

Globalne moske struje

Čamić, Tomislav

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:507656>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Unported / Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerada 3.0](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-06**



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](#)



**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

TOMISLAV ČAMIĆ

GLOBALNE MORSKE STRUJE

ZAVRŠNI RAD

Rijeka, 2022.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

**GLOBALNE MORSKE STRUJE
GLOBAL SEA CURRENTS**

ZAVRŠNI RAD

Kolegij: Pomorska meteorologija i oceanologija

Mentor: doc. dr. sc. Tatjana Ivošević

Student: Tomislav Čamić

Studijski smjer: Nautika i Tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 01120063346

Rijeka, rujan 2022.

Student: Tomislav Čamić

Studijski program: Nautika i Tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 01120063346

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom
GLOBALNE MORSKE STRUJE
(naslov završnog rada)

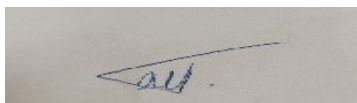
izradio/la samostalno pod mentorstvom *doc. dr. sc. Tatjana Ivošević*
(prof. dr. sc. / izv. prof. dr. sc. / doc dr. sc Ime i Prezime)

te komentorstvom _____ / _____

stručnjaka/stručnjakinje iz tvrtke _____ / _____
(naziv tvrtke).

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

Student



(potpis)

Ime i prezime studenta

Tomislav Čamić

Student: Tomislav Čamić

Studijski program: Nautika i Tehnologija pomorskog prometa

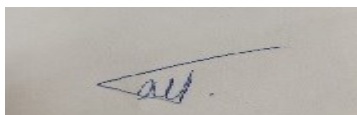
JMBAG: 01120063346

IZJAVA STUDENTA – AUTORA
O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG ZAVRŠNOG RADA

Izjavljujem da kao student – autor završnog rada dozvoljavam Pomorskom fakultetu Sveučilišta 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/>

Student – autor

A rectangular box containing a handwritten signature in blue ink. The signature appears to be 'T. Čamić'.

(potpis)

SAŽETAK

Sama svrha kao i tema ovog rada je proučiti globalne površinske morske struje, uočiti njihov utjecaj i istražiti kako se mijenjaju. U samom su radu prikazane osnovne karakteristike površinskih struja u morima i oceanima, i njihov globalni značaj za život na planeti. Bazirano na analizama dostupnih informacija prikazane su metode kojima se vrši izmjera površinskih morskih struja i utjecaj tih analiza na sigurnu plovidbu broda. Iznimno je važno poznavati kretanje i stalnost morskih struja i zbog ekonomskih čimbenika prilikom planiranja plovidbe. Razne informacije o morskim strujama pomorci pronalaze u priručnicima o morskim strujama, na pomorskim kartama te prognozama za određeno područje plovidbe.

Sve dostupne informacije o brzini i kretanju morskim struja, podaci o vjetru, valovima ili pojavi ledu na moru upotrebljava se pri planiranju plovidbe i određivanju najpovoljnijeg pomorskog puta. Sa sigurnošću se može tvrditi da morske struje imaju utjecaj na dnevni život koje se prikazuju kroz meteorološke prilike i klimu koja se drastično mijenja iz godine u godinu, a ujedno sve te promjene direktno utječu i na planiranje plovidbe kao i na sigurnost broda i posade.

Ključne riječi: morske struje, plovidba, Coriolisova sila, klima

SUMMARY

The purpose and theme of this paper is to introduce oceanographic concepts, although it focuses more on the description of global surface currents. The paper presents the basic characteristics of surface currents in the seas and oceans, and their importance for life on the planet. The methods of measuring surface sea currents and the impact of analysis on the safe navigation of ships, based on the analysis of the available information, are presented. Knowledge of the movement and stability of sea currents is extremely important for the projection of economic factors when planning navigation. Experienced sailors can find various information about sea currents in nautical charts and forecasts for a specific navigation area.

All available data on the speed and movement of sea currents, data on winds, waves or the appearance of sea ice used when planning navigation and determining the best sea route. It can be said with certainty that sea currents affect our daily life, which is presented to us through meteorological conditions and the climate that changes drastically, and at the same time, all these changes directly affect navigation planning as well as the safety of the ship and crew.

Keywords: sea currents, navigation, Coriolis force, climate

SADRŽAJ

SAŽETAK	I
SUMMARY	I
SADRŽAJ	III
1. UVOD	1
2. MORSKE STRUJE	2
2.1. PODJELA MORSKIH STRUJA I UZROČNE SILE	6
2.1.1. <i>CORIOLISOVA SILA</i>	7
2.1.2. <i>EKMANOVA SPIRALA</i>	8
3. MJERENJE MORSKIH STRUJA	9
3.1. DIREKTNO MJERENJE STRUJA.....	10
3.2. INDIREKTNO MJERENJE STRUJA.....	10
3.3. UREĐAJI ZA MJERENJE MORSKIH STRUJA.....	12
3.3.1. <i>Eulerovo mjerilo</i>	13
3.3.2. <i>Langrangeova plutača</i>	14
4. GLOBALNE MORSKE STRUJE	16
4.1. MORSKE STRUJE U ATLANTSKOM OCEANU	17
4.1.1. <i>Golfska topla struja</i>	18
4.1.2. <i>Labradorska hladna struja</i>	19
4.1.3. <i>Brazilska topla struja</i>	21
4.1.4. <i>Benguelska hladna struja</i>	22
4.1.5. <i>Kanarska hladna struja</i>	23
4.2. MORSKE STRUJE U TIHOM OCEANU	24
4.2.1. <i>Humboldtova hladna struja</i>	25
4.2.2. <i>Kalifornijska hladna struja</i>	26
4.2.3. <i>Kuroshio topla struja</i>	26
4.2.4. <i>Istočnoaustralska topla struja</i>	27
4.3. MORSKE STRUJE U INDIJSKOM OCEANU	29
4.3.1. <i>Aghulhaška topla struja</i>	30
4.3.2. <i>Mozambička topla struja</i>	31
4.3.3. <i>Zapadnoaustralska hladna struja</i>	31

4.4. STRUJE NISKIH GEOGRAFSKIH ŠIRINA	32
4.4.1. <i>Pasatne struje</i>	32
4.4.2. <i>Ekvatorske morske struje</i>	34
4.4.3. <i>Ekvatorske protu-struje</i>	35
5. ZAKLJUČAK.....	36
LITERATURA	37
KAZALO KRATICA.....	39
POPIS SLIKA.....	40

1. UVOD

Čovjeka vezanog uz more odavno su zanimale i fascinirale morske struje pogotovo zbog njihovog utjecaja na plovidbu, zatim radi ribolova, a kasnije i zbog sve većeg utjecaja na promjenu globalne i mikroklimе obalnih područja. Planet Zemlja odnosno oceani obiluju morskim strujama što hladnim što toplim koje prenose značajnu količinu morske vode različitih svojstava na udaljenostima većima od tisuće kilometara, što direktno utječe na život na kopnu kao i za život u oceanu. Glavne oceanske morske poput Golfske struje, Kuroshio struje i Peruanske morske struje najviše su se koristile, kao što se i danas koriste u prekooceanskoj plovidbi. Međutim, njihov utjecaj je izražen i u obalnoj plovidbi na područjima gdje se približavaju kopnu.

Ovaj završni rad je podijeljen u tri dijela. U prvom dijelu pisana je općenita podjela morskih struja, zatim sile koje ih uzrokuju kao i teorija o morskim strujama. U drugom dijelu navedene su metode za mjerenja oceanskih struja i pripadni mjerni uređaji. Treći dio obuhvaća opis i karakteristike glavnih oceanskih morskih struja. Ovo poglavlje podijeljeno je prema geografskom području kojim putuju morske struje poput morske struje u Atlantskom oceanu, morske struje u Tihom oceanu itd.

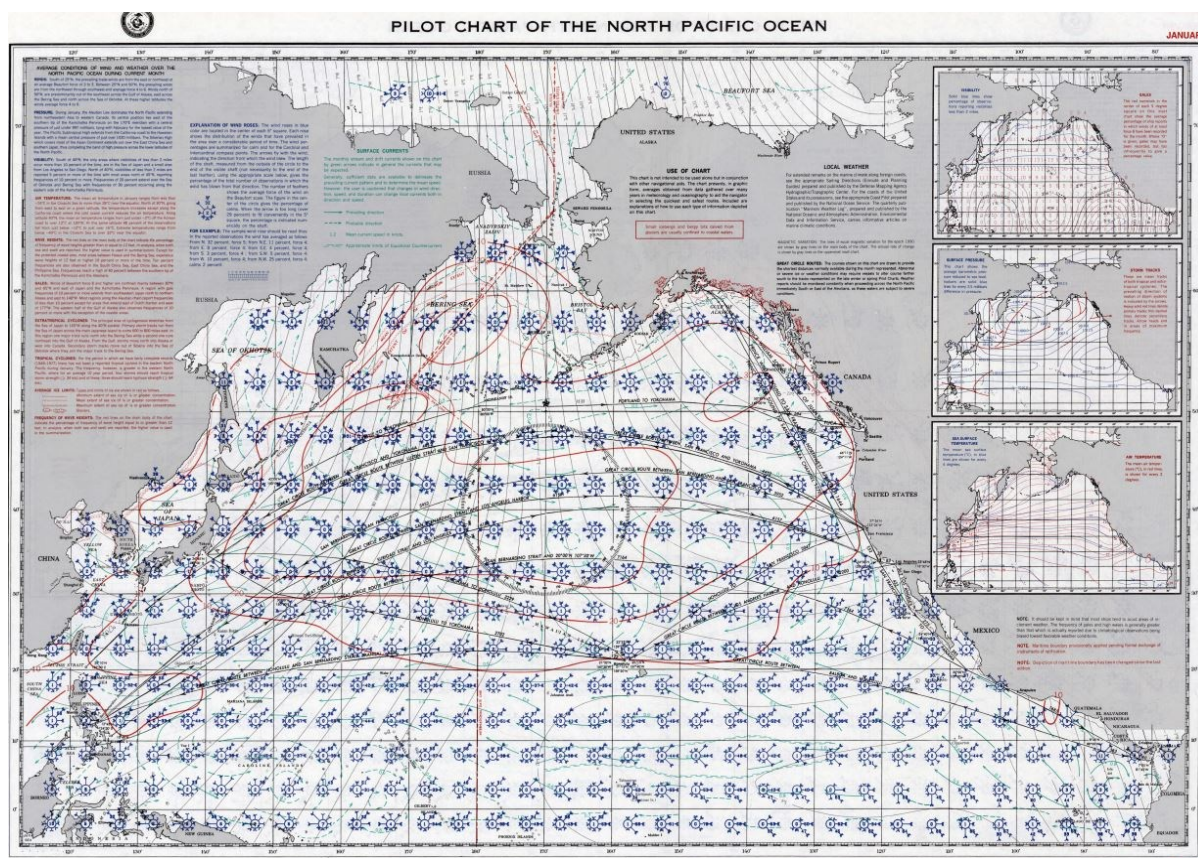
Najpovoljniji utjecaj na blagu klimu Europe ima topla Golfska struja, za koju možemo reći da je najpromatranija morska struja. Golfska struja neizravno utječe na izniman gospodarski razvitak. Na obalama Azije, ponajviše Japana najvažnija je Kuroshio struja, dok za Indijski poluotok veliki utjecaj imaju monsunske struje. Možemo kazati da svako područje na kugli zemaljskoj ima svoju morsku struju koja određuje blagost ili oštrinu klime, biorazolikost i razvoj gospodarstva. U radu su navedene pojedine karakteristike globalnih morskih struja kao posljedica različitih uzroka poput promjene temperature i slično.

2. MORSKE STRUJE

Morska struja je gibanje morske vode usred djelovanja vanjskih i unutarnjih sila poput djelovanja vjetra, zagrijavanja mora, rotacije Zemlje i njezine gravitacije, kao i gravitacije Mjeseca i Sunca. Također važan uzrok je i salinitet mora odnosno oceana kao i gustoća rijeke odnosno tokova rijeke koje se sljevaju u mora odnosno oceane. Znanost koja proučava pojave u morima oceanima pa i morske struje, njihovih uzrok i učinak na okolinu zove se oceanografija. [1]

Morske struje u svjetskim morima imaju utjecaj na razvoj života u moru, ali i na određivanju klime uz obalu. Morske struje mogu biti tople i hladne pa se kao takve označavaju crvenom i plavom bojom. Glavne karakteristike svake morske struje su brzina i smjer gibanja struje te stalnost izražena u postocima. Smjer morske struje iskazuje se orijentacijom prema cilju. Ako morska struja nosi vodu sa istoka na zapad njezin smjer će biti izražen kao zapadna morska struja. Za usporedbu, definiranje smjera morske struje koje je potpuno suprotno od definiranja smjera vjetra. Ako vjetar puše sa istoka na zapad tad će taj vjetar imati karakteristike istočnog vjetra. Dakle, smjer vjetra se određuje od izvora tj. odakle puše. Pojedine morske struje poniru duboko u oceane, a to poniranje ponajviše ovisi o jakosti i stalnosti morske struje i mogu dosezati dubinu veću od 1500 metara. Iako dubinske struje za navigaciju nisu od izravnog značaja, one utječu na površinske morske struje jer su strujanja i gibanja vode u morima i oceanima podložna ne samo horizontalnoj i kosoj već i vertikalnoj cirkulaciji. Za planiranje plovidbe odnosno navigaciju brodom najvažnije su površinske morske struje jer brodovi svojim maksimalnim gazom nemaju direktan doticaja sa dubinskim morskim strujama pa samim time dubinske struje i nisu od vitalnog značaja za brzinu broda.

Sve poznate informacije o morskim strujama nautičari prikupljaju i upotrebljavaju iz karata morskih struja. Na slici 1 vidljiv je prikaz karte Sjevernog dijela Tihog oceana



Slika 1. Karta morskih struja; [2].

izvor: <https://www.offshoreblue.com/nav/pilot-charts.php>

gdje su skicirana odnosno ucrtana poznata morska strujanja u određenom području. Zelene strelice prikazuju smjer morske struje, a iznad strelice je napisana brzina morske struje u čvorovima. Kod korištenja informacija sa karte morskih struja mora se obratiti pozornost na bočne rubove morskih struja koji nisu stalni i mijenjaju svoj smjer zbog utjecaja morskog reljefa. Također na brzinu i smjer morske struje utječu razni vanjski čimbenici poput vjetra i ljudskih aktivnosti. Stoga, se uloga vjetra u promjeni brzine i smjera mora uračunati u kalkulaciju prilikom planiranja putovanja. [3]

Za volumni protok u struji koristi se mjerna jedinica Sverdrup (Sv) koja je dobila ime po slavnom oceanografu Haraldul Ulriku Sverdrupu iz Norveške. Ta mjerna jedinica označava volumen morske vode koja se transportira u jedinici vremena.

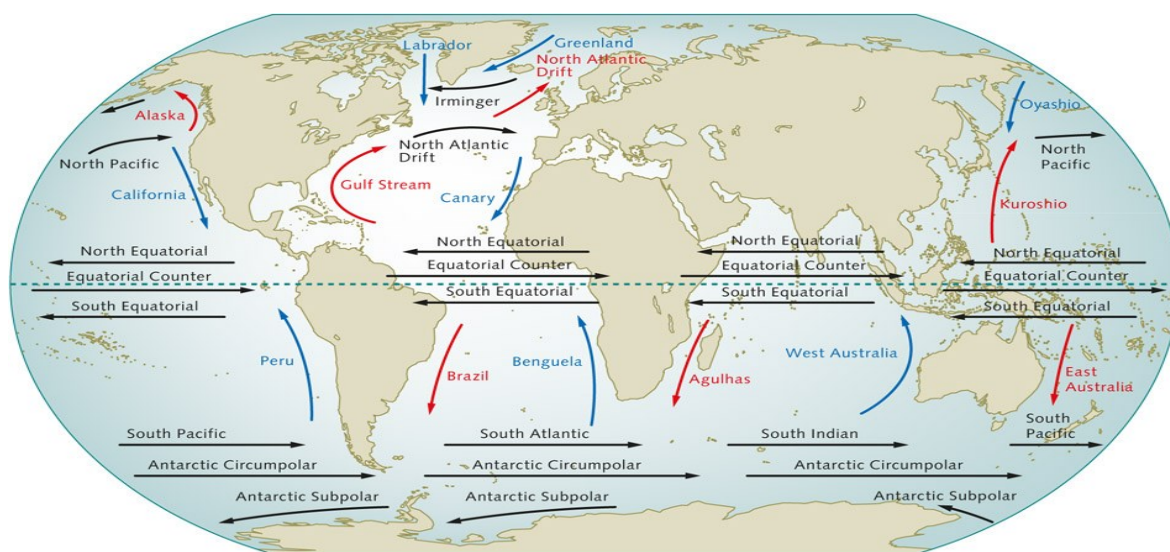
Protok vode od 1 Sv iznosi 1 milijun kubnih metara u sekundi.

$$1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$$

Najveći protok vode je u antarktičkoj cirkumpolarnoj morskoj struji. Iznosi 130 Sv. Dakle s cirkumpolarnom hladnom morskom strujom protekne 130 milijardi litara vode u samo 1 sekundi. Usporedbe radi, protok vode u Golfskoj morskoj struji je u intervalu od 100 do 150 Sv, dok za Agulhašku struju iznosi oko 65 Sv.

Na slici 2 prikazani su modeli glavnih oceanskih morskih struja poput Antartička cirkumpolarna, Golfska struja, Sjevernoatlantska struja, Sjevernoekvatorska struja, Aljaška, Kalifornijska, Kuroshio, Oyashio, Benguelska, Brazilska, Zapadnoaustralska, itd. Na sjevernoj zemljinoj polutki smjer kretanja morske struje može se usporediti i opisati sa satnim gibanjem kazaljki, dok se na južnoj zemljinoj polutki smjer morskih struja može opisati protusatnim gibanjem kazaljki. [4].

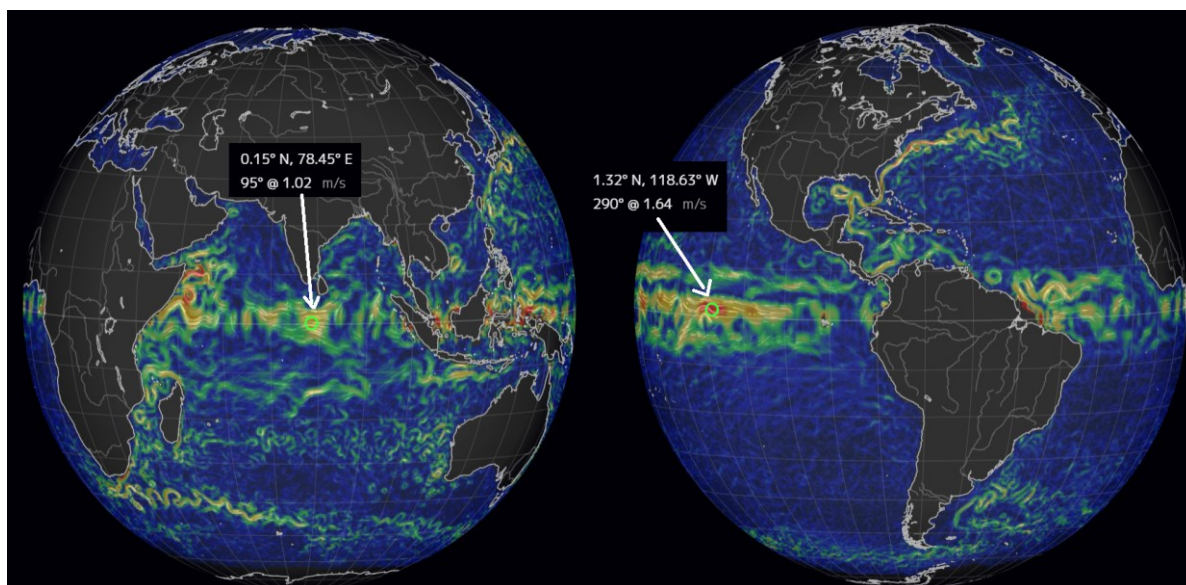
Crvenom bojom su označene tople morske struje, dok su plavom bojom označene hladne morske struje. Hladne morske struje poput Peruanska, Benguelaska, Zapadnoaustralska nalaze se uz zapadnu obalu kontinenata, dok se tople morske struje poput Golfske, Brazilske, Agulhaške, Istočnoaustralske nalaze uz istočnu obalu kontinenata. Prateći smjer gibanja morske struje sa sjevera na jug i obratno te poznavajući satnost ili protusatnost gibanja, lako se može uočiti zašto su s jedne strane kontinenta hladne, a s druge tople morske struje. Npr. Agulhaška morska struja dolazi iz niskih geografskih širina noseći toplu vodu prema jugu, dok Zapadnoaustralska dolazi s visokih geografskih širina noseći hladnu vodu prema ekvatoru. Obje morske struje su na južnoj hemisferi i pokazuju protusatno gibanje. Važno je istaknuti da su na slici 2 prikazani modeli morskih struja koji odstupaju od realnog stanja.



Slika 2. Modeli morskih struja na karti svijeta; [5].

Izvor: <https://worldoceanreview.com/en/wor-1/climate-system/great-ocean-currents/>

Realnije stanje se može uočiti na slici 3 gdje su prikazane samo dvije morske struje.



Slika 3: Globalne morske struje za dan 17. rujna 2022. [6].

Izvor: <https://earth.nullschool.net/#current/wind/surface/currents/overlay=temp/orthographic=243.48,4.62,325/loc=-121.640,0.539>

Na slici 3 su prikazane globalne morske struje pomoću svjetlijih krivulja u moru na dva mjesta za dan 17. rujna 2022. godine. Prikazane krivulje na pojedinim mjestima uz ekvator izgledaju kao vrtlozi što znači da prikazane morske struje nemaju stalan smjer. Primjerice, Ekvatorska morska struja u Tihom oceanu na poziciji 1,32°N 118,65°W ima brzinu od 1,64 m/s i zapadni smjer. Temperatura oceana na toj poziciji iznosi 21,8 °C. Ekvatorska morska struja u Indijskom oceanu na poziciji 0,15°N 78,45°E ima brzinu od 1,02 m/s i istočni smjer. Temperatura Tihog oceana na toj poziciji iznosi 28,8°C. [6] Dakle, značajno se mjenja smjer morske struje iako su morske struje blizu ekvatoru i prema modelu na slici 2 bi očekivano trebale biti istočne morske struje. Zato su važne za plovidbu detaljne pomorske karte s ucertanim smjerovima i stalnosti morskih struja.

2.1. PODJELA MORSKIH STRUJA I UZROČNE SILE

Koristi se nekoliko različitih podjela morskih struja pa tako podjela prema uzroku nastanka struje kao i prema nekim specifičnim osobinama. Morske struje prema specifičnom nastanku mogu se podijeliti na one na koje djeluje vjetar, različite temperaturom, različiti saliniteti ili pak koje su nastale radi učinka Coriolisove sile.

Oceanske morske struje najčešće dijelimo prema temperaturnom stanju odnosno na tople i na hladne morske struje. Razlog se krije u činjenici da one zahvaćaju veliko geografsko područje veće od 30° gdje postoji izrazita promjena upravo temperature. Tople morske struje dolaze od ekvatora i iz nižih geografskih širina prema višim geografskim širinama te donose toplu vodu u hladnija morska područja. Hladne morske struje dolaze iz viših geografskih širina i donose hladniju vodu prema nižim geografskim širinama i ekvatoru. Dakle, za tople i hladne morske struje je važno koliku temperaturu vode donose u neki morski okoliš.

Nadalje, postoje područja gdje se miješaju hladna i topla morska struja i ta mjesta su izrazito važna za ribare jer obiluju ribom kao što je područje uz obalu Japana gdje se miješaju Kuroshio i Oyashio morska struja.

Morske struje također mogu biti periodične odnosno ne-periodične. Periodične morske struje nastaju zbog pojave morskih mijena uzrokovane npr. mjesečevim mjenama. Nadalje poznata je i periodična struja, a to je Monsunska struja u Indijskom oceanu. Ne-periodične morske struje su struje nestalnog smjera, nestalne brzine, a pojavljuju se prilikom nenadanog stvaranja neke vanjske sile kao što je naprimjer sila gradijenta tlaka koja uzrokuje vjetar. Kako vjetar prestaje tako i te struje nestaju. Nadalje postoje morske struje koje su stalne i uvijek postoje. U pomorstvu je važna podjela na duboko oceanske i na površinske morske struje. [7]

Morske struje dijele se prema uzrocima koje djeluju u moru. Ti uzroci mogu biti primarni i sekundarni. Primarni uzroci su podijeljene na one koje su nam poznate, a to su unutarnji i vanjski uzroci. Unutarnji uzroci su: tlak morske vode, različita slanost mora i razlika u temperaturi mora na pojedinim dijelovima dok vanjski uzroci su gibanje zraka, a to je vjetar, plimna sila, itd. Gibanje zraka je najbitnije jer stvara na morskoj površini struje poriva.

Sekundarni uzroci koje djeluju na morske struje su Coriolisova sila i trenje. Trenje među slojevima vode umanjuje brzinu morske struje odnosno brzinu njezinog strujanja, dok Coriolisova sila mijenja smjer kretanja morske struje.

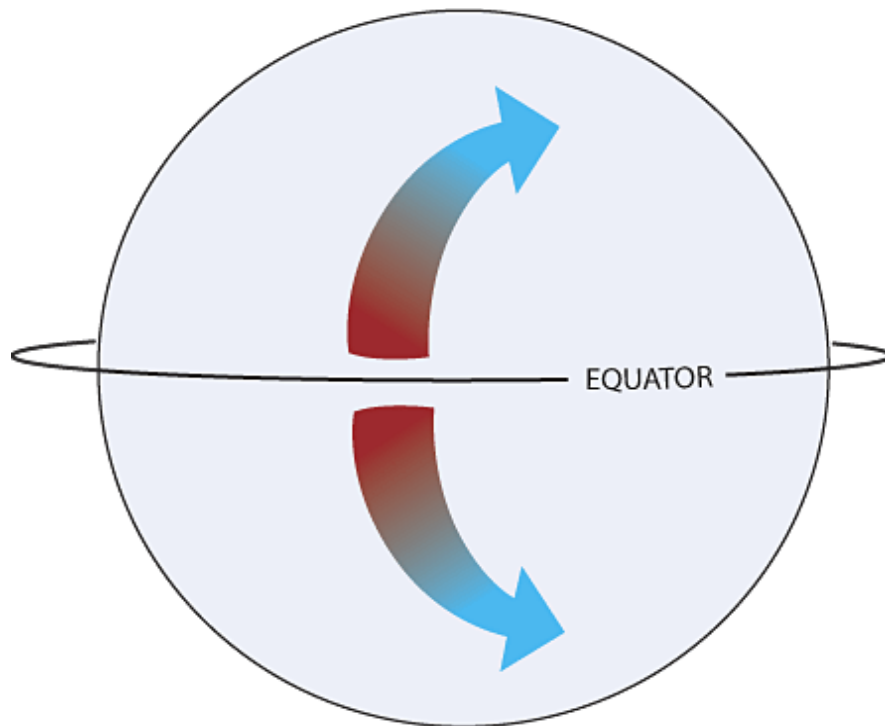
2.1.1. CORIOLISOVA SILA

Coriolisova sila je inercijska sila. [8] Inercijske sile djeluju na tijela koje se gibaju u rotirajućim sustavima. Coriolisova sila ima znatan učinak u promjeni smjera kretanja posebno oceanskih morskih struja. Ova sila ovisi o brzini, masi i kutnoj brzini vode koja se nalazi unutar rotacijskog sustava. Ovdje se na rotacijski sustav misli na rotaciju Zemlje. Sam smjer djelovanja sile je okomit na brzinu gibanja vode i na rotacijsku os Zemlje. Naziv sile je dan prema francuskom znanstveniku Gaspardu Gustavu Coriolisu koji je proučavao prijenos energije u vrtložnim sustavima. Davne 1902. godine promatranu silu je matematički definirao.

$$\mathbf{F}_{\text{cor}} = -2m\mathbf{v} \times \boldsymbol{\omega} \quad (1)$$

Gdje je: m – masa tijela (masa vode), v – brzina vode, ω – kutna brzina (brzina osi rotacije Zemlje). Podebljane oznake za silu, brzinu i kutnu brzinu znače da se radi o vektorskom prikazu ovih veličina. U formuli 1 je dan vektorski produkt obodne i kutne brzine što znači da je za smjer Coriolisove sile važan sinus kuta što u ovom slučaju znači sinus geografske širine. Što je geografska širina veća to je sinus kuta veći i djelovanje sile jače. Na niskim geografskim širinama je sinus kuta mali i djelovanje sile zanemarivo u odnosu na ostale sile. Dakle, ako neki sustav rotira kutnom brzinom ω i u njemu se tijelo mase m giba određenom brzinom v tada će na to tijelo djelovati jače ili slabije upravo Coriolisova sila. [7]

Na sjevernoj Zemljinoj polutci sila djeluje tako da skreće kretanje morskih struja udesno dok na južnoj polutci skreće ulijevo (slika 4). Takvo skretanje smjera udesno ili ulijevo je najbolje opisano formulom 1. Vidljivo je da na većim geografskim širinama, sila jače zakreće putanju, nego na nižim geografskim širinama upravo zbog porasta sinusa kuta. Možemo konstatirati da značajnu ulogu u skretanju putanje ima Zemljina rotacija jer da se Zemlja ne rotira smjer morske struje bi bio više ili manje pravocrtan i to; od ekvatora prema sjevernom odnosno južnom polu.

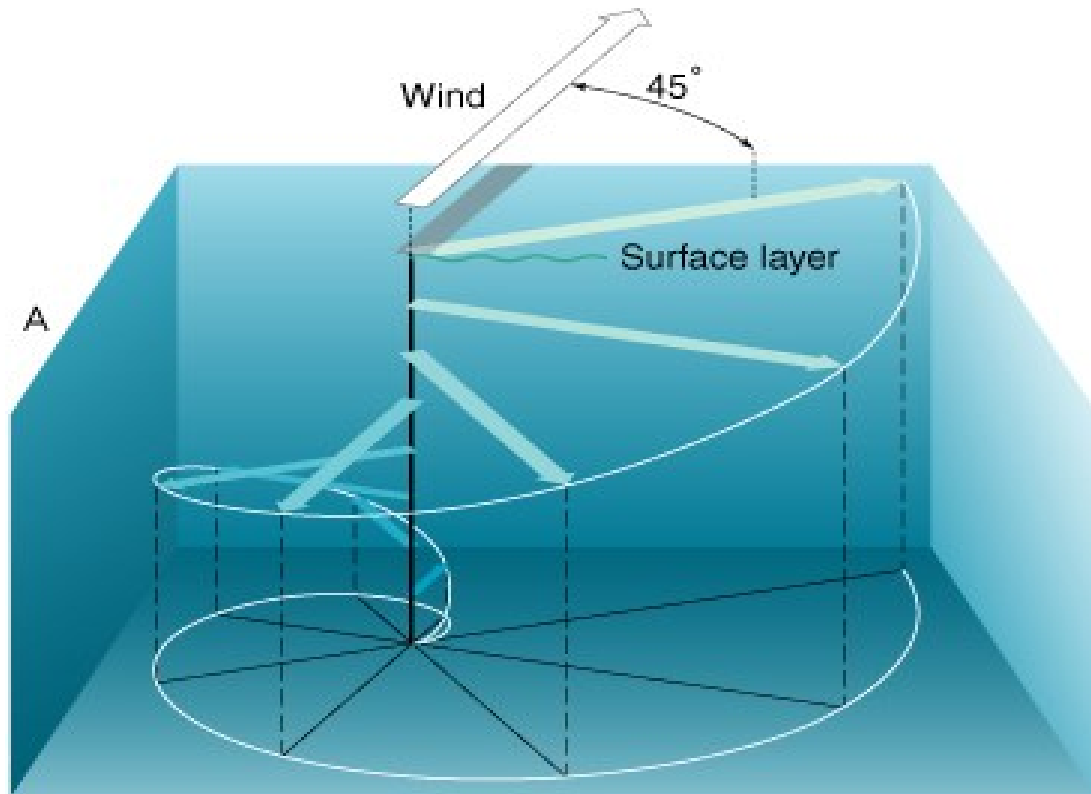


Slika 4. Skretanje putanje zbog Coriolisove sile ; [9].

izvor: https://oceanservice.noaa.gov/education/tutorial_currents/04currents1.html

2.1.2. EKMANOVA SPIRALA

Walfrid Ekman je još jedan znanstvenik važan za ovaj završni rad koji se pozabavio problemom kako vjetar utječe na morske struje. Ovaj znanstvenik je zaključio da se površinska vodena masa skreće zbog utjecaja vjetra. Ona se zakreće po površini udesno ili ulijevo ovisno na kojoj je hemisferi, sjevernoj ili južnoj. Također, i u morskoj dubini voda skreće putanju. Što je dublje, morska voda se sve sporije kreće zbog sve većeg unutarnjeg trenja među slojevima vode sve dok ne stane prijenos energije. Dakle, u dubini radi smanjene brzine kretanja vode, voda zakreće (slika 5). Model gibanja vode prikazan spiralom dobio je ime prema znanstveniku iz Vagnu Walfridu Ekmanu te se pod Ekmanovom spiralom i opisuje i gibanje zraka i gibanje mora. [4]



Slika 5. Promjena smjera gibanja vodenih slojeva prikazana Ekmanovom spiralom; [10].

izvor: <http://oceanmotion.org/html/background/ocean-in-motion.htm>

3. MJERENJE MORSKIH STRUJA

Pomorcima su za navigaciju od vitalnog značaja smjer i brzina morske struje kako bi znali izabrati najpovoljniji i najsigurniji put za najkraće vrijeme između početne i završne točke putovanja. Naravno da bitnu ulogu morske struje imaju i na samim prilazima lukama kao i unutar samih luka. Kako bi pomorac bio sposoban odrediti snagu morske struje trebao bi mjeriti udaljenost u jedinici vremena kao i smjer kretanja. Najjednostavniji način određivanja smjera i udaljenosti je uz pomoć štoperice i plutajućeg objekta. Osoba koja vrši mjerenje proteklog vremena pomoću zaporne ure (štoperice) baci plutajući objekt u more i prati objekt dok ne prijeđe određenu dužinu npr. jednu dužinu broda koja je poznata. Nakon što je poznata udaljenost i vrijeme, podijeli se put s vremenom i dobiva se brzina morske struje. Brzina morske struje se izražava u čvorovima, a može se izraziti i mjernoj jedinici

m/s i km/h. Morske struje mjere se na dva načina: direktnim metodama (brzina i smjer) ili indirektnim metodama (temperatura i slanost morske vode). [10]

3.1. DIREKTNO MJERENJE STRUJA

Direktno mjerenje morske struje se može odraditi mjerenjem zanosa nekog objekta. Mjerenjem zanosa je metoda za koju se upotrebljavaju dostupni plutajući objekti kao što su lopte, staklene boce, razni komadi drveta i sl. Ova metoda mjerenja je metoda gdje ne možemo kontrolirati zanos jer se ti predmeti puštaju s određenog mjesta na palubi broda i kao takvi objekti plutaju bez ikakve kontrole pozicije plutajućeg objekta sve dok navedeni objekti ne završe na obali ili nekom mjestu za prikupljanje. [10] Ovom metodom možemo odrediti početnu i završnu poziciju plutajućeg predmeta, ali i vrijeme predmeta koji se nalazio u moru. S tim vrijednostima možemo odrediti srednju brzinu morske struje. I u današnje vrijeme na isti način pojedini znanstvenici prate morske struje tako da koriste određene predmete u moru i prate gdje i kada će ubiti pronađene bilo uz otoke ili uz kopno ili na nekoj mornoj postaji. Na ovaj način prati se ne samo jedna morska struja, nego njihov međusobni utjecaj te se može procijeniti prevladavajući utjecaj morske struje na objekte bez kontrole. Također se kroz duži vremenski period može pratiti i promjena smjera prevladavajuće morske struje uzrokovana npr. klimatskim promjenama zbog globalnog zatopljenja.

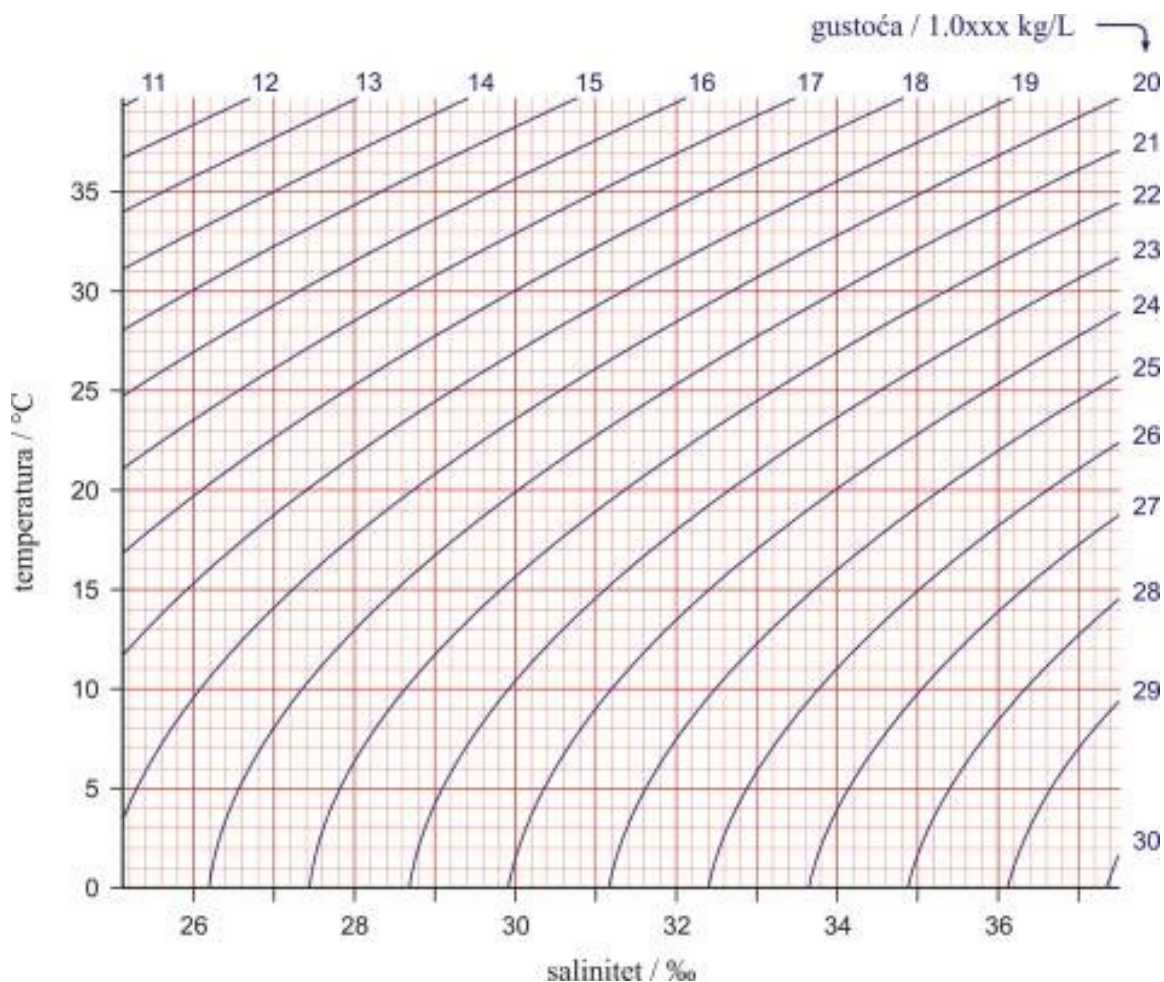
3.2. INDIREKTNO MJERENJE STRUJA

Kod indirektnog mjerenja morskih struja uvijek se prate i mjere karakteristika morske vode. Glavne karakteristike morske vode su temperatura i slanost.

Pema temperaturi mora zna se koji je morski sloj hladniji ili topliji u odnosu na drugi sloj. Ako se naprave mjerenja temperature na određenom području, može se saznati odakle dolazi hladnija morska voda odnosno topla morska voda i s tim mjerenjima može se odrediti smjer morskog strujanja. Ovakva mjerenja iziskuju puno vremena i truda pri izradi temperaturnog profila nekog područja.

Tokovi kod dubinskih morskih struja određuju se količinom kisika, slanosti i mjerenjem temperature, zatim se iz podataka koji se dobiju nacrtaju temperaturni i salinitetni

profili određenog područja. Iz tih profila se određuju kako se morska voda premješta koja ima različite temperature, različite slanosti itd. Također koristi se i još neki pokazatelji, kao naprimjer dijagram slanosti i temperature.



Slika 6. TS dijagram; [11].

izvor: https://www.periodni.com/hr/klorinitet_i_slanost_mora.html

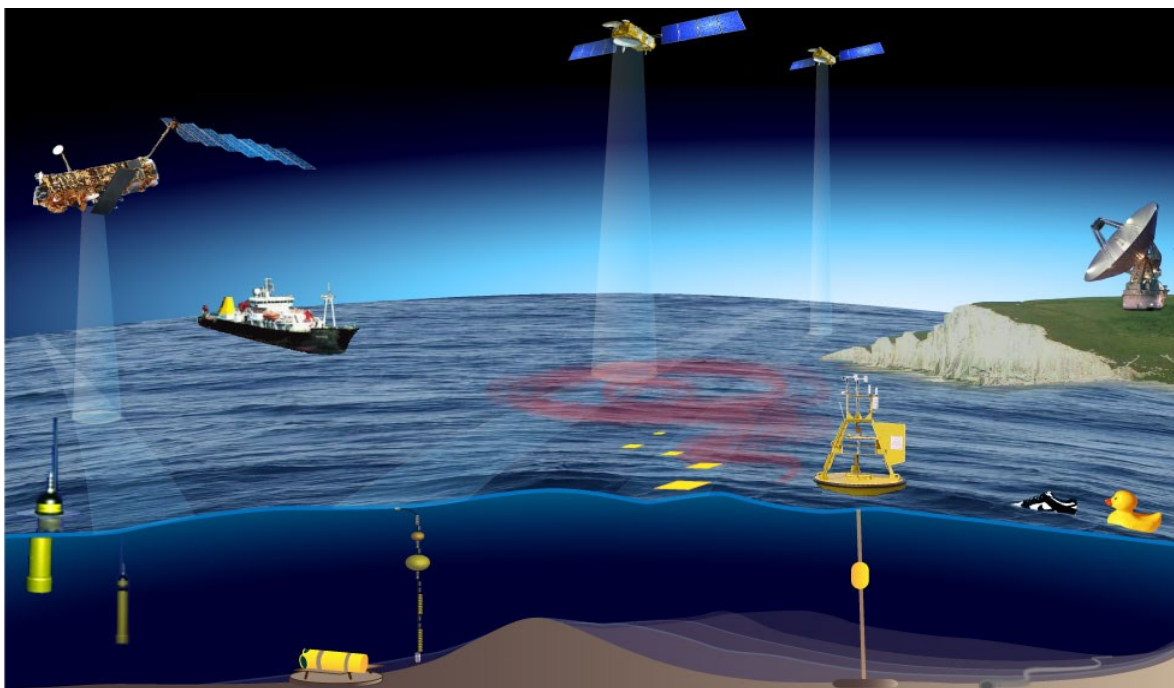
Istraživač Wust u Atlantiku je otkrio da na dubini između 1000 m i 3000 m postoji morski sloj različite slanosti u odnosu na okolne slojeve. Prilikom praćenja tog morskog sloja vode ustvrdio je da morska voda različite gustoće dolazi kroz Gibraltarska vrata iz Sredozemnog mora i miješa se sa vodom Atlantskog oceana. Pomoću TS dijagrama može se na temelju temperature (temperatura izražena u Celzijevim stupnjevima) i slanosti morske vode (slanost izražena u promilima) odrediti gustoća morske vode. [11] Gustoća morske vode utječe na gibanje vode unutar mora i oceana jer se voda manje gustoće giba prema

površini, a gušća voda ponire u dubinu. Stoga nije nevažno za gibanje morske vode u moru kolika joj je temperatura i slanost u odnosu na okolinu

Sličan postupak se može koristiti i sa specifičnim slojevima sadržaja kisika u morskoj vodi. Na dijelovima gdje se slojevi morske vode brzo obnavljaju pokazuje vrijednost maksimum dok kod morske vode koja nije u kontaktu s atmosferom već duže vrijeme pokazuje vrijednost minimuma. Rezultate tih mjerenja Wust je ucrtao na karte i samom analizom ucrtanog došao do otkrića glavnih tokova morskog strujanja u južnom Atlantskom oceanu. Ovom metodom specifičnih slojeva vode otkrivaju se neki generalni tokovi struja u oceanima, ali se ne dobivaju precizni podaci o smjeru i brzini tih tokova morskih struja.

3.3. UREĐAJI ZA MJERENJE MORSKIH STRUJA

Današnji mjerni instrumenti za mjerenje brzine morske struja baziraju se na skoro identičan način kao što se i mjerilo od samih početaka mjerenja. Ipak velika razlika je u tome što su danas mjerni uređaji opremljeni električnim komponentama za obradu nebrojenih podataka o morskim strujama, npr. opremljeni su global positioning system, GPS uređajem koji određuje trenutačnu točnu poziciju i brzinu. [8]



Slika 7. Uređaji za mjerenje morskih struja; [12].

izvor: <https://seos-project.eu/oceancurrents/oceancurrents-c06-p01.html>

Sva mjerila koja plutaju na morskoj vodi spadaju pod naziv: Lagrangova mjerila, naziv potječe od matematičara J. L. Lagrangeu koji je prvi uspio opisati putanje fluida kroz vodu. Jedna druga vrsta uređaja za mjerenje je Eulerovo mjerilo, koje je dobilo ime po još jednom matematičaru Euleru. Ovaj instrument postavlja se na jednu određenu poziciju i tada pokazuje podatke o smjeru i brzini morske struje koja se kreće na mjestu gdje je postavljen ovaj uređaj.

3.3.1. Eulerovo mjerilo

Ovom se metodom mjerenja određuje smjer i brzina morske struje u stalnoj točki. Brzina i smjer morske struje se određuje strujomjerom. Ovaj se uređaj usidri na određenu poziciju ili se ugrađuje direktno na brod, a to su nam današnji tzv. brodski strujomjeri. Znanstvenik V. W. Ekman jedan od prvih konstruirao takav strujomjer koji se sastojao od rotora koji uz brojčanik mjeri brzinu morske struje te kompasa s kojim se određivao smjer morske struje. Današnji strujomjeri koriste isti princip mjerenja no ipak su modernizirani pa se podaci ne zapisuju na papiru ili traci, već imaju svoju internu memoriju gdje pohranjuju dobivene podatke.

Nešto drugačiji način mjerenja morske struja imaju mjerači koji rade na principu Dopplerovog efekta. [13]. Ovi strujomjeri šalju zvučne valove određene frekvencije te se mjeri promjena frekvencije reflektiranog vala od morske vode koja se giba. Iz promjene frekvencije određuje se brzina morske vode. Mjerenjem minimalno dvije ili nekoliko zvučnih valnih impulsa možemo odrediti smjer i brzinu morske struja čak i u dubljim slojevima vode.



Slika 8. Izgled instrumenta koji radi na Dopplerov efekt [13].

izvor: https://oceanservice.noaa.gov/education/tutorial_currents/06measure5.html

3.3.2. Langrangeova plutača

Langrangeova mjerenja morskih struja se izvode koristeći plovke. Plovci mogu biti postavljeni na morskoj površini ili na dubini. U definiranom vremenskom periodu plovak koji je opremljen GPS uređajem odašilje svoju poziciju te se uz pomoć kompjuterskog programa spajanjem niza dobivenih podataka od plovka dobije kretanje plovka u morskoj vodi koji je uzrokovan tokom morske struje. S ovim mjerenjem se dobiva smjer i brzina morske struje.



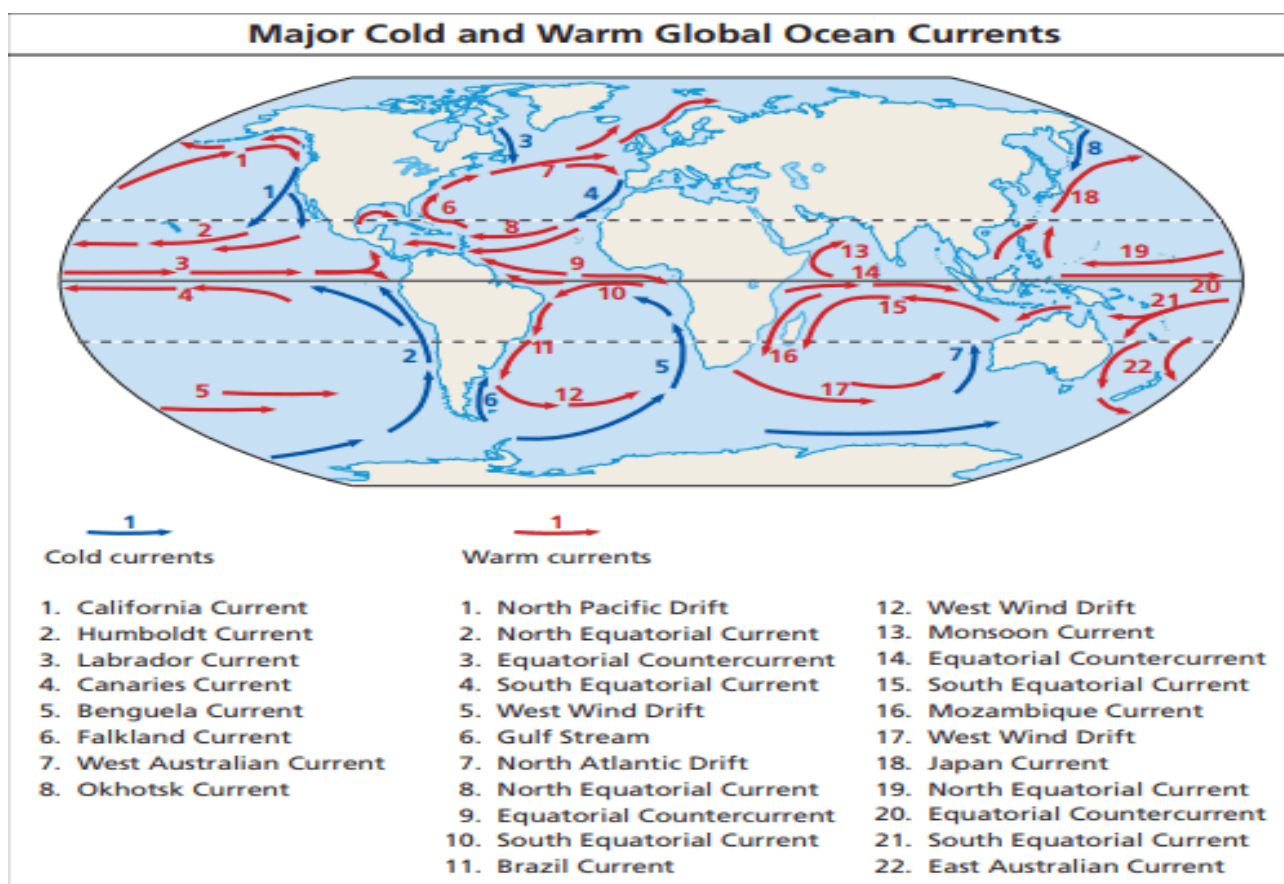
Slika 9. Langrangeova plutača na morskoj površini [14].
(Izvor: <https://www.adp.noaa.gov/>)

4. GLOBALNE MORSKE STRUJE

Globalne morske struje prostiru se u oceanima od sjevernog do južnog pola. Gornji slojevi morske struje najviše su izloženi vjetrovima. Tropsko područje morskih struja naročito je izloženo utjecaju istočnih vjetrova, pasata, koji imaju kontinuirano godišnje djelovanje u oceanima južno i sjeverno od ekvatora, od okvirno 23,5° prema ekvatoru. Ako su pasatni vjetrovi sjeveroistočni, površinske morske struje bit će zapadne, a u dubinu će skretati prema već opisanom modelu Ekmanove spirale. [1]

U Indijskom oceanu je utjecaj monsuna polugodišnji što utječe da se porivne struje mijenjaju kako smjerom tako i stalnosti. Tijekom zime, monsunaska morske struje imaju smjer prema zapadu dok tijekom ljeta imaju sjeveroistočni smjer.

U izvantropskom području morskih struja, na morske struje djeluju stalni zapadni vjetrovi. Ako su vjetrovi jugozapadni, morske struje bit će istočne.

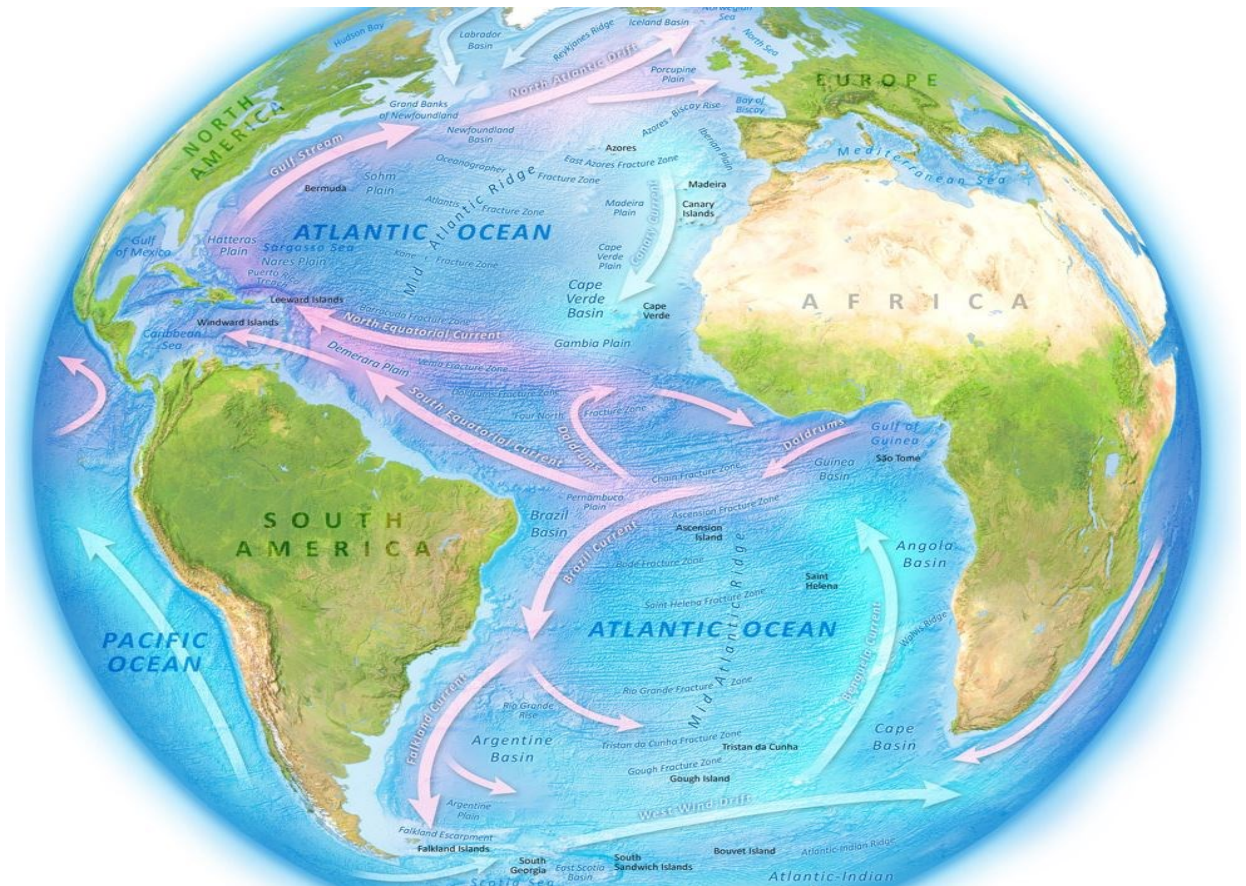


Slika 10. Tople i hladne globalne morske struje; [15].

izvor: <https://lotusarise.com/ocean-currents-upsc/>

4.1. MORSKE STRUJE U ATLANTSKOM OCEANU

Atlantski ocean, drugi po veličini, skupa sa okrajnjim morima obuhvaća površinu od oko 106 450 010 km². U Atlantskom oceanu srednja izmjerena dubina je 3926 m. Najdublja izmjerena dubina iznosi 8605 m. Širina Atlantskog oceana je otprilike 2849 km između Južne Amerike i Afrike pa do 4832 km između Sjeverne Amerike i Europe [1]. Glavne oceanske struje u Atlantiku su Golfska topla struja, Labradorska hladna struja, Brazilska topla struja, Bengalska hladna struja i Kanarska hladna struja (Slika 11). U Atlantiku, topla morska voda koja dolazi s Golfskom strujom direktno određuje klimu Europskog kontinenta, stvarajući klimu blagom i ugodnom za život.

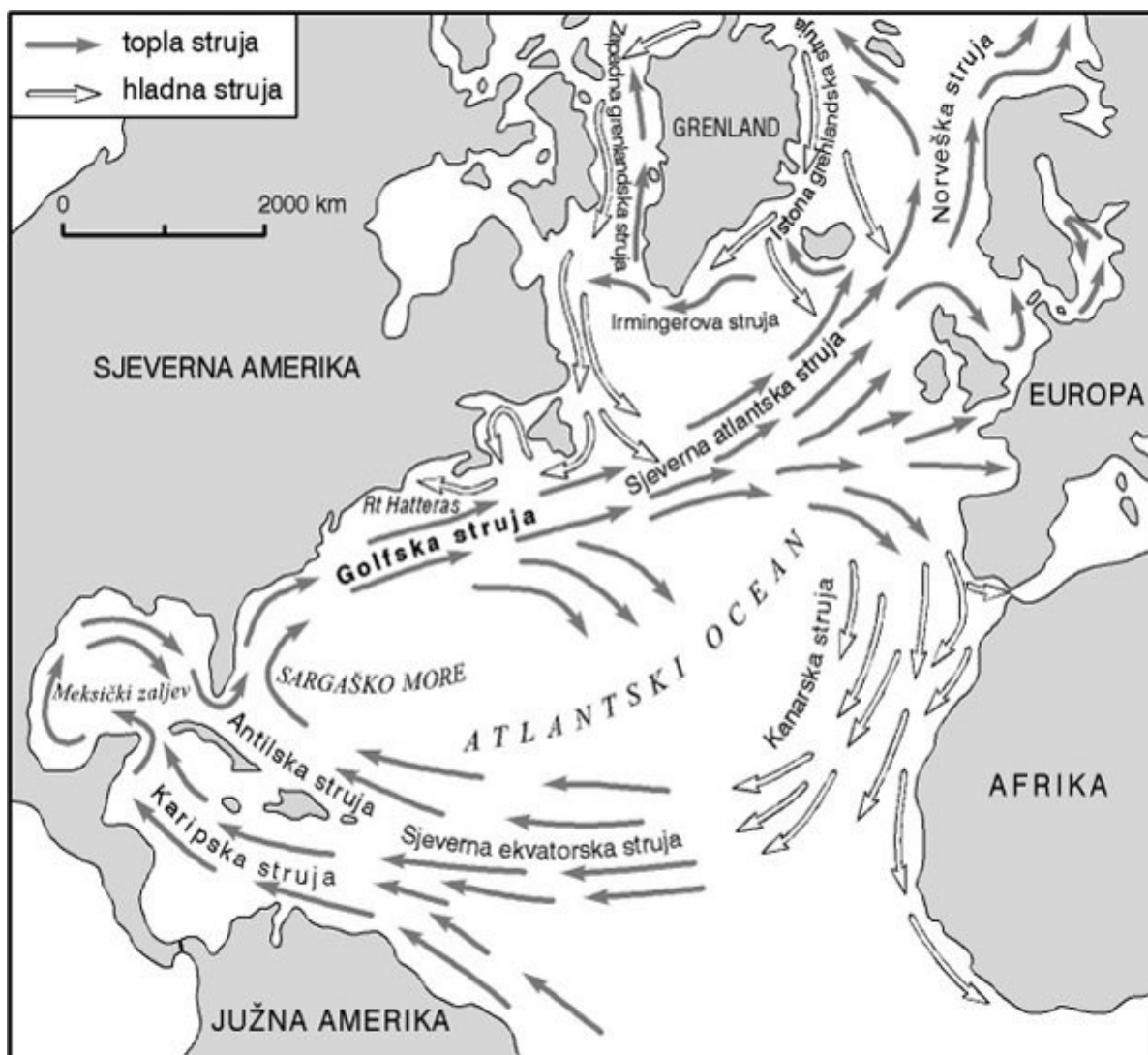


Slika 11. Morske struje u Atlantskom oceanu; [16].

izvor: https://www.merrittcartographic.co.uk/atlantic_ocean.html

4.1.1. Golfska topla struja

Golfska morska struja nastaje spajanjem Karipske i Antilske struje na izlazu iz Floridskog prolaza u samom Atlantskom oceanu. [1] Zbog utjecaja Coriolisovog efekta, Golfska struja se giba prema sjeveru uz obale Sjeverne Amerike, a zatim skreće prema sjeveru Europe. Na svom putu struja se račva pa tako zapadno od Velike Britanije postaje Sjeveroatlantska topla struja, a istočno postaje Norveška morska struja. Golfska struja je jedna od najbržih i izrazito snažna morska struja koja sa sobom prenosi oko 1,5 pW toplinske energije. To je izrazitom mnogo energije od energije potrebne čovječanstvu za energetske potrebe. Procjenjuje se da je količina morske vode koja prođe kroz Floridski prolaz oko 30,2 Sv, a kad prođe rta Hatteras (slika 12) ta količina vode dostigne oko 80,5 Sv. To je pokazatelj koliko je ova struja važna za prijenos tople vode prema Europi. Golfska struja je široka od 80 do 160 km, a kreće se dubinom od 780 metara do otprilike 1250 metara. Maksimalna brzina joj je oko 2,5 m/s što je svrstava u jednu od najbržih struja u oceanima. Na svojem putu prema sjevernom polu, topla morska voda isparava, a samim time salinitet raste. Na rast saliniteta direktan utjecaj imaju hladni vjetrovi koji djeluju na površini i dovode do njezinog isparavanja. Zbog hlađenja morske struje i povećanja saliniteta na samom sjeveru Atlantskog oceana događa se da ona tone u dubinu i postaje jedan dio dubokih voda Atlantskog strujanja morske vode. Znači, ako se promotri TS dijagram (slika 6) povećanje saliniteta mora biti znatno s padom temperature da bi došlo do povećanja gustoće vode koja zbog povećane gustoće tone u dubini. Zbog sve nepovoljnijih klimatskih promjena Golfska struja slabi, a s njezinim slabljenjem očekuje se promjena blage klime u Europi.



Slika 12. Golfska struja; [17].

izvor: <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=22558>

4.1.2. Labradorska hladna struja

Labradorska hladna morska struja nalazi se u području sjeveroistočnog Atlantika između istočne obale Sjeverne Amerike i Grenlanda. Kreće se u smjeru juga od Arktika pa uz obalu Kanade i zatim zakreće u smjeru zapada ispod Newfoundlanda, gdje nastavlja južnije uz obale SAD-a. S Golfskom toplom morskom strujom susreće se jugoistočno od Newfoundlanda, a zatim opet kod obala Sjeverne Karoline. Tijekom susreta Golfske struje koja donosi topli zrak i Labradorske struje koja je nositelj hladnog zraka učestale su pojave nastajanja vrlo guste magle koje poprilično otežavaju navigaciju brodom.

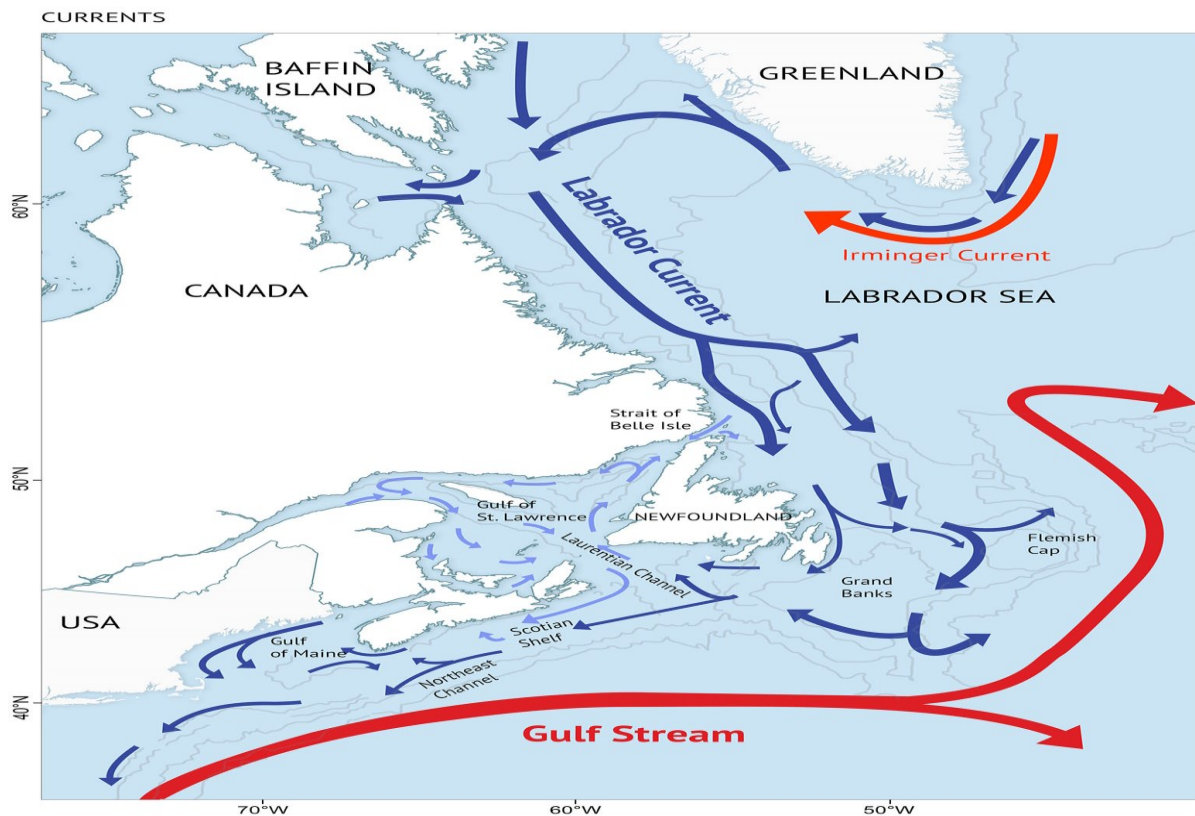


Slika 13. Magla na moru, Newfoundland; [18].

izvor: <https://mossandfog.com/the-foggiest-place-on-earth/>

Iako je stvaranje magle nedostatak za navigaciju, prednost spajanja ovih vodenih masa rezultira da ovo područje postane jedno od ribolovno najbogatije područje na svijetu. Osim toga Labradoriska struja je važna jer doprinosi skretanju Golske struje sa sjevera SAD-a prema sjevernoj Europi.

Na proljeće, ovom morskom strujom prema jugu, putuju ledeni brjegovi s ledenjaka na Grenlandu, pa time stižu do plovnih putova pa samim time predstavljaju opasnost za brod i posadu.

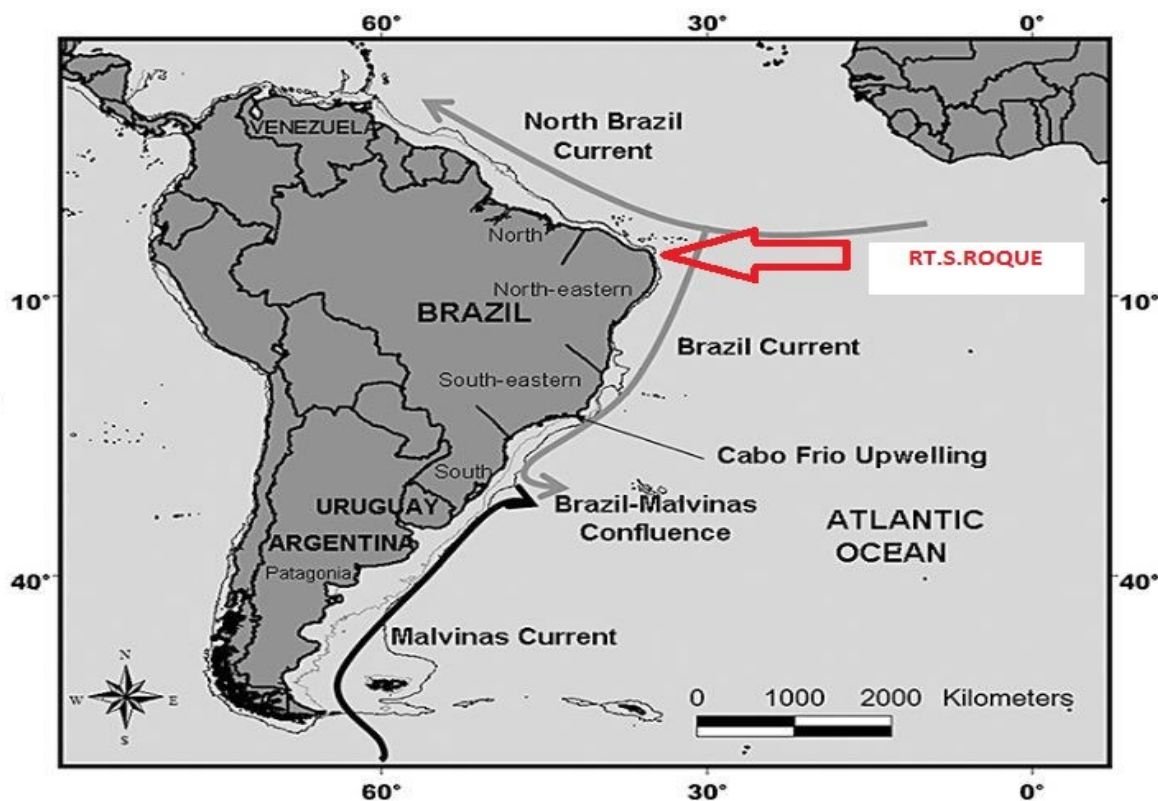


Slika 14. Labradorska struja; [19].

izvor: <https://www.dfo-mpo.gc.ca/oceans/publications/soto-rceo/2018/atlantic-ecosystems-ecosystemes-atlantiques/index-eng.html>

4.1.3. Brazilska topla struja

Brazilska topla morska struja nalazi se u Atlantiku južno od Ekvatora. Njeno gibanje je od rt.S. Roque (slika 15) pa cijelom dužinom uz obalu Brazila u smjeru jugozapad pa do 40° južne geografske širine. Brazilska struja na južnoj polutci može se usporediti s Golfskom strujom na sjevernoj polutci. Iako je topla morska struja, ona je sporija od Golfske struje i ima brzinu oko 0,5 m/s, slabijeg protoka i pliće dometa. Njezin nastanak može se prepisati dijelu morske tople vode koja dolazi s Južnom ekvatorskom strujom iz smjera Afrike dok drugi dio ove Južno ekvatorske struje zakreće prema. Na ovom putu prema jugozapadu uz istočnu obalu Južne Amerike, na 40° S zemljopisne širine a pred samim ušćem rijeke La Plate, Brazilska topla morska struja susreće se s Falklandskom hladnom morskom strujom. [20].

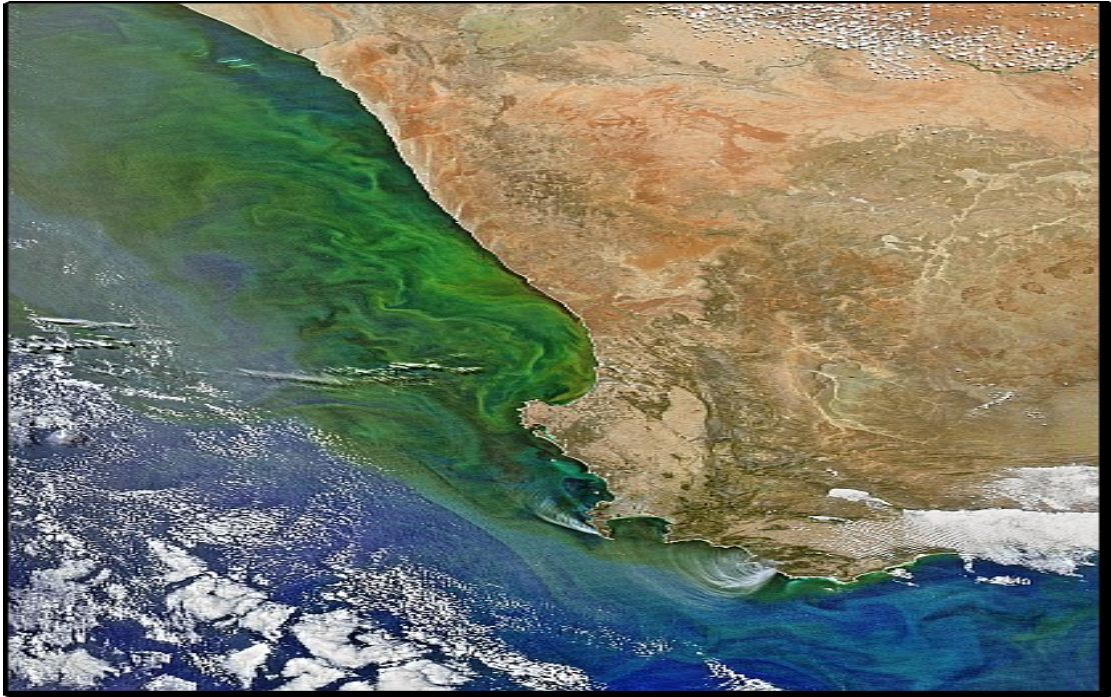


Slika 15: Brazilska struja; [20].

Izvor: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2907.2009.00154.x>

4.1.4. Benguelska hladna struja

Benguelska morska struja je struja koja dolazi s Antarktike odnosno iz smjera južnog Atlantskog oceana. Od Rt. dobre nade kreće se u smjeru sjevera uz zapadnu obalu kontinenta Afrike pa sve do 16° S gdje se spaja sa Angolanskom strujom. Benguelska struja skupa sa konstantnim jugozapadnim vjetrovima direktni je uzrok postojanje pustinje u Namibiji gdje skoro pa da nema nikakvih padalina. Za Benguelsku hladnu morsku struju možemo konstatirati da je izrazito bogata kisikom i planktonima, što je preduvjet za stacioniranje velike količine ribe odnosno ima bogat morski ekosustav.



Slika 16. Benguelska struja; [21].

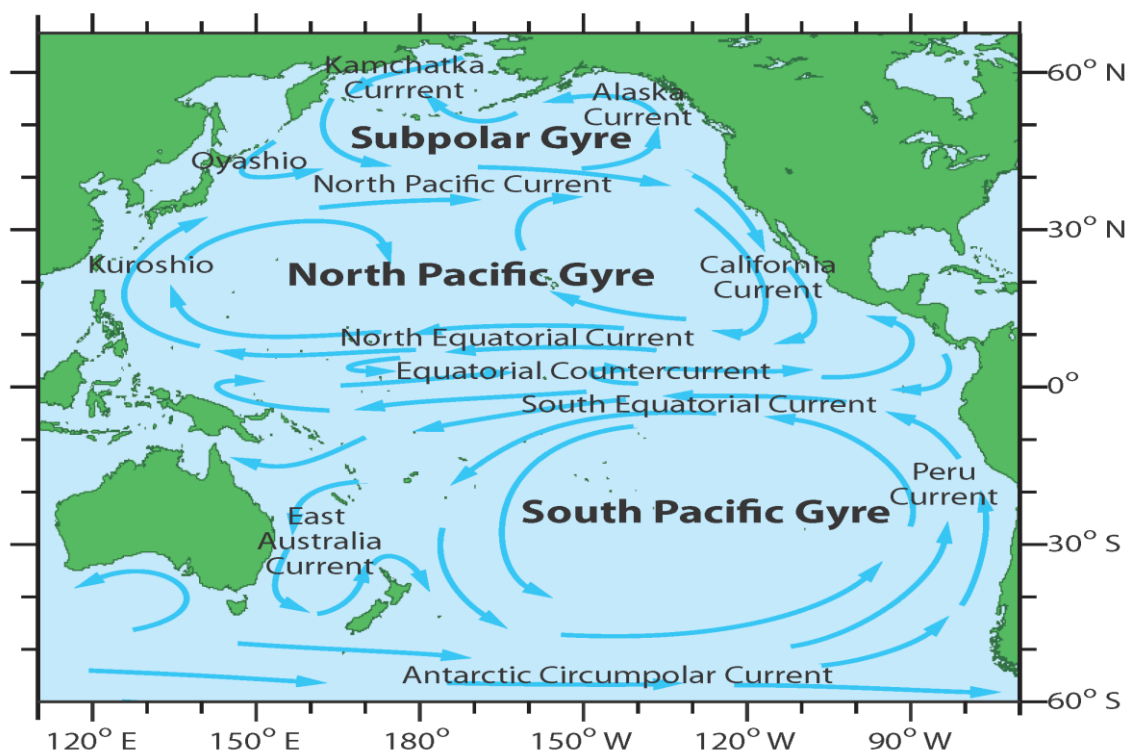
izvor: <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/gallery/445/>

4.1.5. Kanarska hladna struja

Kanarska hladna morska struja je hladna struja koja se giba u Atlantiku duž sjeverozapadne obale Afrike. Relativno spora morska struja brzine od 0,1 do 0,15 m/s. Ova morska struja prvo se giba put juga, a zatim put jugozapada uzduž sjeverozapadne obale Afrike. Početak joj je otprilike kod Gibraltara a sastavljena je i dijelom od Azorske morske struje i jednim dijelom Portugalske morske struje s kojom se stapa u jednu veliku Sjevernoatlantsku struju. Ova struje prilikom ulaska u Sjevernoekvatorsku struju, zatvara kružno strujanje morskih struja sjevernog Atlantskog oceana. Posebno je važna za Kanarske otoke jer svojim prolaskom duž obale Kanara stvara povoljniju i uravnoteženu klimu za to otočje.

4.2. MORSKE STRUJE U TIHOM OCEANU

Tihi ocean je ocean s najvećom morskom odnosno vodenom površinom na svijetu. Ovaj ocean zauzima 1/3 površine cijelog planeta Zemlje ili 179,72 milijuna km², što je više od cjelokupne površine kopna planete Zemlja. [1] Proteže se otprilike 15 500 km u smjeru sjever –jug, od Arktika tj. Beringovog mora na sjeveru pa sve do krajnjeg juga odnosno Antarktika. Tihi ocean je najširi na 5°N geografske širine. Također prostire se na otprilike 19 820 km od Indonezije do obala Južne Amerike odnosno Ekvadora. U Tihom oceanu nalazi se najdublja izmjerena točka na svijetu, a nalazi se u Marijanskoj brazdi, izmjerena je dubina od 11 034 metara što je više čak i od Mt. Everesta. Srednja dubina mora u Tihom oceanu je otprilike 4 310 metara. Oceanske struje u Tihom oceanu predstavljaju veliki učinak za istočne obalu Azije, te na zapadnu obalu Sjeverne i Južne Amerike. U Pacifiku najveće struje su Humboldtova/Peruanska hladna struja, Kuroshio topla struja, Istočnoaustralska topla struja, Kalifornijska hladna struja i Oyashio hladna struja.



Slika 17. Glavne struje Tihog oceana; [22].

izvor: <https://oceantracks.org/library/the-north-pacific-ocean/major-currents>

4.2.1. Humboldtova hladna struja

Humboldtova hladna morska struja ili drugim nazivom Peruanska struja kreće se uz zapadnu obalu Južne Amerike. Naziv je dobila prema Aleksandar von Humboldt. Međutim, nazivaju je Peruanska struja pošto najvećim dijelom prolazi uz obale Perua.

Kreće se od Južnog pola uzduž zapadne obale Južne Amerike prema sjeveru. Jako hladna morska voda dolazi iz smjera Antarktike. Ona je ogranak cirkumpolarne antarktičke morske struje te uzrokuju da srednja temperatura mora na istoj geografskoj širini uz obalu Južne Amerike bude čak do 8°C niža od temperature mora na sredini Pacifika. [23] Humboldtova hladna morska struja prema morskom ekosustavu je najbogatija na svijetu. Prema nekim procjenama iz ovog dijela mora dolazi čak 20% svjetskog ulova morske ribe. Čak neki kapitalni primjerci npr. lignje su ulovljeni na ovom području, svima je poznat naziv Patagonska lignja. Ova izrazito hladna voda jednim dijelom hladi i zrak koji je iznad nje, a posljedica je da su područja uz obalu gdje prolazi Peruanska hladna morska struja jako siromašna padalinama, u svezi toga odraz je nastanka pustinje u Čileu. Kad nastupi fenomen El Niño, otprilike svakih 10 godina oko Božića, Humboldtova morska struja izgubi snagu i gotovo prestaje što daje uglavnom nedostatke stanovništvu uz zapadnu obalu Južne Amerike jer dolazi do promjena u stanju morskog okoliša i značajnog smanjenja ulova ribe.



Slika 18. Humboldtova/Peruanska struja; [23].

izvor: <https://civilspedia.com/ocean-currents-waves-tides-and-thermo-haline-circulations/>

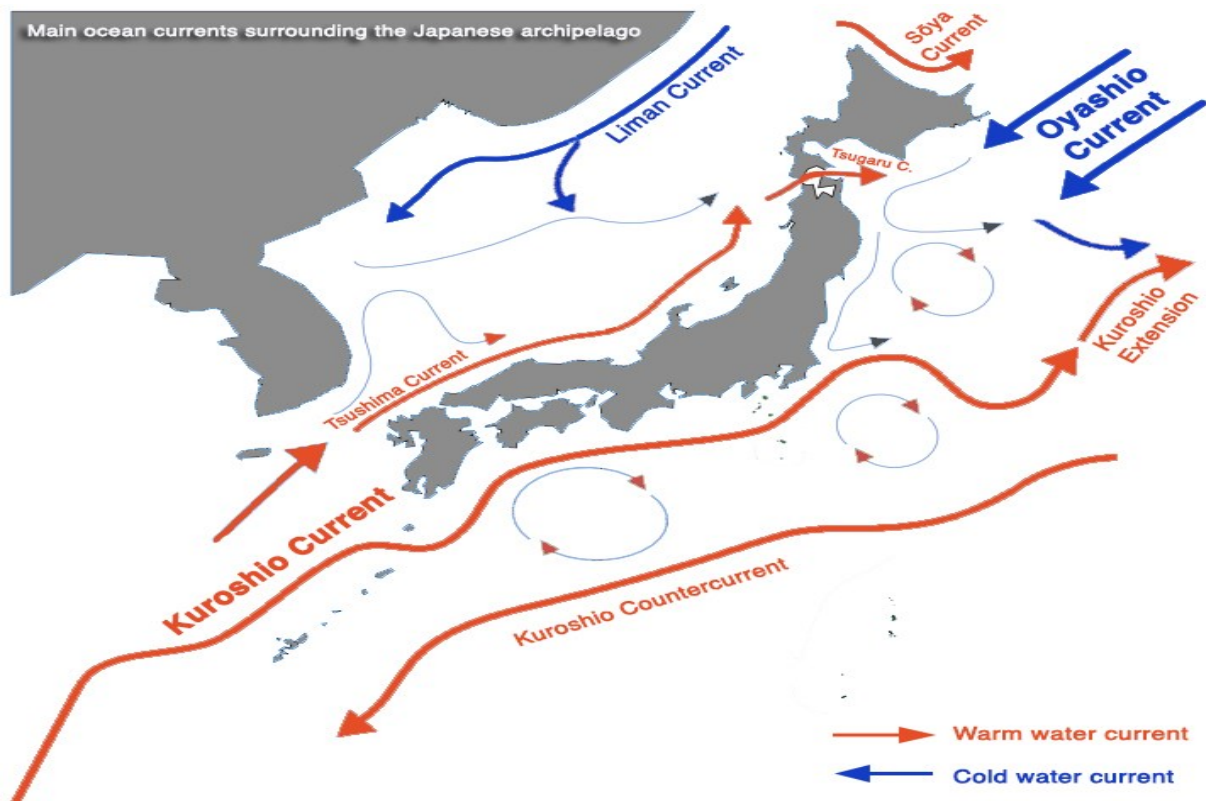
4.2.2. Kalifornijska hladna struja

Kalifornijska hladna morska struja je morska struja u Tihom oceana koja se jednim dijelom nastavlja od Sjeverno Pacifičke struje. Giba se u smjeru jugoistoka i to usporedno uz zapadnu obalu Sjeverne Amerike između $48,5^{\circ}\text{N}$ geografske širine i 23°N geografske širine. Srednje brzine je oko $0,25\text{ m/s}$ što spada u sporije morske struje.

4.2.3. Kuroshio topla struja

Kuroshio topla morska struja u zapadnom dijelu Tihog oceana. Kuroshio struja prevedeno s Japanskog tamna/crna struja, izrazito tamno plave boje. Kreće se od istočne obala Filipina i teče sjeveroistočno uz obale Japana gdje se spaja sa Sjevernopacifičkom strujom. S juga donosi toplu morsku vodu sve do sjevera u polarna područja. Topla morska vode koja nadire i nosi sa sobom potrebnu hranu i minerale za japanske koraljne grebene bez koje ti najsjeverniji koraljni grebeni na svijetu ne bi postojali. [23].

Slika 19 prikazuju Kuroshio morsku struju kako krivuda uz Japansku obalu i kako stvara tzv. izolirane prstenove i vrtloge. Navedeni vrtlozi se zadržavaju u oceanu čak nekoliko mjeseci i ne mijenjaju se. Ti vrtlozi imaju značajan utjecaj za život u morskoj vodi raznim morskim organizmima i ribama. Srednja temperatura Kuroshio tople morske struje je otprilike 24°C , dok ova struja u prosjeku široka je oko 60 NM. Topla Kuroshio morska struja se smatra jednim morskim ekosustavom koji stvara otprilike $150\text{-}300\text{ g. CO}_2$ po m^2 što je iznimno važno za planet. Područja uz obalu Japana gdje se susreću Kuroshio topla morska struja i Oyashio hladna morska struja izrazito je bogato ribom, posebno japanskim lignjama i sardinama.



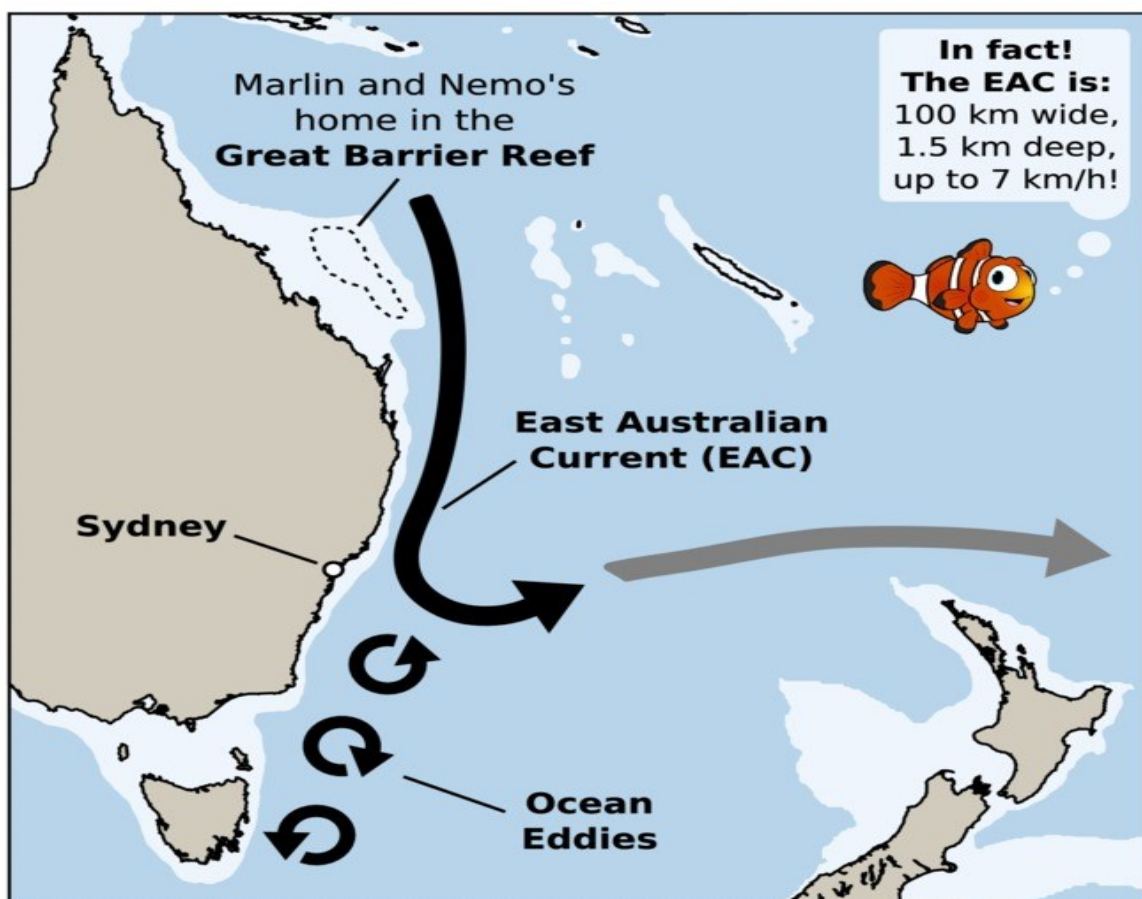
Slika 19. Kuroshio struja; [24].

izvor: <https://bluejapan.org/geography/currents-of-japan/>

4.2.4. Istočnoaustralska topla struja

Istočnoaustralska topla morska struja je struja koja se kreće južno uz istočnu obalu Australije. Giba se protusatno. Odvaja se iz Južno ekvatorske struje, prolazi kroz Koraljno more i dolazi do istočne obale Australije. Na otprilike $14,5^{\circ}$ S zemljopisne širine jedan dio Južno ekvatorske struje razdvaja se i formira novu Istočno australsku morsku struju koja se kreće u smjeru juga. Ona je najduža morska struja koja prolazi uz Australsku obalu. Najveću brzinu ima na 30° S koja iznosi i do 1,5 m/s. Na putu u smjeru juga odvaja se od obale negdje oko $32,5^{\circ}$ S. Na tom mjestu razdvajanja ova morska struja postiže najveći transport morske vode od oko 36 Sv. Nadalje oko $33,5^{\circ}$ S jedan dio morske struje se okreće u smjeru sjevera. Ostatak vodenog toka koji se ne vraća giba se istočno uz Tasmansko more stvarajući jake strujne turbulencije i vrtloge između Novog Zelanda i Australije što je izrazito opasno za navigaciju. Krećući se dalje na jug spaja se sa hladnom Antarktičkom morskom strujom. [23].

Istočnoaustralska morska struja je površinska morska struja koju pokreću vjetrovi u Južnom Pacifiku. Promjene u intenzitetu vjetrova tijekom godine utječu i na sam tok morske struje. Ova topla morska struja izrazito je bitna za australski Veliki koraljni greben jer prenosi toplu vodu koja je potrebna koraljima za opstanak. Također ova struja održava stalnu temperaturu uz istočne obale Australije na 18 °C tijekom cijele godine. Ova struja nije bogata hranjivim morskim tvarima, iako zbog spomenutog vrlo je značajna za morski ekosustav. Iako nije bogata hranjivim morskim tvarima, uz obale Australije stvara strujanja koja dižu hladnu duboku i bogatu organizmima morsku vodu na površinu pa samim time utječe da je ekosustav postojan. Snaga ove morske struje varira kroz cijelu godinu. Tokom ljeta, struja je najjača s protokom morske vode od 36,3 Sv, dok tokom zime protok opada do 27,4 Sv. Njezina srednja brzina je oko 1-1,5 m/s iako uz obalu postize i brzine od 3,60 m/s što je svrstava u srednje brze morske struje.



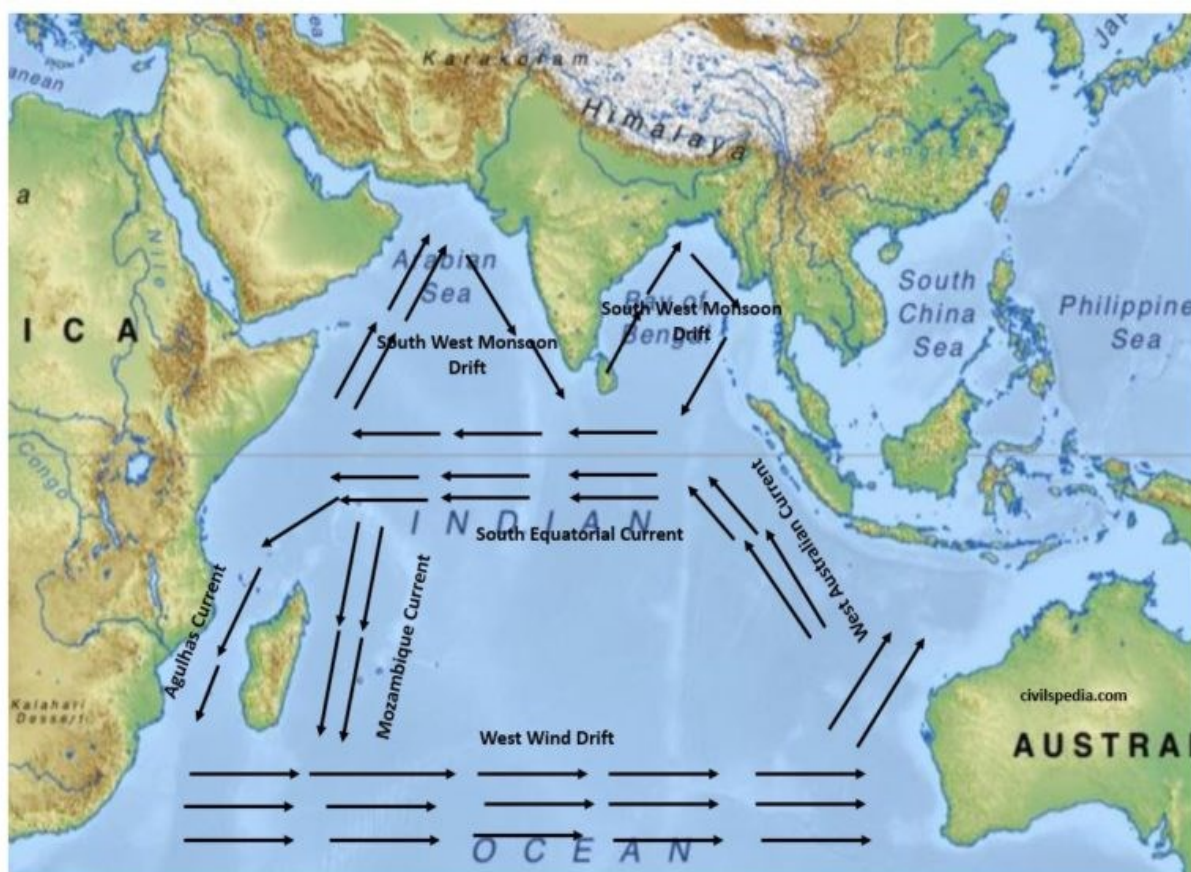
Slika 20. Istočnoaustralska struja; [25].

izvor: <https://blog.csiro.au/things-warm-up-as-the-east-australian-current-heads-south/>

4.3. MORSKE STRUJE U INDIJSKOM OCEANU

Najmanji ocean na Zemlji je Indijski i zahvaća otprilike 74 900 000 km² ili oko 20% cjelokupne morske vode na svijetu. Najvećim dijelom pozicioniran je na južnoj zemljinoj polutki. U sjevernom dijelu ovog oceana cirkulacija morskih struja potpada pod utjecaj jakih monsunskih vjetrova. U južnom dijelu oceana stvara se subtropski vrtlog u kojem je strujanje protusatno. Ovdje se javlja Južnoekvatorska morska struja pod utjecajem jugoistočnih pasata, ali se ne giba cijelom širinom Indijskog oceana, već od Cocos otočja na istok pa sve do Seychella na zapad. [4].

U subpolarnim geografskim širinama oceanska morska voda se kreće pod utjecajem zapadnih vjetrova u smjeru kretanja od zapada prema istoku. Glavne površinske struje u Indijskom oceanu su Aghulška topla struja, Mozambička topla struja i Zapadnoaustralska hladna morska struja.



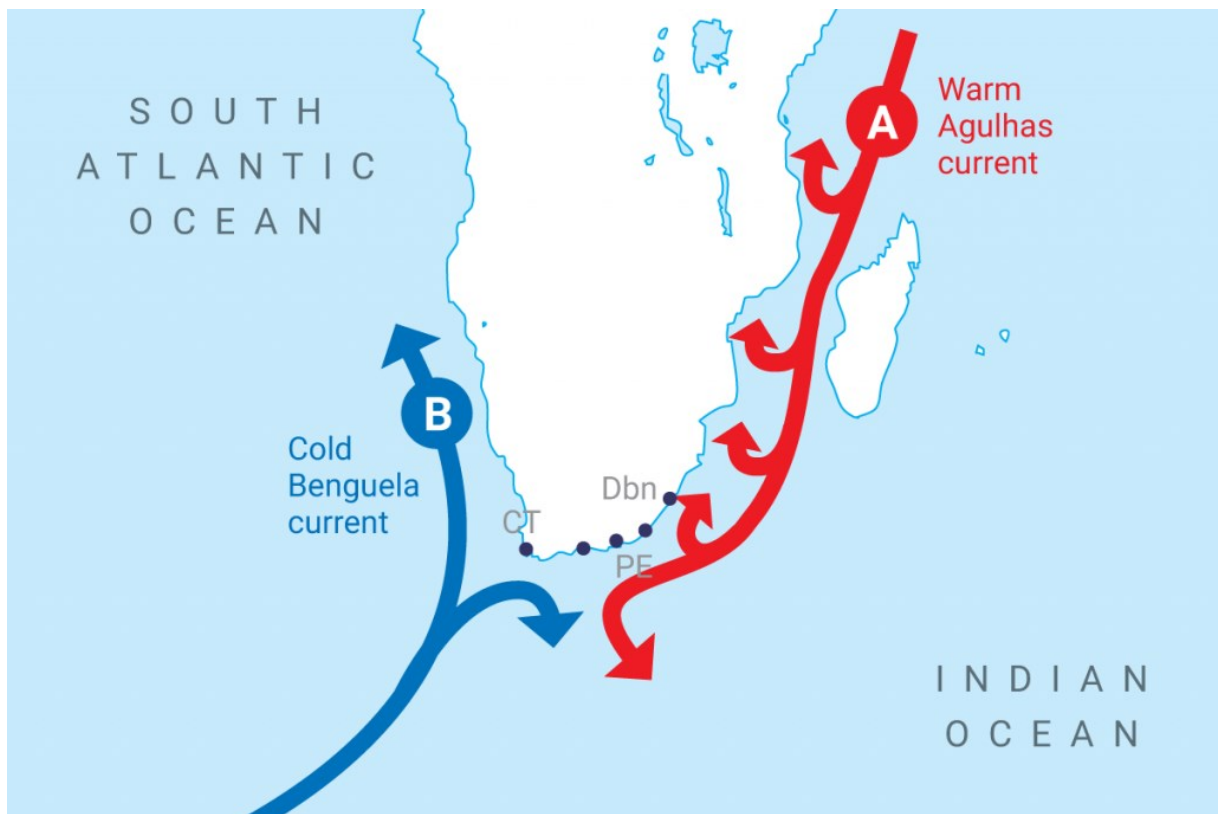
Current Pattern in Summers

Slika 21. Glavne struje u Indijskom oceanu; [23].

izvor: <https://civilspedia.com/ocean-currents-waves-tides-and-thermo-haline-circulations/>

4.3.1. Agulhaška topla struja

Agulhaška topla morska struja nalazi se na području jugozapadnog Indijskog oceana. Giba se uz istočnu obalu Afrike prema jugu i sa sobom donosi velike količine tople morske vode i soli. Izvor Agulhaške struje su Mozambička struja, zatim Istočno Madagaskarska struja i neki dijelovi cirkulirane morske vode, čiji sam dio i Agulhaška struja. Ova topla morska struja je izrazito snažna pogotovo uz obalu Afrike. Kreće se sjeverno od lučkog grada Port Elizabetha i giba se uz sam rub kontinentalne padine koji joj i daje brzinu. Kad je u punoj snazi najbrža je struja na svijetu sa svojom brzinom od 2,6 m/s. Južnije od Agulhaškog rta nastavlja se gibati u smjeru Atlanskog oceana a zatim se okreće i vraća kao povratna morska struja ponovno u Indiski ocean. Uz obalu prodire sve do Rta dobre nade. Taj proces se kontinuirano nastavlja. Ovaj tip naglog okretanja morske struje nije još dovoljno istražen i nije razjašnjeno je li utjecaj na skretanje prvenstveno ima reljef morskog dna ili vjetrovi na tom području. [8].



Slika 22. Agulhaška struja; [26].

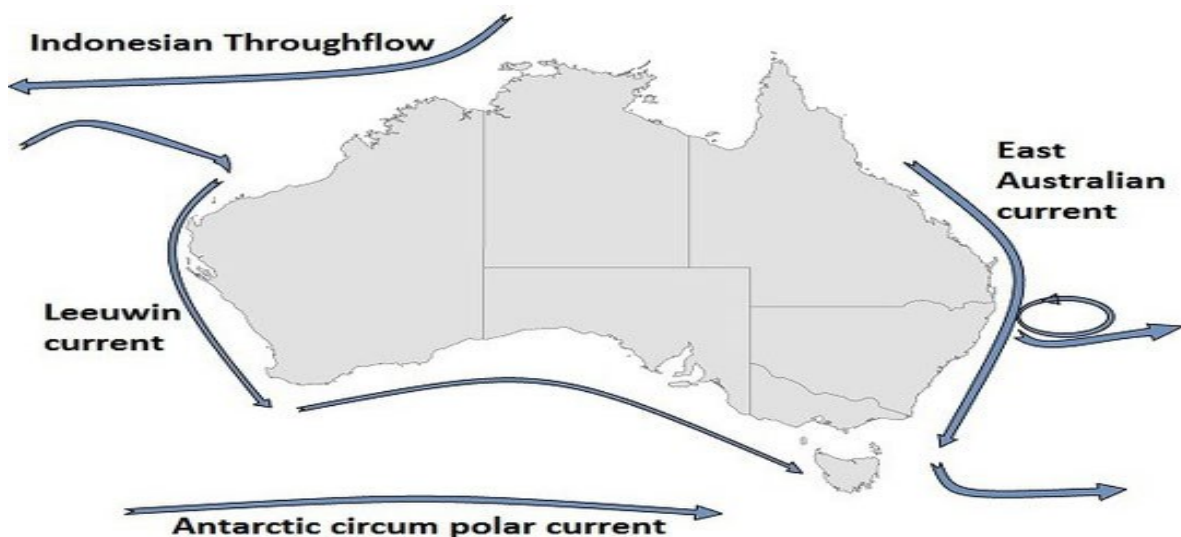
izvor: <https://maritimesa.org/grade-10/ocean-currents/>

4.3.2. Mozambička topla struja

Mozambička topla morska struja je pozicionirana u Indijskom oceanu i ona dovodi toplu morsku vodu prema jugu uzduž obale Južne Afrike. Kreće se između obala Mozamika i Madagaskara, prolazi Mozambičkim prolazom i spaja se sa Aghulhaškom strujom. Uz obalu gdje protječe ova struja najznačajniju korist imaju biljni i životinjski svijet jer donosi toplu morsku vodu koja ih spašava od oštrijih zima.

4.3.3. Zapadnoaustralska hladna struja

Zapadnoaustralska hladna morska struja kreće se u južnom dijelu Indijskog oceana uz zapadnu obalu Australije. [1] Započinje kao južno Indijska oceanska morska struja koja je dio Antarktičke struje. Kako se ova struja približava zapadnom dijelu Australije, ona se giba u smjeru sjeveru i to usporedno sa zapadnom obalom Australije i s time nastaje zapadno australsko strujanje morske vode. Ovo strujanje je sezonsko i to; zimi je slabije strujanje, dok je ljeti strujanje jače. Važne su sve tri struje Zapadnoaustralska, Leeuwina morska struja i Južnoaustralska protustruja jer kad su objedinjene uveliko pridonose povoljnoj klimi i padalinama na zapadnoj obali Australije. Leeuwina i Južnoaustralska protustruju prolaze obalom, ali suprotnim smjerom.



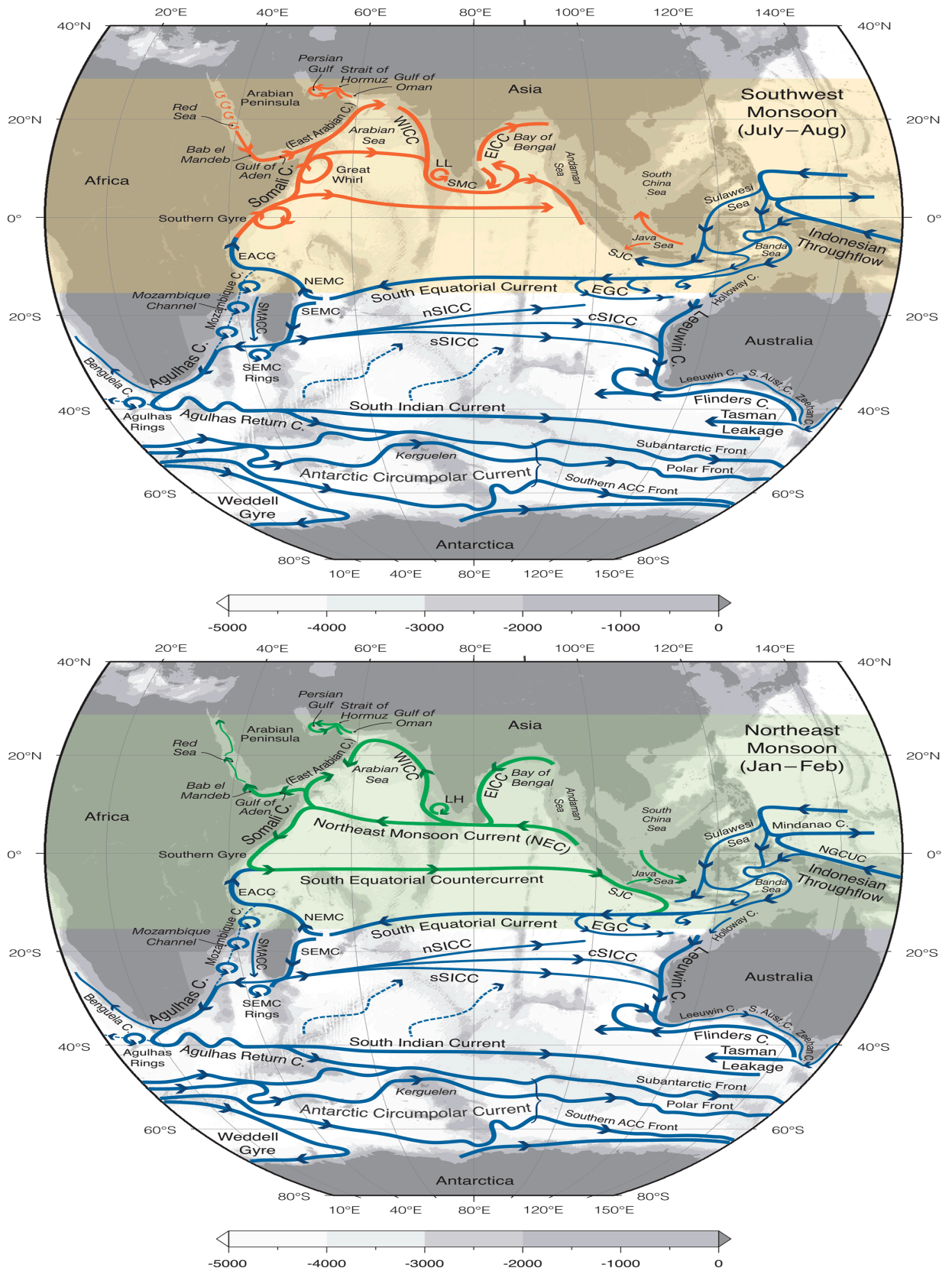
Slika 23. Zapadno australska struja; [27].

izvor: <https://www.ausmarinescience.com/marine-science-basics/oceanography-of-australia/>

4.4. STRUJE NISKIH GEOGRAFSKIH ŠIRINA

4.4.1. Pasatne struje

Pasatne morske struje zahvaćaju veći dio svih oceana i pripadajućih mora. Osobine ovih struja su im da kontinuirano se kreću tokom cijele godine i uvijek imaju smjer strujanja prema zapadu. [3] U Atlantiku i Pacifiku postoje regije ovih pasatnih morskih struja: jedna se nalazi na sjevernoj polutki, a druga se nalazi na južnoj polutki. Jedino u Indijskom oceanu ova se zona pasatnih morski struja nalazi samo na južnoj strani oceana dok na sjeveru prevladavaju monsun. U ovim pasatnim zonama postoje tri dijela strujnog toka: zapadni, istočni i središnji tok struje. Na zapadnom dijelu strujanje usmjereno je prema zemaljskim polovima, srednji tog koji je dalje od kontinenta ima zapadno strujanje dok na istočnom dijelu strujanje je usmjereno prema ekvatoru, a razlog je blizina kopna.

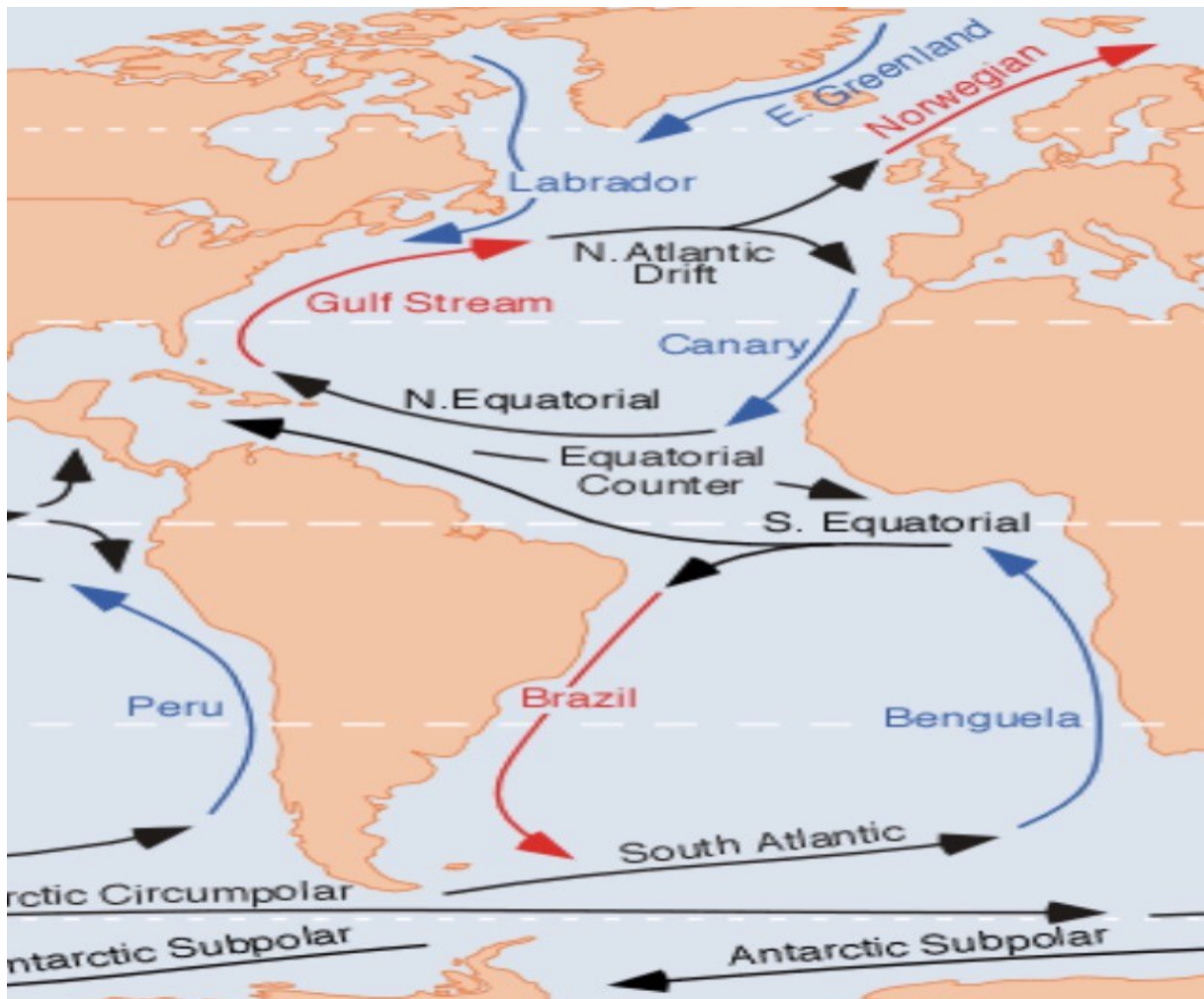


Slika 24. Pasatne struje; [28].

izvor: <https://os.copernicus.org/articles/17/1677/2021/>

4.4.2. Ekvatorske morske struje

Ekvatorske morske struje su cjelogodišnje morske struje koje se gibaju uvijek prema zapadu bilo južno ili sjeverno od ekvatora. Ekvatorske zone su zone kontinuiranog vjetra i generalno lijepog vremena. Nasuprot tome, znato je isparavanje na ovom području. Radi jakog isparavanja pojavljuju se tropski vrtložni cikloni, koji nastaju baš u ovim zonama. U Aziji se pojavljuju tajfuni, a u Indijskom oceanu orkani. Ekvatorske morske struje imaju visoku površinsku temperaturu od 27 do 30 °C, koja zbog isparavanje mora dovesti do nejednakosti temperature u donjim slojevima atmosfere, a rezultat toga su jake kiše. Na dijelovima kontinenta, gdje se dešavaju padaline razvija se tropska vegetacija, npr. Polinezija, obala Južne Amerike (Brazil, Salvador itd). [7].



Slika 25. Sjeverno ekvatorska i južno ekvatorska morska struja; [23].

izvor: <https://civilspedia.com/ocean-currents-waves-tides-and-thermo-haline-circulations/>

4.4.3. Ekvatorske protu-struje

Ekvatorske morske protu-struje protežu se duž svih oceana, od istoka prema zapadu. Dakle, protu-struje su zapadnog smjera. Kreću se u uskom morskom pojasu srednjom brzinom od oko 0,5 m/s, graniče sa pasatnim ekvatorskim morskim strujama koje se gibaju u smjeru od zapada prema istoku. [7] U Atlantiku i Tihom oceanu ekvatorske protu-struje nalaze se uvijek sjeverno od ekvatora dok u Indijskom oceanu po zimi kreću na južnoj polutki; u proljeće se počne kretati prema ekvatoru, a za vrijeme ljeta kada nastupa vrijeme ljetnog monsuna sjedinjuje se sa monsunskom morskom strujom. Tokovi protu-struja ovisni su o smjeru vjetrova i s njima se premještaju.

5. ZAKLJUČAK

Ocean za ljude znači život. Morima se plovilo od pamtivijeka. U početku se plovilo barkama uz obalu zbog ribarstva, a kasnije i dalje zbog trgovine raznom robom. Kako je vrijeme prolazilo tako se i razvijao suvremeni pomorski promet koji podrazumijeva znanja oceanologije. Oceanografija je znanost koja proučava mora i oceane, od reljefa morskog tla, podmorskih vulkana, svih vrsta gibanja morske vode, leda na moru, itd... a između ostalog proučava i morske struje koje su tema ovog završnog rada.

U ovom završnom radu opisani su općeniti uzroci postanka oceanskih struja i sila koje djeluju na njihov postanak. Uzroci postanka oceanskih struja su tlak morske vode, različita slanost mora, razlika u temperature mora zatim vjetar koji djeluje na morske struje kao i različite promjene tlaka zraka. Također opisane su sile koje djeluju na morske struje, a to su sila trenje između slojeva morske vode kao i poznata Coriolisova sila.

Opisani su i načini mjerenja brzine i smjera morskih struja poput mjerenja zanosa nekog objekta što je direktna metoda i indirektnom metodom kojom se mjere karakteristike morske vode, a to su temperature i slanost. Razvojem digitalne tehnologije počinju se upotrebljavati sofisticirani instrumenti za mjerenje morskih struja u morima te su u ovom završnom radu opisane prednosti i nedostaci. Proučavajući tople i hladne morske struje slijedi da su tople morske struje nositelji blage klime, ali su siromašniji ribljim fondom dok su nasuprot tome hladne morske struje nositelji vodene mase koja je obilata hranjivim tvarima i stoga izrazito bogate ribom.

Pomoću ilustracija radi boljeg opisa teksta, nastojalo se podrobnije opisati pojedine morske struje u tri oceana kao i svojstva navedenih glavnih morska struja kao što su njihova brzina, smjer i protok morske vode.

Planeta Zemlja je savršeni stroj koji se sam regenerira. Prateći negativne promjene na moru uzrokovane globalnim zatopljenjem pa i promjene u smjeru i intenzitetu morskih struja, nadamo se da nije prekasno da sačuvamo planet jer inače naši potomci neće imati mjesto za život, a ni za plovidbu. Stara latinska izreka kaže: „Navigare necesse est, vivere non est necesse“ što bi značilo: „Ploviti se mora, a živjeti se ne mora!“

LITERATURA

- [1] Garrison, T., Ellis, R. (2016): *Oceanography: An Invitation to Marine Science*, 9th edition, Cengage Learning, Boston.
- [2] *Atlas of pilot charts*, Blue Seas, online : <https://www.offshoreblue.com/nav/pilot-charts.php> (05. rujna 2022)
- [3] Zore-Armanda, M., Gačić, M. (1988): *Oceanografija*, Pomorski fakultet Dubrovnik, Split.
- [4] Webb, P.: *Introduction to Oceanography*, Roger Williams University, online : <https://rwu.pressbooks.pub/webboceanography/> (10. rujna 2022)
- [5] *What drives the water masses*, World Ocean Review, online : <https://worldoceanreview.com/en/wor-1/climate-system/great-ocean-currents/> (10. rujna 2022)
- [6] Earth Nullschool, online : <https://earth.nullschool.net/#current/wind/surface/currents/overlay=temp/orthographic=243.48.4.62.985/loc=-121.640,0.539> (06.09.2022)
- [7] Jugoslavenski leksikografski zavod, *Pomorska enciklopedija*, Zagreb, 1981.
- [8] Akmadžić, I. (2018): *Površinske struje u oceanima*, završni rad, Split Repizotorij.Pfst.Unist.hr. online : <https://repozitorij.pfst.unist.hr/islandora/object/pfst%3A609/datastream/PDF/view> (08.09.2022)
- [9] *Surface Ocean Currents*, National Oceanic and Atmospheric Administration US Department of Commerce, online: https://oceanservice.noaa.gov/education/tutorial_currents/04currents2.html (09.09.2022)
- [10] *Navigating the Ocean*, Oceanmotions. online: http://oceanmotion.org/guides/n_1/n_teacher_1.htm (14.09.2022)
- [11] Generalić, E., *Klorinitet i slanost mora*, Kemijsko-tehnološki fakultet u Splitu, Periodni, online: https://www.periodni.com/hr/klorinitet_i_slanost_mora.html (14.09.2022)
- [12] *Measuring ocean currents* Seos-project, online: <https://seos-project.eu/oceancurrents/oceancurrents-c06-p01.html> (10.09.2022)
- [13] *Currents Profiler*, National Oceanic and Atmospheric Administration US Department of Commerce, online : https://oceanservice.noaa.gov/education/tutorial_currents/06measure5.html (10.09.2022)
- [14] *Adopt a drifter*, National Oceanic and Atmospheric Administration US Department of Commerce, online : <https://www.adp.noaa.gov/> (10.09.2022)
- [15] *Ocean Currents*, Lotus Arise. online: <https://lotusarise.com/ocean-currents-upsc/> (12.09.2022)

- [16] Merrit, E., *Atlantic Ocean*, online : https://www.merrittcartographic.co.uk/atlantic_ocean.html (16.09.2022)
- [17] *Golfska struja*, Enciklopedija, online : <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=22558> (12.09.2022)
- [18] Moss and Fog, online : <https://mossandfog.com/the-foggiest-place-on-earth/> (18.09.2022)
- [19] *Canadas Oceans Now: Atlantic Ecosystem*, Government of Canada, 2018, online : <https://www.dfo-mpo.gc.ca/oceans/publications/soto-rceo/2018/atlantic-ecosystems-ecosystemes-atlantiques/index-eng.html> (05.09.2022)
- [20] Mauricio Tavares, Ignacio B. Moreno, Salvatore Siciliano, Diego Rodriquez, Biogeography of common dolphins (Geneus Delphinus) in the Southwest Atlantic Ocaean, January 2010 mammal review 40(1): 40-64, online: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2907.2009.00154.x> (14.09.2022)
- [21] *Ocean Color Image Gallery*, Oceancolor ,online: <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/gallery/445/> (18.09.2022)
- [22] *Major Currents*, Education Development Center, 2017, Oceantracks, online: <https://oceantracks.org/library/the-north-pacific-ocean/major-currents> (17.09.2022)
- [23] *Ocean Currents, Waves, Tides and Thermo-Haline Circulations*, Civilspedia, online: <https://civilspedia.com/ocean-currents-waves-tides-and-thermo-haline-circulations/> (1.09.2022)
- [24] *Currents of Japan*, 2022, Blue Japan, online: <https://bluejapan.org/geography/currents-of-japan/> (02.09.2022)
- [25] Brown, J., *Things warm up as the East Australian Current heads south* , online : <https://blog.csiro.au/things-warm-up-as-the-east-australian-current-heads-south/> (13.09.2022)
- [26] Ingpen, B., 2015, *Ocean currents*, Maritime studies South Africa ,online : <https://maritimesa.org/grade-10/ocean-currents/> (12.09.2022)
- [27] *Oceanography of Australia*, Marine Science Australia, online : <https://www.ausmarinescience.com/marine-science-basics/oceanography-of-australia/> (12.09.2022)
- [28] Helen E. Phillips, Amit Tandon, Ryo Furue, Raleigh Hood, Caroline C. Ummenhofer, Jessica A. Benthuisen, Viviane Menezes, Shijian Hu, Ben Webber, Alejandra Sanchez-Franks, Deepak Cherian, Emily Shroyer, Ming Feng, Hemantha Wijesekera, Abhisek Chatterjee, Lisan Yu, Juliet Hermes, Raghu Murtugudde, Tomoki Tozuka, Danielle Su, Arvind Singh, Luca Centurioni, Satya Prakash, and Jerry Wiggert , *Progress in understanding of Indian Ocean circulation, variability, air–sea exchange, and impacts on biogeochemistry* , Ocean Sci., 17, 1677–1751, 2021 <https://doi.org/10.5194/os-17-1677-2021> (10.09.2022)

KAZALO KRATICA

ADCP (engl. Acoustic Current Doppler Profiler) vrsta strujomjera

m/s metar po sekundi

m³/s kubni metar po sekundi

km/h kilometar na sat

Čv čvor

NM nautička milja

Sv (Sverdrup) mjerna jedinica za obujam vode u jedinici vremena

GPS (eng. Global Positioning System) sustav globalnog pozicioniranja

POPIS SLIKA

Slika 1. Karta morskih struja

Slika 2. Modeli morskih struja na karti svijeta

Slika 3. Globalne morske struje za dan 17. rujna 2022

Slika 4. Skretanje putanje zbog Coriolisove sile

Slika 5. Promjena smjera gibanja vodenih slojeva prikazana Ekmanovom spiralo

Slika 6. TS dijagram

Slika 7. Uređaji za mjerenje morskih struja

Slika 8. Izgled instrumenta koji radi na Dopplerov efekt

Slika 9. Langrangeova plutača na morskoj površini

Slika 10. Tople i hladne globalne morske struje

Slika 11. Morske struje u Atlantskom oceanu

Slika 12. Golfska struja

Slika 13. Magla na moru

Slika 14. Labradoraska struja

Slika 15. Brazilska struja

Slika 16. Benguelska struja

Slika 17. Glavne struje Tihog oceana

Slika 18. Humboldtova/Peruanska struja

Slika 19. Kuroshio struja

Slika 20. Istočnoaustralska struja

Slika 21. Glavne struje u Indijskom oceanu

Slika 22. Agulhaška struja

Slika 23. Zapadnoaustralska struja

Slika 24. Pasatne struje

Slika 25. Sjeverno ekvatorska i južno ekvatorska morska struja