

Istočno australska struja

Vojvodić, Adriano

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Dubrovnik / Sveučilište u Dubrovniku**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:155:806162>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-30**



SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU
UNIVERSITY OF DUBROVNIK

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Dubrovnik](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU
POMORSKI ODJEL**

ADRIANO VOJVODIĆ

ISTOČNOAUSTRALSKA STRUJA

ZAVRŠNI RAD

DUBROVNIK, RUJAN 2024.

SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU
POMORSKI ODJEL
PREDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ
NAUTIKA

ISTOČNOAUSTRALSKA STRUJA

ZAVRŠNI RAD

Mentor: izv. prof. dr. sc. Srđan Vujičić

Komentor: kap. Miloš Brajović, dipl. ing.

Pristupnik: Adriano Vojvodić

DUBROVNIK, RUJAN 2024.

Republika Hrvatska

SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU

POMORSKI ODJEL

Preddiplomski sveučilišni studij nautika

Ur. broj:

Dubrovnik, Rujan 2024.

Kolegij: Navigacijska meteorologija

Mentor: izv. prof. dr. sc. Srđan Vujičić

Komentor: kap. Miloš Brajović dipl.ing.

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Pristupnik: **Adriano Vojvodić**, ak. 2023./2024. god.

Zadatak: **ISTOČNOAUSTRALSKA STRUJA**

Zadatak treba sadržavati:

1. Teorijski dio o morskim strujama
2. Mjerenje morskih struja
3. Analiza utjecaja istočnoaustralske morske struje

Osnovna literatura:

1. Mardešić, P. Riboli, A. (2003). Pomorska meteorologija. Impresum. Zagreb
2. Ridgway, K. R. i Godfrey, J. S. (1997). Seasonal cycle of the East Australian Current. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 102 (C10): 2292–2293.
3. Brieva, D., Ribbe, J., Lemckert, C. (2015). Is the East Australian Current causing a marine ecological hot-spot and an important fisheries near Fraser Island, Australia? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 153:121 – 134.

Zadatak uručen pristupniku: Svibanj 2024.

Rok za predaju završnog rada: Rujan, 2024.

Mentor:

izv. prof. dr. sc. Srđan Vujić

Komenntor:

kap. Miloš Brajović dipl.ing.

Pročelnik Pomorskog odjela

izv. prof. dr. sc. Srđan Vujić

IZJAVA

S punom odgovornošću izjavljujem da sam završni rad izradio samostalno, služeći se navedenim izvorima podataka i uz stručno vodstvo mentora i komentora.

Ime i prezime studenta:

SAŽETAK

Tema završnog rada istočnoaustralska struja. U radu su objašnjena obilježja morskih struja, ističe se važnost Coriolisovog efekta te su istaknuti i uređaji koji se koriste za mjerenje morskih struja. Cilj rada je ukazati na važnost postojanja istočnoaustralske morske struje u Tihom oceanu, njezine karakteristike i značajke. Objasnjen je utjecaj struje vjetra (struje drifta) tog područja. Navedeni su također tokovi, brzina struje kao i područje u kojem se nalazi kao i svi ostali bitni podatci o istočnoaustralskoj morskoj struji.

Ključne riječi: morske struje, istočnoaustralska struja, klima, tople morske struje

ABSTRACT

The topic of the final paper is the East Australian Current. The paper explains the characteristics of sea currents, highlights the importance of the Coriolis effect, and highlights the devices used to measure sea currents. The aim of the paper is to point out the importance of the existence of the East Australian Sea Current in the Pacific Ocean, its characteristics and features. The influence of the wind current (drift current) of that area is explained. The currents, speed of the current as well as the area in which it is located are also listed as well as all other important data about the East Australian Sea Current.

Key words: ocean currents, East Australian Current, climate, warm ocean currents

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. MORSKA STRUJA	2
2.1. Definiranje morskih struja.....	2
2.2. Pojava konvergencije i divergencije u procesima morskog strujanja	3
2.3. Podjela morskih struja prema uzročnim silama.....	4
2.3.1. Coriolisov učinak.....	6
2.3.2. Sile trenja	8
2.3.3. Ekmanova spirala	8
3. MJERENJE MORSKIH STRUJA.....	11
3.1. Indirektne metode	11
3.2. Direktne metode	12
3.3. Uređaji za mjerenje morskih struja	13
3.3.1. Korištenje Langrangeove plutače	14
3.3.2. Eulerova metoda.....	15
4. ISTOČNOAUSTRALSKA STRUJA	17
4.1. Tih ocean i tople morske struje	17
4.2. Tople morske struje Tihog oceana	19
4.3. Istočnoaustralska morska struja.....	20
4.3.1. Obilježja istočnoaustralske morske struje	20
4.3.2. Ponašanje istočnoaustralske morske struje	23
4.3.3. Fizička oceanografija	24
4.4. Važnost istočnoaustralske struje vjetra (struje drifta)	26
5. ZAKLJUČAK.....	30
LITERATURA.....	31
POPIS SLIKA.....	33
POPIS TABLICA.....	33

1. UVOD

Ljudi su još od prvih primjećivanja morskih struja istaknuli zanimanje za njihovo djelovanje, prvenstveno zbog plovidbe i ribolova, a kasnije zbog velikog utjecaja na klimu zemlje. Neke oceanske struje su se u velikoj mjeri koristile, a danas se čak koriste i u svim preookeanskim plovidbama. Oceanske struje su kontinuirano, predvidljivo, usmjereno kretanje morske vode pokretano gravitacijom, vjetrom (Coriolisov učinak) i gustoćom vode. Oceanska voda se kreće u dva smjera: vodoravno i okomito. Horizontalna kretanja nazivaju se strujanja, dok se vertikalne promjene nazivaju uzlazne ili silazne struje. Ovaj abiotski sustav odgovoran je za prijenos topline, varijacije u bioraznolikosti i Zemljin klimatski sustav.

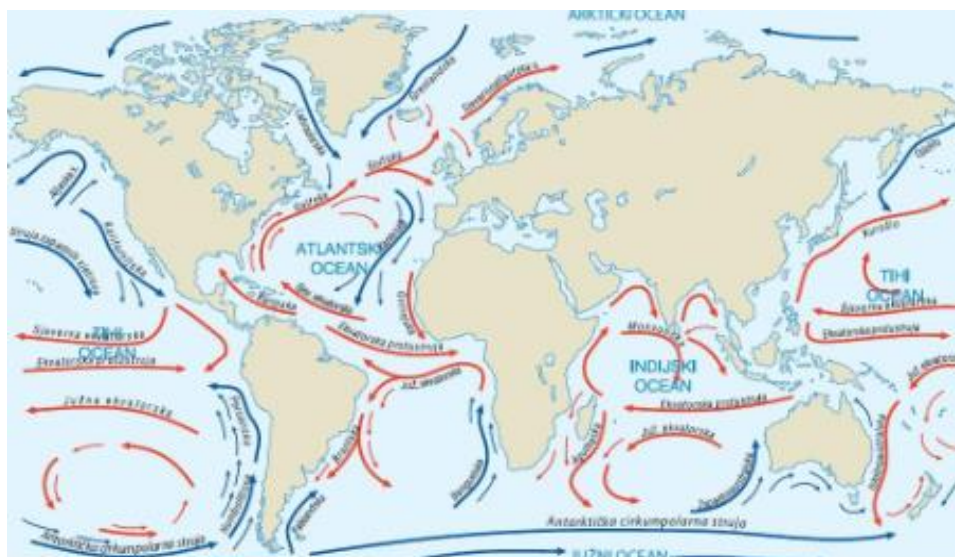
Završni rad se sastoji od pet poglavlja. Prvo poglavlje pod nazivom „Uvod“ uvodi u glavne odrednice završnog rada. Drugo poglavlje pod nazivom „Morska struja“ se odnosi na osnovnu teoriju o morskim strujama, kao i njihovoj podjeli. Treće poglavlje pod nazivom „Mjerenje morskih struja“ ističe različite metode koje se koriste za mjerenja morskih struja te različite uređaje. „Istočnoaustralska morska struja“ se odnosi na četvrto poglavlje gdje su definirana glavna obilježja ove struje koja djeluje kao topla struja Tihog oceana. Peto poglavlje se odnosi na zaključak završnog rada.

Glavna svrha i cilj rada je na temelju dostupne literature prikazati glavne značajke i karakteristike istočnoaustralske struje te njezino djelovanje na plovidbu u Tihom oceanu.

2. MORSKA STRUJA

2.1. Definiranje morskih struja

Oceanska voda je u pokretu, utječe na klimu, lokalni ekosustav i plodove mora koji se konzumiraju. Oceanske struje, abiotske značajke okoliša, kontinuirana su i usmjerena kretanja oceanske vode. Ove struje su na površini oceana i u njegovim dubinama, te teku lokalno i globalno. Toplije i hladnije vode prikazane su u kontrastnim bojama i sva voda južno od Golfske struje mnogo je toplija od vode sjeverno od nje. Vjetrovi, gustoća vode i plima pokreću oceanske struje. Značajke obale i morskog dna utječu na njihov položaj, smjer i brzinu. Zemljina rotacija rezultira Coriolisovim efektom koji također utječe na oceanske struje. Slično osobi koja pokušava hodati po ravnoj liniji preko vrtuljka koji se vrti, vjetrovi i oceanske vode bivaju skrenuti s pravocrtne putanje dok putuju po rotirajućoj Zemlji. Ovaj fenomen uzrokuje da oceanske struje na sjevernoj hemisferi skreću udesno, a na južnoj hemisferi ulijevo (1). Na slici 1. vidljiv je raspored svih glavnih struja u oceanima. Crvenom bojom su označene tople struje, a plavom bojom se označavaju hladne struje. Kada je riječ o toplim morskim strujama one se nalaze uz istočne obale kontinenata, što se može i vidjeti prema prikazanoj slici.



Slika 1. Oceanske struje na karti svijeta

Izvor: E-sfera (2024). Oceanske struje. Dostupno na: <https://www.e-sfera.hr/> (pristup 01.08.2024.)

Struja je kretanje fluida kao što je plin ili tekućina. Obično se izraz struja odnosi na tok i kretanje vode, posebno oceanskih struja. Jednostavna definicija oceanskih struja je kretanje tekuće vode većih razmjera koje se događa unutar Zemljinih oceana i prekriva globus. Oceanske struje sastoje se od dvije glavne vrste struja na koje utječu i uzrokuju različiti čimbenici okoliša. Čimbenici koji uzrokuju oceanske struje uključuju Zemljinu rotaciju, vjetar, gravitaciju, temperaturu i salinitet. Oceanske struje mogu utjecati na stvari kao što su klima, temperatura, pa čak i globalni uzroci vjetra. To je zato što oceanske struje sa sobom nose toplinu; utječu na klimu i vjetrove geografskih regija kroz koje teku (3).

Oceanska struja predstavlja tok sastavljen od horizontalnih i vertikalnih komponenti cirkulacijskog sustava oceanskih voda koji nastaje gravitacijom, trenjem vjetra i varijacijama gustoće vode u različitim dijelovima oceana. Oceanske struje slične su vjetrovima u atmosferi po tome što prenose značajne količine topline s ekvatorijalnih područja Zemlje na polove i tako igraju važnu ulogu u određivanju klime obalnih regija. Osim toga, oceanske struje i atmosferska cirkulacija utječu jedna na drugu (3).

Podatke o strujama pomorci prikupljaju uz pomoć posebnih pomorskih karata gdje su prikazana navedena uobičajena strujanja u određenom području. Podaci prikazuju smjer i brzinu struje. Kad se prikupljaju navedeni podaci sa pomorskih karti moraju se u obzir uzeti bočni rubovi morskih struja jer oni nisu stalni i mijenjaju svoje pozicije. Najbitniji čimbenik koji utječe na smjer i brzinu struje je vjetar. Npr. kada je vjetar dugotrajan i suprotan od smjera struje tada se može dogoditi da se naiđe na blagu struju protusmjernu onoj koja je označena na pomorskoj karti.

2.2. Pojava konvergencije i divergencije u procesima morskog strujanja

Ocean je povezan masivnom cirkulacijskom strujom duboko pod vodom. Ovaj planetarni strujni obrazac, nazvan globalna pokretna traka, polako pomiče vodu po cijelom svijetu - potrebno je 1000 godina da napravi potpuni krug. Pokreću ga promjene temperature i

slanosti vode, što je karakteristika zbog koje znanstvenici struju nazivaju primjerom termohalinske cirkulacije.

Na oceanu se vrlo često pojavljuju mjesta gdje se susreću dvije struje koje imaju različit smjer. U situacijama kada im se tokovi približavaju tj. konvergiraju, voda koja se prenosi na mjesto susreta se nagomilava i ponire u dubinu, a kada smjerovi divergiraju voda se tada diže iz morske dubine na samu površinu. U oba slučaja dolazi do stvaranja dubinskog strujanja. Linije divergencije i konvergencije se u tim situacijama mogu prepoznati prema naglim promjenama temperature i slanosti. Istaknute promjene iskazuju kako susjedne vode imaju različite fizičke i kemijske karakteristike. Opća cirkulacija oceana definira prosječno kretanje morske vode, koja, kao i atmosfera, slijedi određeni obrazac. Na ovaj obrazac nadovezuju se oscilacije plime i oseke i valova, koji se ne smatraju dijelom opće cirkulacije. Također postoje meandri i vrtlozi koji predstavljaju vremenske varijacije opće cirkulacije. Obrazac oceanske cirkulacije izmjenjuje vodu različitih karakteristika, kao što su temperatura i salinitet, unutar međusobno povezane mreže oceana i važan je dio tokova topline i slatke vode globalne klime. Horizontalna kretanja nazivaju se strujama, čija veličina varira od nekoliko centimetara u sekundi do čak 4 metra (oko 13 stopa) u sekundi. Karakteristična površinska brzina je oko 5 do 50 cm (oko 2 do 20 inča) u sekundi. Struje općenito opadaju u intenzitetu s povećanjem dubine. Vertikalna kretanja, koja se često nazivaju upwelling i downwelling, pokazuju mnogo manje brzine, iznoseći samo nekoliko metara mjesečno. Budući da je morska voda gotovo nestlačiva, vertikalna kretanja povezana su s područjima konvergencije i divergencije u obrascima horizontalnog strujanja (4).

2.3. Podjela morskih struja prema uzročnim silama

Oceanske struje pokreću različiti čimbenici, uključujući plimu, vjetrove i promjene u gustoći vode. Ovi čimbenici rade zajedno kako bi stvorili složeni sustav koji ima značajan utjecaj na naše vremenske prilike, pomorska putovanja i oceanske ekosustave. Plima i oseka, koje uzrokuje gravitacijska sila Mjeseca i Sunca, igraju ulogu u pokretanju oceanskih struja. Porast i pad plime i oseke stvaraju ritmičko kretanje vode, pridonoseći protoku struja. Vjetrovi također imaju snažan utjecaj na oceanske struje. Globalni sustavi vjetrova, pokretani neravnomjernim zagrijavanjem Zemljine površine, prenose toplinu iz

tropskih u polarne regije. Ovaj prijenos topline stvara razlike u tlaku u atmosferi, što zauzvrat stvara vjetrove. Ovi vjetrovi, poznati kao površinski vjetrovi, guraju površinske vode oceana, stvarajući površinske struje. Osim plime i vjetrova, promjene u gustoći vode pridonose stvaranju oceanskih struja. Varijacije u temperaturi i slanosti, koje utječu na gustoću vode, igraju ključnu ulogu. Ovaj proces, poznat kao termohalina cirkulacija, pokreće duboke oceanske struje. U hladnim područjima kao što je Sjeverni Atlantski ocean, razlike u gustoći vode uzrokovane varijacijama u temperaturi i salinitetu su posebno važne. Važno je napomenuti da na oceanske struje ne utječu samo abiotski čimbenici. Biološki čimbenici također dolaze u obzir. Na raspodjelu hrane i hranjivih tvari u oceanu mogu utjecati oceanske struje, što zauzvrat utječe na morske ekosustave. Zaključno, pokretačke snage iza oceanskih struja su različite i međusobno povezane. Plima i oseka, vjetrovi i promjene u gustoći vode doprinose složenom sustavu struja koje oblikuju klimatski sustav planeta i podržavaju morske ekosustave (5).

Postoje razne podjele morskih struja, pa tako i prema uzroku nastanka i prema njihovim karakteristikama. One stoga prema uzroku nastanka mogu biti uzorkovane vjetrom, razlikama u temperaturama, slanosti ili mogu biti uzrokovane Coriolisovim učinkom. Također struje mogu biti i neperiodične i periodične. Neperiodične struje su one struje koje nisu pravile ni prema smjeru ni prema brzini te se javljaju kao posljedica neke pojave poput vjetra. One pri nestanku pojave mogu vrlo brzo nestati. Periodične struje predstavljaju struje koje su nastale kao posljedica periodičnih pojava poput morskih mijena. Npr. poznata periodična struja je Monsunska struja u Indijskom oceanu. Vrlo česta pojava je i na površinske i dubokoceanske struje gdje su površinske struje jako važne za plovidbu broda. Kada je riječ o toplinskom stanju morske struje se dijele na tople i hladne. Tople morske struje svoje kretanje započinju iz nižih geografskih širina prema višim na sjevernoj polutki i to u smjeru kazaljke na satu, a na južnoj u obrnutom smjeru. Kada je riječ o hladnim strujama one se kreću u istom smjeru kao i tople, ali iz velikih geografskih širina prema ekvatoru. Za ribolovna područja su vrlo važna mjesta gdje se susreću hladna i topla struja (5).

Uzročne sile se dijele na primarne unutarnje i vanjske i sekundarne. Unutarnje sile se odnose na pritisak koji se javlja zbog nagomilane vode vjetrom i raspored polja mase. Svi uzroci unutrašnjih sila nalaze se na morskoj površini. Vanjski uzroci su tangencijalna porivna sila vjetra, plimotvorna sila i promjene tlaka zraka. Sekundarne sile se odnose na

one sile koje ne stvaraju morske struje nego djeluju na već postojeće. To se odnosi na trenje i Coriolisovu silu. Trenje dovodi do smanjenja brzine strujanja, a Coriolisova sila dovodi do mijenjanja smjera struje (6).

Tablica 1. Podjela morskih struja prema oceanima

Atlantski ocean	Tihi ocean	Indijski ocean
Golfska struja	Kuro-shio	Monsunska struja
Sjevernoatlantska struja	Sjevernoekvatorska struja	Agulaška struja
Sjevernoekvatorska struja	Južnoekvatorska struja	Južnoekvatorska struja
Južnoekvatorska struja	Ekvatorska protustruja	Ekvatorska protustruja
Brazilska struja	Istočnoaustralska struja	
Gvinejska struja		

Izvor: izrada studenta

2.3.1. Coriolisov učinak

Zemljina rotacija oko svoje osi uzrokuje da se čestice u pokretu ponašaju na način koji se može razumjeti samo dodavanjem sile ovisne o rotaciji. Za promatrača u prostoru, tijelo koje se kreće nastavilo bi se kretati pravocrtno osim ako na gibanje nije djelovala neka druga sila. Za promatrača koji je vezan za Zemlju, međutim, to gibanje ne može biti duž ravne linije jer je referentni okvir Zemlja koja rotira. To je slično učinku koji bi iskusio promatrač koji stoji na velikom gramofonu kada bi se neki objekt pomicao preko gramofona u ravnoj liniji u odnosu na "vanjski" svijet. Vidjelo bi se očito skretanje putanje pokretnog objekta. Ako se gramofonska ploča okreće u smjeru suprotnom od kazaljke na satu, prividni otklon bi bio udesno od smjera kretanja objekta, u odnosu na promatrača fiksiranog na okretnoj ploči. Coriolisov učinak postaje vrlo bitan faktor kada je riječ o nastanku morskih struja. Pojavljuje se kao uzrok „kružnog“ gibanja morskih struja. Kada je riječ o njegovom djelovanju na Sjevernoj polutki tada djeluje nadesno s obzirom na smjer gibanja, a na Južnoj polutki nalijevo. On nastaje zbog pojave razlika u brzini čestica na ekvatoru i na polovima. Poznata je činjenica kako se čestice puno brže kreću na ekvatoru

nego na polovima (6). Slika 2. prikazuje shematski prikaz smjera gibanja struja u izostanku drugih sila osim Coriolisove.



Slika 2. Shematski prikaz kretanja struja u djelovanju Coriolisovog učinka

Izvor: Miljević, I. (2019). Tople morske struje. Završni rad. Sveučilište u Dubrovniku.

Pomorski odjel

Ovaj izvanredni učinak očit je u ponašanju oceanskih struja. Zove se Coriolisova sila, nazvana po Gustave-Gaspard Coriolisu, francuskom inženjeru i matematičaru iz 19. stoljeća. Za Zemlju, horizontalna otklona zbog Coriolisove sile izazvane rotacijom djeluju na čestice koje se kreću u bilo kojem horizontalnom smjeru. Također postoje očite vertikalne sile, ali one su od manje važnosti za oceanske struje. Budući da se Zemlja okreće od zapada prema istoku oko svoje osi, promatrač na sjevernoj hemisferi primijetio bi skretanje tijela koje se kreće udesno. Na južnoj hemisferi to bi skretanje bilo prema lijevo. Kao rezultat toga, oceanske struje kreću se u smjeru kazaljke na satu (anticiklonalno) na sjevernoj hemisferi i suprotno (ciklonalno) na južnoj hemisferi; Coriolisova sila ih otklanja za oko 45° od smjera vjetra, a na ekvatoru ne bi bilo vidljivog horizontalnog otklona (7).

Može se pokazati da Coriolisova sila uvijek djeluje okomito na gibanje. Njegova horizontalna komponenta, C_f , proporcionalna je sinusu geografske širine (θ , dana kao pozitivna vrijednost za sjevernu hemisferu i negativna vrijednost za južnu hemisferu) i brzini, c , tijela koje se kreće. Dana je kao $C_f = c (2\omega \sin \theta)$, gdje je $\omega = 7,29 \times 10^{-5}$ radijana u sekundi kutna brzina Zemljine rotacije (7).

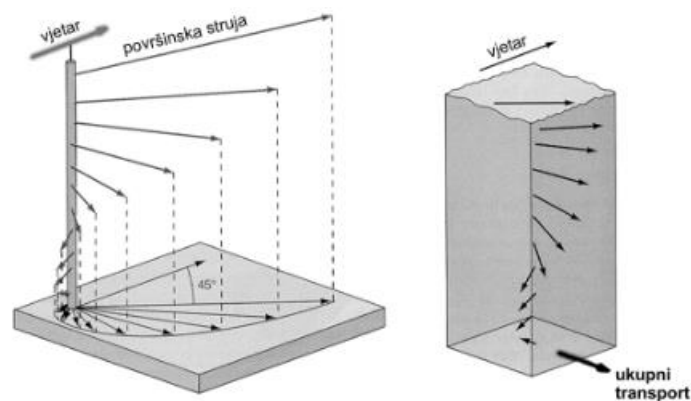
2.3.2. *Sile trenja*

Kretanje vode kroz oceane usporava trenje, a okolna tekućina kreće se različitom brzinom. Sloj tekućine koji se brže kreće ima tendenciju povlačenja duž sloja koji se sporije kreće, a sloj koji se sporije kreće teži smanjenju brzine sloja koji se brže kreće. Ovaj prijenos momenta između slojeva naziva se silama trenja. Prijenos momenta proizvod je turbulencije koja pomiče kinetičku energiju na manje skale sve dok se na skali od nekoliko desetaka mikrona (1 mikron = 1/1000 mm) ne rasprši kao toplina. Vjetar koji puše iznad površine mora prenosi zamah na vodu. Ova sila trenja na površini mora (tj. naprezanje vjetra) proizvodi cirkulaciju koju pokreće vjetar. Struje koje se kreću duž oceanskog dna i obala oceana također su podložne utjecaju trenja graničnog sloja. Nepomično oceansko dno uklanja zamah iz cirkulacije oceanskih voda.

2.3.3. *Ekmanova spirala*

Vjetar vrši pritisak na površinu oceana proporcionalno kvadratu brzine vjetra i u smjeru vjetra, čime se pokreće površinska voda. Ovo gibanje se proteže do dubine od oko 100 metara u onome što se naziva Ekmanov sloj, prema švedskom oceanografu V. Walfridu Ekmanu, koji je 1902. izveo te rezultate u teoretskom modelu konstruiranom da pomogne objasniti opažanja pomicanja vjetra na Arktiku. Unutar oceanskog Ekmanovog sloja naprezanje vjetra je uravnoteženo Coriolisovom silom i silama trenja. Površinska voda usmjerena je pod kutom od 45° prema vjetru, na sjevernoj hemisferi desno, a na južnoj hemisferi lijevo. S povećanjem dubine u graničnom sloju, trenutna brzina se smanjuje, a smjer se okreće dalje od smjera vjetra prateći spiralni oblik, postajući antiparalelan površinskom toku u podnožju sloja gdje je brzina $1/23$ brzine površinska brzina. Ova takozvana Ekmanova spirala može biti iznimka, a ne pravilo, budući da specifični uvjeti nisu često ispunjeni, iako se uočava skretanje površinske struje koju pokreće vjetar pod kutom nešto manjim od 45° kada polje vjetra puše stalnom snagom i smjer za veći dio dana. Prosječna čestica vode unutar Ekmanovog sloja kreće se pod kutom od 90° prema

vjetru; ovo kretanje je desno od smjera vjetra na sjevernoj hemisferi i lijevo na južnoj hemisferi. Taj se fenomen naziva Ekmanov transport, a njegovi se učinci naširoko opažaju u oceanima. Strujanje se javlja zbog međudjelovanja sila vjetra s površinom vode, rotacije Zemlje i sila trenja između slojeva vode. Kada se zbog pojave Coriolisove sile ili pojave vjetra na površini javi struja, trenje između gornjeg i sljedećeg sloja vode dovodi do toga da se i taj sljedeći sloj počne gibati. Pojava gibanja se prenosi na svaki sljedeći sloj, ali sa gubitkom u iznosu gibanja (8).



Slika 3. Ekmanova spirala

Izvor: Škola.gfz.hr (2024). Dostupno na: http://skola.gfz.hr/d6_4.htm (pristupljeno 02.08.2024.)

Budući da vjetar varira od mjesta do mjesta, mijenja se i Ekmanov transport, formirajući zone konvergencije i divergencije površinske vode. Područje konvergencije tjera površinsku vodu prema dolje u procesu koji se naziva downwelling, dok područje divergencije uvlači vodu odozdo u površinski Ekmanov sloj u procesu poznatom kao upwelling. Upwelling i downwelling također se javljaju tamo gdje vjetar puše paralelno s obalom. Glavna područja svijeta uzlaznih voda nalaze se uz istočnu granicu suptropskih oceanskih voda, kao, na primjer, obalno područje Perua i sjeverozapadne Afrike. Uzdizanje u ovim regijama hladi površinsku vodu i dovodi podzemnu vodu bogatu nutrijentima u suncem obasjan sloj oceana, što rezultira biološki produktivnim područjem. Upwelling i visoka produktivnost također se nalaze duž zona divergencije na ekvatoru i oko Antarktike. Primarna područja spuštanja su u suptropskim oceanskim vodama - npr. Sargaško more u sjevernom Atlantiku. Takva područja su lišena hranjivih tvari i siromašna su morskim životom (8).

Vertikalna kretanja oceanskih voda u ili iz baze Ekmanova sloja iznose manje od 1 metra (oko 3,3 stope) dnevno, ali su važna jer proširuju učinke vjetra na dublje vode. Unutar uzlaznog područja, vodeni stupac ispod Ekmanovog sloja je povučen prema gore. Ovaj proces, uz očuvanje kutne količine gibanja na rotirajućoj Zemlji, potiče vodeni stup da pomiče prema polovima. Nasuprot tome, silazno otjecanje tjera vodu u vodeni stupac ispod Ekmanova sloja, potičući pomicanje prema ekvatoru. Dodatna posljedica uzlaznog i nizvodnog strujanja za stratificirane vode je stvaranje baroklinskog polja mase. Površinska voda manje je gustoća od dublje vode. Ekmanove konvergencije imaju učinak nakupljanja manje guste površinske vode. Ova voda pluta iznad okolne vode, tvoreći brežuljak na razini mora i pokrećući anticiklonalno geostrofično strujanje koje se proteže znatno ispod Ekmanovog sloja. Divergencije čine suprotno: uklanjaju površinsku vodu manje gustoće, zamjenjujući je gušćom, dubljom vodom. To uzrokuje depresiju razine mora s ciklonalnim geostrofičkim strujanjem (8).

Uzrok oceanskih struja proizveden vjetrom izazvanim Ekmanovim transportom naziva se Sverdrupov transport, po norveškom oceanografu H.U. Sverdrup, koji je formulirao osnovnu teoriju 1947. Nekoliko godina kasnije (1950.) američki geofizičar i oceanograf Walter H. Munk i drugi proširili su Sverdrupov rad, objašnjavajući mnoge od glavnih značajki opće cirkulacije koju pokreće vjetar korištenjem srednjeg klimatološkog vjetra raspodjela naprezanja na površini mora kao pokretačka sila (8).

3. MJERENJE MORSKIH STRUJA

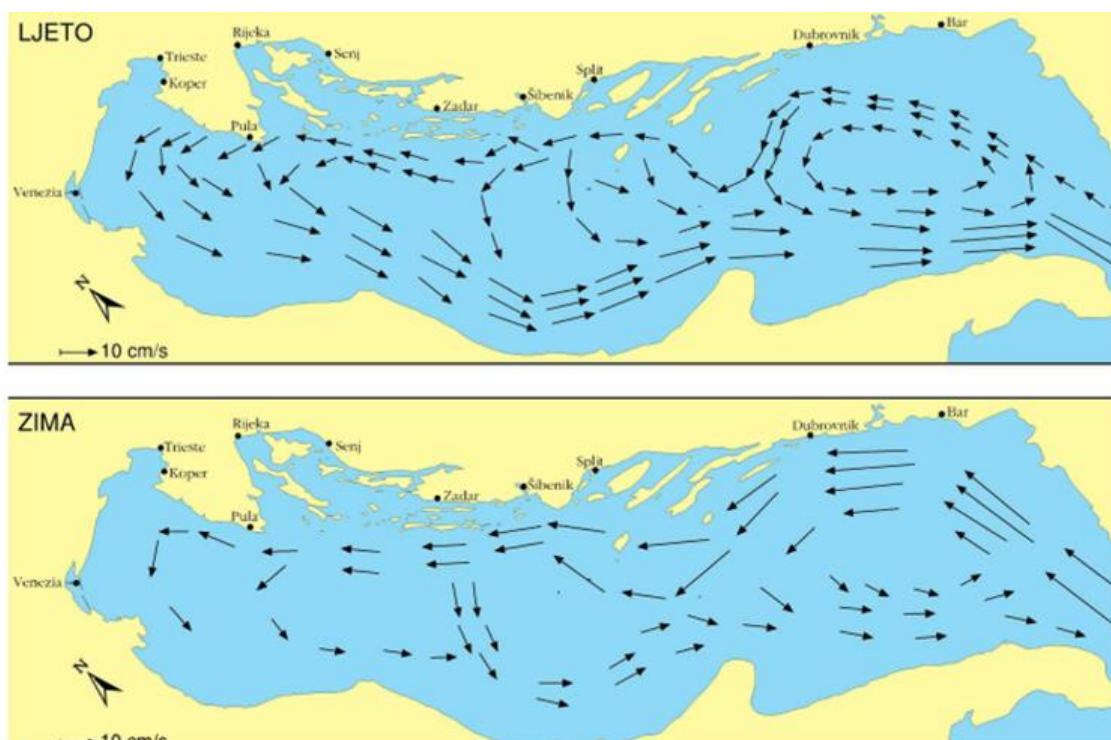
Kada je riječ o plovidbi, vrlo su važni smjer i brzina struje. Pravac je važan zbog smjera u kojem struja zanosi brod u plovidbi, a daljina je proporcionalna brzina koja u određenom vremenu struja zanese brod od položaja u kojem bi se nalazio da je plovio u mirnoj vodi. Smjer struje se mjeri istodobno s brzinom pa su prema tome strujomjeri u većini slučajeva napravljeni tako da pružaju mogućnost podataka za oba faktora. Kada je riječ o brzini struje ona se obično označava u čvorovima, a u nekim situacijama i m/s ili nm/d. Struje se prema tome mogu mjeriti na dva način, a to su: direktno ili indirektno. Kada je riječ o indirektnim metodama iz raspodjele nekih svojstava mora donose se zaključci o morskim strujama, a kada je riječ o direktnim one se nesporedno mjere prema parametrima koji opisuju strujno polje.

3.1. Indirektne metode

Kada je riječ o indirektnim metodama, tada postoje tri vrste koje mjere površinske struje (10):

1. Prva metoda se odnosi na određivanje unutarnje raspodjele gustoće morske struje i odgovarajućeg gradijenta tlaka u područjima oceana. Morska struja se giba i to paralelno s gradijentom tlaka.
2. Druga metoda se odnosi na radarske visinomjere. Oni su najčešće montirani na satelitima. Na taj način se određuju izbočine na površinama oceana, a one su rezultat oblika morskog dna ispod. Zahvaljajući tim podacima mogu se izraditi topografske karte koje navode brzinu i smjer površinskih struja.
3. Treća metoda se odnosi na korištenje Dopplerovog mjerača. Ovaj mjerač služi za prijenos niskofrekventnih zvučnih signala i to kroz vodu. Mjerač protoka mjeri pomak u pojavi frekvencije i to između emitiranih i reflektiranih zvučnih valova gdje se na taj način određuje kretanje struje.

Slika 4. prikazuje površinske struje u Jadranu koje su određene indirektnom geostrofičkom metodom.



Slika 4. Korištenje indirektna metode mjerenja morskih struja

Izvor: Mladin, A. M. (2022). Morske struje u Atlanskom oceanu. Završni rad. Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet

3.2. Direktne metode

Direktnom metodom struje se mjere na dva načina: mjerenjem zanosa ili mjerenjem struje s nepomičnog stajališta. Kada je riječ o mjerenju struje mjerenje zanosa predstavlja najstariji način mjerenja gdje su kod prvih mjerenja korišteni razni predmeti koji mogu plutati kao što su boce, bakrene lopte, drvo i slične stvari. Ova metoda se naziva i metoda nekontroliranog zanosa jer se predmeti puštaju s nekog mjesta gdje plutaju bez kontrole njihove pozicije i to sve dok se ne nasukaju na obalu. Ova metoda je mogla odrediti samo početnu i završnu poziciju predmeta. Također mogla je odrediti i vrijeme koje se provelo u moru te na taj način se određuje i prosječna brzina struje na mjestima gdje je taj predmet plutao. Tijekom 19. stoljeća je zbog toga u more bačen veliki broj boca i ostalih predmeta od kojih su neki plutali i više godina. Veliki dio tih predmeta se nakon bacanja nije ni pronašao, ali oni koji su se pronašli pružili su neke nove informacije o morskim strujama (6).

Druga metoda direktnog mjerenja morskih struja se odnosi na metodu kontroliranih zanosa koja je pružala puno točnije podatke. Kada je riječ o korištenju ove metode, podaci kao što su brzina i smjer su se mogli kontrolirati za vrijeme plutanja niz struju. Uz korištenje ove metode otkrili su se tokovi glavnih oceanskih struja te je na ovaj način prikupljeno najviše podataka sa svih mora i oceana. Kada je riječ o plovidbi brodova, provodi se procjena i brzina struje prema razlici između procijenjenog i pravog položaja broda u određenim trenucima. Kada je riječ o procijenjenom položaju broda tada ga pomorci određuju prema kursu u kojem brod plovi i to prema kompasu i prevaljenom putu koji se dobije uz korištenje brzinomjera. Nakon određenog vremena pomorci kontroliraju poziciju astronomskim metodama ili u današnjem vremenu uz korištenje GPS pozicije. Uz korištenje ovih metoda, dobiva se prava pozicija broda. Ukoliko se navedena pozicija ne poklopi s procijenjenom znači da tijekom putovanja, struja nije zanosila brod što je vrlo rijedak slučaj. Ipak se vrlo češće prikaže razlika između procijenjene i prave pozicije pa se prema tome može dokazati kako je neka sila tijekom putovanja zanosila brod. U obzir treba uzeti kako to može biti i vjetar, ali on ipak ima dosta slabiji utjecaj na zanošenja broda (6). Slika 5. prikazuje metodu direktnog mjerenja struja.



Slika 5. Metoda direktnog mjerenja morskih struja

Izvor: Miljević, I. (2019). Tople morske struje. Završni rad. Sveučilište u Dubrovniku.

Pomorski odjel

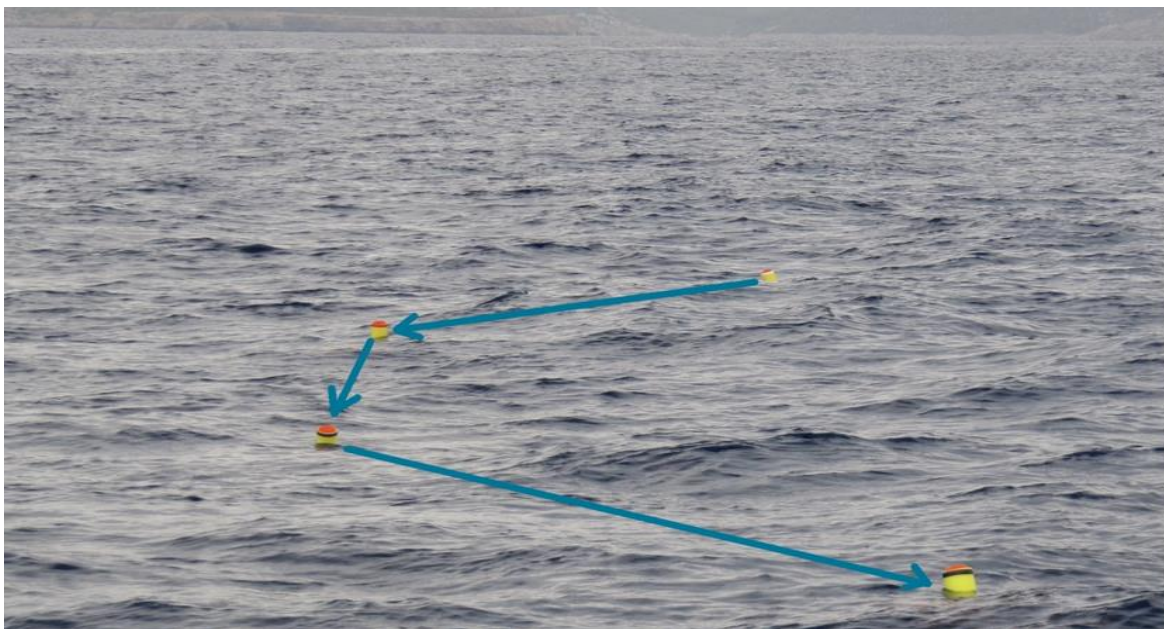
3.3. Uređaji za mjerenje morskih struja

U današnje vrijeme, uređaji za mjerenje morskih struja imaju vrlo sličan koncept kao i kroz povijest, ali glavna razlika je u tome što su današnji uređaji opremljeni s puno manjim uređajima za očitavanje podatka o strujama. Kada je riječ o plutajućim mjerilima oni se

nazivaju Lagrangova mjerila, a ovaj su naziv dobila prema matematičaru J. L. Lagrangeu koji je prvi opisao plutanje fluida. Također vrlo poznata vrsta mjerača je i Eulerovo mjerilo koje se nazvalo prema švicarskom matematičaru L. Euleru. Ovaj uređaj se nalazi na jednom mjestu i kao takav očitava podatke o smjeru i brzini struje koja je u njegovoj blizini.

3.3.1. Korištenje Langrangeove plutače

Lagrangeova metoda mjerenja, nazvana po matematičaru Josephu Louisu Lagrangeu (1736.-1813.), koji je prvi opisao putanju tekućine, sastoji se u postavljanju lebdećeg objekta da odluta s početne pozicije. Kada se lualica pronade i podigne, udaljenost, vrijeme i smjer koji je prešao, s obzirom na početnu točku, koriste se za izračunavanje brzine (intenziteta) i smjera struje (11). Mjerenje Lagrangeove struje je tehnika za mjerenje kretanja vode praćenjem staze čestice vode tijekom dugog vremenskog intervala. Uređaj se pušta u vodu i pušta se da s njim pasivno pluta. Mjerenja se mogu izvršiti, npr. praćenjem i iscertavanjem progresivnog položaja neutralno plutajućeg plovka za podzemne struje, ili plutajućeg stupa ili plutače za kretanja površinske vode.



Slika 6. Langrangova plutača

Izvor: Oceandivers.com (2024). How to measure currents. Dostupno na:

<https://www.oceandivers.com/how-to-measure-currents/> (pristupljeno 03.08.2024.)

Ova se metoda može provesti pomoću rudimentarnih instrumenata, kao što je bilo koji plutajući objekt (npr. spužva), mjerač vremena i bilježnica; ali danas tehnologija omogućuje napredne instrumente, opremljene GPS-om i drugim sensorima koji mogu pružiti poboljšane performanse i preciznost.

3.3.2. Eulerova metoda

Eulerova metoda, nazvana po švicarskom matematičaru Leonhardu Euleru (1707.-1783.), sastoji se u postavljanju fiksnog instrumenta na određeno mjesto u koje teče voda i koji mjeri brzinu i smjer tekućine u toj jednoj točki. Vremenske serije mogu se generirati u određenoj točki kako bi se dobili trendovi. Eulerovo mjerenje struje je tehnika za mjerenje smjera i brzine kretanja vode u nizu fiksnih točaka. Uređaj za mjerenje struje drži se na fiksnoj točki i dok voda teče pored, mjeri se njegova brzina. Niz mjerenja obavljenih u različito vrijeme ili na različitim mjestima može se ucrtati na karti kao pojedinačni strujni vektori ili strujne linije. Postoji niz uređaja za mjerenje Eulerove struje, a najčešći je mjerač struje s propelerom (12).

Akustični Doppler strujni profiler ili ADCP koristi se za mjerenje brzine kretanja vode kroz cijeli vodeni stupac. Mogu se koristiti na više načina. ADCP se može tegliti iza broda, usidren ili usidren za morsko dno ('gledajući' prema površini mora). Također se mogu učvrstiti vodoravno za mjerenje struje u (relativno) maloj površini vode. ADCP radi tako što šalje puls sonara i "osluškuje" povratni signal. Ovaj povratak dolazi od čestica u vodi, ako se čestice kreću podložne su Dopplerovom pomaku. Količina pomaka može se koristiti za izračunavanje brzine i smjera kojim voda putuje, dajući nam detaljne lokalizirane trenutne informacije (slika 7) (13).



Slika 7. Glava ADCP senzora s četiri sonde

Izvor: Seos-project.eu (2024). Dostupno na: <https://seos-project.eu/oceancurrents/oceancurrents-c06-p01.html> (pristupljeno 04.08.2024.)

4. ISTOČNOAUSTRALSKA STRUJA

4.1. Tihi ocean i tople morske struje

Tihi ocean je najveći i najdublji ocean na Zemlji. Prostire se na 60 milijuna četvornih milja od Kalifornije do Kine, a u određenim se regijama proteže desetke tisuća stopa ispod površine vode. Ime Pacific je verzija od *pacify* ili *peaceful*. Ime mu je dao istraživač Ferdinand Magellan 1520. godine dok je plovio kroz mirni dio vode na oceanu. Unatoč svom nazivu, Pacifik je golem vodena površina koja vrvi aktivnošću. Velik dio oceana još uvijek čeka da bude istražen, ali ljudske aktivnosti poput industrijskog ribolova, dubokomorskog rudarenja i izgaranja fosilnih goriva već ga značajno mijenjaju. Ogromna vodena masa dom je nekih od najunikatnijih oblika života na Zemlji i sadrži najdublje dijelove poznate čovječanstvu (14).

Od tri glavna oceana, Tihi je daleko najveći, zauzimajući otprilike jednu trećinu površine globusa. Njegovo područje, isključujući Južno kinesko more, obuhvaća oko 62,5 milijuna četvornih milja (161,76 milijuna četvornih kilometara). Ima dvostruku površinu i više nego dvostruki volumen vode od Atlantskog oceana, sljedećeg najvećeg dijela hidrosfere i njegova površina više nego premašuje površinu cijele kopnene površine globusa. Tihi ocean proteže se od Beringovog prolaza do 60° J geografske širine kroz više od 120° geografske širine, gotovo 9 000 milja (oko 14 500 km). Njegov najveći širinski opseg mjeri oko 12 000 milja (oko 19 000 km) duž geografske širine 5° N, između obala Kolumbije u Južnoj Americi i Malajskog poluotoka u Aziji. Prosječna dubina Pacifika (isključujući susjedna mora) je 14.040 stopa (4.280 metara), a njegova najveća poznata dubina je 36.201 stopa (11.034 metara) u Marijanskoj brazdi što je također najveća dubina pronađena u bilo kojem oceanu (14).

Na sjevernoj hemisferi Tihi ocean susreće se s Arktičkim oceanom u Beringovom moru. Na južnoj hemisferi Pacifik i Atlantik se miješaju u relativno uskom Drakeovom prolazu između Tierra del Fuego u Južnoj Americi i Grahamove zemlje na Antarktici, a Tihi ocean i Južni ocean susreću se na 60° J paralele. Razdvajanje između Tihog i Indijskog oceana je manje jasno, ali općenito se smatra da leži duž linije otoka koja se proteže istočno od

Sumatre, preko Jave do Timora, odatle preko Timorskog mora do rta Londonderry u Australiji. Na jugu Australije granica se proteže preko Bassovog tjesnaca i odatle od Tasmanije do 60° J (14).

Mnoga od glavnih obilježja Pacifika - njegovo dno, otoci i obale - mogu se objasniti teorijama o tektonici ploča i pomicanju kontinenata. Zemljina kora podijeljena je na tanke, krute ploče koje se kreću. Osim toga, oceanski grebeni tvore međusobno povezane lance podvodnih planina, nazvane Srednjoceanski greben, koji se protežu kroz svjetske oceane. Novi materijal kore se formira duž ovih grebena vulkanskim djelovanjem. Ovaj dodatak novog materijala odvaja ploče i stoga je izvor njihovog gibanja. Dok se oceanske ploče guraju prema kontinentalnim pločama sa srednjoceanskih grebena, one se spuštaju ispod kontinentalnih ploča u unutrašnjost Zemlje. Dok se spuštaju, formiraju se oceanski rovovi. To su relativno uske, linearne i duboke doline koje leže paralelno s kontinentalnim obalama. Pacifik ima najveći broj ovih rovova (14).

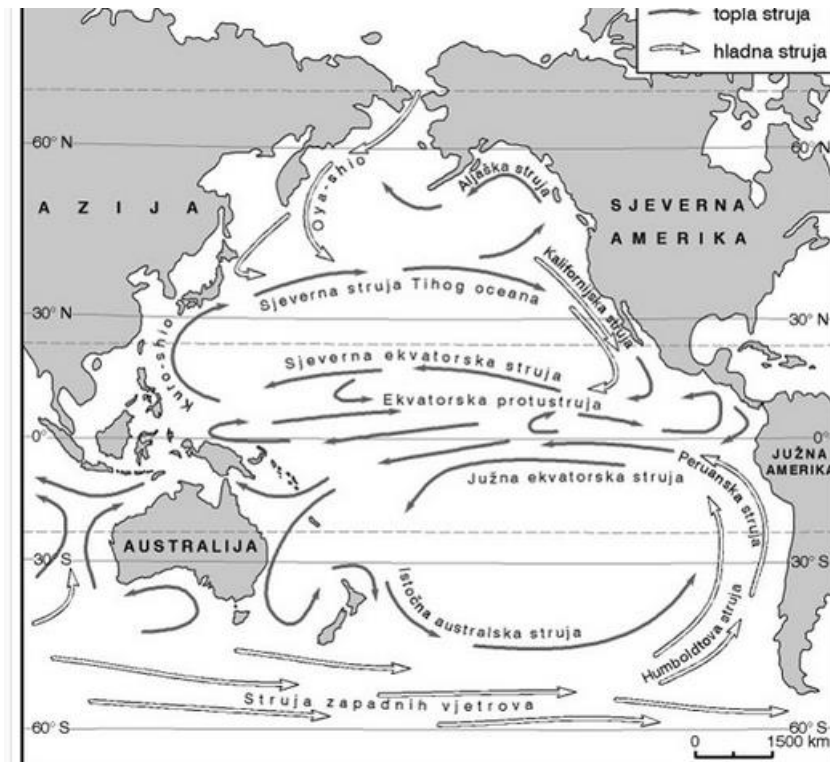
Kako se oceanske ploče spuštaju kroz rovove, uništavaju se. Bušenjem nije pronađena oceanska pločasta stijena starija od 200 milijuna godina. Stoga se čini da se oceanska kora formira na grebenima dok se uništava u rovovima u ciklusima koji se odvijaju milijunima godina.

Većina Tihog oceana leži na velikoj Tihooceanskoj ploči. U istočnom Pacifiku, u blizini Srednje Amerike, nalazi se mala ploča Cocos, a zapadno od Južne Amerike je ploča Nazca. Filipinska morska ploča nalazi se istočno od istoimenih otoka, a Euroazijska ploča nalazi se ispod mora zapadno od otoka istočne Azije. Dno Pacifika podijeljeno je na dva različita dijela, svaki otprilike pola dna. Istočna polovica ima nekoliko planina ili grebena, pa stoga i nekoliko otoka, ali zapadna polovica ima mnogo obojega. Istočni dio, ali ne i zapadni, presijecaju mnoge pukotine raspoređene u pojaseve koji se nazivaju zonama prijeloma i koji se protežu paralelno jedan s drugim uglavnom pod pravim kutom s obalama Amerike. Istočni Pacifik sadrži istočnopacifičko uzdizanje, dio Srednjoceanskog grebena. Istočnopacifičko uzvišenje leži više-manje paralelno s obalom Južne Amerike, ali nekoliko tisuća milja zapadno. Presijeca ga nekoliko prijelomnih zona. Približava se Sjevernoj Americi blizu jugozapadnog Meksika (14).

Mnoge otočne skupine u Pacifiku linearnog su oblika, s najvećim i najvišim otokom skupine na jednom kraju, a najnižim i najmanjim na drugom. Ova značajka vrijedi za Havajske otoke, objašnjava se kao rezultat povremenog pomicanja ploče preko onoga što se naziva vruća točka. Otopljeni vulkanski materijal izbacuje se iz vruće točke. Tamo se stvara velika masa materijala ako ploča dovoljno dugo zastane na tom mjestu. Na taj način nastaje vulkanski otok, odnosno greben. Ploča se pomiče, a drugi njezin dio leži iznad vruće točke, primajući svježi vulkanski materijal. U međuvremenu, stariji materijal, ako je postao otok, podložan je eroziji i stoga se istroši.

4.2. Tople morske struje Tihog oceana

Morske struje koje se nalaze na sjevernoj polutci se uglavnom kreću u smjeru kazaljke na satu, a kad je riječ o južnoj polutci tada se kreću obrnuto. Sjevernoekvatorska struja koja je tjerana vjetrovima se kreće širinom 15° N i to u smjeru zapada da bi kod Filipina ona skrenula na sjever i tako postala topla Japanska ili Kuroshio struja. Na oko 45° N Kuroshio struja se kreće prema istoku gdje se račva. Tada se dio struje kreće prema sjeveru i tu postaje Aleutska struja. Ostatak vode odlazi prema jugu i tada ponovo dolazi u području Sjevernoekvatorske struje. Aleutska struja se u blizini Sjeverne Amerike račva gdje tada sjeverni dio ulazi u Beringovo more i to prema smjeru kazaljke na satu. Južni krak tada usporava i on nastavlja prema jugu i to kao Kalifornijska struja. Južnoekvatorska struja prati ekvator i to u smjeru zapada. Kada se struja pojavi do Nove Gvineje ona skreće prema jugu gdje se na 50° S priključuje Antarktičkoj okopolarnoj struji. Kod čileanske obale, Južnoekvatorska struja se dijeli na jedan dio koji teče oko rta Horn i drugi koji skreće prema sjeveru i tako se formira u Peraunsku ili Humboldtovu struju (6). Slika 8. prikazuje tople struje Tihog oceana.



Slika 8. Tople struje Tihog oceana

Izvor: Enciklopedija.hr (2024). Tihi ocean. Dostupno na:

<https://enciklopedija.hr/clanak/tihi-ocean> (pristupljeno 08.08.2024.)

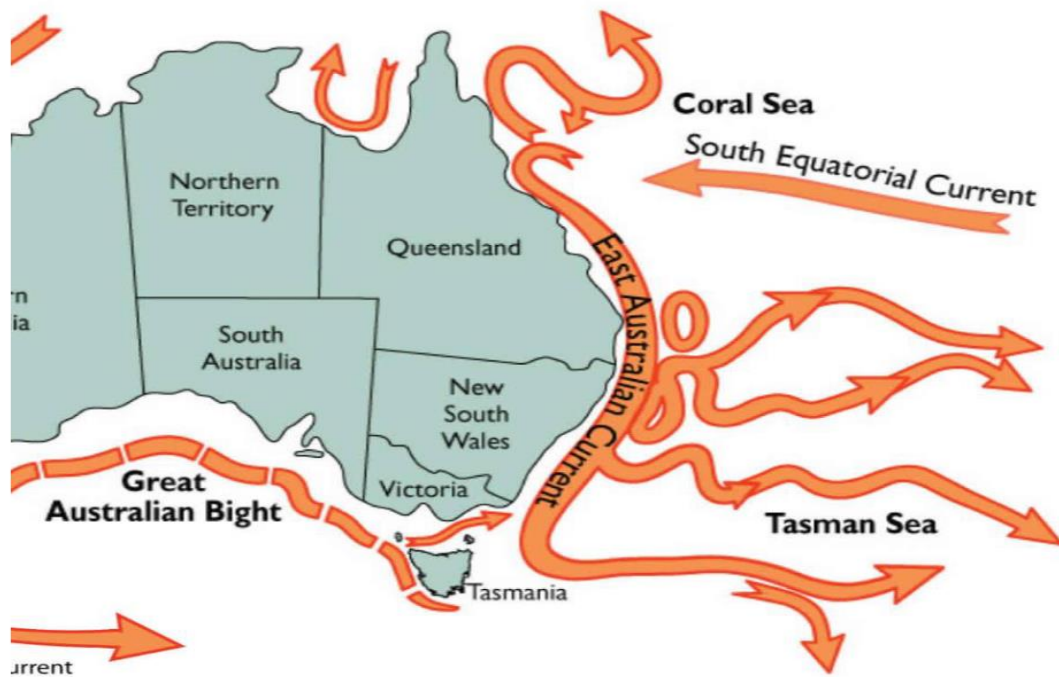
Ovom regijom dominira tok Istočne australske struje prema polu, koja je gotovo u punoj snazi kao zapadna granična struja nakon ušća mlaznica u Koraljnom moru i prelaska visoravni Marion. Uzvodno od otoka Fraser, Capricorn Eddy se može formirati, pojačavajući sjeverozapadni tok od jugoistočnih pasata na vanjskoj polici Capricorn Bunker grupe grebena. To može omogućiti stvaranje granične struje usmjerene prema sjeveru, čime se olakšava povezanost juga sa sjeverom. Južno od točke Waddy može se formirati vrtlog u zavjetrini otoka Fraser na obali EAC-a uzrokujući značajno podizanje i rezultirajući cvjetanjem fitoplanktona (15).

4.3. Istočnoaustralska morska struja

4.3.1. Obilježja istočnoaustralske morske struje

Istočnoaustralska struja (EAC) površinska oceanska struja je dio toka u smjeru suprotnom od kazaljke na satu u Tasmanovom moru, jugozapadni Tihi ocean. Tvore ju vodene mase

iz Koraljnog mora, ekvatorijalna voda koju pokreću monsunski vjetrovi od siječnja do ožujka i subtropski tok prema istoku od travnja do prosinca koji prolaze jugoistočno između grebena Great Barrier i Chesterfield (20° J geografske širine), paralelno s istokom obale Australije u Tasmanovo more. Sužavajući se kako se približava 25° J geografske širine, struja je najjača kod Cape Byrona, sjevernog Novog Južnog Walesa. Ono slabi i počinje se raspršivati iza 32° J zemljopisne širine, ali njezini ostaci nastavljaju ploviti prema jugu sve dok, kod Tasmanije, ne skrenu prema istoku i počnu teći prema sjeveru kao Tasmanova struja. Na površini joj je salinitet veći od 35 promila, povećavajući se do najviše 35,8 na dubini od 660 stopa (200 metara). Dostižući dubine veće od 3300 stopa (1000 metara), Istočnoaustralska struja prenosi oko 1100 milijuna kubičnih stopa (30 milijuna kubičnih metara) vode u sekundi. Slika 9. prikazuje struje na istočnoaustralskoj obali.



Slika 9. Struje na istočnoaustralskoj obali

Izvor: Setfoa.org.au (2204). Dostupno na: <https://setfia.org.au/wp-content/uploads/2016/10/EAC.png> (pristupljeno 10.08.2024.)

Glavno izvorište joj je Koraljno more. Koraljno more sadrži veliku raznolikost geomorfnih i oceanografskih obilježja, što dovodi do brojnih staništa i ekosustava, od morskog dna bezdana dubine preko 4000 m do koraljnih uvala obraslih vegetacijom iznad površine oceana. Ovo područje ugošćuje važna staništa i migracijske koridore koji održavaju

jedinstvene skupine organizama. Mnogi ekosustavi i ekološki procesi Koraljnog mora tek treba istražiti i opisati kroz znanstvena istraživanja (18).

Koraljno more je vodeno tijelo istočno od Velikog koraljnog grebena, omeđeno Papuom Novom Gvinejom na sjeveru, Tasmanskim frontom na jugu i zapadnopacifičkim otočnim lancima Salomonovih Otoka, Vanuatuom i Novom Kaledonijom na istoku. Australski dio Koraljnog mora ima granicu Ekskluzivne ekonomske zone kao svoju istočnu granicu.

Morsko dno kod istočne Australije oblikovano je širenjem morskog dna i slijeganjem glavnih karbonatnih platformi duž kontinentalnog pojasa. Geološku strukturu Koraljnog mora karakterizira bezdana ravnica na sjeveroistoku, niz visoravni i padina urezanih podmorskim kanjonima i odvojenih dubokim oceanskim jarcima, te sjeverni kraj lanca vulkanskih podmorskih planina na jugu. U plićim vodama, 18 sustava koraljnih grebena izranja iz strukturnih visokih točaka na visoravnima ili s vrhova podvodnih planina, mnogi s višestrukim malim grebenima koji čine njihov perimetar. Otprilike 49 zaljeva s vegetacijom i bez vegetacije jedina su kopnena staništa Koraljnog mora. Koraljno more obuhvaća pet eko-fizičkih pod-regija, svaka s jedinstvenim geomorfološkim značajkama, oceanskim strujama, pokretačima produktivnosti i ekološkim zajednicama (18).

Kako je vidljivo u dokumentarcu *Australia's Ocean Odyssey* morske struje su velike skrivene rijeke slane vode koje zapravo predstavljaju arterije i vene planeta Zemlje. One održavaju velike sustave života koji već milijunima godina pridonosi regulaciji Zemljine klime, atmosfere i biološke raznolikosti. Dokumentarac prikazuje nevjerojatnu raznolikost australskih podmorskih ekosustava te kako morske struje mijenjaju i stvaraju život na Zemlji. Dokumentarac prikazuje kako se prvi put u ljudskoj povijesti može vidjeti, izračunati i shvatiti kako je sve na Zemlji povezano. Istočnoaustralska struja kako je poznato donosi toplu promjenu hladnim i umjerenim morskim ekosustavima gdje se kao primjer mogu vidjeti migrirajući kitovi na svojim putovanjima na jug prema Antarktici. Ona je oblikovala australske nevjerojatne umjerne ekosustave te se njezina posljedica zagrijavajućeg utjecaja osjeća duž cijele obale (19).

Pacifik ima najraznovrsniji niz morskog života od svih svjetskih oceana. Miješanje vode u južnom i sjevernom polarnom dijelu Pacifika dopušta miješanje flore i faune iz drugih oceanskih regija. Umjerene i tropske površinske vode Pacifika imaju svoje morske vrste.

Na stjenovitim hladnovodnim obalama Sjeverne i Južne Amerike nalaze se golemo šumovita ležišta algi. Sastoje se od smeđih algi iz roda *Laminaria*, s pojedinačnim organizmima koji često dosežu visinu od 100 stopa (30 metara) ili više. Ležišta algi dom su bogatoj raznolikosti bezkralježnjaka i riba, s bioraznolikošću životinja gotovo jednakom onom u svjetskim prašumama. U toplim tropskim područjima oceana, osobito u zapadnom Pacifiku, bogatstvo morskih životinja dramatično raste. Zapadni Pacifik ima najbogatije i najopsežnije koraljne grebene od svih oceana. Oko šest puta više vrsta riba povezano je s pacifičkim grebenima nego s koraljnim grebenima Karipskog mora u Atlantiku. Veliki koraljni greben, kraj sjeveroistočne obale Australije, najduži je i najveći kompleks grebena na svijetu. Kitovi su istaknuta i spektakularna komponenta pacifičkog morskog života. Navike mnogih vrsta kitova uključuju redovite migracije na velike udaljenosti od područja za hranjenje s hladnom vodom do područja za razmnožavanje u toploj vodi (19).

Animirani Pixarov film *Potruga za Nemom* koji je nastao 2003. Godine prikazuje važnost Istočnoaustralske morske struje koja postaje kao autoput koji se nalazi u službi riba i morskih kornjača. Oni ovim putem prelaze putovanje uz obalu Australije na Jug pa sve do Sydneyske luke. Nastali film temelji se na stvarnim činjenicama gdje svakog ljeta struja odnose tisuće riba od velikih koraljnih grebena pa sve do Sydneyske luke ili čak dalje prema jugu.

4.3.2. Ponašanje istočnoaustralske morske struje

Istočnoaustralska struja (EAC) teče od sjevera prema jugu od vrha Velikog koraljnog grebena do južnih dijelova Tasmanije. Široka nevjerojatnih 100 kilometara i spuštajući se više od 500 metara u mračne dubine oceana, EAC se proteže duž istočne obale Australije s oko 4000 kilometara. To je poput ogromne podvodne pokretne trake koja transportira 30 milijuna kubičnih metara vode u sekundi brzinama koje dosežu i do sedam kilometara na sat. Da se to stavi u perspektivu, to je jednako više od 16 000 olimpijskih bazena koji teče uz obalu svake sekunde, što ju čini najvećom oceanskom strujom blizu obala Australije. Generirana ekvatorijalnim vjetrovima južnog Tihog oceana i rotacijom Zemlje, EAC je, poput svih oceanskih struja, više od brze rijeke slane vode. Struje su zaista neopjevani podvodni heroji. Oni su sustav klimatizacije oceana, igraju vitalnu ulogu u distribuciji i

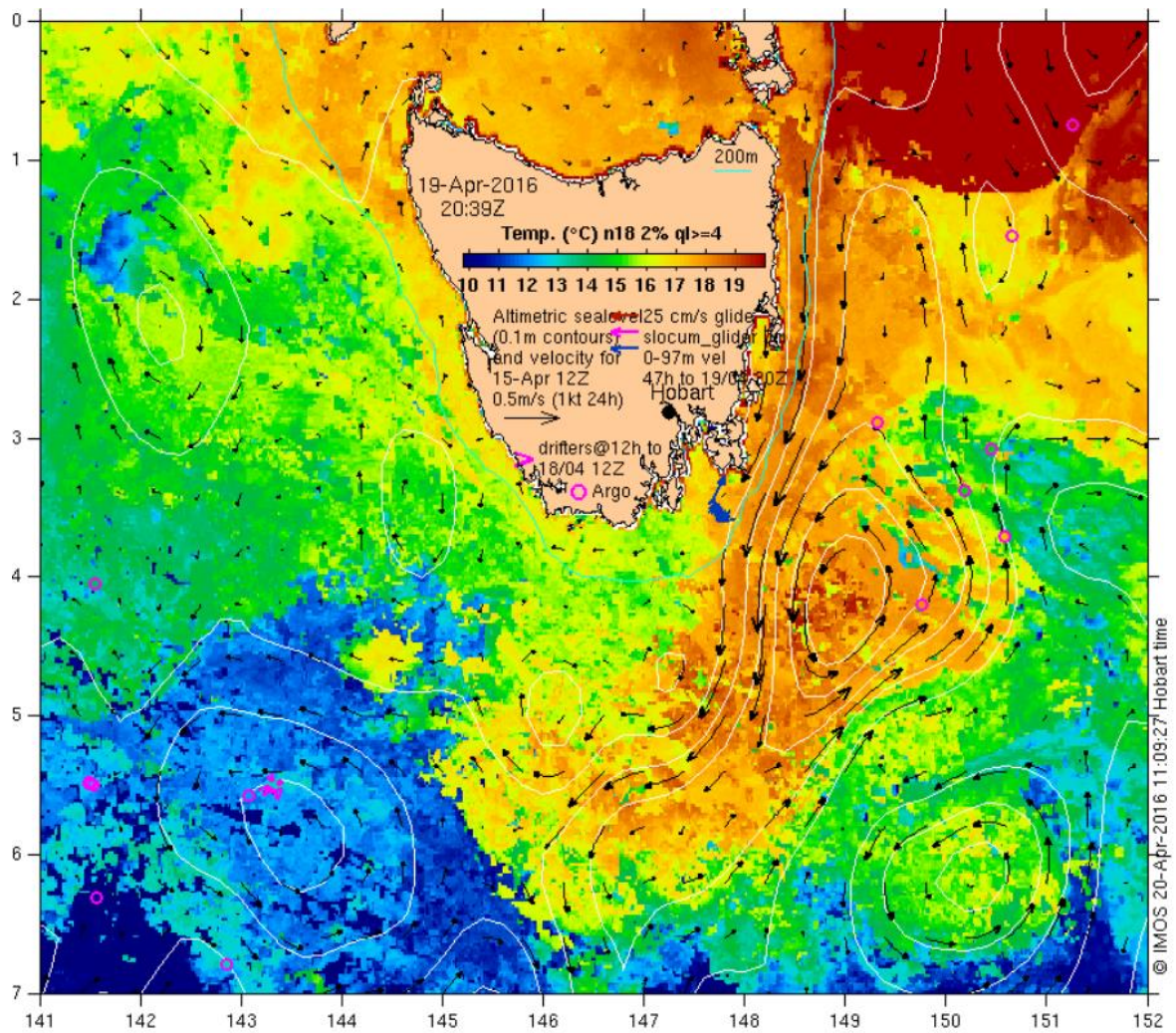
prijenosu topline iz tropskih krajeva u vode na jugu, utječući na produktivnost, biološku raznolikost i što raste gdje i kada (16).

EAC postiže maksimalnu brzinu na 30° J, gdje njegov protok može doseći 90 cm/s. Dok teče prema jugu, odvaja se od obale na oko 31° do 32° S. Do trenutka kada dosegne 33° S, počinje prolaziti kroz meandar prema jugu, dok se drugi dio transporta okreće natrag prema sjeveru u uskoj recirkulaciji. Na ovoj lokaciji EAC doseže svoj maksimalni transport od gotovo 35 Sv (35 milijardi litara u sekundi) (20).

Većina protoka EAC-a koji ne cirkulira kretat će se prema istoku u Tasmanovu frontu, prelazeći Tasmanovo more sjeverno od rta Novog Zelanda. Ostatak će teći prema jugu na EAC proširenju dok ne dosegne Antarktičku cirkumpolarnu struju. Prijenos Tasmanske fronte procjenjuje se na 13 Sv. Kretanje EAC-a prema istoku kroz Tasmansku frontu i ponovno spajanje s obalom Novog Zelanda formira Istočnu Aucklandsku struju. EAC također radi na transportu tropske morske faune u staništa u subtropskim regijama duž jugoistočne australske obale. Struja također zagrijava istočnu obalu zemlje (20).

4.3.3. Fizička oceanografija

EAC je površinska struja koju pokreću vjetrovi iznad južnog Pacifika. Ti vjetrovi kontroliraju ponašanje struje u različito doba godine. EAC počinje na zapadnom rubu Južnopacifičkog vrtloga gdje skuplja toplu vodu siromašnu hranjivim tvarima. Dok prolazi duž istočne obale Australije, nosi veliku količinu tople tropske vode od ekvatora prema jugu. To pridonosi uvjetima koji omogućuju da Veliki koraljni greben napreduje, održavajući istočnu obalu oko 18 °C tijekom cijele godine umjesto da zimi padne na 12 °C (20).



Slika 10. Toplinski tok u Istočnoaustralskoj struji od ekvatora prema Južnom polu
Izvor: Ridgway, K. R. i Godfrey, J. S. (1997). Seasonal cycle of the East Australian
Current. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 102 (C10): 2292–2293.

Struja nije bogata hranjivim tvarima, ali i dalje ima veliku važnost kada je u pitanju ekosustav. EAC prenosi toplinu iz tropskih krajeva u vodu i atmosferu. To dovodi do stvaranja toplih vrtloga jezgre. Na ovaj način se Tasmanskom moru omogućuje velika biološka raznolikost. Najjužniji vrh EAC-a može proizvesti ove vrtloge uz pomoći strujanja vjetra. kako se zbog Tasmanaove fronte koja je usmjerena prema zapadu stvaraju nestabilnosti u struji, meandar se tada odvaja i on formira vrtloge i to jednom ili čak dva puta godišnje (19).

EAC uzrokuje uzdizanje duž obale. Proizvedeni vrtlozi uzrokuju povećanje vertikalnog miješanja unutar Tasmanskog mora. Proces proizvodnje, pomicanja i uništavanja vrtloga uzrokuje miješanje sloja termoklime s površinskim slojem, donoseći neke hranjive tvari na

površinu. EAC i njezini vrtlozi često teku na kontinentalni pojas i priobalje, utječući na obrasce cirkulacije i povećavajući miješanje. Vrtlozi nisu jedini način na koji EAC donosi hranjive tvari na površinu. Značajke duž obale potiskuju struju dalje od obale. Ako puše jak sjeverni vjetar, on će gurnuti struju još dalje od obale, dopuštajući dubokoj vodi da se uzdigne uz obalu, donoseći hranjive tvari na površinu (20).

EAC varira sezonski. Najjača je ljeti, s ukupnim protokom od oko 36,3 Sv. Najslabija je tijekom zimskih mjeseci, teče oko 27,4 Sv. Tijekom proteklih 50-60 godina EAC se promijenio. Južno Tasmanovo more postalo je toplije i slanije od 1944. do 2002., uzrokujući jačanje toka i širenje prema jugu. Ova promjena u EAC protoku pokraj Tasmanije kontrolirana je suprotropskom oceanskom cirkulacijom južne hemisfere. Smatra se da je ovaj trend uzrokovan promjenama u obrascima vjetra zbog oštećenja ozona iznad Australije. Postoji snažan konsenzus s klimatskim modelima da će se ovaj trend nastaviti intenzivirati i ubrzavati tijekom sljedećih 100 godina. Predviđa se da će struja porasti za više od 20%, zbog povećanja južnopacifičkih vjetrova (20).

4.4. Važnost istočnoaustralske struje vjetra (struje drifta)

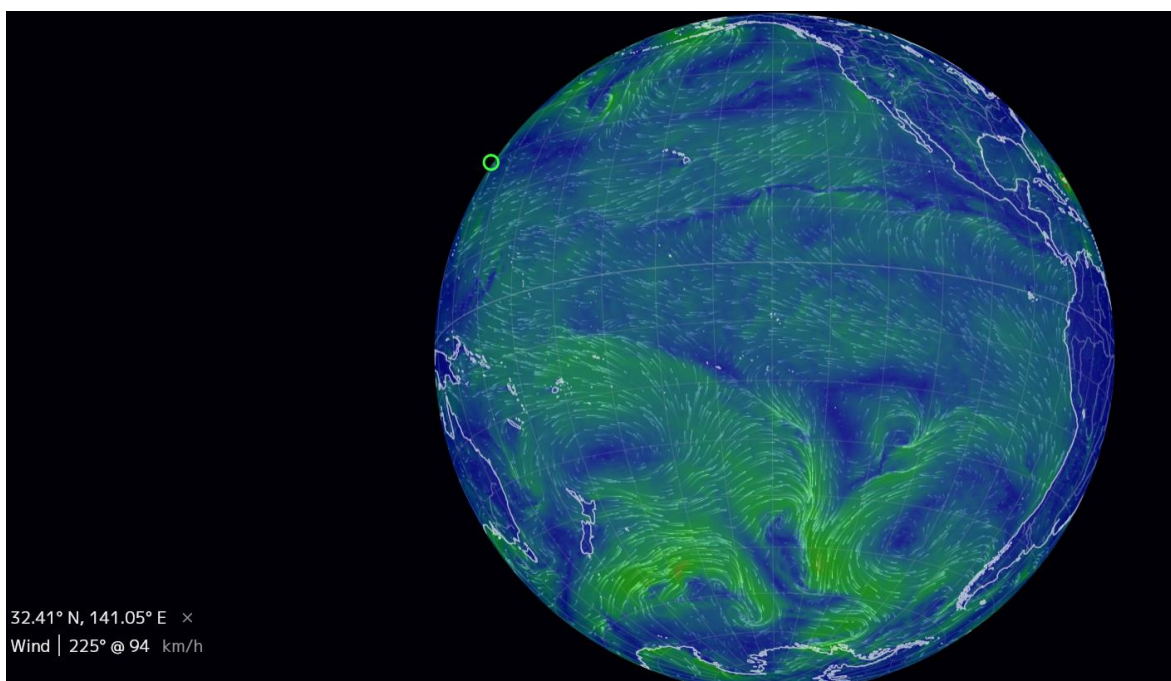
Struja koju stvara vjetar je strujanje u tijelu vode koje nastaje trenjem vjetra na njezinoj površini. Vjetar može generirati površinske struje na vodenim tijelima bilo koje veličine. Dubina i jakost struje ovise o jačini i trajanju vjetra, te o trenju i gubicima viskoznosti, ali su mehanizmom ograničeni na oko 400 m dubine, te na manje dubine gdje je voda plića. Na smjer strujanja utječe Coriolisov efekt i pomaknut je udesno od smjera vjetra na sjevernoj hemisferi, a ulijevo na južnoj hemisferi. Struja vjetra može potaknuti sekundarni tok vode u obliku uzlaznog i nizvodnog toka, geostrofskog toka i zapadnih graničnih struja (21).

Trenje između vjetra i gornje površine vodene površine povući će površinu vode zajedno s vjetrom. Površinski sloj vršit će viskozno povlačenje vode ispod, što će prenijeti dio zamaha. Ovaj se proces nastavlja prema dolje, uz kontinuirano smanjenje brzine protoka s povećanjem dubine kako se energija rasipa. Inercijski učinak planetarne rotacije uzrokuje pomak smjera toka s povećanjem dubine udesno na sjevernoj hemisferi i ulijevo na južnoj hemisferi. Mehanizam otklona naziva se Coriolisov učinak, a promjena brzine protoka s

dubinom naziva se Ekmanova spirala. Učinak varira ovisno o geografskoj širini, vrlo je slab na ekvatoru i povećava se s geografskom širinom. Rezultirajući protok vode uzrokovan ovim mehanizmom poznat je kao Ekmanov transport (21).

Stabilan vjetar koji puše preko dugog dohvata u dubokoj vodi dovoljno dugo da uspostavi stalan protok uzrokuje da se površinska voda pomiče pod 45° u odnosu na smjer vjetra. Varijacija smjera protoka s dubinom ima vodu koja se kreće okomito na smjer vjetra za oko 100 do 150 m dubine, a brzina protoka pada na oko 4% površinske brzine protoka do dubine od oko 330 do 400 m gdje je smjer protoka suprotan na smjer vjetra, ispod kojeg se učinak vjetra na struju smatra zanemarivim. Neto protok vode preko efektivne debljine struje u ovim je uvjetima okomit na smjer vjetra. Dosljedni prevladavajući vjetrovi postavljaju stalne kružne površinske struje u obje hemisfere, a gdje je struja ograničena kontinentalnim kopnenim masama, rezultirajući vrtlozi su ograničeni u uzdužnom opsegu. Sezonski i lokalni vjetrovi uzrokuju manja i općenito prolazna strujanja, koja nestaju nakon što pogonski vjetrovi utihnu (21). Slika 11. prikazuje kretanje struje vjetra na području istočnoaustralske morske struje.

Slika 11. Kretanje vjetra



Slika 11. Kretanje vjetra

Izvor: Oceanmotion.org (2204). Ocean in Motion. Dostupno na:

<http://oceanmotion.org/html/background/ocean-in-motion.htm> (pristupljeno 10.08.2024.)

Vjetar gura vodu u brda visokog tlaka koja za sobom ostavljaju doline niskog tlaka. Budući da je voda tekućina koja radije ostaje na ravnoj visini, to stvara nestabilnu situaciju. Slijedeći silu gravitacije, oceanska voda kreće se iz izgrađenih područja visokog tlaka prema dolinama niskog tlaka. Ali dok se voda kreće od brda prema dolinama, to čini zakrivljenom putanjom, a ne ravnom linijom. Ovo zakrivljenje rezultat je Zemljine vrtnje oko svoje osi. Na Zemlji je pravocrtno kretanje na velikim udaljenostima teže nego što se čini. To je zato što Zemlja neprestano rotira, što znači da se svaki objekt na njezinoj površini kreće brzinom kojom se Zemlja okreće oko svoje osi. Iz takve perspektive, nepokretni objekti su upravo to, nepomični. U stvarnosti, oni kruže okolo brzinom od otprilike 1000 milja na sat (1600 km/h) na Zemljinom ekvatoru. To je to rotiranje koje utječe na kretanje bilo kojeg objekta koji nije u izravnom kontaktu s površinom planeta, čineći da se ravne putanje zapravo savijaju. Također utječe na kretanje oceanskih struja (23).

Vjetar puše preko oceana i pomiče njegove vode kao rezultat svog trenja o površinu. Mreškanje ili valovi uzrokuju hrapavost površine potrebnu za spajanje vjetra s površinskim vodama. Vjetar koji ravnomjerno puše iznad duboke vode 12 sati prosječnom brzinom od oko 100 cm po sekundi (2,2 milje po satu) proizveo bi struju od 2 cm po sekundi (oko 2% brzine vjetra).

Da se Zemlja ne okreće, trenje između pokretnog zraka i površine oceana guralo bi tanki sloj vode u istom smjeru kao i vjetar. Ovaj bi površinski sloj zauzvrat povukao sloj ispod sebe, stavljajući ga u pokret. Ta bi se interakcija širila prema dolje kroz uzastopne slojeve oceana, poput karata u špilju, od kojih bi se svaki kretao naprijed sporijom brzinom od sloja iznad. Međutim, budući da se Zemlja rotira, plitki sloj površinske vode pokrenut vjetrom skreće desno od smjera vjetra na sjevernoj hemisferi i lijevo od smjera vjetra na južnoj hemisferi. Ovaj odklon je poznat kao Coriolisov efekt. Osim na ekvatoru, gdje je Coriolisov učinak jednak nuli, svaki sloj vode kojeg gornji sloj pokrene mijenja smjer zbog rotacije Zemlje (21).

Poznato je da su oceanske struje glavni mehanizam kojim se definiraju i povezuju vrijednosti u cijelom morskom krajoliku sjeveroistočne Australije. Na primjer, olakšavanjem raspršivanja ličinki i čestica ili širenjem klimatskih značajki (npr. morski

toplinski valovi koji mogu uzrokovati izbjeljivanje koralja). Površinska cirkulacija Koraljnog mora i epikontinentalnog pojasa Queenslanda prvenstveno je potaknuta dvama glavnim fenomenima (24):

- Prevladavajući vjetrovi koji variraju od umjerenih do jakih jugoistočnih (SE) traju od travnja do studenog i slabiji sjeverozapadni (NW) monsuni od prosinca do ožujka. Oni imaju tendenciju dominirati neto protokom u obalnim područjima i tamo gdje matrica grebena ometa zapadne granične struje Koraljnog mora, kao što je skupina grebena Swains i Pompeys.
- Južna ekvatorijalna struja (SEC) koja teče prema zapadu i račva se na kontinentalnom pojasu Queenslanda u struju Papuanskog zaljeva (GoP) koja teče prema ekvatoru i Istočnoaustralskoj struji (EAC) prema polu.

5. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu su obrađena obilježja i uzroci nastanka morskih struja, uređaji za njihovo mjerenje. Poseban naglas u ovom radu ističe se istočnoaustralska morska struja. Iz ovog rada može se zaključiti kako sve morske struje nastaju zbog razlika u temperaturi i slanosti tj. gustoći svjetskih mora, kao i pod stalnim utjecajem vjetrova. No ipak veliku ulogu ima i Coriolisova sila koja strujama stvara njihov vrtložni oblik. U radu su također analizirani i noviji uređaji koji služe za mjerenje morskih struja gdje se pojavom GPS-a vrlo ubrzano razvijaju. Prema tome može se doći do zaključka kako će u budućnosti postojati sve više podataka o morskim strujama jer i dalje postoje dijelovi koji su relativno neistraženi.

Istočnoaustralska morska struja se nalazi u Tihom oceanu. Tih ocean je najveći i najdublji ocen od triju oceana. Istočnoaustralska morska struja predstavlja morsku struju koja toplom vodenom masom ide duž istočne obale Australije i to prema jugu koji je suprotan smjeru kretanja kazaljke na satu. Ovo je najduža struja koja prolazi u blizini australskih obala. Glavno izvorište joj je Koraljno more. Ova struja također dovodi do stvaranja snažnih strujnih vrtloga u Tasmanovom moru i to između Novog Zelanda i Australije.

Tople morske struje imaju jako važan i i blagotvorni učinak na kopnu uz koje teku. Bez postojanja toplih morskih struja veliki dio morskih luka bi bio zaleđen, a životinjski i biljni svijet ne bi se mogao razvijati. Stoga se može vidjeti kako istočnoaustralska morska struja ima veliku ulogu u morskom strujanju kada je riječ o obogaćivanju života u oceanima što također utječe i na proizvodnju morske hrane. Utjecaj vjetra ima izrazito veliku moć na kretanje morskih struja. Istočnoaustralska morska struja prenosi toplu morsku vodu iz tropskih područja u velike geografske širine i na taj način dovodi do ublažavanja svjetske klime, gdje omogućuje veliku rasprostranjenost biljnog i životinjskog svijeta. Važnost poznavanja morskih struja kao prepoznavanje faktora koji utječu na njihov nastanak vrlo je važno za odabir morske rute jer pri odabiru morske rute koja ima povoljnije struje može dovesti do uštede na vremenu, gorivu, ali i na sprječavanju morskih nesreća i neprilika.

LITERATURA

1. Noaa.gov (2024). Ocean currents. Dostupno na: <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/ocean-coasts/ocean-currents> (pristup 01.08.2024.)
2. E-sfera (2024). Oceanske struje. Dostupno na: <https://www.e-sfera.hr/> (pristup 01.08.2024.)
3. Proleksis.izmik.hr (2204). Morske struje. Dostupno na: <https://proleksis.lzmk.hr/47534/> (pristupljeno 01.08.2024.)
4. Geovizija.com (2023). Kako nastaju morske struje. Dostupno na: <https://geovizija.com/morske-struje/> (pristupljeno 01.08.2024.)
5. Oceanblueproject.org (2023). Dostupno na: <https://oceanblueproject.org/ocean-currents-map/> (pristupljeno 02.08.2024.)
6. Miljević, I. (2019). Tople morske struje. Završni rad. Sveučilište u Dubrovniku. Pomorski odjel
7. Svafizika.org (2017). Dostupno na: <https://svafizika.org/2017/06/24/sta-je-to-coriolisov-ucinak/> (pristupljeno 02.08.2024.)
8. Uw.pressbooks.pub (2024). Dostupno na: <https://uw.pressbooks.pub/ocean285/chapter/the-ekman-layer/> (pristupljeno 02.08.2024.)
9. Škola.gfz.hr (2024). Dostupno na: http://skola.gfz.hr/d6_4.htm (pristupljeno 02.08.2024.)
10. Mladin, A. M. (2022). Morske struje u Atlanskom oceanu. Završni rad. Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet
11. Oceandivers.com (2024). How to measure currents. Dostupno na: <https://www.oceandivers.com/how-to-measure-currents/> (pristupljeno 03.08.2024.)
12. Encyclopedia.com (2024). Dostupno na: <https://www.encyclopedia.com/earth-and-environment/ecology-and-environmentalism/environmental-studies/eulerian-current-measurement> (pristupljeno 04.08.2024.)
13. Seos-project.eu (2024). Dostupno na: <https://seos-project.eu/oceancurrents/oceancurrents-c06-p01.html> (pristupljeno 04.08.2024.)
14. Mardešić, P. Riboli, A. (2003). Pomorska meteorologija. Impresum. Zagreb
15. Enciklopedija.hr (2024). Tihi ocean. Dostupno na: <https://enciklopedija.hr/clanak/tihi-ocean> (pristupljeno 08.08.2024.)

16. Ogsociety.org (2024). Featured Articles. Dostupno na: <https://www.ogsociety.org/journal/featured-articles/378-eac.html> (pristupljeno 10.08.2024.)
17. Setfoa.org.au (2204). Dostupno na: <https://setfia.org.au/wp-content/uploads/2016/10/EAC.png> (pristupljeno 10.08.2024.)
18. Benzie JAH, Williams ST (1992). Genetic structure of giant clam (*Tridacna maxima*) populations from reefs in the Western Coral Sea. *Coral Reefs*, 11(3): 135-141.
19. Dokumentarac Australia's Ocean Odyssey
20. Ridgway, K. R. i Godfrey, J. S. (1997). Seasonal cycle of the East Australian Current. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 102 (C10): 2292–2293.
21. Oceanmotion.org (2204). Ocean in Motion. Dostupno na: <http://oceanmotion.org/html/background/ocean-in-motion.htm> (pristupljeno 10.08.2024.)
22. Earth.nullschool.net (2024). Dostupno na: <https://earth.nullschool.net/> (pristupljeno 15.08.2024.)
23. Ocean.si.edu (2024). Currents, waves and tides. Dostupno na: <https://ocean.si.edu/planet-ocean/tides-currents/currents-waves-and-tides> (pristupljeno 15.08.2024.)
24. Brieva, D., Ribbe, J., Lemckert, C. (2015). Is the East Australian Current causing a marine ecological hot-spot and an important fisheries near Fraser Island, Australia? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 153:121 – 134.

POPIS SLIKA

Slika 1. Oceanske struje na karti svijeta

Slika 2. Shematski prikaz kretanja struja u djelovanju Coriolisovog učinka

Slika 3. Ekmanova spirala

Slika 4. Korištenje indirektno metode mjerenja morskih struja

Slika 5. Metoda direktnog mjerenja morskih struja

Slika 6. Langrangova plutača

Slika 7. Glava ADCP senzora s četiri sonde

Slika 8. Tople struje Tihog oceana

Slika 9. Struje na istočnoaustralskoj obali

Slika 10. Toplinski tok u Istočnoaustralskoj struji od ekvatora prema Južnom polu

POPIS TABLICA

Tablica 1. Podjela morskih struja prema oceanima