Površinske struje u oceanima

Akmadžić, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:164:699501

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Repository - Faculty of Maritime Studies - Split - Repository - Faculty of Maritime Studies Split for permanent storage and preservation of digital resources of the institution

zir.nsk.hr

UNIVERSITY OF SPLIT

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U SPLITU
POMORSKI FAKULTET U SPLITU

IVAN AKMADŽIĆ

POVRŠINSKE STRUJE U OCEANIMA

ZAVRŠNI RAD

SPLIT, 2018.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
POMORSKI FAKULTET U SPLITU

STUDIJ: POMORSKA NAUTIKA

POVRŠINSKE STRUJE U OCEANIMA

ZAVRŠNI RAD

MENTOR:
doc. dr. sc. Nenad Leder

STUDENT:
Ivan Akmadžić
(MB:0171270183)

SPLIT, 2018.

SAŽETAK

Svrha ovog završnog rada je upoznavanje s osnovnim parametrima oceanografije, a poseban naglasak je na upoznavanju površinskih struja u oceanima. U radu su analizirane osnovne karakteristike površinskih struja u oceanima, te njihov utjecaj na svakodnevni život i posebno plovidbu. Na temelju analize literaturnih podataka prikazane su metode mjerenja površinskih struja u oceanima i njihov utjecaj na plovidbu broda. Nužno je zbog povećanja sigurnosti plovidbe i boravka na moru posjedovati informacije i znanje o trenutnom stanju morskih struja. Podatci o morskim strujama mogu se pronaći na pomorskim kartama i priručnicima te oceanološkim prognozama. Tako dobivene informacije koriste se pri određivanju pomorskog puta. Zaključeno je da površinske struje imaju globalni utjecaj na svakodnevni život kroz meteorološke prilike i klimu, a direktno utječu na plovidbu broda.

Ključne riječi: *površinske struje u oceanima, pomorske karte i priručnici, plovidbeni putevi, klima.*

ABSTRACT

The purpose of final exam is to get acquainted with the basic parameters of oceanography, with special emphasis on acquainting surface currents in the oceans. The basic characteristics of surface currents in the oceans and their impact on everyday life, especially navigation, are analyzed in this exam. Based on the obtained data, the methods of measuring surface currents in the oceans and their impact on the navigation of the ship are presented. It is necessary to have the information and knowledge of the sea currents condition, due to the increase in sailing and seaworthiness. Sea currents data can be found on maritime charts and directory, and the information obtained is used to determine the maritime route. Surface currents have a global impact on everyday life through meteorological conditions and climate that affect the economic activity and directly affect the ship's navigation.

Keywords: *ocean surface circulation, nautical charts and directory, navigation paths, climate.*

SADRŽAJ

1. UVOD 2
2. MJERENJE POVRŠINSKIH MORSKIH STRUJA 3
   2.1. POVIJEST MJERENJA MORSKIH STRUJA 3
   2.2. METODE MJERENJA MORSKIH STRUJA 5
      2.2.1. Indirektne metode 5
      2.2.2. Direktne metode 6
   2.3. MJERENJE MORSKIH STRUJA U JADRANSKOM MORU 8
3. IZVORI OCEANSKIH POVRŠINSKIH MORSKIH STRUJA 12
   3.1. PODJELA MORSKIH STRUJA PREMA NAČINU POSTANKA 12
      3.1.1. Struje morskih mijena 12
      3.1.2. Gradijentske struje (struje gustoće) 13
      3.1.3. Struje vjetra (struje drifta) 14
   3.2. PUBLIKACIJE O MORSKIM STRUJAMA 15
4. GLAVNE KOMPONENTE OCEANSKIH POVRŠINSKIH MORSKIH STRUJA 18
   4.1. MORSKE STRUJE U TIHOM OCEANU 21
      4.1.1. Humboltova struja 22
      4.1.2. Kuroshio struja 22
      4.1.3. Oyashio struja 22
      4.1.4. Kalifornijska struja 23
      4.1.5. El Niño 23
   4.2. MORSKE STRUJE U ATLANTSKOM OCEANU 25
      4.2.1. Golfska struja 26
      4.2.2. Labradorska struja 27
      4.2.3. Benguelska struja 27
      4.2.4. Kanarska struja 28
   4.3. MORSKE STRUJE U INDIJSKOM OCEANU 28
      4.3.1. Aghulška struja 29
      4.3.2. Mozambička struja 30
      4.3.3. Zapadnoaustralska struja 30

5. ZAKLJUČAK 31
LITERATURA 32
POPIS SLIKA 34
POPIS TABLICA 35
POPIS KRATICA 36

1. UVOD

Gibanje morske vode gleda se kao vektorska veličina, te se dijeli na horizontalnu i vertikalnu komponentu. U horizontalnu komponentu spadaju morske struje, dok vertikalna komponenta obuhvaća uzdizanje i poniranje (upwelling and downwelling). Morske struje kao horizontalna komponenta gibanja morske vode su određene sa smjerom i brzinom [1].

Glavne sile koje uzrokuju kretanje vodenih masa su: sila koja nastaje zbog horizontalnih razlika u gustoći mora i takve struje se nazivaju gradijentske struje, zatim plimotvorna sila koja uzrokuje struje morskih mijena, sila potiska vjetra koja nastaje djelovanjem tangecijalne napetosti vjetra na površini mora, te Coriolisova sila. Uz sile koje uzrokuju strujanje značajan utjecaj imaju dimenzije i topografske karakteristike obale i morskog dna promatranog bazena [2].

Osnovna podjela morskih struja su tople morske struje čija je temperatura vode na strani okrenutoj prema obali viša od iste na strani okrenutoj prema otvorenom oceanu, na određenoj geografskoj širini, te hladne morske struje koje imaju suprotne karakteristike. Tople morske struje su najčešće usmjerene iz nižih geografskih širina prema višim, tj. iz tropskih i sutropskih područja prema umjerenim i polarnim područjima. Također, u izvornim područjima povećano je isparavanje i salinitet. Hladne morske struje su najčešće usmjerene iz viših širina prema nižim, tj. iz umjerenih i hladnih područja prema tropskim i suptropskim područjima. U spomenutim područjima smanjeno je isparavanje i salinitet. Morske struje promatrane s gledišta navigacije imaju značajniji utjecaj na plovidbu u područjima gdje je izražena morska struja. Morska struja nije konstantna, pa se tako mijenja u pojedinim područjima i vremenskim razdobljima, tj. zabilježene su prostorne i vremenske promjene smjera i brzine [1].

Završni rad se sastoji od pet temeljnih poglavlja. Nakon uvoda, drugo poglavlje opisuje povijest i metode mjerenja morskih struja. Treće poglavlje bavi se pitanjem izvora, odnosno uzroka morskih struja. Četvrto poglavlje opisuje glavne komponente oceanskih strujanja i podjela, prikazan je opis najvećih morskih struja u oceanima, te njihov utjecaj na navigaciju, zatim globalni, nacionalni i regionalni utjecaj.

2. MJERENJE POVRŠINSKIH MORSKIH STRUJA

2.1. POVIJEST MJERENJA MORSKIH STRUJA

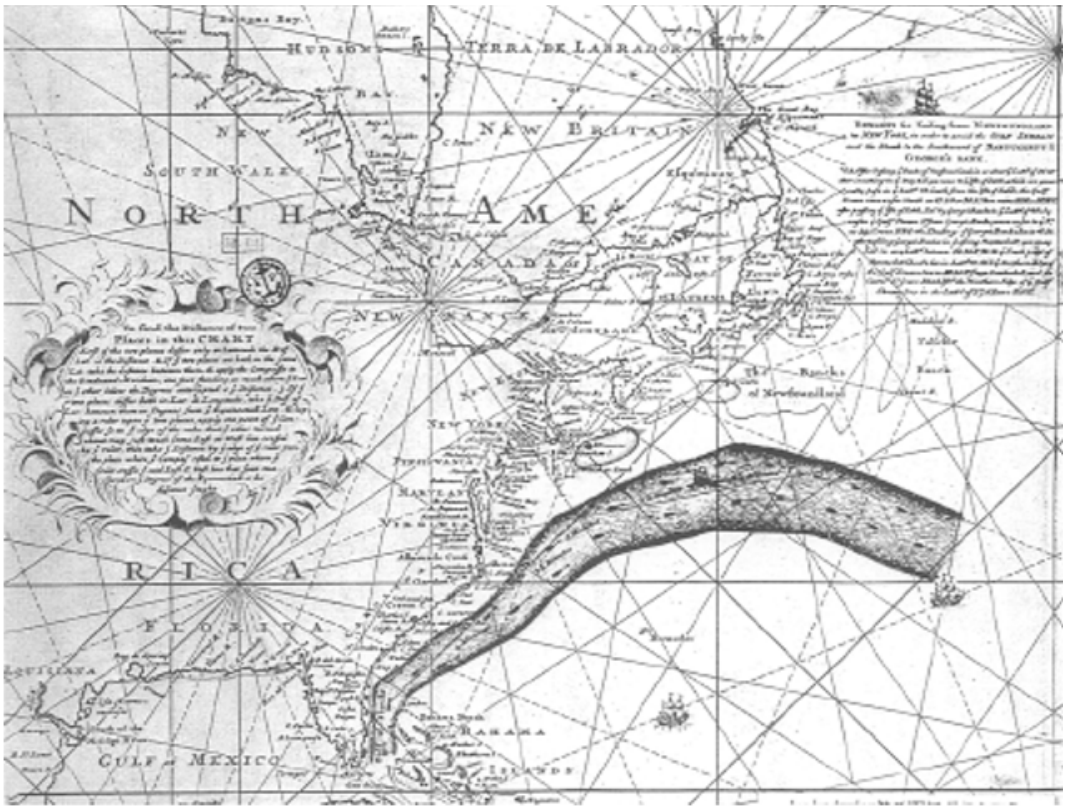
Oceanografija obuhvaća jako široko područje gdje se susreću razne znanosti, a sve s ciljem istraživanja, proučavanja i analiziranja oceana i mora. Četiri su osnovne znanosti koje se bave proučavanjem mora [3]:

- Fizika mora (physical oceanography): proučava gibanja u moru (struje, oscilacije) i njegova svojstva kao što su salinitet, temperatura, tlak i vodene mase, te odnos između atmosfere i mora;
- Geologija mora (geological oceanography): proučava granice između kopna i mora kao i procese koji su doveli do stvaranja oceana i mora.
- Kemija mora (chemical oceanography): proučava sastav morske vode i procese koji se odvijaju u njoj;
- Biologija mora (biological oceanography): proučava organizme u moru i njihov utjecaj na okolinu u kojoj žive;
- Inženjerska oceanografija, kao posebno područje, bavi se dizajniranjem i stvaranjem opreme i instrumentacije za korištenje u moru [3].

Prve primitivne karte strujanja u oceanima su napravili pomorci. Benjamin Franklin, uz svoja mnogobrojna dostignuća, bio je i znanstvenik koji je radio na mjerenju i istraživanju fizičkih osobina oceana. Njegov cilj je bio smanjiti vrijeme koje je bilo potrebno za protok vijesti i tereta preko Atlantika iz Europe u Ameriku (slika 1). Još jedan izvor vezan za istraživanje fizičkih osobina oceana provodili su znanstvenici koji su išli s britanskom istraživačkom ekspedicijom. Glavni znanstvenik te ekspedicije bio je Charles Darwin, koji je išao na navedeno istraživanje s brodom HMS Beagle. Putovanje se odvijalo uzduž jugoistočne obale Južne Amerike. Darwin je tijekom putovanja mjerio fizičke parametare oceana kao što su temperature, slanost i cirkuliranje vodenih masa. U 18. stoljeću, organizirane su znanstveno istraživačke oceanske ekspedicije u kojima su otkriveni, do tad, još neki fizički parametri oceana. Jedan od najuspješnijih oceanskih istraživača je bio kapetan James Cook koji je napravio tri glavna istraživačka putovanja između 1768. i 1780. Na tim putovanjima, promatrani i proučavani su bili strujanje oceana, vjetar i temperature na različitim lokacijama [4].

O kasnijim istraživačkim ekspedicijama postoji više informacija, jer su pridonijele više o otkrivanju fizičkih osobina oceana. Tu se svrstava norveški brod Fram. To je brod koji je plovio najsjevernije i najjužnijedo tad. Do pojave Titanica ovaj brod je bio najpoznatiji na svijetu. Norveški institut za polarna istraživanja nosi ime Fram, a i zaljev u kojem se nalazi muzej sa brodom također nosi njegovo ime. Fridtjof Nansen je 1890. naručio brod koji će biti sposoban izdržati ekstremne uvjete na ledu od brodograditelja Colina Archera. Otto Sverdrup, kapetan broda je na prvoj ekspediciji i uz Nansena začetnik ideje o Framu, vodio je drugu ekspediciju, od 1898. do 1902. u kojoj je brod skoro izgubljen u požaru. Ekspedicija je imala zadatak kartiranja i istraživanja sjeverozapadnog Grenlanda koristeći mjerenja napravljena u istraživanju s brodom Fram. U tom razdoblju pojavljiva se švedski fizičar Ekman koji je razvio svoju teoriju o morskim strujama izazvanima djelovanjem vjetra. Usprkos ovim uspjesima s Framovim podacima, Nansen je shvatio da je mogao mnogo više učiniti. To ga je motiviralo za daljnjim istraživanjima pa je tako došlo do razvoja dinamičke metode za procjenu geostrofične oceanske struje. Ova metoda je također razvijena u Bergenu koja je omogućila stavljanje na kartu sva strujanja s kojima su se susreli u sjevernom Atlantiku. Dinamička metoda je unaprijeđena od strane Wilhelma Bjerknesa, profesora meteorologije na Sveučilištu u Oslu. Dva druga skandinavska fizička oceanografa u ovom razdoblju bili su Johan Sandstrom i Bjorn Helland-Hansen. Oboje su bili zainteresirani za cirkulaciju oceana i njegovo mjerenje. Norveška zajednica Mora i ribarstva je pozvala Hellanda-Hansena, Nansena, i Johana Hjorta za sudjelovanje na prvom krstarenju svog novog istraživačkog plovila [4].

Pažljivo proučavanje Norveškog mora od strane Nansena i Hellanda-Hansena bilo je najtemeljitije proučavanje nekog dijela oceana na svijetu do tada. Nova metoda proračuna geostrofičkih struja dobila je veliku ulogu u određivanju cirkulacije Norveškog mora. Ova dinamička metoda se proširila i na druge regije. Oko 1924. njemački oceanograf Georg Wurst primijenio je dinamičku metodu na Atlantskom oceanu uz obalu Floride. Usporedio je rezultate prikupljene do 1880. godine s podatcima koje je dobio metodom dinamičkog proračuna. Još jedan primjer dinamičke metoda nastalo je kada je International Ice Patrol (IIP) počeo računati cirkulaciju sjeverozapadnog Atlantika za praćenje ledenjaka čije je kretanje uzrokovano morskim strujama [4].



Slika 1. Franklinova i Folgerova karta Golfske struje [4]

2.2. METODE MJERENJA MORSKIH STRUJA

Kada se određuje strujno polje u moru koriste se indirektne i direktne metode. Kod prvih se iz raspodjele nekih svojstava mora zaključuje o morskim strujama, dok se kod drugih neposredno mjere parametri koji opisuju strujno polje. Najpoznatija indirektna metoda je metoda geostrofičke aproksimacije za koju je potrebno poznavanje temperature i saliniteta. Za direktno mjerenje koriste se Lagrangeova i Eulerova metoda [2].

2.2.1. Indirektne metode

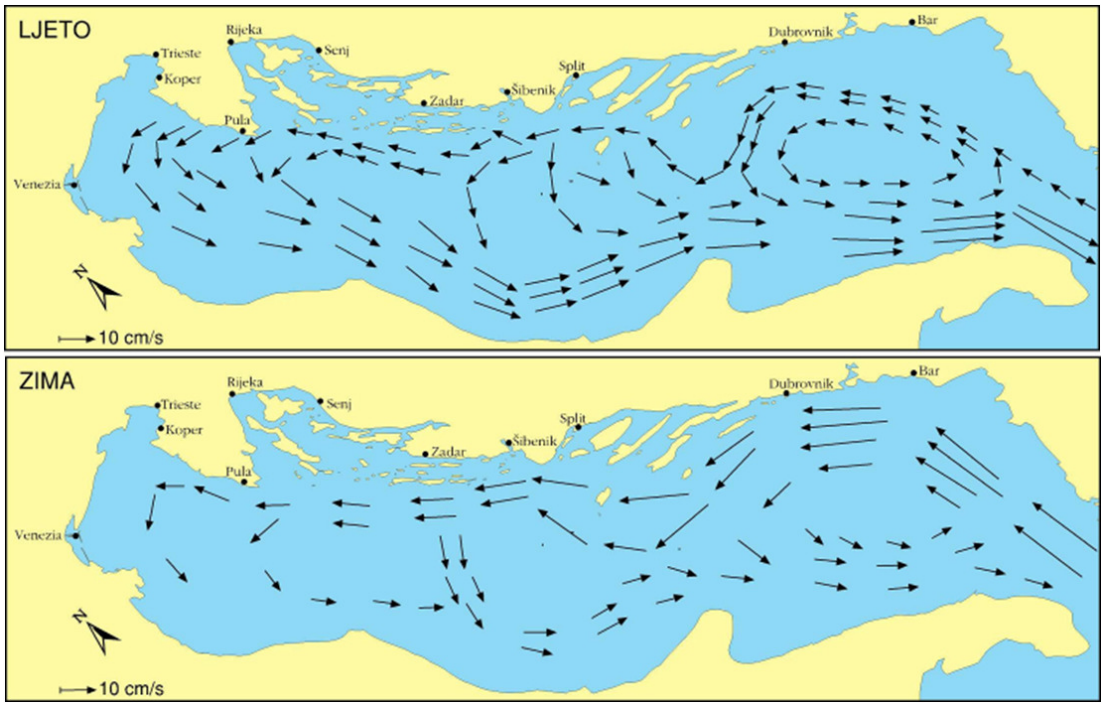
Indirektne metode sastoje se od mjerenja drugih parametara koje kasnije povezujemo sa strujama u moru. Primjer indirektne metode je analiza gibanja vodenih masa preko temperature i saliniteta.

Indirektne metode mjerenja morskih struja su [5]:

- Metoda jezgre je metoda kojom se logički zaključuje otkud je voda određenih karakteristika mogla doći, otkud voda povećanog saliniteta u srednjem sloju, te se

postavljaju pitanja otkud voda veoma niskog saliniteta i temperature na dnu i kakva je cirkulacija zimi, a kakva ljeti;

- Klasična metoda dinamičkog računa (proračun geostrofičkih struja) je metoda u kojem se strujanje određuje na temelju raspodjele gustoće u moru. Raspodjela gustoće ovisna je o strujama i prema tome, iz raspodjele gustoće mogu se odrediti struje;
- Elektromagnetska metoda (geomagnetski elektrokinetograf). Za mjerenja su potrebni: milivoltmetar i dvije elektrode koje se spuste u more. Moguća su i mjerenja sa broda: brod za sobom vuče dvije elektrode (geomagnetski elektrokinetograf) [5].



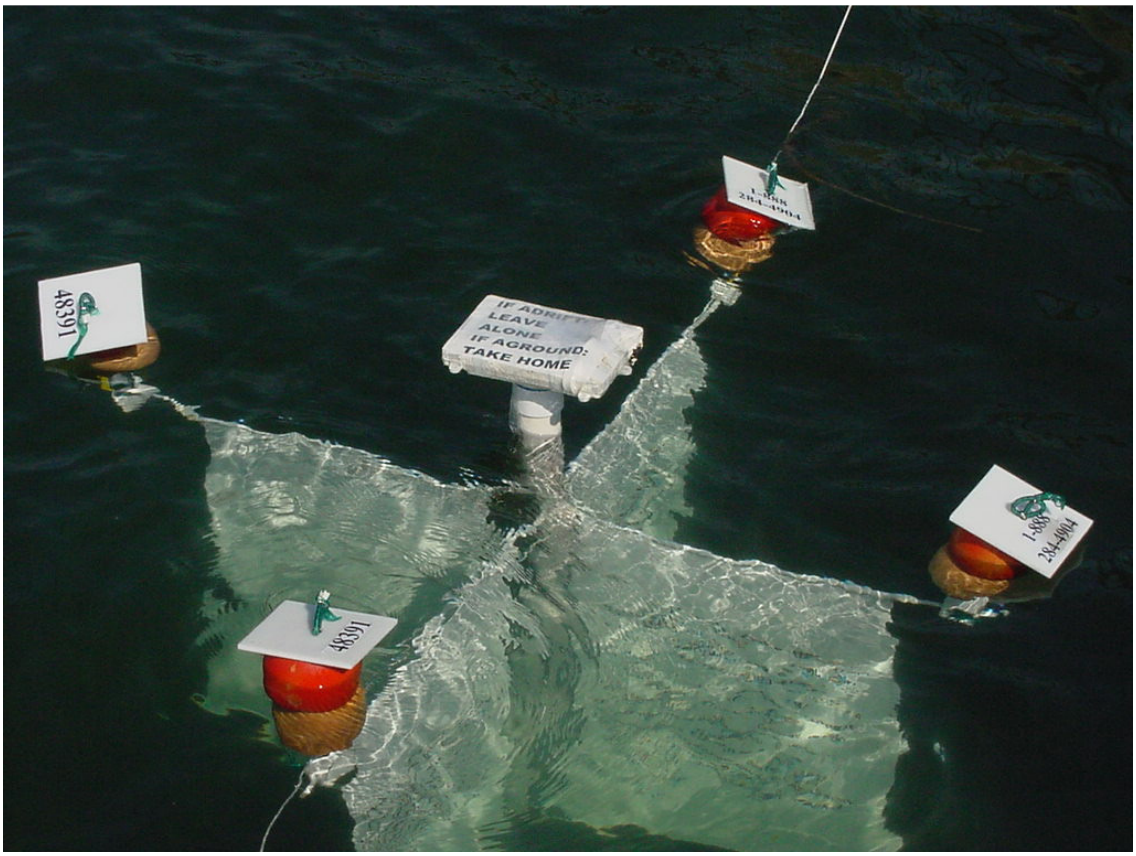
Slika 2. Površinske morske struje ljeti i zimi u Jadranu, (prema Zore-Armanda,1967.) [2]

2.2.2. Direktne metode

Suvremenija i preciznija metoda mjerenja morskih struja je direktna metoda koja se dijeli u dvije skupine. Zovu se Lagrangeova i Eulerova metoda.

Proučavanjem čestice vode koja se giba ili Lagrangeova metoda (slika 3). Čestica vode koja se giba može se pratiti bovom koja pluta na određenoj dubini i šalje svoju

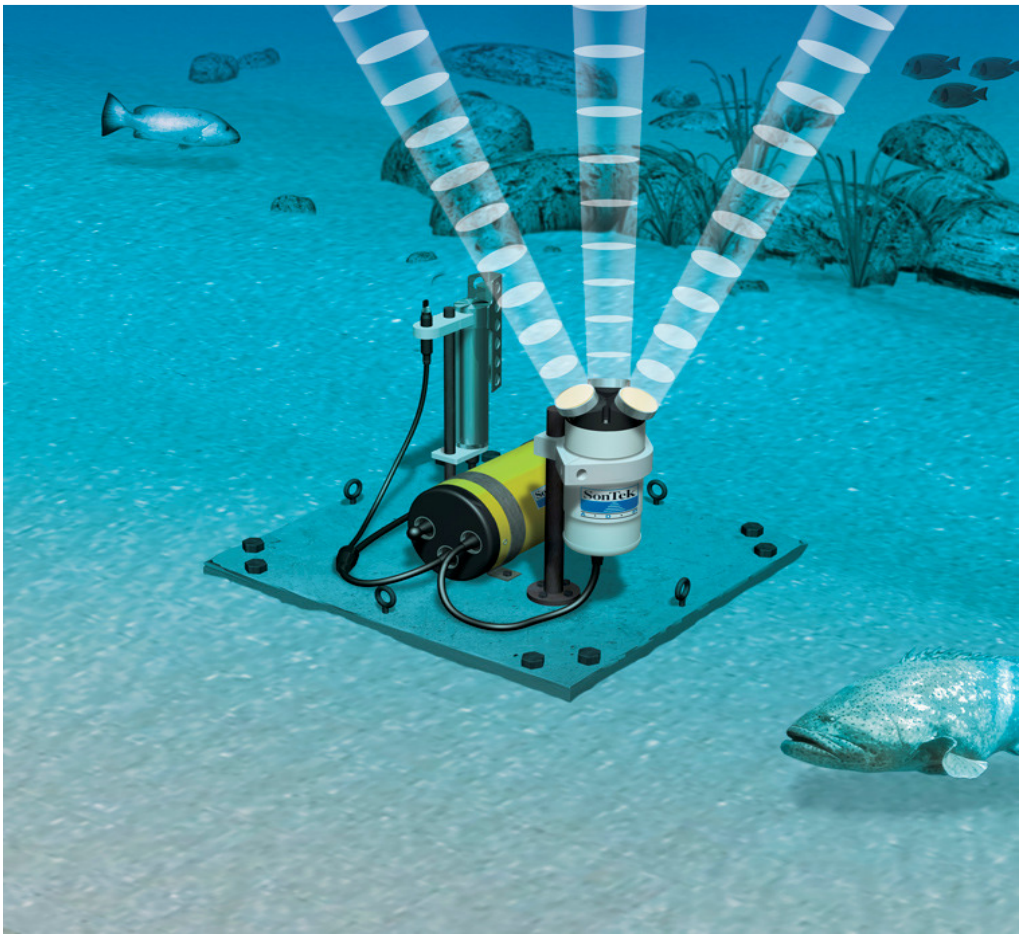
poziciju brodu. Voda na površini može biti označena bojom ili plutačom i satelitskim praćenjem utvrđuje se njena pozicija i izračunava brzina i smjer. Plovci koji plutaju na određenoj dubini, te im je uzgon podešen unaprijed tako da kad se ispuste u more, potonu i plutaju na određenoj dubini. Na početku razvoja ove metode komunikacija se odvijala radio vezom s brodom u kojoj je bilo potrebno s broda pratit plutaču na udaljenosti manjoj od 70 km, zatim komunikacija putem obalnih postaja do udaljenosti od 1000 km, te plutače koje plutaju određeno vrijeme na zadanoj dubini, zatim izranjaju, šalju signal satelitu pa ponovo uranjaju na zadanu dubinu. Prije su se struje mjerile preko boca i kartica ili zanošenjem broda, ali pokazalo se da su te vrijednosti bile dosta podcijenjene [1].



Slika 3. Lagrangeova metoda- satelitiski praćeni površinski drifter [6]

Određivanjem fiksne točke u prostoru i mjereći smjer i brzinu vode koja prolazi kroz tu točku ili Eulerova metoda. Strujomjeri služe za mjerenje smjera i brzine struja u moru u fiksnoj točki. Klasični strujomjer sastoji se od rotora koji mjeri brzinu strujanja i krila koje određuje smjer. Ako je strujomjer spojen na brod moguće je direktno očitavati vrijednosti, a ako je strujomjer autonoman tada interno zapisuje vrijednosti i nakon vađenja iz mora očitaju se svi podaci. U novije doba koriste se ADCP-i (Acoustic Current Doppler

Profiler, slika 4) koji imaju mogućnost mjerenja struja u više slojeva i vrlo dobro zamjenjuju klasične strujomjere [2]. ADCP strujomjeri odašilju kratke zvučne signale u stupac morske vode. Suspendirane čestice koje se gibaju morskim strujama reflektiraju zvučne signale. Primopredajnik ADCP-a prima reflektirane signale. Čestice koje se gibaju prema instrumentu proizvode signale (zvučne zrake) različite frekvencije od onih čestica koje se gibaju od instrumenta. To je Dopplerov pomak frekvencija koji omogućava precizno mjerenje smjera i brzine morske struje uzduž cijelog vertikalnog profila [5].

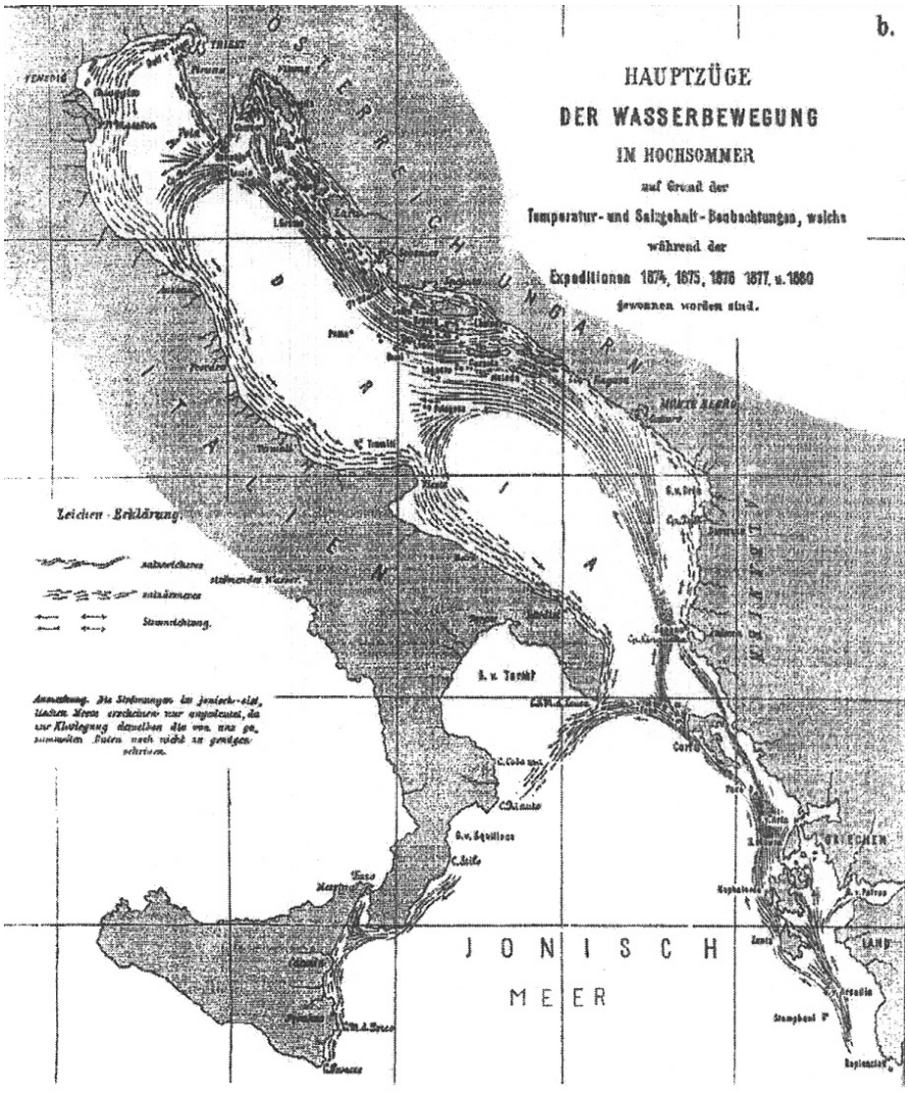


Slika 4. ADCP (Acoustic Current Doppler Profiler) [7]

2.3. MJERENJE MORSKIH STRUJA U JADRANSKOM MORU

Prve pisane rasprave o nekim fizikalnim pojavama na Jadranu potječu iz šesnaestog stoljeća, kada su se humanisti počeli zanimati za neke pojave na moru. Neki opisuju struje nastojeći sistematizirati podatke koje su prikupili pomorci. Zanimljivo je, da je 1663. u Hagu izašla knjiga Issaca Vossa "De motu marinum et ventorum liber" u kojoj su pisane i

jadranske struje i to kao ciklonalni vrtlog. Kasnije struje još opisuju Bianchi, točnije 1739, Filiasi 1820. i Prina 1816. godine. U peljaru iz 1830. Talijanski kapetan Giacomo Marieni opisuje glavnu jadransku struju, koja teče od Krfa prema sjeveru (slika 5). Međunarodna komisija za istraživanje Jadrana je zatim razvila zapaženu aktivnost i zainteresiranost za Jadranskim morem. Od 1911. do 1914., točnije do početka Prvog svjetskog rata, traju sustavna sezonska krstarenja brodovima Najade i Ciclope. Uz prikupljanje osnovnih hidrografskih podataka, Ciclope je mjerila struje pomoću boca plovaka, koje je analizirao Feruglio te izradio novu kartu površinskih struja za Jadransko more. Dobro su uočene transverzalne struje u području pragova (Otrantski i Palagruški) i južno od Istre. Sedamdesetih se godina oceanografija susreće s problemom polucije. To je pojačalo interes za obalna istraživanja, ali je zahtijevalo uvođenje niza novih metoda, osobito u kemijsku oceanografiju [8].



Slika 5. Površinsko strujanje ljeti prema Wolfu i Lukschu, 1887. [8]

Uvođenjem ektroničke oprema, počine mjerenje pomoću plutača, a počinju i opažanja iz satelita, premda ti podaci većim dijelom nisu dostupni našim oceanografima. Jedan pokušaj novog načina rješavanja dinamičkih problema bio je međunarodni program ALPEX/MEDALPEX 1982/83. U sjevernom Jadranu je određen poligon postaja s uronjenim plutačama s kojih su prikupljani podatci o temperaturi i strujanju. Računala omogućavaju posve nov način u rješavanju problema. Izračunate geostrofičke struje na bazi istih podataka su pokazale izrazitu sezonsku kao i višegodišnju promjenljivost. U generalno ciklonalnom strujanju, zimi je jača ulazna struja uz istočnu obalu, a ljeti izlazna uz zapadnu obalu. Te sezonske promjene su rastumačene vrlo izrazitom sezonskom razlikom u rasporedu temperature i slanosti između sjevernog, te srednjeg i južnog Jadrana. Višegodišnje fluktuacije su pripisane djelovanju meteoroloških faktora, posebno rasporedu tlaka zraka nad širim područjem. Te osnove su dalje utjecale na postavljanje niza hipoteza o utjecaju fizikalnih faktora na stanje bioloških zajednica, uključujući riblje zajednice. Specifičan duguljast oblik Jadranskog bazena i njegova uvučenost u kopno utječu na termohalina svojstva i strujanje. S druge strane vrlo promjenljivi režim vjetra tijekom godine, kao i odgovarajuće promjene tlaka zraka su također vidljivi u režimu strujanja. Izračunate geostrofičke struje pokazale su utjecaj topografije na strujno polje. Općenito, struje slijede izobate. U području pragova javlja se transverzalno strujanje. Osim toga, Palagruški prag u srednjem Jadranu, koji djeluje kao barijera u strujnom polju, uvjetuje i formiranje valovitih strujnica u inače jednostavnom strujnom režimu. Poremećaji su izraženiji ako su veće razlike karakteristika između sjevernog i južnog Jadrana. Jednostavni analitički model je pokušao objasniti utjecaj topografije na strujno polje. Tok strujanja povratno utječe na raspored slanosti na Palagruškom pragu i, uz ostalo, također pokazuje valovitu formu. Glavni ciklonalni tok strujanja je najizraženiji na nekoj udaljenosti od obale, gdje je slaz u dubinu najstrmiji, odnosno gdje je najveća gustoća izobata. Horizontalni raspored površinske temperature i slanosti na istoj udaljenosti od obale ukazuje na postojanje fronte koja je dobro potvrđena satelitskim opažanjima. Obalna fronta mijenja položaj u raznim sezonama i raznim meteorološkim situacijama. U sjevernom Jadranu je tijekom 1982/83. studirana frontalna zona u okviru ALPEX-MEDALPEX projekta. Pokazalo se da, uz ostalo, fronta mijenja svoj položaj pod utjecajem bure [8].

U novije vrijeme dosta je radova posvećeno istraživanju strujanja, objektivnom analizom postojećih podataka, izradom dinamičkih modela, te analizom opsežnog

eksperimenta pomoću satelitski praćenih plovaka. Utjecaj vjetra na struje uočen je najprije u poluzatvorenim bazenima istočne obale, kada su na tim lokacijama započeta sistematičnija mjerenja. Naime, ranije se više mjerilo na otvorenom moru i to u pravilu po lijepom vremenu zbog nužnosti sidrenja broda. Tako dobiveni 24-satni nizovi mjerenja nisu ukazivali na utjecaj vjetra. Ekološke studije u obalnim bazenima zahtijevale su znatno duža mjerenja po svakom vremenu, što je bilo olakšano mjerenjima s plutača od sredine osamdesetih godina. Vjetar uzrokuje struje drifta, koje mogu biti i za red veličine većeg iznosa od ostalih komponenti strujnog polja. Bura je vjetar koji najviše utječe na strujanje. Na sjevernom Jadranu i u pojedinim bazenima istočne obale pridonosi vrtložnosti strujnog polja, pa uzrokuje ili pojačava postojeće ciklonalne i anticiklonalne vrtloge, ovisno o konfiguraciji bazena. Na sjevernom Jadranu javljaju se u polju struja pod utjecajem vjetra također i oscilacije na inercijalnoj frekvenciji od 17 sati. Očituju se kao rotacija strujnog vektora u smjeru kazaljke na satu. Pojavljuju se samo u toplom razdoblju, iako je zimi vjetar jači. Za pojavu tih oscilacija je, uz vjetar, presudna i vertikalna stratifikacija gustoće morske vode. Brzina tog strujanja može premašiti ostale komponente. U strujnom polju se javljaju i oscilacije na dnevnim i poludnevnim plimnim frekvencijama. U polju struja se javljaju još i dugoročne oscilacije u trajanju od nekoliko dana, koje su u uskoj vezi s promjenama u polju vjetra. Dosadašnja istraživanja su pokazala da takve oscilacije ljeti prevladavaju neposrednon uz obalu a zimi u znatno širem pojasu. Strujanje izazvano morskim mijenama je na otvorenom moru polarizirano u smjeru prostiranja jadranskog bazena, od sjeverozapada prema jugoistoku, te je u pravilu ciklonalno i nezavisno o dubini. Srednje brzine plimnih struja iznose oko 5 cm/s [8].

3. IZVORI OCEANSKIH POVRŠINSKIH MORSKIH STRUJA

Postoje razne podjele izvora oceanskih površinskih struja. Sile koje stvaraju morske struje mogu se uvjetno podijeliti u dvije osnovne grupe [1]:

- Primarne sile gdje se razlikuju unutarnje i vanjske primarne sile. Unutarnje primarne sile su: različita distribucija gustoće vode po vertikalnoj i horizontalnoj ravnini, odnosno razlika u temperaturi i salinitetu vode, te sila nastala zbog nagiba površine mora uzrokovane skupljanjem vodene mase pod djelovanjem vjetra. Vanjske primarne sile su: porivna sila vjetra, promjena atmosferskog tlaka zraka i plimotvorna sila.
- Sekundarna sila je sila trenja koja smanjuje brzinu morske struje, te devijacijska sila rotacije Zemlje oko osi poznatija kao Coriolisova sila koja djeluje tako da mijenja smjer morske struje. Coriolisova sila djeluje na desno (lijevo) od smjera gibanja morske vode na sjevernoj (južnoj) polutci.

3.1. PODJELA MORSKIH STRUJA PREMA NAČINU POSTANKA

Morske struje se s obzirom na način postanka mogu podijeliti u tri osnovne grupe: struje morskih mijena, gradijentske struje, struje vjetra [1].

3.1.1. Struje morskih mijena

Pojava visokih i niskih voda su vertikalna komponenta morskih mijena, dok horizontalno gibanje vodenih masa uzrokuju struju morskih mijena. Kao i morske mijene tako i struje morskih mijena mogu biti poludnevnog, dnevnog i mješovitog tipa te shodno tome mijenjaju smjer i brzinu. Smjer struje morskih mijena koje su čisto poludnevnog tipa mijenja se približno svakih šest sati. Promjena smjera nastaje malo poslije nastupa prve visoke odnosno niske vode kod stojnog vala. Brzina struje tada se postupno povećava i najveću brzinu postiže približno tri sata poslije nastupa visoke vode (struja oseke) odnosno tri sata poslije nastupa niske vode (struja plime). Nakon toga brzina struje opada do nultog iznosa, a struja mijenja smjer. Ovaj se ciklus promjena odvija kod struja poludnevnog tipa u vremenskom intervalu od približno 12,4 sata, a kod struja dnevnog tipa u intervalu od približno 24,8 sati. Općenito struje morskih mijena dijele se u obrtne struje i rotacijske struje. Obrtne struje morskih mijena mijenjaju svoj smjer za približno 180 stupnjeva. Maksimalnu brzinu struja dostiže u polovici vremena između nastupa visokih i niskih

voda. Brzina struje jednaka je nuli u vremenu nastupa visoke ili niske vode. Ovakve vrste struja morskih mijena javljaju se u uskim kanalima i tjesnacima, a nazivaju se povratne struje morskih mijena. Rotacijske struje morskih mijena su struje tzv. kružnog tijeka kretanja. Kod njih se smjer mijenja u jednom ciklusu plime i oseke za 360 stupnjeva. Ove struje se javljaju na otvorenim morima. Smjer se mijenja u smjeru kazaljke na satu na sjevernoj hemisferi, a obrnuto na južnoj hemisferi. Uzrok zakretanja smjera struje morskih mijena je Coriolisova sila. Maksimalnu brzinu struja postiže tijekom plime i oseke [1].

Tablica 1. Tablica za određivanje struja morskih mijena [10]

Tidal streams referred to ... Struje morskih mijena za...

Hours	Geographical Position		Sati	Geografska pozicija			A	
Before High Water 6	Directions of streams (degrees)	Rates at spring tides (knots) / Rates at neap tides (knots)	Prije visoke vode 6	Smjer struje (stupnjevi)	Brzine živih morskih mijena (čvorovi) / Brzine mrtvih morskih mijena (čvorovi)	-6		
5			5			-5		
4			4			-4		
3			3			-3		
2			2			-2		
1			1			-1		
High Water			Visoka voda			0		
After High Water 1			Poslije visoke vode 1			+1		
2			2			+2		
3			3			+3		
4			4			+4		
5			5			+5		
6			6			+6		

3.1.2. Gradijentske struje (struje gustoće)

Temperatura i salinitet morske vode određuju njenu gustoću, a raspored gustoće vode dovodi do nastajanja gradijentnih morskih struja. Promjena gustoće morske vode dubinom je mnogo veća od vodoravne promjene gustoće. Na mjestima gdje je voda male gustoće postoji uzlazno strujanje, no postoje i silazna strujanja zbog čega se javlja cirkulacija. Tada postoji strujanje vode tipa termalnog vjetra, te se voda manje gustoće nalazi s desne strane, govoreći o sjevernoj polutci. Termohaline struje su puno slabije od vjetrovnih. Ipak, termohalino kruženje prevladava nad vjetrovnom strujomu nekim obalnim područjima i dubljim slojevima oceana. Vjetrovna i gradijentska morska struja mogu djelovati zajedno te dolazi do postojanih morskih struja. Gradijentske struje se kreću

relativno uskim tokom, a pokreću ogromne količine vode, primjerice matica Golfske struje je široka oko 25 NM, pokreće vodene mase do dubine od približno 1000 m, a duljne je približno 1000 NM. Pojavljuju se i u manjim morima. U područjima mora i oceana daleko od rubnih morskih područja, sila trenja se može zanemariti, pa se gibanja u moru odvijaju zbog djelovanja sile gradijenta tlaka i Coriolisove sile. Ovakvo stacionarno gibanje naziva se geostrofičko. Geostrofičko strujanje odvija se duž izobara, ostavljajući područja visokog tlaka koje ima veću gustoću s desne strane na sjevernoj polutci Zemlje [1].

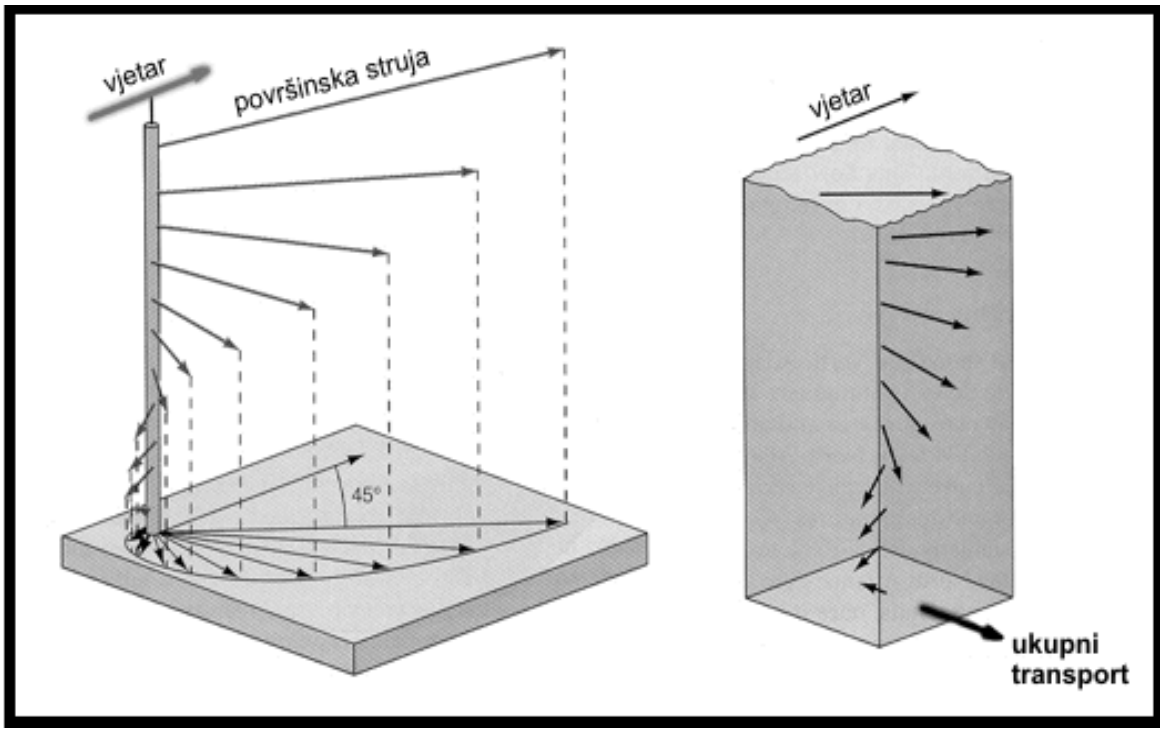
3.1.3. Struje vjetra (struje drifta)

Porivna sila vjetra silom trenja povlači za sobom masu na površini vode i tako stvara morsku struju. Na velikim morskim prostranstvima smjer vjetra je manje više stalan i relativno stalne jačine te uzrokuje stalnu morsku struju. Struje vjetra značajne su u globalnim razmjerima i tu spadaju: pasatne, monsunske, ekvatorske i struje zapadnih vjetrova. Pasatne struje zahvaćaju velik dio svjetskih morskih područja i imaju zapadni smjer strujanja. To su: Kanarska struja, Benguelska struja, Kalifornijska struja, Zapadnoaustralska struja i još mnoge druge manje morske struje. Osnovni princip je da ove struje prelaze iz viših u niže geografske širine i donose hladniju vodu. Monsunske struje se periodično izmjenjuju u proljeće i jesen s promjenom vjetra. Monsunska struja u zimskom periodu u Indijskom oceanu ima zapadni smjer, a u ljetnom periodu sjeveroistočni smjer, dok u istočnoazijskim morima smjer struje je sjeverni ili sjeverozapadni. Ekvatorske struje kreću se u smjeru zapada, a javljaju se u područjima sjeverno i južno uz ekvator. To su područja konstantnog vjetra, s napomenom da se u tim područjima stvaraju tropski uragani. Struje zapadnih vjetrova su promjenjive struje koje tijekom čitave godine imaju uglavnom istočni smjer. Energija vjetra koji puše nad površinom mora prenosi se dijelom u energiju kratkoperiodičkih površinskih valova, a dijelom u energiju vjetrovnih struja. Djelovanje vjetra na površinu mora rezultat je sile trenja, koju još nazivamo i napetost vjetra čija vrijednost ovisi o atmosferskim uvjetima.

Istraživački rad o djelovanju vjetra na gibanja u moru načinio je V. W. Ekman 1905. godine. Glavna svojstva Ekmanovog rješenja vjetrovnih struja su:

- površinska struja je otklonjena za 45° na desno u odnosu na smjer puhanja vjetra
- brzina struje eksponencijalno opada s dubinom, dok se vektor struje zakreće u smjeru kazaljke na satu - tzv. Ekmanova spirala (Slika 6).

Ukupan transport vodenih masa uzrokovan vjetrom usmjeren je 90 stupnjeva desno na sjevernoj polutci, pa se u slučaju kada vjetar puše duž obale ostavljajući je s desne strane javlja poniranje vode (downwelling), a kod suprotnog vjetra uzdizanje vode (upwelling) [1].

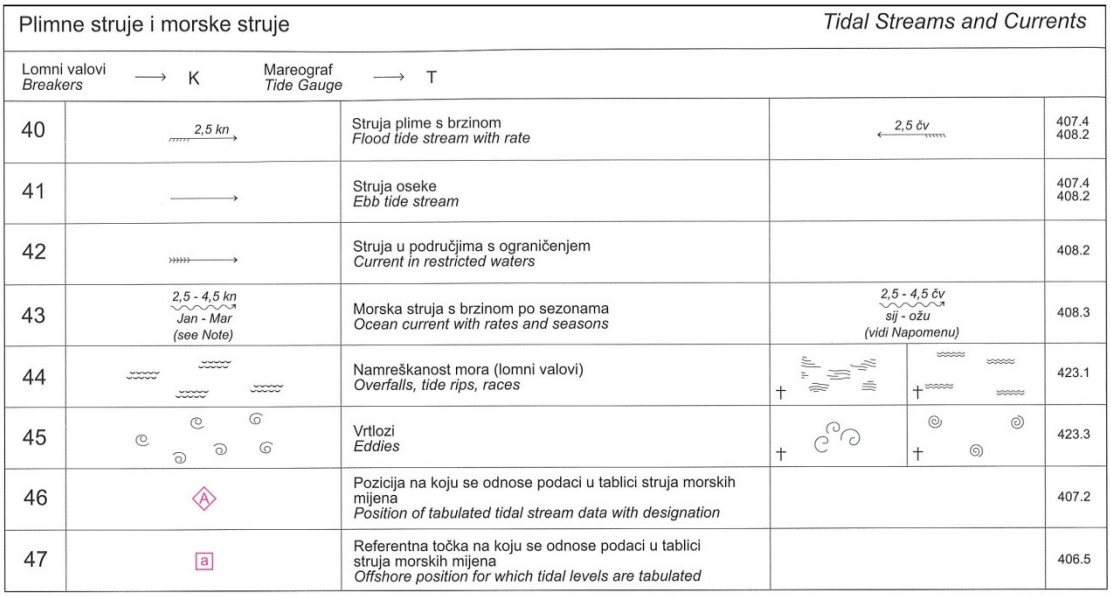


Slika 6. Vjetrovne struje u površinskom sloju, Ekmanova spirala i transport vode [11]

3.2. PUBLIKACIJE O MORSKIM STRUJAMA

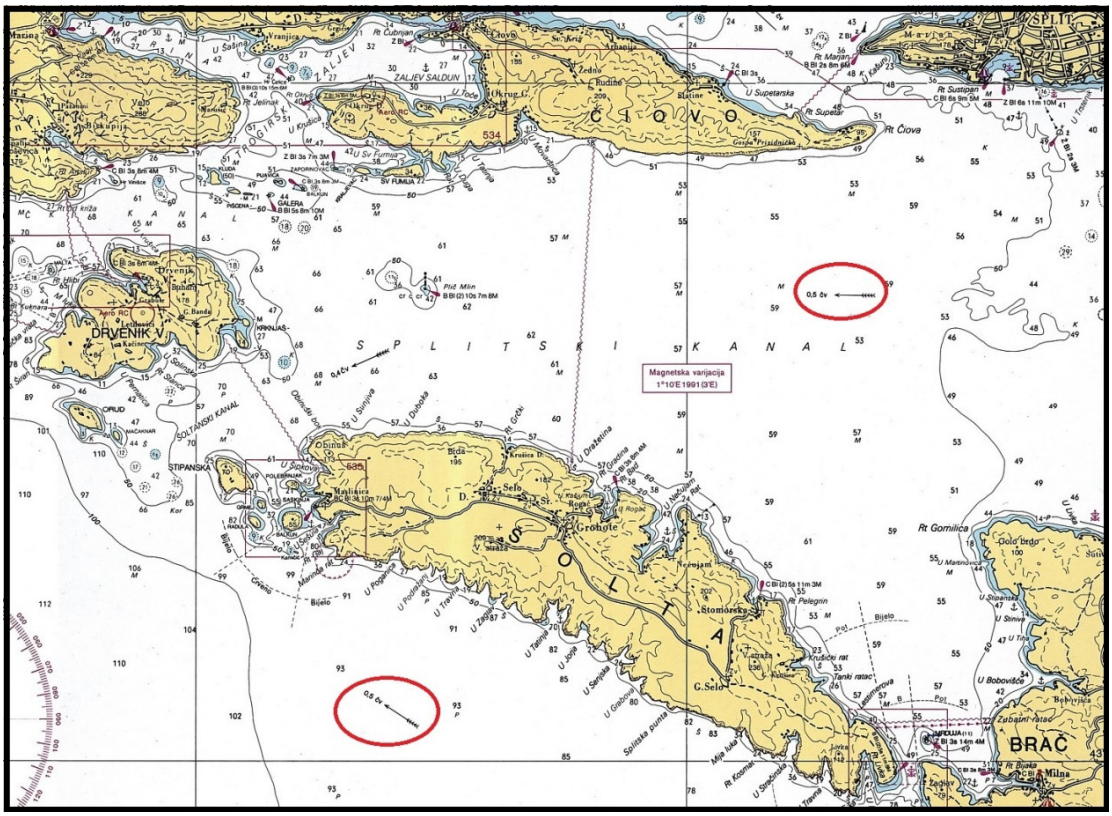
Podatke o morskim strujama daju peljari, peljarske karte, navigacijske karte, atlasi i karte struja. U peljaru, jednom od navigacijskih priručnika, se pored ostalih navigacijskih podataka nalaze podaci o morskim strujama, a ti se podaci nalaze i u publikaciji Svjetske plovidbene rute. Peljarske karte daju srednje vrijednosti struja u pojedinim oceanima i morima. Smjer struje prikazan je strelicama, a po duljini strelice koja pokazuje prijeđeni put struje u 24 sata može se odrediti brzina struje. Brzina je izražena u čvorovima. Većina ovih podataka je nastala dugogodišnjim sakupljanjem na osnovi mjerenja i iskustva plovidbe na rutama u pitanju. Časnicima na brodu ovo je osnovni izvor informacija na temelju kojeg odabiru plovni put. Publikacija se izdaje za svaki mjesec u tekućoj godini. U predjelima gdje su struje morskih mijena izrazite, označen je pored strelice i vremenski

interval poslije nastupa visoke vode (niske vode kada struja poprima najveću vrijednost). Atlasi struja ili posebne karte struja donose preciznije podatke za pojedina mora i oceane, a izdaju ih hidrografski uredi, npr: Tidal Streams of the British Islands. U svakom priručniku, atlasu struje, na specijalnim kartama struja ili na peljarskim kartama je uputstvo kako se koriste podaci o strujama [12].



Slika 7. Znakovi morskih struja koji se koriste na pomorskim kartama [10]

U tablici 2. dat je prikaz struja morskih mijena tjesnaca Seymour za prva četiri dana svibnja, srpnja, lipnja i kolovoza. To je dio koji obuhvaća 5 km od Discovery Passagea u Britanskoj Columbiji koji je poznat po snažnim strujama morskih mijena. Discovery Passage nalazi se između otoka Vancouver na Menzies Bayu, Britianske Columbije i otoka Quadra. Širina tjesnaca je 750 m, a struje mogu dosegnuti brzinu od 15 čvorova [15].



Slika 8. Znakovi morskih struja na pomorskim kartama [12]

Tablica 2. Vrijeme i brzina nastupa struja morskih mijena za tijesnac Seymour na zapadnoj obali Kanade [14]

May 2018				June 2018				July 2018				August 2018			
Turns		Maximum		Turns		Maximum		Turns		Maximum		Turns		Maximum	
Day	Time	Time	Knots	Day	Time	Time	Knots	Day	Time	Time	Knots	Day	Time	Time	Knots
1	12:03 AM	2:44 AM	9.3	1	1:20 AM	3:46 AM	6.0	1	1:40 AM	4:06 AM	5.7	1	2:17 AM	4:59 AM	7.2
1	5:38 AM	8:58 AM	-12.2	1	6:26 AM	9:51 AM	-9.3	1	6:47 AM	10:09 AM	-8.5	1	7:56 AM	11:07 AM	-8.2
1	11:56 AM	3:08 PM	13.4	1	12:44 PM	4:04 PM	11.6	1	12:59 PM	4:19 PM	11.0	1	2:00 PM	5:09 PM	9.5
1	6:37 PM	9:42 PM	-11.4	1	7:41 PM	10:49 PM	-9.5	1	7:52 PM	11:04 PM	-9.6	1	8:25 PM	11:43 PM	-9.6
2	12:48 AM	3:25 AM	8.1	2	2:06 AM	4:29 AM	5.2	2	2:21 AM	4:49 AM	5.5	2	2:58 AM	5:45 AM	7.3
2	6:15 AM	9:37 AM	-11.1	2	7:07 AM	10:31 AM	-8.1	2	7:32 AM	10:50 AM	-7.7	2	8:48 AM	11:54 AM	-7.4
2	12:34 PM	3:48 PM	12.4	2	1:23 PM	4:45 PM	10.4	2	1:40 PM	4:59 PM	10.0	2	2:48 PM	5:54 PM	8.3
2	7:20 PM	10:24 PM	-10.4	2	8:22 PM	11:33 PM	-8.8	2	8:29 PM	11:43 PM	-9.1	2	9:03 PM	12:25 AM	-9.2
3	1:34 AM	4:06 AM	6.8	3	2:55 AM	5:17 AM	4.5	3	3:04 AM	5:35 AM	5.3	3	3:43 AM	6:38 AM	7.4
3	6:53 AM	10:16 AM	-9.7	3	7:54 AM	11:15 AM	-6.8	3	8:22 AM	11:35 AM	-6.8	3	9:49 AM	12:49 PM	-6.6
3	1:12 PM	4:29 PM	11.2	3	2:05 PM	5:30 PM	9.2	3	2:24 PM	5:43 PM	9.0	3	3:45 PM	6:46 PM	7.1
3	8:03 PM	11:09 PM	-9.2	3	9:05 PM	12:20 AM	-8.1	3	9:07 PM	12:26 AM	-8.7	3	9:46 PM	1:14 AM	-8.8
4	2:23 AM	4:51 AM	5.5	4	3:48 AM	6:11 AM	4.0	4	3:50 AM	6:27 AM	5.4	4	4:34 AM	7:38 AM	7.7
4	7:33 AM	10:57 AM	-8.2	4	8:50 AM	12:05 PM	-5.8	4	9:20 AM	12:26 PM	-6.1	4	10:58 AM	1:55 PM	-6.0
4	1:53 PM	5:13 PM	9.9	4	2:53 PM	6:20 PM	8.2	4	3:15 PM	6:32 PM	7.9	4	4:53 PM	7:46 PM	6.0
4	8:50 PM	11:58 PM	-8.1	4	9:50 PM	1:10 AM	-7.7	4	9:48 PM	1:12 AM	-8.4	4	10:35 PM	2:10 AM	-8.6

4. GLAVNE KOMPONENTE OCEANSKIH POVRŠINSKIH MORSKIH STRUJA

Iako oceanska voda struji iz jedne struje u drugu, oceanske struje mogu se razvrstati kao zasebni sustavi unutar svakog oceanskog bazena.

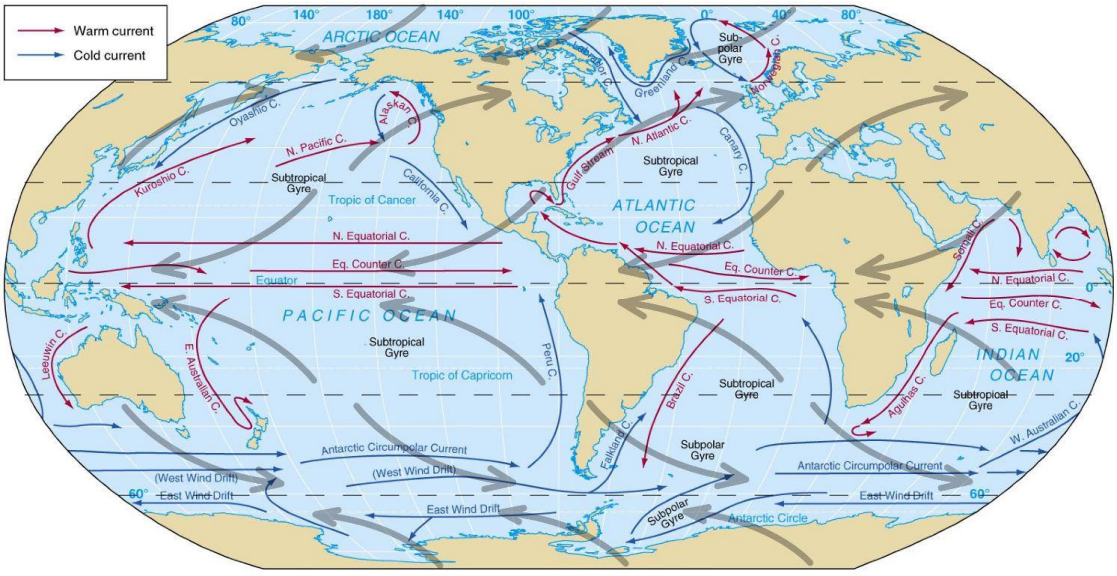
Subtropski vrtlozi (subtropical gyres), odnosno velika kružna strujanja vodenih masa u tropskom pojasu pokreću glavni vjetrovni sustavi na svijetu. Pet svjetskih subtropskih vrtloga su: Sjevernoatlantski, Južnoatlantski, Sjevernopacifički, Južnopacifički, te Indijski subtropski vrtlozi ili zatvorena strujanja (tablica 3). Razlog zbog kojeg se zovu subtropska vrtložna strujanja je zbog činjenice što se središte svakog sustava podudara s granicama tropskog pojasa na 30 stupnjeva sjeverne ili južne geografske širine. Na sjevernoj hemisferi se rotiraju u smjeru kazaljke na satu i obrnuto na južnoj hemisferi. Važno je naglasiti da su suptropski vrtlozi pretežito uzrokovani prevladavajućim vjetrovima. Pasati koji pušu s jugoistoka na južnoj hemisferi i sa sjeveroistoka na sjevernoj hemisferi pokreću vodene mase uz samu blizinu ekvatora. Rezultirajuće struje nazivaju se ekvatorijalnim strujama koje putuju prema zapadu uzduž ekvatora i ekvatorijalne granične struje subtropskog vrtloga vodenih masa (tablica 3). Granične struje se dijele na sjeverne i južne ekvatorske struje ovisno o položaju u odnosu na ekvator [1].

Tablica 3. Podjela suptropskih morskih vrtloga po oceanima [1]

Subtropska kružna strujanja i površinske struje					
Tihi ocean	Sjevernopacifička	Atlantski ocean	Sjevernoatlantska	Indijski ocean	Indijska
	Sjevernopacifička		Sjevernoatlantska		Južnoekvadorska
	Kalifornijska		Kanarska		Aghulška
	Sjevernoekvatorska		Sjevernoekvadorska		Zapadnoaustralska
	Kuroshio		Golfska		Ostale
	Južnopacifički		Južnoatlantski		Sjevernoekvadorska
	Južnoekvadorska		Južnoekvadorska		Somalijska
	Istočnoaustralska		Brazilska		
	Humboldtova		Benguelska		
	Ostale		Ostale		
	Labradorska		Floridska		
	Aljaska		Istočnogrenlandska		
	Oyashio		Falklandška		

Ekvatorske protustruje su rezultat velikog odljeva morske vode prema zapadu uzrokovanog ekvatorskim strujama, te su usmjerene prema istoku (slika 9). Ekvatorska protustruja je topla morska struja u Tihom oceanu, te djeluje na području od 5 stupnjeva sjeverne geografske širine i u Indijskom oceanu od ekvatora do 10 stupnjeva južne geografske širine. Ekvatorska protustruja je ujedno i grana tropskog cirkuliranja vodenih masa koja teče prema istoku i vraća dio vodenih masa koje su Sjeverna i Južna ekvatorska struja odnijele na zapad (slika 9). Ova struja je u Tihom oceanu cjelogodišnja, dok se u Indijskom oceanu pojavljuje samo u ljetnim mjesecima . I u Atlantskom oceanu postoji cjelogodišnje strujanje u suprotnom sjmeru od Sjeverne i Južne ekvatorske struje. U Atlantiku ova struja nosi ime Gvinejska struja [1].

Subpolarni vrtlozi (subpolar gyres) se formiraj na visokim geografskim širinama. Kruženje površinskog vjetra i oceanske vode je suprotno od smjera kazaljke na satu u sjevernoj hemisferi, te obrnuto na južnoj. Površinske struje uglavnom se kreću iz središta sustava. To pokreće Ekmanov transport, koji stvara povećanje vode bogate hranjivim tvarima s nižih dubina. Na južnoj hemisferi dominira Antarktička cirkumpolarna struja, a razlog tome je nedostatak velikih kopnenih površina (slika 9) [1].



Slika 9. Kretanje vodenih masa po oceanima [16]

Morske struje imaju snažan utjecaj na klimu kontinenata, a naročito na područja uz obale oceana. Vjerojatno najizraženiji primjer je Golfska struja koja čini klimu

sjeverozapadne Europe umjerenijom od drugih područja na jednakim zemljopisnim širinama. Drugi primjer su Havaji gdje je klima suptropska, a ne tropska zbog hladne tihooceanske Kalifornijske struje. Popis najvećih oceanskih morskih struja dat je u tablici 4 [1].

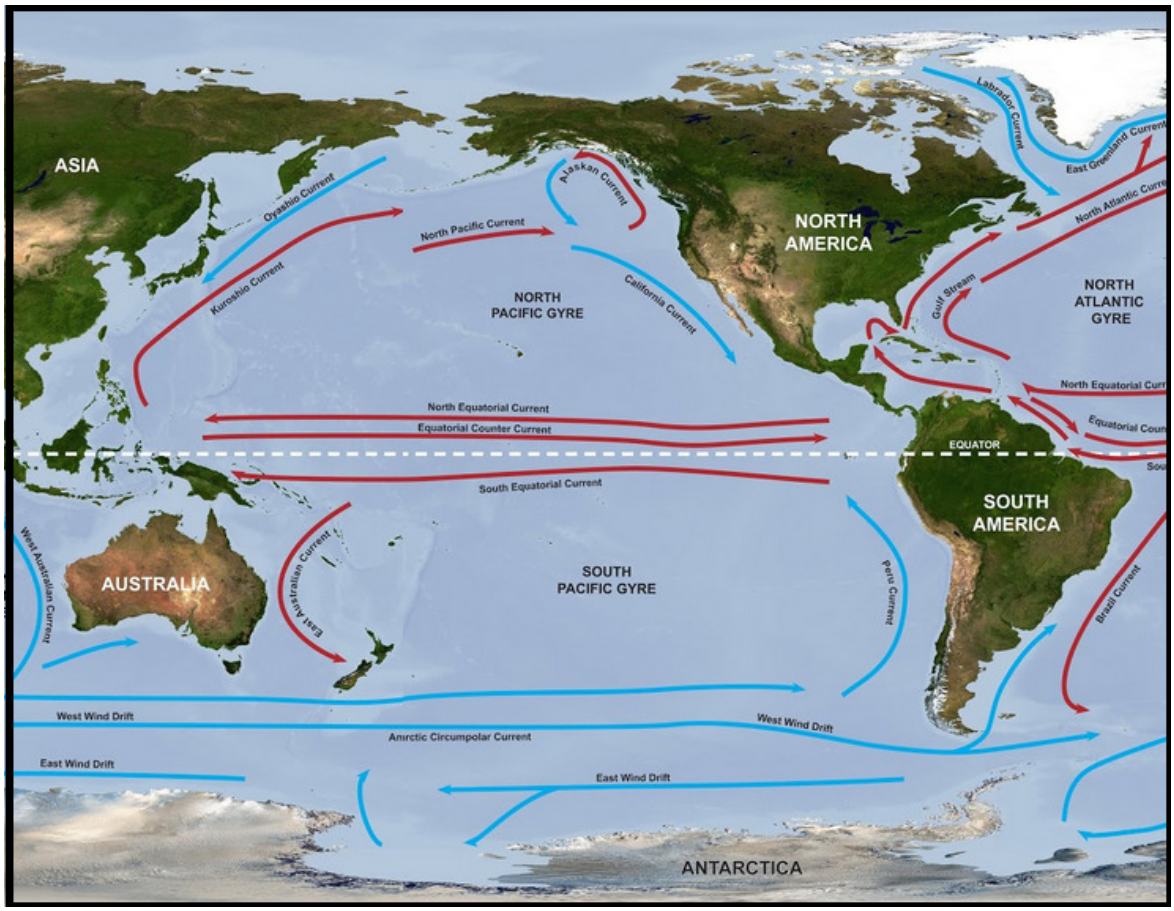
Tablica 4. Popis najvećih površinskih struja u oceanima [17]

Ime struje	Ocean	Temperatura
Agulhška struja	Indijski ocean (obala jugoistočne Afrike	topla
Antarktička cirkumpolarna struja	u Atlantiku, u Pacifiku i u Indijskom oceanu	hladna
Antilska struja	Atlantik	topla
Ekvatorska struja	Pacifik	topla
Azorska struja	Atlantik (Azorski prag)	topla
Benguelska struja	Atlantik (obala jugozapadne Afrike)	hladna
Brazilska struja	Atlantik	topla
Kineska obalna struja	Pacifik (Istočno kinesko more)	topla
Floridska struja	Atlantik (Meksički zaljev)	topla
Golfska struja	Atlantik	topla
Gvinejska struja	Atlantik	topla
Humboldtova struja	Pacifik (zapadne obale Južne Amerike)	hladna
Kalifornijska struja	Pacifik (Američka zapadna obala)	hladna
Kanarska struja	Atlantik (Obala zapadne Europe i zapadne Afrike)	hladna
Karipska struja	Atlantik (Karipsko more, Meksički zaljev)	topla
Kuroshio struja	Pacifik	topla
Labradorska struja	Atlantik	hladna
Sjevernoatlantska struja	Atlantik	topla
Istočnoaustralska struja	Pacifik (Tasmanovo more)	topla
Oyashio struja	Pacifik (Beringovo more)	hladna

4.1. MORSKE STRUJE U TIHOM OCEANU

Tihi ocean je najveća morska površina na svijetu. Ovaj ocean zauzima trećinu Zemljine površine ili 179,7 milijuna km^2, što je više od ukupne površine cjelokupnog Zemljinog kopna. Proteže se na približno 15.500 kilometara, od Beringovog mora na Arktiku do ledenih dijelova Antarktike na jugu. Tihi ocean najširi je na 5 stupnjeva sjeverne geografske širine. Proteže se na 19.800 kilometara od Indonezije do obala Kolumbije i Perua. Najdublja točka ujedno je najdublja točka na svijetu. Zove se Marijanska brazda, a podatak o njenoj dubini stalno varira, posljednji podatak iznosi 11.022 metara ispod razine mora. Prosječna dubina jest 4.300 metara [17].

Morske struje u Tihom oceanu imaju značajan utjecaj za istočnu obalu Azij, te zapadnu obalu Sjeverne i Južne Amerike. Najveće morske struje u Tihom oceanu su Humboltova struja, Kuroshio struja, Oyashio struja, Kalifornijska struja i Sjevernoekvatorska protustruja [13], [17].



Slika 10. Kretanje vodenih masa u Tihom oceanu [18]

4.1.1. Humboltova struja

Humboldtova struja (Peruanska struja) je hladna morska struja uz zapadnu obalu Južne Amerike. Ime je dobila po njemačkom prirodoslovcu Aleksandru von Humboldtu. Kreće se od Antarktike paralelno s obalom prema sjeveru (slika 10). Niske temperature voda koje dolaze s Antarktike uzrokuju da je prosječna temperatura mora uz južnoameričku obalu oko 7-8°C niža od temperature vode na otvorenom oceanu na istoj zemljopisnoj širini. Humboldtova struja smatra se najproduktivnijim morskim ekosustavom. Procjenjuje se, da iz ovog sustava dolazi 18-20% svjetskog ulova ribe. Hladna morska voda hladi i zrak. Posljedica toga je, da su obalna područja pored kojih prolazi Humboldtova struja vrlo siromašna oborinama sa svim obilježjima pustinja, pa se tako tu nalazi i pustinja Atacama u Čileu. Kad nastupi El Niño, struja gubi na snazi i gotovo prestaje [17].

4.1.2. Kuroshio struja

Kuroshio struja je topla morska struja u zapadnom dijelu Tihog oceana. Ona je nastavak Pacifičke Sjevernoekvatorske struje koja skreće prema sjeveru i između Tajvana i južnih otoka otočja Ryu Kyu i ulazi u Istočno kinesko more. Temperatura vode koju struja nosi je s oko 20°C vrlo visoka za ovo područje, a salinitet joj je oko 34,5. Prosječni obujam struje je 25 Sv. Glavni dio Kuroshio struje prolazi između istočne obale Japana i Luzona (Filipini), a u području od oko 35 stupnjeva sjeverne širine susreće Oyashio struju koja dolazi sa sjevera. Tu se sudaraju i zajedno skreću prema istoku tvoreći tako Sjevernopacifičku struju (sjevernopacifičko zanošenje pod utjecajem zapadnog vjetra). Područje gdje se ove struje susreću, izrazito je bogato ribolovno područje. Zapadno od Havajskih otoka struja gubi veliki dio svoje energije i kao divovski vrtlog se nešto južnije spaja s Pacifičkom sjevernoekvatorskom strujom i tako zatvara kruženje. Ogranci prvobitne struje nastavljaju teći dalje prema istoku i dijele se na Aljašku i Kalifornijsku struju. Kurošio ima za Japan slične klimatske efekte kao Golfska struja za Europu. Od južnih vrhova japanskih otoka, utjecaj struje seže sve do područja oko Tokia [17].

4.1.3. Oyashio struja

Oyashio je hladna struja Tihog oceana, koja sa sjevera teče uz istočne obale Kamčatke, Kurilskih otoka i Hokkaida. Na jugu dopire do 40 stupnjeva sjeverne geografske širine, gdje se sastaje s toplom strujom Kuroshio. Na tom području se nalaze velika ribolovna područja. Temperatura površinskoga sloja vode u veljači je od 0° do 2 °C,

u kolovozu od 8° do 13 °C. Prosječna je brzina 0,25 m/s, a prosječni je protok vode 15 mil. m³/s [19].

4.1.4. Kalifornijska struja

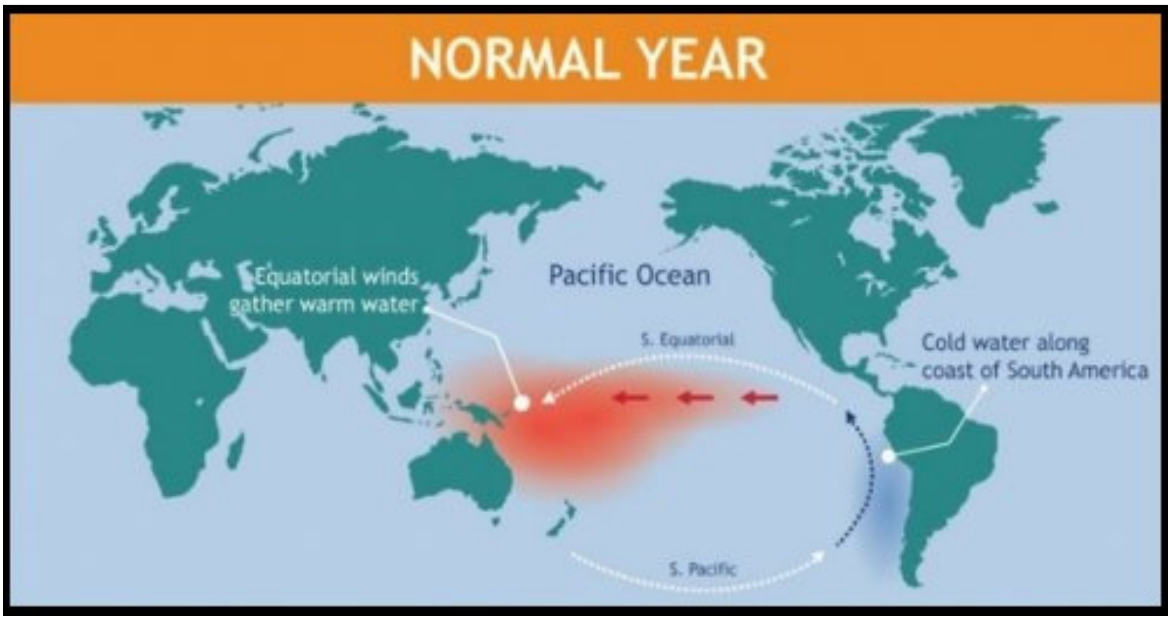
Kalifornijska struja je hladna površinska morska struja u Tihom oceanu, u nastavku Sjevernopacifičke struje (slika 10). Kreće se u smjeru jugoistoka i teče uz zapadnu obalu Sjeverne Amerike između 48 stupnjeva i 23 stupnja sjeverne geografske širine. Prosječna brzina je 25 cm/s, prenosi oko 11 milijuna m^3 vode [17].

4.1.5. El Niño

Stalni vjetrovi pušu s područja stalnih polja visokog ili niskog tlaka. Oko ekvatora je područje niskog tlaka, a razlog tome je stalno zagrijavanje. Oko obratnica je područje visokog tlaka koje uzrokuje suhu klimu. Zbog toga od obratnica pasati na sjevernoj Zemljinoj polutci su sjeveroistočnog smjera, a na južnoj jugoistočnog. Skretanje pasata se događa zbog Zemljine rotacije. U višim slojevima atmosfere pušu vjetrovi antipasati suprotnog smjera. prema ekvatoru pušu pasati uzrokovani rotacijom zemlje i to na sjevernoj polutci sa sjevera ka jugozapadu, a na južnoj s jugoistoka ka sjeverozapadu. Jedna od posljedica su i morske struje, a za fenomen El Niño značajna je Humboldtova hladna struja koja teče duž tihooceanske obale Južne Amerike prema sjeveru i zatim duž ekvatora, da bi tu prestala. Ona onemogućava veće oborine i također proizvodi maglu, jer se površinska hladna voda nađe ispod toplijeg zraka [20].

El Niño je oceansko-atmosferski poremećaj tijekom koje u ekvatorijalnom Pacifiku i duž zapadnog dijela južnoameričke obale vladaju neuobičajeno visoke temperature oceana (slika 12). Taj fenomen uvjetuje niz različitih klimatskih poremećaja koji direktno zahvaćaju Čile, Peru, Ekvador, a odgovoran je i za mnoge druge prirodne katastrofe koje su pogodile razne dijelove svijeta, prije svega tropski pojas oko Indonezije, Australije, središnji dio SAD-a. El Niño obično počinje u božićno vrijeme. On traje nekoliko mjeseci, sve do povratka pasata u ožujku. Ne ostavlja značajnije posljedice za širu regiju, osim sezonskog zastoja u ribolovnoj sezoni i dosta kiše. Usprkos brojnim istraživanjima, još se ni danas ne zna sasvim pouzdano kako El Niño uzrokuje te poremećaje, niti zbog čega nastaje i s kojim pojavama je povezan, ali meteorološke službe redovito prate oceansku i atmosfersku aktivnost južnog Pacifika. Važnu ulogu u tim satelitskim praćenjima i istraživanjima ima američka NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) u

čijem je resoru praćenje svih oceansko-atmosferskih procesa, od morskih struja, koraljnih grebena i tropskih oluja, preko praćenja za potrebe zračnog i pomorskog prometa, do predviđanja uragana, poplava i poremećaja kao što je El Niño. Zbog oscilacija atmosferskog tlaka, temperature mora i vjetrova u južnom Pacifiku, pojava je poznata pod imenom El Niño Southern Oscillation (ENSO). El Niño se pojavljuje stalno, ali u vrlo nepravilnim razmacima, u prosjeku svake 4.5 godine, ali ponekad i u razmacima od dvije ili, u drugoj krajnosti, deset godina [20], [22].



Slika 11. Uobičajeno kretanje vodenih masa u Tihom oceanu [21]



Slika 12. Kretanje vodenih masa za vrijeme El Niña [21]

4.2. MORSKE STRUJE U ATLANTSKOM OCEANU

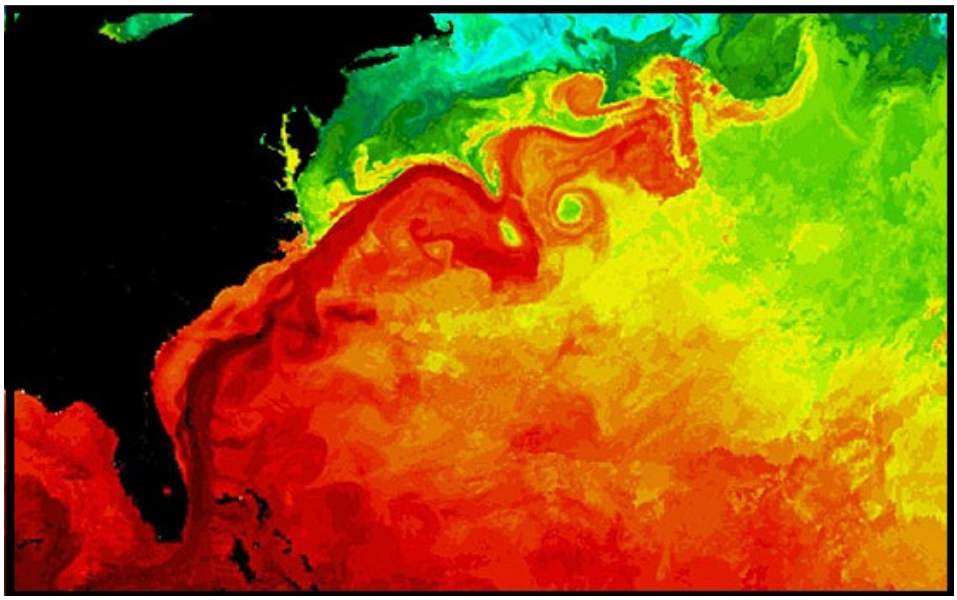
Atlantski ocean pokriva oko 20% površine Zemlje i drugi je po veličini nakon Tihog oceana. Zajedno sa susjednim morima obuhvaća površinu od oko 106,450.000 km², Prosječna dubina Atlantika i susjednih mora je 3332 m; a bez njih čak 3926 m. Najdublja točka, 8605 m, nalazi se u Portorikanskoj brazdi. Širina oceana kreće se od 2.848 km između Brazila i Liberije do 4830 km između SAD-a i sjeverne Afrike. Morske struje u Atlantskom oceanu imaju najveći značaj za europski continent. Uobičajeno se smatra, da topla voda koju sobom donosi Golfska struja, utječe na klimu Zapadne i sjeverne Europe, čineći ju blažom nego što bi inače bila [17].



Slika 13. Kretanje vodenih masa u Atlantskom oceanu [18]

4.2.1. Golfska struja

Rijeka morske vode, nazvana Atlantska sjevernoekvatorska struja, kreće na zapad tjerana u tropskom Atlantiku prevladavajućim pasatnim vjetrovima od obala sjeverne Afrike kao nastavak Kanarske struje. U interakciji s kopnom Južne Amerike, struja se dijeli na dvije grane. Jedna nastavlja i ulazi u Karipsko more postajući Karipska struja, dok druga skreće prema sjeveru i prolazi istočno od Karipskih otoka kao Antilska struja. Karipska struja, nakon kruženja kroz Meksički zaljev kao Floridska struja kroz Floridski prolaz ponovo izlazi u Atlantik i nešto sjevernije spaja se s Antilskom. Nakon njihovog spajanja, postaju Golfska struja (slika 13). Pored susreta s Labradorskom strujom, i Coriolisov učinak djeluje da Golfska struja sa svog kretanja prema sjeveru skrene na istok prema Europi (slika 14). Na tom njenom putu, od nje se odvajaju ogranci, da bi zapadno od Britanskih otoka postala Sjevernoatlantska struja. Golfska struja je snažna oceanska struja koja nosi oko 1,4 petawatta toplinske energije. To je oko 100 puta više energije od ukupnih svjetskih energetskih potreba. Količina vode koja prolazi Floridskim prolazom procjenjuje se na oko 30 milijuna m^3 u sekundi (30 Sverdrupa), a iza rta Hatteras količina naraste na oko 80 milijuna m^3 u sekundi. Količina vode koja teče Golfskom strujom značajno premašuje ukupnu količinu vode od ukupno 0,6 milijuna m^3 u sekundi koju sve rijeke koje utječu u Atlantik donose sa sobom. No, usprkos tome, Golfska struja je slabija od Antarktičke cirkumpolarne struje. Ova struja je široka oko 80-159 kilometara, a duboka 800-1200 metara. Brzina struje je veća uz površinu i rubove, a maksimalna brzina joj je oko 2,5 metra u sekundi. Na svom putu prema sjeveru, topla voda Golfske struje isparava, a time joj raste salinitet. Hlade ju vjetrovi koji pušu uz površinu i izazivaju isparavanje. Ova dva procesa, hlađenje i povećanje gustoće vode zbog većeg saliniteta, na sjeveru Atlantskog oceana uzrokuje tonjenje u dublje slojeve te ista postaje dio dubinskih voda atlantskog dijela termohalinske cirkulacije (površinski dio te cirkulacije je Golfska struja) [17].



Slika 14. Kretanje tople Golfske struje [17]

4.2.2. Labradorska struja

Labradorska struja je hladna morska struja u sjeveroistočnom dijelu Atlantskog oceana između Grenlanda i istočne obale Sjeverne Amerike (slika 13). Ovaj dio Atlantika zove se Labradorsko more. Teče od Arktičkog oceana prema jugu uz obale poluotoka Labradora i oko Newfoundlanda, nastavljajući prema jugu duž istočne obale Nove Scotie. Ona je nastavak Zapadne grenlandske struje i Struje Baffinovog otoka. S Golfskom strujom prvi put se sreće uz podvodne platoe na američkom kontinentalnom pragu jugoistočno od Newfoundlanda, pa zatim ponovo sjeverno od Outer Banksa Sjeverne Karoline. Rezultat susreta ovih dvaju struja i hladnog (Labradorska struja) odnosno toplog (Golfska struja) zraka iznad njih, su često nastajanje vrlo guste magle. Ali ovo sretanje vodenih masa različitih temperatura rezultira i jednim od ribom najbogatijih područja na svijetu. Pored toga, doprinosi i skretanju Golfske struje prema Europi. U proljeće i rano ljeto ovom strujom prema jugu putuju i ledeni bregovi odlomljeni od ledenjaka na Grenlandu, stižući tako do putova kojim plove brodovi preko Atlantika [17].

4.2.3. Benguelska struja

Benguelska struja je hladna morska struja koja kreće iz voda Antarktike odnosno južnog Atlantika (slika 13). Od Rta dobre nade teče prema sjeveru uz zapadnu obalu Afrike do ekvatora, i zajedno sa stalnim jugozapadnim vjetrovima glavni je razlog nastanka pustinje Namib i trajno aridne klime Namibije gdje gotovo da nema oborina.

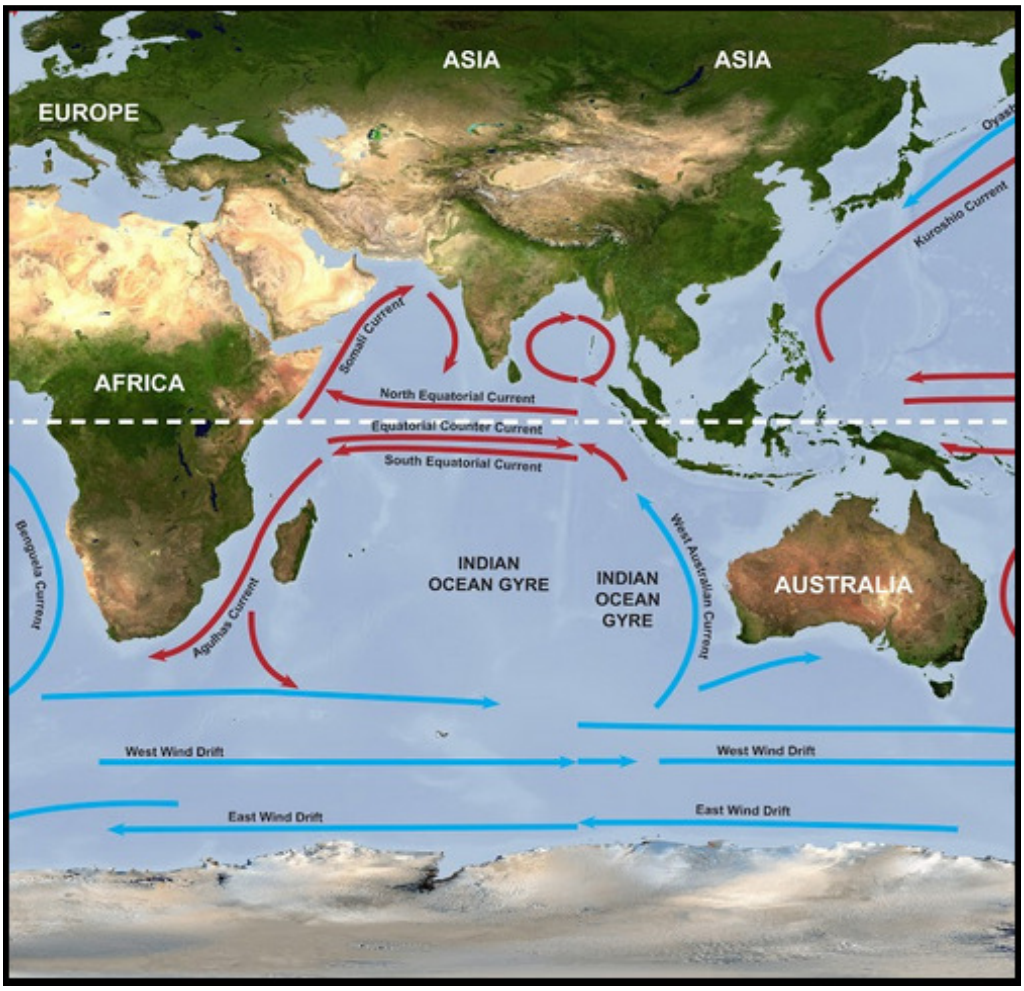
Istovremeno, Benguelska struja je vrlo bogata kisikom pa zato i planktonom, što privlači veliku količinu riba, pa je, slično kao Humboldtova struja, vrlo bogat morski ekosustav [17].

4.2.4. Kanarska struja

Kanarska struja je hladna morska struja koja se kreće u Atlantskom oceanu uz sjeverozapadnu obalu Afrike (slika 13). Struja prvo teče prema jugu, a zatim prema jugozapadu uzduž sjeveroistočne afričke obale. Nastaje kraj Gibraltarskih vrata i sastoji se dijelom od voda Azorske struje, dijelom od Portugalske struje s kojom čini nastavak Sjevernoatlantske struje. Ulazeći u Sjevernoekvatorsku struju, zatvara vrtložno strujanje sjevernog Atlantika. Svojim prolaskom osigurava cjelogodišnju uravnoteženu klimu Kanarskim otocima. Na tom se području odvija proces uzdizanja (upwelling) koji na površinu donosi dubinsku vodu vrlo bogatu hranjivim tvarima Temperatura površinskoga sloja vode kreće se od 12 do 23 °C u veljači i od 19 do 26 °C u kolovozu. Brzina kanarske struje iznosi 1 do 2 km/h [16], [18].

4.3. MORSKE STRUJE U INDIJSKOM OCEANU

Indijski ocean je najmanji ocean na Zemlji i obuhvaća 74 917 000 km² ili oko 21% svjetskoga mora. Najvećim svojim dijelom je smješten na južnoj polutci. Cirkulacija u sjevernom dijelu Indijskog oceana je pod velikim utjecajem monsunskih vjetrova. U južnom dijelu Indijskog oceana Indijski suptropski vrtlog (Indian Ocean Gyre, slika 15) je vrtlog u kojem je strujanje suprotno od smjera kazaljke na satu (cirkularni vrtlog). Tu nastaje Južnoekvatorska struja pod utjecajem jugoistočnih pasata, ali ne protječe cijelom širinom oceana, nego samo od otočja Cocos na istoku i do Seychelleskog otočja na zapadu. U subpolarnim širinama oceanska voda struji pod utjecajem zapadnih vjetrova i to u smjeru od zapada prema istoku [16], [18].



Slika 15. Morske struje u Indijskom oceanu [18]

4.3.1. Aghulška struja

Agulhaška struja je zapadna morska struja na području jugozapadnog Indijskog oceana. Teče uz istočnu obalu Afrike prema jugu (od oko 27°S do 40°S, slika 15.) i nosi pri tome ogromne količine topline i soli prema jugu. Izvorište Agulhaške struje su Istočnomadagaskarska struja, Mozambička struja i dijelovi recirkulirane vode, čiji dio je i sama Agulhaška struja. Ova struja je snažno ovisna o topografiji morskog dna. Polazeći sjeverno od Port Elizabetha (južna Afrika), teče uz rub kontinentalne padine. Kad je potpuno oblikovana, struja nosi oko 65 milijuna m³/s, ujedno i najbrža struja na Svijetu koja teče brzinom od 5 čv. Južno od Agulhaškog rta (južni vrh afričkog kontinenta) prodire još par stotina kilometara u Atlantik prije nego što se vrlo naglo okrene i kao Agulhaška povratna struja vraća ponovo u Indijski ocean do svog ishodišta, i kruženje se nastavlja. Uz obalu prodire do Rta dobre nade. Fizika ovog okretanja (retrofleksija) nije još

dovoljno istražena. Razlozi se traže u međusobnom djelovanju nekih fizičkih zakona, u topografiji morskog dna, obalnoj liniji Afrike i polju vjetrova [17].

4.3.2. Mozambička struja

Mozambička struja je morska struja u Indijskom oceanu koja nosi tople vodene mase prema jugu duž obala Južne Afrike. Teče između obala Madagaskara i Mozambika kroz Mozamički prolaz, i prelazi u Agulhašku struju. Obale uz koje teče ova struja imaju značajnu korist od toplih vodenih masa, jer tu biljke mogu cvasti i uspijevati do duboko u zimu [17].

4.3.3. Zapadnoaustralska struja

Zapadnoaustralska struja je hladna površinska struja koja se kreće u južnom dijelu Indijskog oceana zapadno od Australije. Najveća dubina je oko 6500 metara. Počinje kao Južnoindijska oceanska struja koja je dio veće Antarktičke cirkumpolarne struje (poznat kao West Wind Drift, slika 15). Kako se približava zapadu Australije, ona se kreće prema sjeveru , paralelno sa zapadnom obalom Australije i postaje zapadno australsko strujanje. Strujanje se uglavnom odvija sezonski koje je zimi slabije, a ljeti je jače. Njene vode su rashlađene i pod utjecajem pasata i hrane Južnoekvatorijalnu struju. Pored Zapadneaustralske struje, struja Leeuwina i Južnaaustralska protustrujanja također prolaze uz ovu obalu, ali se kreću u suprotnom smjeru. Ove 3 struje zajedno značajno pridonose padalinama i klimi na jugozapadnoj regiji Zapadne Australije [17], [19].

5. ZAKLJUČAK

Od samih početaka čovjekovog postanka more je za čovjeka bilo veliki izazov. Morem se plovilo, najprije primitivnim plovilima samo u obalnim područjima radi ribarstva, a zatim i radi trgovine. Vremenom se sve više razvija pomorski promet i pomorci postaju sve traženiji, ali da bi se moglo sigurno i učinkovito ploviti, nužno je dobro poznavanje osobina i karakteristika mora i oceana. Oceanografija je znanost koja proučava zemljine oceane i mora, te njihove međusobno povezane ekosustave, te kemijskie i fizičke procese u koje spadaju i površinske struje. Na osnovi podataka o morskim strujama, valovima, morskim mijenama i drugim oceanografskim elementima, pomorci odabiru sigurniju i ekonomičniju plovidbenu rutu. Poznavanje osobina površinskih struja u oceanima nije čista znanost, već i praktična potreba za svakog pomorca koji se orijentira u prostoru, te prema smjeru i jačini morskih struja bira povoljnu plovidbenu rutu.

U ovom radu obrađeni su opći uzroci nastanka morskih struja i sile koje utječu na njihov oblik i cirkulaciju. Također, izneseni su načini mjerenja struja kroz povijest i nabrojeni su znanstvenici koji su proučavali i mjerili strujanja na istraživačkim brodovima. Razvojem znanosti i tehnologije počinju se koristiti precizni uređaji za mjerenje površinskih struja u oceanima te su u radu nabrojene njihove prednosti i mane. Iz rada se može zaključiti da najčešće hladne morske struje donose vodene mase bogate hranjivim tvarima, dok tople morske struje donose blažu klimu u područjima gdje djeluje morska struja te ista imaju slabije razbijenu ribolovnu djelatnost. U slučaju idealnih uvjeta bez ikakvih vanjskih utjecaja, brod koji se kreće brzinom od 15 čv u vremenskom periodu od sat vremena bi prevalio put od 15 NM. Zbog vanjskih sila, u koje spadaju i morske struje, takvi idealni uvjeti ne postoje. U radu je opisan osnovni izvor informacija o morskim strujama koje iskusan pomorac mora koristiti prilokom planiranja putovanja radi sigurnije i ekonomičnije plovidbe.

Površinske struje u oceanima imaju planetaran značaj zbog toga što su uz atmosfersku cirkulaciju modifikatori klime nekog područja. Svaka promjena strujanja može imati dalekosežne posljedice na klimu, a faktori koji utječu na procese su brojni i složeni.

LITERATURA

[1] Trujillo, A.P.; Thurman, H.V.: *Essentials of Oceanography*, 11th Edition, Pearson, 2013.

[2] dr. *sc. Nenad Leder,* PMO2017-17-OC2-Morske struje.ppt (pristupljeno 29.6.2018.)

[3] www.hfd.hr/ljskola/arhiva/2003/tomazic.pdf (pristupljeno 18.6.2016.)

[4] Talley, L.D., Pickard, G.L., Emery, W.S. and J.H. Swift: *Descriptive Physical Oceanography- An Introduction*, Elsevier, 6th Edition, 2011.

[5] http://jadran.izor.hr/~sepic/studenti_bem/3_mjerenja_struje.pdf (pristupljeno 30.6.2018.)

[6] https://www.nefsc.noaa.gov/epd/ocean/MainPage/lob/images/mvc-142f.jpg (pristupljeno 3.9.2018.)

[7] http://www.elscolab.com/en/products/acoustic-doppler-profiler-adp-mini-adp (pristupljeno 10.9.2018.)

[8] Zore-Armanda, M.: Razvoj fizičke oceanografije na Jadranu, Pomorski zbornik, 2001.

[9] Gelo, B.; *Opća i pomorska meteorologija*, Sveučilište u Zadru, 2010.

[10] INT 1, *Znakovi i kratice na hrvatskim pomorskim kartama*, Hrvatski hidrografski institute, 2013.

[11] http://skola.gfz.hr/d6_4.htm (pristupljeno 16.8.2018.)

[12] https://www.pfri.uniri.hr/~brcic/downloads/12.%20ZANO%C5%A0ENJE%20BRODA.pdf (pristupljeno 25.8.2018.)

[13] HHI Split, Rogoznica-Split MK-16

[14] http://www.tides.gc.ca/eng/data/table/2018/curr_ref/5000 (pristupljeno 30.8.2018.)

[15] https://en.wikipedia.org/wiki/Seymour_Narrows (pristupljeno 2.9.2018.)

[16] https://www.pmfias.com/ocean-currents-factors-responsible-formation-ocean-currents-effects-ocean-currents/#ocean-movements (pristupljeno 6.9.2018.)

[17] https://hr.wikipedia.org/wiki/Morska_struja (pristupljeno 15.6.2018.)

[18] https://www.google.com/search?q=ocean+circulation&safe=active&client=firefox-b-ab&tbm=isch&source=lnt&tbs=isz:l&sa=X&ved=0ahUKEwj3r8Tz8rPdAhUsl4sKHYVNCOUQpwUIHA&biw=1366&bih=664&dpr=1#imgrc=cy4OTTOZLb9iRM: (

[19] http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=46002 (pristupljeno 12.8.2018.)

[20] http://static.astronomija.org.rs/suncsist/planete/zemlja/elnino/elnino.htm (pristupljeno 14.8.2018.)

[21] https://www.advisorperspectives.com/commentaries/2015/11/03/el-nino-winds-of-change-for-commodity-prices (pristupljeno 6.9.2018.)

[22] https://oceanservice.noaa.gov/facts/ninonina.html (pristupljeno 17.8.2018.)

POPIS SLIKA

Slika 1. Franklinova i Folgerova karta Golfske struje

Slika 2. Površinske morske struje ljeti i zimi u Jadranu

Slika 3. Lagrangeova metoda- satelitiski praćeni površinski drifter

Slika 4. ADCP (Acoustic Current Doppler Profiler)

Slika 5. Površinsko strujanje ljeti prema Wolfu I Lukschu, 1887.

Slika 6. Vjetrovne struje u površinskom sloju, Ekmanova spirala i transport vode

Slika 7. Znakovi morskih struja koji se koriste na pomorskim kartama

Slika 8. Znakovi morskih struja na pomorskim kartama

Slika 9. Kretanje vodenih masa po oceanima

Slika 10. Kretanje vodenih masa u Tihom oceanu

Slika 11. Uobičajeno kretanje vodenih masa u Tihom oceanu

Slika 12. Kretanje vodenih masa za vrijeme El Niña

Slika 13. Kretanje vodenih masa u Atlantskom oceanu

Slika 14. Kretanje tople Golfske struje

Slika 15. Morske struje u Indijskom oceanu

POPIS TABLICA

Tablica 1. Tablica za određivanje struja morskih mijena

Tablica 2. Vrijeme i brzina nastupa struja morskih mijena za tijesnac Sevmour na zapadnoj obali Kanade

Tablica 4. Popis najvećih površinskih struja u ocanima

Tablica 3. Podjela suptropskih struja po oceanima

POPIS KRATICA

ADCP (engl. Acoustic Current Doppler Profiler)	vrsta strujomjera
m/s	metar po sekundi
m^3/h	metar kubni po sekundi
Čv	čvor
NM/h	nautička milja na sat, čvor
Sv (sverdrup)	mjerna jedinica za obujam transportirane vode u jedinici vremena
ENSO (engl. El Nino Southern Oscilation)	meteorološke varijacije na južnom Pacifiku