se odrediti brzina morske struje na bilo kojoj dubini. Također, brodovi mogu biti opremljeni vlastitim ADCP uređajem pričvršćenim za trup broda koji mogu dobiti podatke o brzinama morskih struja u okolici.

Slika 12. ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)

Izvor: *https://www.whoi.edu/what-we-do/explore/instruments/instruments-sensors-samplers/acoustic-doppler-current-profiler-adcp/*

Površinske plutače za mjerenje brzine i smjera morskih struja su primjer mjerenja Lagrangeovom metodom. Jedna takva plutača prikazana je na Slici 13. Ovakve plutače puštaju se slobodno u more te određeno vrijeme plove s morskom strujom bilježeći podatke. Plutače se sastoje od glavnog dijela koji pluta na površini mora u kojemu su smješteni senzori za mjerenje, morskog ili olujnog sidra postavljenog na dubinu od 15 m koje osigurava da se plutača kreće smjerom morske struja, a ne da površinski dio pomiče vjetar. Plutače također na sebi imaju antene kojima putem satelita podatke odašilju istraživačkim brodovima ili centrima za istraživanje na kopnu. To omogućuje dobivanje podataka o morskim strujama u stvarnome vremenu. Plutače se mogu postaviti na površinu mora za praćenje površinskih morskih struja, ali postoji i mogućnost njihovog postavljanja na određenu dubinu kada se na njih umjesto morskog sidra stavi kugla kalibrirana sa određenim uzgonom.



Slika 13. Površinska plutača za mjerenje brzine i smjera morskih struja

Izvor: https://medclic.es/en/instrumentos/plataformas-lagrangianas/

3.7. MORSKE STRUJE KAO ČIMBENIK U METEOROLOGIJI I KLIMATOLOGIJI

Morske struje imaju ulogu prijenosa topline, one osiguravaju razmjenu topline između tropa i polarnih krajeva, između površinskih i dubinskih dijelova mora te između mora (hidrosfere) i zraka (atmosfere). Osim što utječu na meteorološke i klimatske uvjete morske struje prenoseći hladnu vodu bogatu nutrijentima i otopljenim kisikom utječu na ritam bioloških procesa i razvitak života u moru. Tople morske struje povoljno se odražavaju na okoliš, one pospješuju

niski tlak zraka i ciklonalnu aktivnost što pridonosi obilnijim padalinama koje posredno omogućuju razvijanju bogate flore i faune.

Prisustvo tople Golfske struje u ruskoj luci Murmansk na obali Barentsovog mora (68° 50' N) u polarnome predjelu omogućuje plovidbu cijele godine, dok su primjerice luke u Hudsonovom zaljevu i Labradoru izložene utjecaju hladne Labradorske struje okovane ledom i do 6 mjeseci godišnje iako se nalaze južnije od luke Murmansk.[25]

Hladne morske struje imaju suprotan učinak, nad njima se razvija visoki tlak zraka te je malo oborina. Posljedica toga je da hladne struje uvjetuju pustoš i nepogodne uvijete za život na obalnim područja uz koje prolaze. Najbolji primjeri za to su pustinja Namib u jugozapadnoj Africi uz Benguelsku struju, pustinja Atacama u Južnoj Americi uz Peruansku struju, zapadna Australija i zapadna Sahara. Morske struje određuju klimatske uvjete te tako utječu na raspored ljudske populacije te ljudske aktivnosti. Iako hladne morske struje ne pogoduju životu na kopnu one se ističu izrazitom velikim bogatstvom u moru. Najveća lovišta riba i drugih morskih vrsta su u hladnim morima (Beringovo more, Norveško more, Ohotsko more, obale: Perua, Čilea, Namibije i Argentine). Također osim hladnih mora bogata ribolovna područja su tamo gdje se tople i hladne morske struje susreću (Golfska i Labradorska struja uz obalu Kanade, Kurošio struja i Kamčatkanska struja sjeverno od Japana).

[25] Riđanović J., Hidreografija, Školska knjiga, Zagreb, 1989.

4. UTJECAJ MORSKIH STRUJA NA PLOVIDBU BRODA

Morske struje imaju značajnu ulogu u pomorskoj navigaciji. Njihov smjer, brzina i stabilnost mogu značajno utjecati na trajanje i učinkovitost plovidbenog putovanja. Ovo poglavlje predstavlja kratki uvod u to kako morske struje oblikuju i stvaraju izazove u plovidbi, te se istražuju načini koje pomorci koriste kako bi maksimalno iskoristili ili umanjili utjecaj ovih dinamičnih vodenih tokova na putovanju brodova.

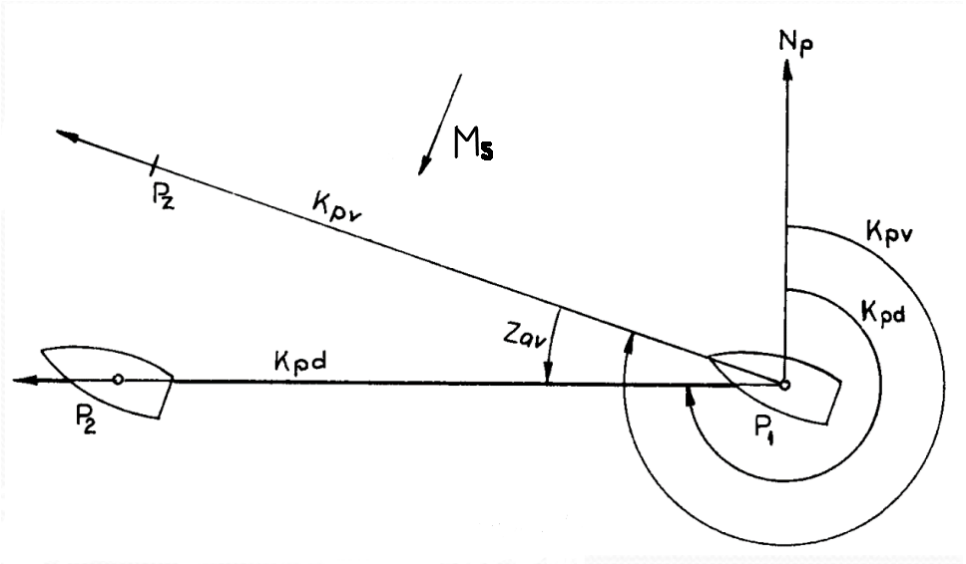
4.1. UTJECAJ MORSKIH STRUJA NA BRZINU I KURS BRODA

U plovidbi, brzina broda i kurs broda jedni su od najvažnijih parametara. Poznavanje i pravilno očitavanje ovih vrijednosti važno je za sigurno i učinkovito obavljanje pomorske djelatnosti. Brzina broda i promjena brzine osim za samu plovidbu i prilagodbu trenutnim vremenskim uvjetima važna je za izračunavanje vremena dolaska na destinaciju (engl. *Estimated Time of Arrival* - ETA) i za izračunavanje potrošnje goriva.

Kurs je horizontalni kut s vrhom u šiljku ruže kompasa između smjera sjevera (N) odnosno meridijana pravog i uzdužnice broda u smjeru pramca. Kurs se mjeri od 0° do 360° od točke sjevera (N) u smjeru kazaljke na satu.[26]

U plovidbi broda razlikuju se kretanje kroz vodu, odnosno kretanje preko dna. Oba su kretanja definirana kursom i brzinom. a i . Kurs kroz vodu (engl. *Course Through Water - CTW*) je kut kojeg zatvaraju smjer pravog sjevera i uzdužnica broda (zamišljena linija koja prolazi sredinom broda). Zbog vanjskih utjecaja vjetra, morskih struja i valova koji svojim djelovanjem zanose brod postoji razlika između kursa kroz vodu i stvarnog smjera kojim se brod kreće. Kurs preko dna (engl. *Course Over Ground* - COG) je stvarni smjer kretanja broda u odnosu na Zemljinu površinu odnosno na morsko dno.

[26] Kos S.; Zorović D., Vranić D., Terestrička i elektronička navigacija, Rijeka: Pomorski fakultet u Rijeci, 2010



Slika 14. Prikaz djelovanja morske struje na zanos broda

Izvor: Mohović R., Tehnika rukovanja brodom, Meteorološki i oceanološki čimbenici

Na Slici 14. prikazana je situacija djelovanja morske struje na kretanje broda. Na poziciji (P_1) brod se kreće po kursu koji je jednak kursu kroz vodu (na slici kurs preko vode, KPV) zbog pojave morske struje s desne strane broda, brod se kreće zanositi u lijevu stranu te iako mu je CTW ostao isti brod se zapravo kreće u smjeru kursa preko dna (COG, na slici KPD, kurs preko dna). Brod nakon određenog vremenskog intervala dolazi na poziciju (P_2) zbog zanosa uzrokovanog morskom strujom, a ne na očekivanu poziciju (P_z) na koju bi došao da se kretao po kursu kroz vodu. Kut između COG i CTW naziva se kut zanosa. Kut zanosa ili zanošenja (za_v) može biti pozitivan (+) kada se brod zanosi u smjeru kazaljke na sat ili negativan (-) kada se brod zanosi u smjeru suprotnom od smjera kazaljke sata.

Promatrajući brzinu broda ona se također može razlikovati kao brzina kroz vodu (engl. *Speed Through Water* - STW) i brzina preko dna (engl. *Speed Over Ground - SOG*). Brzina kroz vodu ili STW je brzina koju brod ima zbog rada brodskog stroja te se pri stalnom opterećenju stroja brzina kroz vodu ne mijenja. Brzina preko dna je stvarna brzina broda koju brod ima u odnosu na površinu Zemlje odnosno morsko dno. Brzina preko dna SOG dobiva se putem GPS-a (engl. *Global Positioning System* – GPS) koji mjeri prevaljenu udaljenost na površini Zemlje (odnosno morskog dna) u određenom vremenskom intervalu. Na brzinu preko dna utječu morske struje, vjetar i valovi, a ovisno o svojem intenzitetu i smjeru djelovanja mogu povećati ili smanjiti brzinu broda preko dna. Brzina kroz vodu je brzina koju brod ima u odnosu na vodu

kroz koju se kreće. Brzina kroz vodu dobiva se putem brodskog brzinomjera U teoriji SOG i STW bile bi iste da brod plovi na savršeno mirnome moru bez vanjskih utjecaja, no u stvarnosti to je gotovo nemoguć slučaj. Upravo je razlika između brzine preko dna i brzine kroz vodu pokazatelj djelovanja vanjskih čimbenika. Primjerice ukoliko brod plovi brzinom kroz vodu 20 čv, a brzina preko dna iznosi 19 čv može se zaključiti da vanjski čimbenici negativno djeluju odnosno usporavaju plovidbu broda.

4.2. NAČINI DOBIVANJA INFORMACIJA O MORSKIM STRUJAMA NA ZAPOVJEDNIČKOM MOSTU

Ovo poglavlje opisuje različite izvore informacija i alate sa ciljem praćenja morskih struja na području interesa. Unutar ovog poglavlja, proučit će se tri ključna načina za dobivanje informacija o morskim strujama kroz publikacije i karte, navigacijske podatke te alate za optimizirano planiranje putovanja.

Prvi izvor informacija o očekivanim utjecajima morskih struja su nautičke karte i publikacije u kojima se mogu pronaći podatci o smjeru, brzini i varijacijama struja za različite vremenske sezone. Drugi način za dobivanje informacije je korištenje dostupne navigacijske opreme. Zapovjednički mostovi modernih brodova opremljeni su sofisticiranim integriranim navigacijskim sustavima koji se sastoje od navigacijskih uređaja i instrumenata za mjerenje vanjskih utjecaja. Također, pomorci danas koriste komercijalne alate za optimizaciju planiranja putovanja koji im omogućuju planiranje rute uzimajući u obzir trenutne vremenske uvjete, točnije određivanje vremena dolaska, smanjenje potrošnje goriva, dobivanje informacija o plutajućim objektima i ledu na moru u stvarnom vremenu. Uz navedene načine koji se fokusiraju na publikacije i korištenje tehnologije, ne treba zanemariti i kvalitetno vizualno osmatranje okoline kako bi se utvrdio smjer vjetra, valova i morskih struja i procijenio položaj broda u odnosu na objekte na obali i fiksirane točke na moru.

4.2.1. Publikacije i karte

Publikacije i karte su neophodan element svakog zapovjedničkog mosta. Nautičke publikacije pokrivaju širok spektar tema. U njima su sadržane informacije, pravila i pravne regulative svih bitnih aspekata potrebnih za sigurno obavljanje pomorske djelatnosti.

Navigacijske karte su slikovni formati koji pomoću dogovorenih međunarodnih znakova prikazuju konture obala, vrste morskog dna, dubine, objekte u moru, podrtine, grebene, plutače,

mrežu meridijana i paralela, ružu kompasa i čitav niz drugih podataka koji su bitni za vođenje navigacije.[27]

Osim navigacijskih karata postoje i informativne karte koje su specifično izrađene za detaljni prikaz određenih vrijednosti i elemenata plovidbe, a to su karte morskih struja, meteorološke karte, karte magnetskih elemenata, sedimentološke karte, batimerijske karte, karte vjetrova, karte leda i pilotske karte.

Nautičke publikacije u kojima pomorci mogu pronaći navigacijske podatke za određeno geografsko područje ili luku su slijedeće: vodiči kroz luke (engl. *Guide to port entry*), tablice morskih mijena (engl. *Tide tables*), atlas morskih struja (engl. *Tidal stream atlas*), nautički godišnjaci (engl. *Nautical Almanac*), popis svjetala i signala za maglu (engl. *List of lights and fog signals*), popis radio signala(engl. *List of radio signals*), peljari (engl. *Sailing directions*), obavijesti za pomorce (engl. *Notice to mariners*), itd. Uz ove publikacije važno je i posjedovati odgovarajući set nautičkih karata odgovarajućeg mjerila za planirano područje plovidbe.

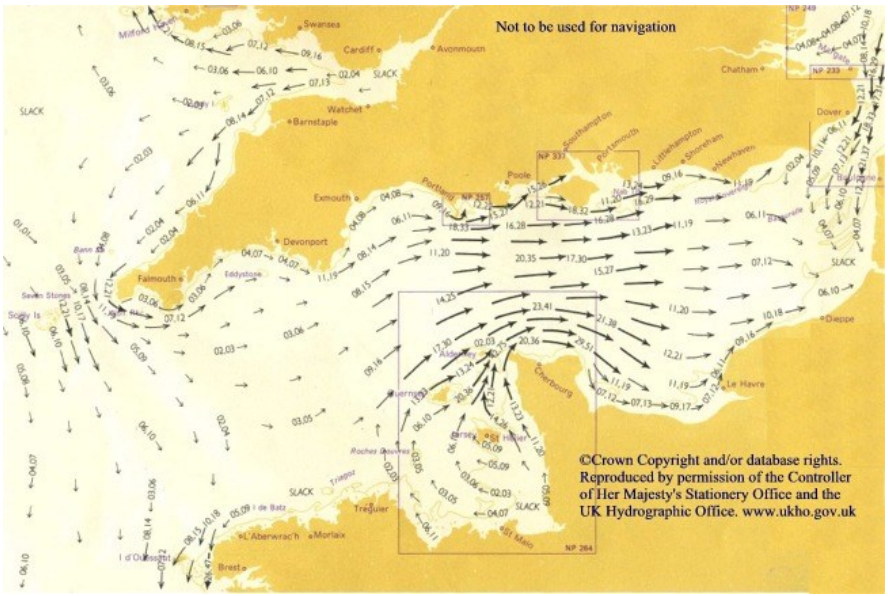
U kontekstu promatranja morskih struja najvažniji izvori informacija su vodiči za luke i atlasi morskih struja.. Vodiči, uz mnoštvo ostalih informacija potrebnih za siguran ulaz u luku i privez daje informaciju postoji li morska struja u blizini luke i koji je najbolji način za izvođenje manovre. Ovdje su sažeti su svi najbitniji podatci o lukama svijeta. Za svaku luku navedeni su slijedeći podatci: generalni opis i lokacija luke, potrebne karte, potrebna dokumentacija, restrikcije i ograničenja brodova, pozicije sidrišta, podatci povezani s pilotažom, komunikacija s lučkom upravom, karakteristični vremenski uvjeti, informacije o terminalima za različite terete i sl. Povezano s ovim radom u navedenim informacijama o pojedinoj luci nalaze se i podatci o morskim strujama ukoliko su prisutne i značajne na području pojedine luke. Pokazano na primjeru za alžirsku luku Arzew gdje je uz mnoštvo ostalih informacija u sekciji koja se odnosi na klimatske uvjete navedeno: “Glavna morska struja kreće se od istoka prema zapadu. Tijekom SI vjetrova jačine 16-19 čv razvija se struja istog smjera jačine 0,4 čv koja struji do Madraguea gdje mijenja smjer u JI s brzinom 0,3 čv. Tijekom JZ vjetra jačine 13.5 čv stvara se morska struja koja teče u istom smjeru jačine 0,7 čv.“.[28]

Atlas morskih struja je nautička publikacija u koja se koristi za predviđanje intenziteta i smjera struja morskih mijena na određenom području. Uz svaku priobalnu regiju sadržanu u atlasu

[27] Kos S.; Zorović D., Vranić D. Terestrička i elektronička navigacija, Rijeka: Pomorski fakultet u Rijeci, 2010

[28] Guide to port entry, Shipping Guides Ltd, Reigate, United Kingdom, 2021

nalazi se 12 do 13 dijagrama koji prikazuju promjene brzine i smjera struje za svaki sat ciklusa izmjene plime i oseke. Na dijagramima morske struje označene su strelicama, a debljina i duljina strelice ukazuje na intenzitet struje koji se također može naznačiti i numerički. U atlasu se mogu pronaći i dodatne informacije poput vrijednosti morskih mijena i morskih struja tijekom sizigija kada su morske mijene najviše (engl. *Spring tide*) i tijekom kvadrature kada su najniže (engl. *Neap tide*).

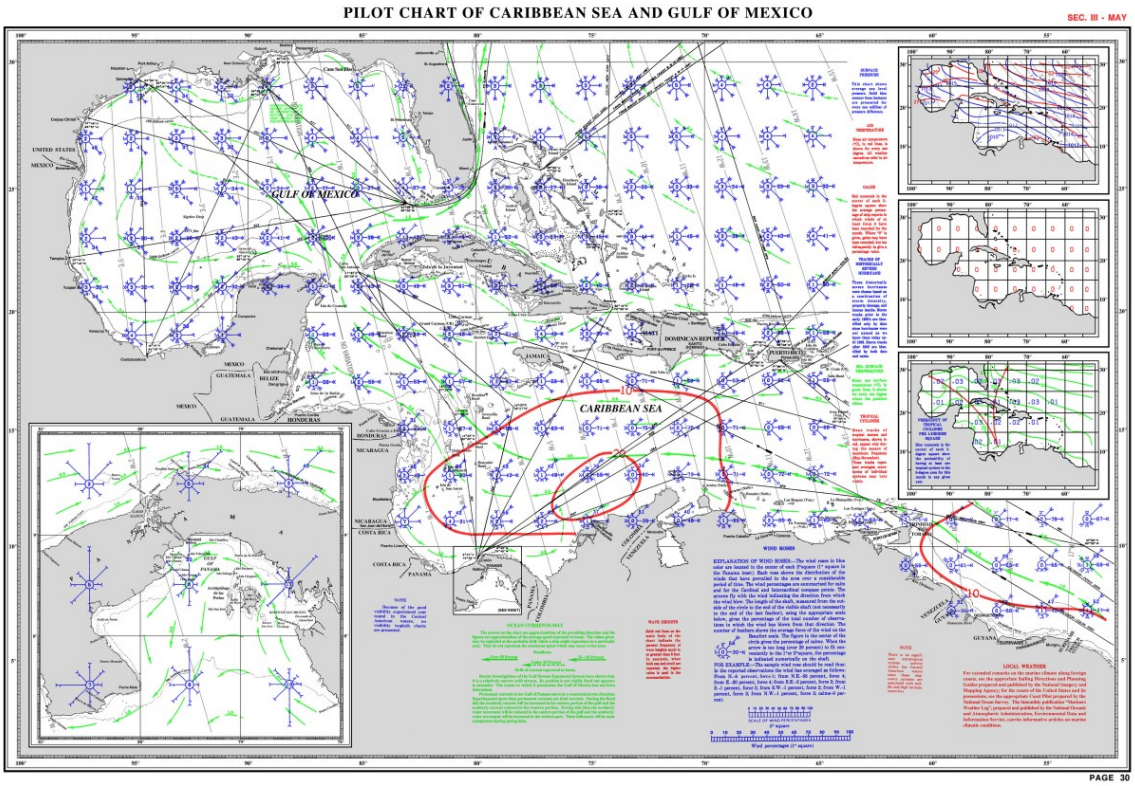


Slika 15. Primjer dijagrama iz Admirality tide atlas-a za Engleski kanal

Izvor: https://www.kayarchy.com/html/03thesea/006atidalstreamatlas.htm

Na Slici 15. prikazan je jedan primjer kretanja struja morskih mijena na području Engleskog kanala. Gustoćom i veličinom strelica određuje se intenzitet struja. Također uz svaku strelicu naznačena su dva broja. U atlasu morskih struja numerička vrijednost intenziteta struja određuje se u desetinama čvorova i to za njenu najslabiju i najsnažniju vrijednost. Primjerice na Slici 12. brojevi 14,25 označavaju najslabiju vrijednost struje koja iznosi 14 desetina čvorova odnosno 1,4 čv i najsnažniju vrijednost 25 desetina čvorova odnosno 2,5 čv.

Podatci o morskim strujama mogu se očitati i s peljarskih karata.



Slika 16. Peljarska karta za Karipsko more i Meksički zaljev za mjesec svibanj

Izvor:https://msi.nga.mil/api/publications/download?key=16693989/SFH00000/106may.pdf&type=view

Na Slici 16. je prikaz peljarske karte za područje Karipskog mora i Meksičkog zaljeva za mjesec svibanj. Peljarske karte su pomoćne navigacijske karte koje sadrže informacije o meteorološkim, oceanografskim i navigacijskim uvjetima na moru. Za određeno plovno područje izrađuju se peljarske karte za svaki mjesec u godini zbog promjene navedenih uvjeta. Peljarske karte sadrže informacije o učestalosti olujnih vjetrova (iznad 8 Beauforta), tlaku zraka, temperaturi zraka i vidljivosti koje se mogu očitati na umanjenim prikazima karte kao što su tri prikaza u gornjem desnom kutu na Slici 16. Na glavnome dijelu peljarske karte ucrtani su podatci o morskim strujama, vjetru, valovima i prisutnosti leda. Ruže vjetrova na karti ucrtane su plavom bojom u središtu kvadrata dimenzija 5° geografske širine i dužine. Ruže vjetrova prikazuju učestalost vjetrova koja je prikazana duljinom osam strelica koje predstavljaju kardinalne smjerove, prosječni intenzitet vjetra naznačen je brojem crtica na strelicama (od 0 do 12 prema Beaufortovoj ljestvici). Crvenim linijama označen je postotak frekvencije valova viših ili jednakih 12 stopa (3.6 metara). Zelenim strelicama označen je smjer morskih struja. Iznad strelica je zabilježen podatak o brzini morske struje.

4.2.2. Navigacijski podaci

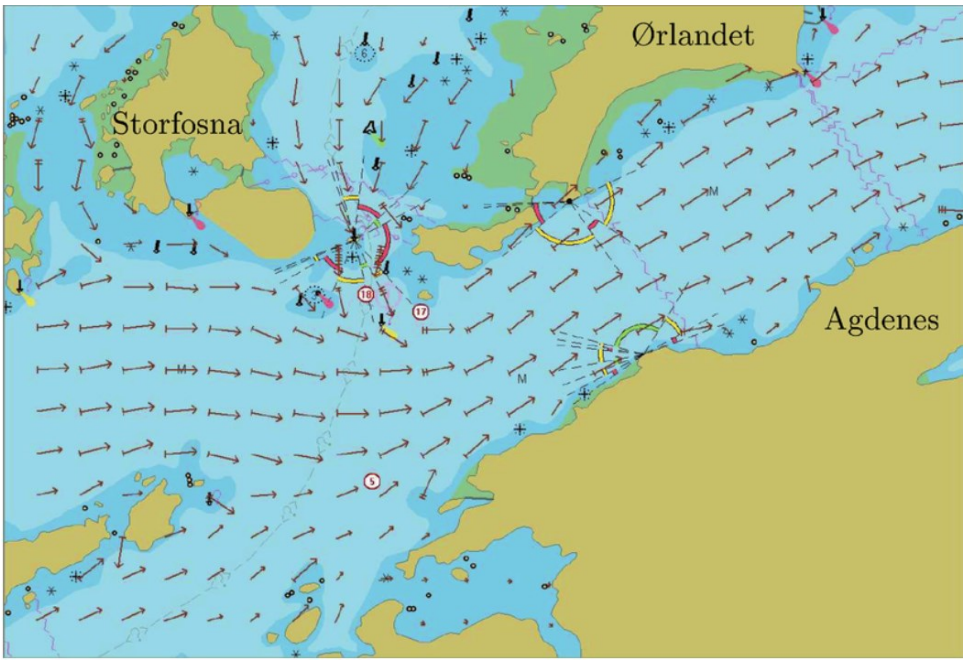
Brodovi mogu imati vlastiti uređaj za mjerenje brzine morske struje odnosno ADCP (engl. *Acoustic Doppler Current Profiler*). To je uređaj za mjerenje brzine morske struje o kojemu je pisano u poglavlju 3.4., a on se ugrađuje na trup broda. Pomorci informacije o morskim strujama mogu očitati i s Informacijskog sustava i prikaza elektroničkih karata (engl. *Electronic Chart Display and Information System* - ECDIS). ECDIS sustav povezan je s osnovnim senzorima odnosno brzinomjerom, žirokompasom i GPS-om te može biti povezan s dodatnim senzorima poput brzinomjera, anemometra te ADCP uređaja za mjerenje brzine morskih struja. Treba napomenuti da ECDIS ne generira ove podatke već prikazuje očitane vrijednosti. ECDIS pomorcima također pruža opciju prikaza struja morskih mijena za područje plovidbe. Morske struje prikazane su kao vektori na karti. Na Slici 17. vidljiv je zaslon ECDIS sustava s prikazom smjera i intenziteta morskih struja. Ove vrijednosti mijenjaju se s prolaskom vremena, konkretno ovo je prikaz morskih struja tijekom plime, što znači da tijekom oseke smjer ove morske struje mijenja u suprotnome smjeru. Ovakav prikaz morskih struja u ECDIS-u jedan je od dopunskih informacijskih slojeva čiji je službeni termin MIO (engl. *Marine information overlay* - MIO). MIO slojevi nisu sastavni dio elektroničkih navigacijskih karata (engl. *Electronic Navigational Chart* - ENC), već su dodatni izvor informacija koji je ukomponiran na karte za poboljšanje i olakšanje navigacije. Proizvođači ECDIS sustava osim dopunskog informacijskog sloja o strujama morskih mijena također nude i mogućnosti prikaza slijedećih informacija (MIO): razina plime i oseke, led na moru, zaštićena morska područja i vremenski/oceanografski podatci.[29]

Također povezano s morskim strujama, trenutno je u razvoj S111- Surface Currents za prikaz površinskih morskih struja na ECDIS-u. S111 je novi standard Međunarodne hidrografske organizacije (engl. *International Hydrographic Organisation* - IHO). Prema normama ovoga standarda proizvođači ECDIS-a u svoje sustave implementirati će prikaz strujanja površinskih morskih struja s naznačenom brzinom i smjerom njihovog kretanja.[30] Standard 111 predstavlja jednu od inovacija koja će biti sastavni dio modernih elektroničkih karata, a pomorcima će omogućiti dinamičan prikaz morskih struja u stvarnome vremenu. Prema S 111 morske struje

[29] Alexander L., 2008, Marine information overlays, Centre for Coastal and Ocean Mapping, Joint Hydrographic Centre,University of New Hampshire, USA, online: https://iho.int/uploads/user/Services%20and%20Standards/NIPWG/MISC/HGMIO/MIO%20Article%20-%20Seaways%20-%20Oct08.pdf, 22.1.2024.

[30] Admirality Maritime Data Solutions, S- 111 Trial cells, https://datahub.admiralty.co.uk, (20.12.2023.)

na zaslonima ECDIS-a biti će prikazane strelicama različitih boja i veličina ovisno o brzini strujanja i širini toka. Prikaz morskih struja zamišljen je kao podjela morskih struja u devet skupina podijeljenih prema brzini s odgovarajućim vizualnim prikazom u boji za svaku skupinu koji se mora razlikovati u tri osnovna prikaza za dan, noć i sumrak.



Slika 17. Prikaz vektora struja morskih mijena na zaslonu ECDIS sustava

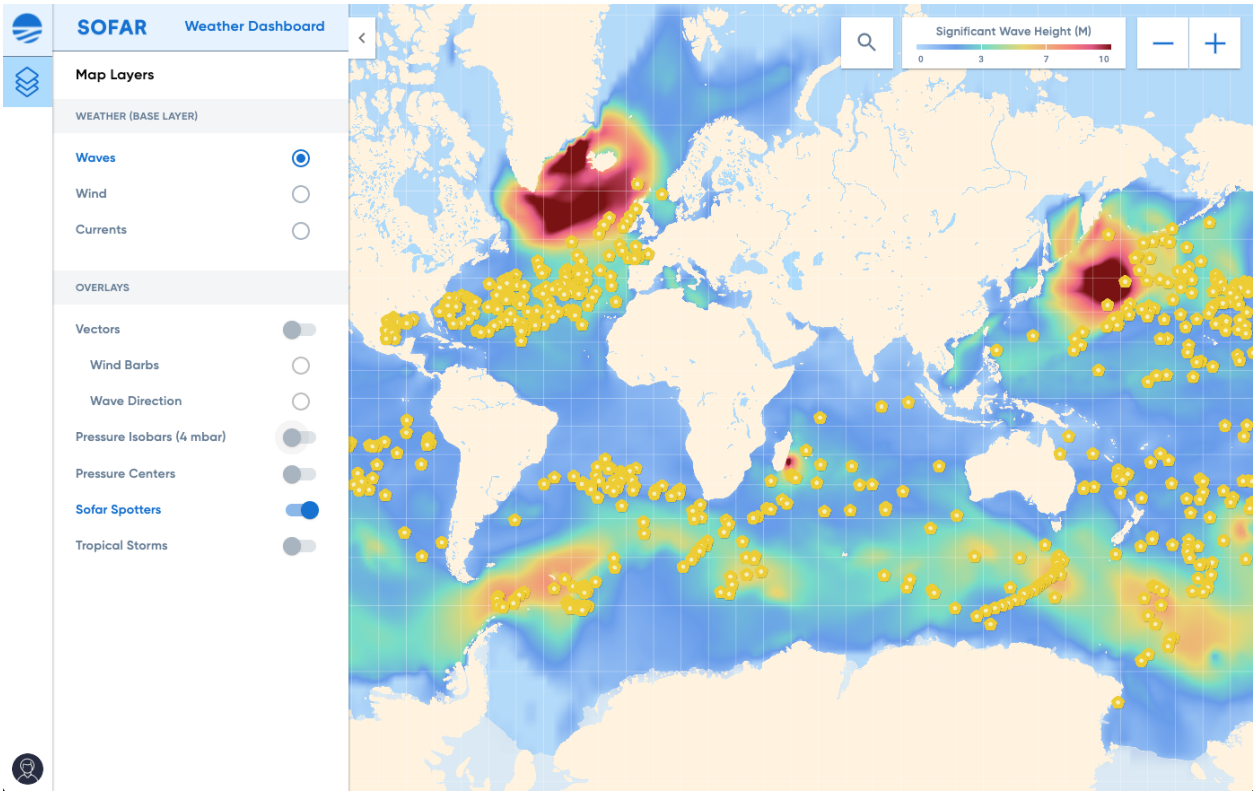
Izvor: Gjevik B., Hareide D., Lynge B. K., Ommundsen A., Skailand J. H.,Urheim H. B., 2006, Implementation of High Resolution Tidal Current Fields in Electronic Navigational Chart Systems, Marine Geodesy, 29:1, 1-17, DOI: 10.1080/01490410600582288, 22.1.2024

4.2.3. Alati za optimizirano planiranje putovanja

Alati za optimizirano planiranje putovanja su aplikacije koje koriste ulazne podatke o pojedinom brodu i teretu te informacije o stanju vremena koje dobivaju od plutača postavljenih diljem svjetskih oceana (podatci o vjetru i morskim strujama), precizne vremenske prognoze i od satelitskih snimaka. Neke od tvrtki koje nude usluge optimizacije putovanju su SOFAR Ocean, Blue Water Optimum Speed Services (BOSS), Ocean routes, Storm Geo AWT, Ship Performance Optimization System (SPOS), i Weather routeing inc.[31]

[31] Chen M., Chesnau L., Heavy Weather Avoidance and Route Design, Paradise Cay Publications, Inc., 2008

Kako bi se jasnije prikazao princip rada alata za optimizaciju putovanja koristiti će se primjer aplikacije SOFAR Ocean. Ova tvrtka u vlasništvu je najveće i najrasprostranjenije privatne mreže meteoroloških plutača na svijetu.

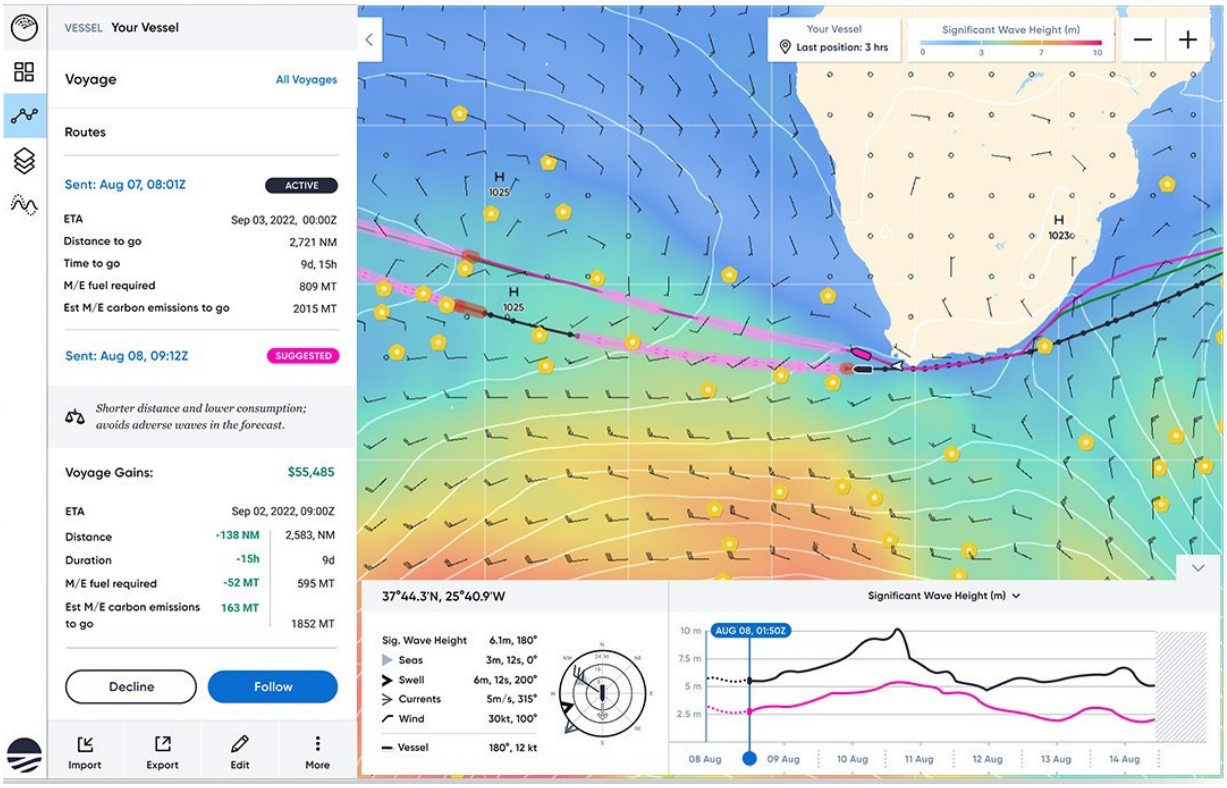


Slika 18. Prikaz rasporeda meteoroloških plutača tvrtke SOFAR Ocean

Izvor: https://rachelbinx.com/data-visualization/sofar-ocean

Na Slici 18. prikazane su spomenute plutače. Broj plutača konstanto se mijenja, ali bitna je informacija da one zajedno u prosjeku dnevno zabilježe oko 1,5 milijuna observacija trenutnog stanja vremena na moru. Koristi se nekoliko vrsta plutača za različite namjene i prikupljanje različitih podataka. Primjerice za praćenje morskih struja koriste se slobodno plutajuće površinske plutače te slobodno plutajuće dubinske plutače. Plutače su opremljene raznim senzorima te mogu bilježiti podatke o: dubini mora, temperaturi mora na različitim dubinama, pH vrijednosti, količine otopljenog kisika, intenzitetu i smjeru vjetra, smjeru i visini valova te intenzitetu i smjeru morskih struja. Svakodnevno prikupljanje informacija kombinirano s kompleksnim izračunima i algoritmima stvara najpovoljniju ruta za plovidbu te se predlaže preusmjeravanje na te rute. Aplikacija korisniku (posadi broda) povratnu informaciju o promjeni rute može slati preko sučelja aplikacije ili preko e-maila. Aplikacija preporučuje izmjenu među točaka i najoptimalniji broj okreta motora broda. Osim toga aplikacija pruža uvid

u trenutno stanje vjetra, valova i morskih struja (prikazano na Slici 18. na lijevom dijelu izbornika) te njihovu buduću prognozu, upozorenja na oluje, dnevni izvještaj stanja na moru.



Slika 19. Prikaz zaslona aplikacije za optimizaciju putovanja tvrtke SOFAR Ocean

Izvor: Voyage Optimization with Wayfinder (sofarocean.com)

Na Slici 19. prikazan je zaslon aplikacije za optimizaciju putovanja tvrtke SOFAR Ocean. Uzimajući u obzir podatke o putovanju, specifikacije broda i trenutno stanje vremena na određenom području aplikacija pomorcima pruža slijedeće informacije. Na lijevom dijelu zaslona prikazani su podatci o očekivanom trajanju putovanju, procijenjenom vremenu dolaska na destinaciju (ETA), potrebna količina goriva za izvršenje putovanja izražena u metričkim tonama, količina emisijskih plinova i procijenjena financijska ušteda preporučene rute. Na desnom dijelu zaslona nalaze se podatci o smjeru i brzini morskih struja, vjetra, valova i valova mrtvog mora s adekvatnim prikazom istih na karti. Aplikacija također prikazuje signifikantnu visinu valova odnosno prosječnu visinu jedne trećine najviših izmjerenih valova.

4.3. UTJECAJ MORSKIH STRUJA NA MANEVRIRANJE BRODOM

Morske struje kao vanjski čimbenik neizostavni su faktor u svim područjima plovidbe. Različite vrste morskih struja u različitim situacijama na različiti način utječu na plovidbu broda. Njihov učinak kombiniran s učinkom ostalih čimbenika uvijek treba uzeti u obzir tijekom

upravljanja brodom, a u ovome poglavlju promatrati će se primjeri djelovanja morskih struja na brod tijekom okreta broda, na prilazu sidrištu i na sidrištu, tijekom priveza i odveza, pri pristajanju broda u riječnu luku.

Prilikom djelovanja morskih struja na brod u obzir treba uzeti činjenicu da je voda oko 900 puta gušća od zraka.[32] Posljedica toga jest da teoretski vjetar brzine 30 čv i morska struja brzine 1 čv na površinu istu veličine djeluju istom silom. U stvarnosti taj omjer je nešto drugačiji jer na djelovanje vanjskih sila utječu i neke karakteristike broda poput veličine nadgrađa, omjera gaza i nadvođa, stanja nakrcanosti te trim broda. Tijekom plovidbe i manevriranja važno je poznavati karakteristike pojedinih vrsta brodova koji će se različito ponašati u određenim situacijama. Primjerice brodovi manjeg gaza i velike površine nadgrađa poput kruzera, brodova za prijevoz kontejnera ili automobila biti će više podložni utjecaju vjetra, dok će na brodove za prijevoz tekućeg i rasutog tereta velikog gaza i malog nadgrađa morske struje imati veći utjecaj.

Tijekom plovidbe oceanskim područjem brod se susreće s površinskim morskim strujama te ovisno o smjeru kretanja broda u odnosu na kretanje morske struje može doći do zanosa broda. Na otvorenom moru s malom gustoćom prometa to ne predstavlja prepreku navigaciji jer brodom plovi putnom brzinom te kormilo jako dobro sluša.

Za razliku od oceanske plovidbe, plovidba u blizini obale, plovidba kanalima i tjesnacima, sidrenje te privez i odvez pomorcima predstavljaju puno veći izazov. Razlog tomu su u pravilu veća gustoća prometa, manja dubina mora, ograničeni prostor za manevriranje te kao najznačajniji faktor smanjenje brzine plovidbe pri kojoj učinak vanjskih utjecaja postaje snažniji i teže je kontrolirati brod.

Primjerice, kod sidrenja broda prije samog sidrenja važno je utvrditi željenu poziciju sidrenja te prisutne vanjske čimbenike i njihov intenzitet. U kontekstu proučavanja morskih struja tijekom sidrenja, priveza i odveza najveći u utjecaj imaju struje morskih mijena. Prilikom približavanja poziciji sidrišta bitno je znati trenutni smjer morskih struja i vjetra te treba ukoliko je to moguće ostale brodove, plutače i navigacijske opasnosti prolaziti niz struju ili u zavjetrini kako bi se izbjegla situacija gdje morske struje ili vjetar približavaju brod potencijalnoj opasnosti. Dok je brod na sidru faktori koju određuju intenzitet sile morske struje su gaz broda,

[32] D.H. MacElrevey, Shiphandling for the Mariner, Cornell Maritime Press, Ins. Centerville, 1998.

dubina vode, konfiguracija pramca, brzina morske struje i dubina ispod kobilice (engl. *Under Keel Clereance* - UKC). Od navedenih faktora oni koji najviše utječu na intenzitet morske struje su sama brzina struje i UKC broda. Što brod ima manji UKC voda morske struje ima manje prostora između trupa broda i morskog dna te struji oko broda. Jedan primjer za utjecaj morskih struja mijena na brod prilikom odabira mjesta za sidrenje je izračun longitudinalne sile na sidreno vitlo tankera od 50000 dwt. Na sidrenom vitlu tankera pri brzine oseke od 5 čv kojemu je omjer gaza i dubine 3:1 djeluje sila od 19 tona, dok je na istom tankeru pri istoj brzini oseke s omjerom gaza i dubine 1:1 sila iznosi 64 tone.[33]

Struje morskih mijena također su značajne kada brod mora uploviti u luku u blizini riječnog ušća. U ovim situacijama na brod se ukrcava pilot. Pilot je osoba koja iznimno dobro poznaje lokalne uvjete plovidbe te svojim znanjem i iskustvom pomaže zapovjedniku i posadi. Prilikom uplovljavanja u rijeku pogotovo za veće brodove bitno je da im morska struja dolazi s krme, odnosno da plove niz struju. To se najčešće događa za vrijeme nastupanja plime što brodu omogućava dovoljan UKC za ulazak, a plovidba sa strujom u krmu olakšava skretanje u ograničenom prostoru riječnog korita.

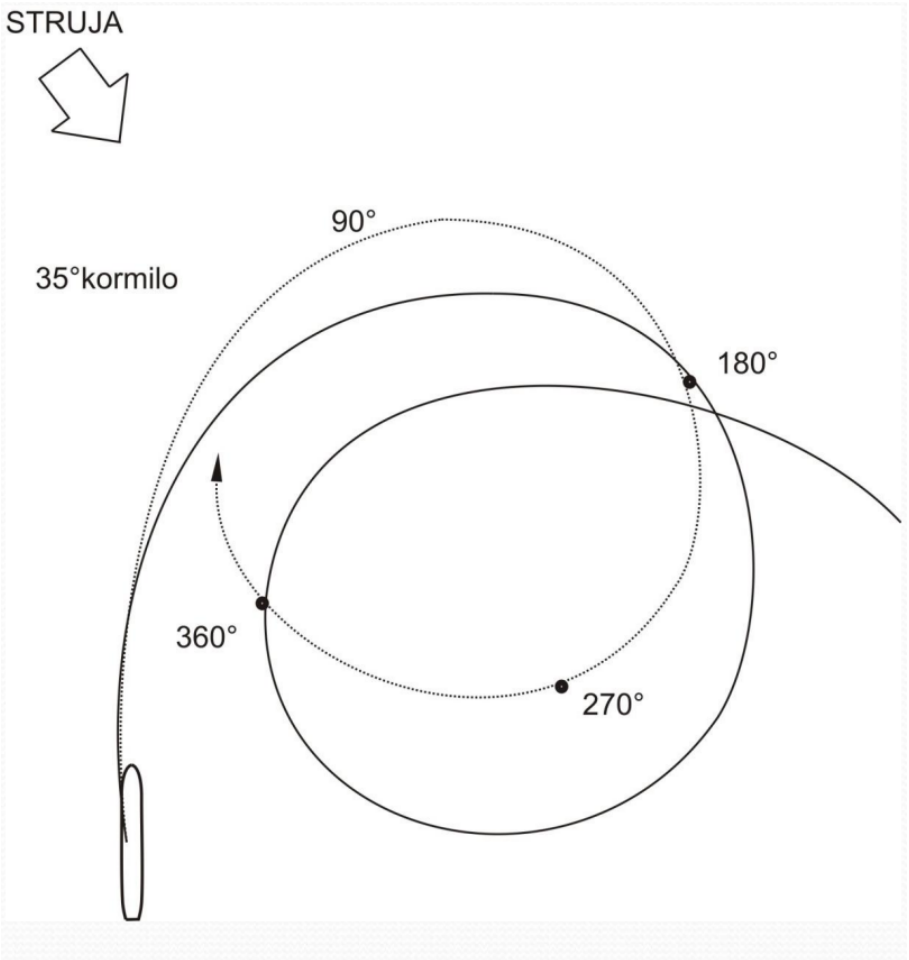
Tijekom priveza i odveza broda ukoliko je to moguće utjecaj morskih struja nastoji se iskoristiti u manevriranju. Učinak morskih struja i ostalih vanjskih čimbenika kod nekih vrsta brodova kompenzira se poboljšanim manevarskim svojstvima (pr. brodovi za kružna putovanja najčešće imaju azipodalni pogon te pramčane i krmene porivnike), a kod nekih korištenjem tegljača. Dok je brod privezan na njega i tada mogu djelovati morske struje. Najčešće su to struje morskih mijena, a slično poput situacije kada je brod na sidru najvažniji faktori su brzina struje i UKC broda. Što je brzina struje veća i UKC broda manji, utjecaj morskih struja na brod biti će snažniji. Ovdje se učinak morskih struja kompenzira pravilnim rasporedom priveznih konopa s pojačanjima na određenim dijelovima (ovisno o tome kako je brod postavljan u odnosu na morsku struju).[34]

Morske struje također utječu i na krug okreta broda. Krug okreta broda jedno je od karakterističnih manevarskih svojstava pojedinog broda i ono ukazuje na udaljenost i vrijeme

[33] R.W. Rowe, The Shiphandler's Guide, The Nautical Institute, London, 2000

[34] R.W. Rowe, The Shiphandler's Guide, The Nautical Institute, London, 2000

potrebno za izvršenje promjene kursa od početnog kursa za 360°. Poznavanje ovog svojstva važno je za izbjegavanje sudara i manevriranje u ograničenom prostoru. Na Slici 20. prikazano je kako morske struje utječu na izvršenje manevra okreta broda. Punom crtom označen je krug okreta bez utjecaja morskih struja, a isprekidanom crtom krug okreta prilikom djelovanja morskih struja. Sa slike je vidljivo kako pri inicijalnoj promjeni kursa udesno utjecaj morskih struja produljuje krug okreta, dok je krug okreta u drugoj fazi manji. Razlog tome je to što kad se brod kreće naprijed točka oko koje se brod okreće (engl. *Pivot point*) se nalazi bliže pramcu te se brod zakreće pramcem u morske struje. U prvoj fazi okreta to odmaže, no u drugoj fazi to ubrzava i skraćuje krug okreta. Poznajući kako vanjski čimbenici utječu na krug okreta bitno je odabrati stranu na koju se brod planira okrenuti.



Slika 20. Utjecaj morske struje na krug okreta broda

Izvor: Mohović R., Tehnika rukovanja brodom, Meteorološki i oceanološki čimbenici

4.4. PRORAČUN SILE MORSKIH STRUJA

Sila morske struje spada u kategoriju neupravljivih sila. U plovidbi broda ukoliko sila morske struje predstavlja prepreku, njen utjecaj ovisno o intenzitetu kompenzira se postavljanjem kormila u odgovarajući položaj, korištenjem brodskog pogonskog stroja za povećanje brzine, korištenjem pramčanih i krmenih porivnika te ukoliko je potrebno prihvatom tegljača. Proračun sile morskih struja uključuje više faktora. Drugi važan faktor je smjer struje u odnosu na kurs plovila. Također, gustoća morske vode igra ulogu u proračunu. Gustoća vode varira ovisno o slanosti i temperaturi. Gustoća utječe na strujanje vode i generiranje sila. Razlike u gustoći mogu stvoriti različite zone strujanja koje će utjecati na plovilo na različite načine. Sila morske struje numerički se može izračunati prema slijedećoj formuli.[35]

Sila morske struje na trup broda

$$\boldsymbol{F_{ms} = C_{ms} \times \frac{1}{2} \times \rho_v \times v_{ms}^2 \times A_{ms}} \qquad (2)$$

gdje je:

F_{ms} – sila morske struje koja djeluje na brod

C_{ms} – koeficijent otpora tijela izloženog djelovanju m. struje

ρ_v – gustoća morske vode u kojoj se nalazi brod

v_{ms} – brzina morske struje

A_{ms} – površina podvodnog dijela broda

Prema navedenoj formuli sila morske struje ovisi o lateralnoj i frontalnoj podvodnoj površini broda (stanje nakrcanosti – gaz i trim broda) te kutu djelovanja morske struje na brod. Također, sila morske struje ovisi o brzini morske struje te prema formuli dvostruko povećanje brzine struje rezultira četverostrukim povećanjem sile koja djeluje na brod što u stvarnosti može jako otežati manevriranje posebice u ograničenom prostoru. Intenzitet sile ovisan je i o koeficijentu otpora tijela odnosno broda. On se određuje u bazenima brodarskih instituta na modelima i ovisi o obliku podvodnog dijela broda, vrsti broda i stanju nakrcanosti, kutu djelovanja vjetra, dubini

[35] Mohović R., Tehnika rukovanja brodom, Meteorološki i oceanološki čimbenici

ispod kobilice. Pri određivanju sila morske struje koje djeluju na brod na vezu upotrebljavaju se vrijednosti koeficijenta C_{ms}.

C_{ms} = 1,0 – 1,5 za duboku vodu

C_{ms} = 2,0 za dubine vode dvostrukog gaza broda

C_{ms} = 3,0 za dubinu vode 50 % veću od gaza broda

C_{ms} = 6,0 za dubinu vode približno jednaku gazu broda

Ako morska struja teče paralelno s uzdužnicom broda tada vrijednost C_{ms} iznosi 1,0 do 1,2. [36]

[36] Pomorski fakultet u Rijeci, Sveučilište u Rijeci, Vademecum Maritimus, Rijeka, 2014

5. ZAKLJUČAK

U današnjem globaliziranom svijetu, pomorska navigacija ima ključnu ulogu u međunarodnoj trgovini i transportu. Morske struje kao jedan od vanjskih čimbenika prisutne su u gotovo u svim situacijama s kojima se pomorci susreću tijekom plovidbe. Poznavanje kako morske struje utječu na manevriranje broda iznimno je važno za sigurno manevriranje brodom pogotovo kada se to čini u ograničenom prostoru i području gustog pomorskog prometa. Sigurnim manevriranjem sprječava se nastanak onečišćenja, materijalne štete i ljudskih gubitaka. Morske struje različitih vrsta prisutne su u svim oceanima, morima tjesnacima te sukladno tome pri planiranju putovanju u obzir treba uzeti njihov učinak kako bi se smanjila potrošnja goriva broda. Kvalitetno planiranje putovanja i razmatranje učinka morskih struja podrazumijeva informiranje o brzini i smjeru morskih struja koristeći nautičke publikacije, atlase morskih struja te alate za optimizaciju putovanja. Razvoj uređaja za praćenje i mjerenje karakteristika morskih struja ukazuje na njihovu važnost u navigaciji. Osim toga razvijaju se alati za optimizaciju planiranja putovanja koji u obzir uzimaju morske struje koriste se za izbor najbolje rute za brod, a samim time smanjuje se potrošnju goriva i zagađivanje atmosfere ispušnim plinovima. Morske struje imaju velik utjecaj na plovidbu i manevriranje broda, no osim toga morske struje također su čimbenik u klimatologiji i meteorologiji. Morske struje uvjetuju prijenos toplinske energije na Zemlji te pozitivno utječu na klimatske uvjete pojedinih područja svijeta.

LITERATURA

1. Bartlett, T., The Book of Navigation: Traditional Navigation Techniques for Boating and Yachting. Skyhorse, 2009
2. Colling, A., Ocean Circulation, The Open University, 2001
3. Halversen, C., Beals, K., Strang, C. Ocean Currents. Great Explorations in Math and Science, Lawrence Hall of Science, University of California at Berkeley, 2001
4. Joseph, A., Measuring Ocean Currents: Tools, Technologies, and Data. Elsevier Science, 2013
5. Kos S., Zorović D.; Vranić D. Terestrička i elektronička navigacija, Rijeka: Pomorski fakultet u Rijeci, 2010
6. Mohović R., Tehnika rukovanja brodom, Meteorološke i oceanološki čimbenici
7. Maloney, E.,Chapman Piloting & Seamanship, Hearst, 2013
8. Marsh, R., Van Sebille, Ocean Currents, Elsevier Science, 2021
9. Gelo, B.; Opća i pomorska meteorologija, Sveučilište u Zadru, 2010
10. Pardey, L., Pardey, L. , The Capable Cruiser: The Boat The Gear The Skills, L&L Pardey Publications 2011
11. Tomczak, M. , Lecture Notes in Oceanography. Flinders University, Adelaide, Australia, 2000
12. Velarde, M. G., Tarakanov, R. Y., Marchenko, A. V. The Ocean in Motion: Circulation, Waves, Polar Oceanography, 2021
13. Vigor, J.,The Practical Encyclopedia of Boating: An A-Z Compendium of Navigation, Seamanship, Boat Maintenance, and Nautical Wisdom, McGraw-Hill Education, 2011
14. Garrison, T., Essentials of Oceanography, 5th edition, 2008
15. Webb P., Introduction to Oceanography, Roger Williams University, 2019
16. Garrison T., Oceanography: An Invitation to Marine Science, 9th edition
17. Cornish M. Ives E. Reeds Maritime Meeteorology, 3rd edition, 2009
18. Zore-Armanda, M., Gačić, M., Oceanografija, Pomorski fakultet Dubrovnik, 1988
19. Jugoslavenski leksikografski zavod, Pomorska enciklopedija, Zagreb, 1988
20. Riđanović J., Hidreografija, Školska Knjiga, Zagreb, 1989
21. Guide to port entry, Shipping Guides Ltd, Reigate, United Kingdom, 2021
22. Alexander L., 2008, Marine information overlays, Centre for Coastal and Ocean Mapping, Joint Hydrographic Centre, University of New Hampshire, USA, online: https://iho.int/uploads/user/Services%20and%20Standards/NIPWG/MISC/HGMIO/MIO%20Article%20-%20Seaways%20-%20Oct08.pdf, 22.1.2024.
23. Gjevik B., Hareide D., Lynge B. K., Ommundsen A., Skailand J. H.,Urheim H. B., 2006, Implementation of High Resolution Tidal Current Fields in Electronic Navigational Chart Systems, Marine Geodesy, 29:1, 1-17, DOI: 10.1080/01490410600582288, 22.1.2024
24. Chen M., Chesnau L., Heavy Weather Avoidance and Route Design, Paradise Cay Publications, Inc., 2008
25. MacElrevey D.H., Shiphandling for the Mariner, Cornell Maritime Press, Ins. Centerville, 1998
26. Rowe R.W. , The Shiphandler's Guide, The Nautical Institute, London, 2000
27. Pomorski fakultet u Rijeci, Sveučilište u Rijeci, Vademecum Maritimus, Rijeka, 2014

KAZALO KRATICA

Kratica	Puni naziv na engleskom jeziku	Tumačenje na hrvatskom jeziku
ADCP	Acoustic Current Doppler Profiler	akustični Dopplerov strujomjer
COG	Course Over Ground	kurs preko dna
CTW	Course Through Water	kurs kroz vodu
ECDIS	Electronic Chart Display and Information System	Informacijski sustav i prikaz elektroničkih karata
ETA	Estimated time of arrival	procijenjeno vrijeme dolaska
NM	nautical mile	nautička milja
RCM	Rotor Current meter	rotirajući strujomjer
SOG	Speed Over Ground	brzina preko dna
STW	Speed Through Water	brzina kroz vodu
Sv	Sverdrup	mjerna jedinica za obujam vode u jedinici vremena
GPS	Global Positioning System	globalni sustav za određivanje položaja
UKC	Under Keel Clereance	udaljenost između kobilice i morskog dna
MIO	Marine Information Overlay	dodatni informacijski sloj

POPIS TABLICA

Tablica 1. Tople i hladne morske struje 14
Tablica 2. Morske struje s podjelom prema oceanima i prosječnom brzinom 25

POPIS SLIKA

Slika 1. TS dijagram morske vode (PSU, practical salinity unit) 6
Slika 2. Prikaz prevladavajućih vjetrova na Zemlji 8
Slika 3. Prikaz površinskih morskih struja 8
Slika 4. Prikaz djelovanja Coriolisove sile na strujanje mora 10
Slika 5. Konvergencijske i divergencijske zone morske razine 12
Slika 6. Prikaz cirkulacije toplih i hladnih morskih struja 13
Slika 7. Shematski prikaz izgleda toplih i hladnih morskih struja 15
Slika 8. Model Ekmanove spirale s obzirom na dubinu mora 17
Slika 9. Prikaz toka monsunskih struja tijekom ljeta i zime 20
Slika 10. Prikaz gradijentne struje u Sjevernoatlantskom vrtlogu 21
Slika 11. Rotirajući strujomjer (engl. *Rotor current meter* (RCM)) 26
Slika 12. ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) 26
Slika 13. Površinska plutača za mjerenje brzine i smjera morskih struja 27
Slika 14. Prikaz djelovanja morske struje na zanos broda 30
Slika 15. Primjer dijagrama iz Admirality tide atlas-a za Engleski kanal 33
Slika 16. Peljarska karta za Karipsko more i Meksički zaljev za mjesec svibanj 34
Slika 17. Prikaz vektora struja morskih mijena na zaslonu ECDIS sustava 36
Slika 18. Prikaz rasporeda meteoroloških plutača tvrtke SOFAR Ocean 37
Slika 19. Prikaz zaslona aplikacije za optimizaciju putovanja tvrtke SOFAR Ocean 38
Slika 20. Utjecaj morske struje na krug okreta broda 41